

EESTI MAAVILJELUSE INSTITUUT

Peeter Viil, Kalvi Tamm,
Jüri Kadaja, Tiit Plakk, Enno Koik, Raivo Vettik,
Taavi Võsa, Jaanus Siim, Triin Saue

VEDELSÕNNIK JA MULLAHARIMINE

**SAKU
2012**

Toimetaja: Jaanus Siim
Fotod: Peeter Viil, Juhannes Sapas

Projekti „**Mullaharimise intensiivsuse mõju vedelsõnnikuga väetatud põllukultuuride saagile ja kvaliteedile ning mulla seisundile**“ rahastas Põllumajandusministeerium Riikliku programmi „Põllumajanduslikud rakendusuuringud ja arendustegevus aastatel 2009–2014” raames.

Trükise koostamist ja väljaandmist toetas PRIA MAK meetmest 1.1.

© Eesti Maaviljeluse Instituut
Trükk: AS REBELLIS
ISBN 978-9949-9376-0-8 (trükis)
ISBN 978-9949-9376-1-5 (pdf)

SISUKORD

Summary	4
Sissejuhatus	7
1. Erinevatest põllukultuuride viljelustehnoloogiatest. <i>Peeter Viil</i>	8
2. Otsekülvi ja künnipõhise teraviljakülvi kulude võrdlus. <i>Peeter Viil, Kalvi Tamm</i>	16
3. Uuenduslikud tehnoloogilised võtted taimekasvatuses. <i>Peeter Viil</i>	21
4. Vedelsõnnik - mõju mullale ja põllukultuuridele. <i>Peeter Viil</i>	47
5. Ülevaade vedelsõnniku käitlemise tehnoloogiatest. <i>Raivo Vettik, Jaanus Siim</i>	63
6. Mulla pinnale laotatud vedelsõnniku mullaga segamise seadistest. <i>Taavi Võsa</i>	73
7. Veisesõnniku efektiivsuse sõltuvus muldaviimise sügavusest. <i>Peetr Viil, Taavi Võsa</i>	76
8. Sõnniku kogused ja selle väärtus Eestis. <i>Raivo Vettik, Kalvi Tamm</i>	79
9. Taimetoitainete maksumus sõltuvalt väetamistehnoloogiast. <i>Enno Koik, Kalvi Tamm, Raivo Vettik, Peeter Viil</i>	85
10. Vedelsõnniku käitlemiskulud sõltuvalt aastakogusest. <i>Raivo Vettik, Kalvi Tamm</i>	92
11. Raps – miks ja kuidas. <i>Peeter Viil</i>	96
12. Ilmastiku mõjust ja selle hindamisest saagi kujunemisele. <i>Jüri Kadaja</i>	117
13. Taimkatet läbinud kiirus ning kultuuride lehepind odra ja rapsi külvis. <i>Jüri Kadaja</i>	127
14. Ilmastiku ning erinevate mullaharimise ja väetamise viiside mõju kartuli saagikusele. <i>Triin Saue, Peeter Viil, Jüri Kadaja</i>	132
15. Muld, vesi ja elekter. <i>Tiit Plakk</i>	138
Projekti täitjad ja autorid	151

SUMMARY

For a long time, the growing of plant production products has been based on intensive soil cultivation. Scientific researches have shown that such growing method is expensive and often unfriendly to the environment (especially when crop rotation requirements are being ignored). In order to diminish these problems, new technologies have been developed around the world, consisting of minimum tillage and no-till (zero tillage) technologies for plant production. The increasing cost of production resources (fuel, fertilisers, pesticides) and physical and moral ageing of existing machinery makes Estonian farmers to search for new and sustainable ways for plant production to be competitive both in local and foreign markets.

Promotion of animal breeding in new keeping conditions brings along a new problem for farmers – how to handle slurry as a by-product of animal husbandry. The new trends in soil cultivation and cattle breeding are indeed some very important problems the farmers are waiting solutions for.

Due to that the aim of the presented research project is to specify the theoretical bases of field crops (cereals, rape, grassed) cultivation in the conditions of differentiated tillage (intensive, minimum, zero tillage) and slurry. Slurry as a local nitrogen source for plants and its influence to phytosanitary state of agroecosystems are researched. The research will form/ will set a basis for recommendations for machinery and technology selection criteria for/in plant production (for food, feed or biofuel). The complex analysis of agroecosystems is used to devise mathematical models for predicting soil properties and crop yield.

Co-operation between researchers and exploiters of research/end-users of research results in field trials gives all the participants a chance to apply science in their everyday work practise. For involved students it provides/is a good possibility to get up-to-date knowledge and practical skills directly from trials.

This book – “**Slurry and Soil Tillage**” giving a review about the results of project “**The Effect of Soil Tillage Intensity on the Yield Quality of Slurry Fertilised Crops and Soil Condition**”, implemented in years 2007-2011 under the leadership of **Peeter Viil**, PhD, in the Department of Agricultural Engineering at Estonian Research Institute of Agriculture.

The project was funded by the Ministry of Agriculture in the framework of the national programme *Applied Research and Development in Agriculture 2009–2014*.

The research was based on two long-term stationary trials on sandy loam soil (Calcic Luvisol by WRB) at Kuusiku - crop rotational trial and barley mono-culture trial. The crop rotation trial (established in 1989) consisted in 6 fields: 1. winter wheat, 2. oil seed rape, 3. barley, 4. barley with grass undersow, 5. grassland, 6. grassland. All plots be present every year (crop rotation both in terms of time and space) and had 3 soil tillage treatments:

1. normal tillage based on ploughing at 22-25 cm depth;
2. intensive tillage based on ploughing at 33-35 cm depth;
3. differentiated tillage: a) direct drilling on winter wheat plots; b) shallow tillage at 8-10 cm on barley plots; c) tillage at 15-18 cm depth on oil seed rape plots.

All plots had 2 fertilizing variants - only mineral (NPK) fertilizer and NPK with liquid manure.

In 2004, this trial was nominated the Best Trial by the Council of Experimental Work in Estonia.

Internationally, this trial has been acknowledged and added to Nordic Long Term Trials Register (Long Continued Agricultural Soil Experiments A Nordic Research Platform. Catalogue: EE-2 “The impact of differentiated autumn soil tillage effect on six-field crop rotation productivity, yield quality and soil state”).

In the barley mono-crop trial (established in 1991), the effects of soil tillage intensity (4 variants), fertilizing aspects (2 variants), as well as chemical plant protection (3 variants) to barley yield were studied. Soil tillage variants included autumn ploughing at 22-25 cm, spring ploughing at 22-25 cm, soil tillage at 8-10 cm, and soil tillage at 15-18 cm. Fertilizer variants were similar to previous one: only mineral (NPK) and mineral with liquid manure. Plant protection variants were as follows: without pesticides, only herbicides, and herbicides and fungicides.

To verify the stationary trials results, 116 field trials on farmers' fields were established in different Estonian regions (mostly on sandy loam and loamy sand soils).

Research was targeted to find out the soil tillage intensity effect on soil state, crop yield and inputs (time, fuel, fertilizers) consumption in different soil tillage variants; to compare liquid manure spreading and soil injection technologies taking into account environmental impact; to find out liquid manure effect on soil and crop yield from agronomical, environmental and economical aspects; to study the effect of photosynthetically active radiation on crop yield formation in different soil tillage conditions; to clarify correlation between soil electrical properties, volumetric moisture and nutrient content.

Main results (Peeter Viil).

1. Soil tillage minimization was better for environment, than ploughing. The density of soil is one of the most significant indicators to characterise soil fertility, because changes in it will affect almost all soil characteristics and plant growing conditions not only on the humus horizon, but also deeper than that. The analysis of the relation between field crop yields and density of soil has indicated that 1,20-1,35 Mg m⁻³ would be the optimum bulk density of soil. The bulk density of 1,35-1,50 Mg m⁻³ is pre-critical for plant growth, and already a critical one beyond that.

2. When observing the humus content of soil as a barometer, it is possible to attain an ecologically correct/appropriate and balanced use of land while maintaining the soil fertility. Its content in soil can be influenced by several agrotechnological means. In addition to selecting and fertilising the cultures to be grown, soil cultivation serves as one of the key factors. As the research indicated, diminishing the intensity of soil tillage (replacing ploughing with minimised surface tilling or direct sowing of crop cultures) will maintain the humus balance both in multi-crop rotation as well as monoculture crop rotation. When slurry is added, the humus balance will become a positive one.

3. Upon developing and maintaining the soil fertility, the soil biota, earthworms among other things, plays an important role. In crop rotation trial, the largest amount of earthworms was present in the variant of minimised tillage – 0,60 million per ha (total weight 0,51 t ha⁻¹). In the variant of conventional ploughing, it was 0,406 millions per ha (0,389 t ha⁻¹), whereas in the variant of deep ploughing 0,325 millions per ha (0,298 t ha⁻¹). When fertilised with slurry, their frequency increased 5,65 times. Use of herbicides had a significant impact on the earthworm count. In the mono-crop trial with barley (established in 1991), there was 61,5–66,7% less earthworms if herbicides had been used, as compared to the variant without herbicides.

4. In ploughing variants, the water permeability of soil was influenced by the thickened layer underneath the ploughed layer. In production technology trials, its thickness was 10–12 cm with density of 1,50 – 1,68 Mg m⁻³. Also upon minimised tillage, the soil in deeper layers remained thicker than on surface. However, unlike in ploughing variants, its deeper part was rich in earthworm holes, which ensured a good water permeability. On the background of more than 20 years of surface tilling, 100 mm of water infiltrated more than 5 times faster than in the annually ploughed soil. The filtration coefficients were, respectively 3,78 mm min⁻¹ and 0,72 mm min⁻¹.

5. Only 38 l ha⁻¹ fuel was consumed on the crop-rotational trial yield of 4 actively tilled crops (winter wheat, oil seed rape, barleys). It is 30 l ha⁻¹ (44%) less than on conventional tillage (ploughing). Intensive tillage (deep ploughing) adds 67,2 l ha⁻¹ (177%) compared to differentiated tillage.

6. Soil tillage effect on crop yield in the crop rotational trial was statistically insignificant. Positive effect of intensive tillage started to show in the 14th year.

7. The effect of soil tillage intensiveness on the yield of mono-crop barley depended on plant protection. On the background without pesticides, the discontinuance of ploughing led to a decrease in yield. On the background of intensive plant protection (weeds and plant disease control), a different tillage had no impact on the yield.

8. Slurry had a positive effect on the yield of field crops on all tillage backgrounds. A major impact by slurry could be seen in the monoculture crop rotation with barley.

9. The effectiveness of bovine and pig slurry depends on the time difference between distribution and insertion into soil. Upon spreading it on the surface it is necessary to mix slurry into soil as quickly as possible, preferably immediately after spreading. For that purpose, both rolling harrow as well as lightweight harrow can be used. A 24-h delay will reduce the effectiveness of slurry by 52–76%. The higher the air temperature at the time of distribution, the lower the positive impact of slurry and greater the nitrogen losses.

Important **aspects of rapeseed cultivation technology** discussed in the book include: soil requirements, selection of preceding crop, various soil tillage and sowing methods – plough-based, minimized, and direct sowing, crop rotations, fertilization with mineral and organic fertilizers (slurry, straw returned to the field), crop varieties, productivity and fuel consumption of machinery assemblies, rapeseed as preculture, sowing time, –density and –rate, diseases and pests. Increasing the total yield at the expense of expanding the sowing area is becoming exhausted. Since the increase in the proportion of cultivation area of rapeseed should remain below 25%, any further expansion can occur primarily at the expense of fallow areas. The potential yield capacity of rapeseed is two to three times higher than our current actual yield. The main approach to increasing the total yield of rapeseed should be increasing the yield per hectare by means of improving agrotechnology as the key opportunity. Here, no agrotechnological method should be disregarded. It is of crucial importance to implement them skillfully and on time. Advancing rapeseed production and its profitability depend largely on the knowledgeable use of local resources (straw, green manures, organic fertilizers, liming) (*Peeter Viil*).

Economical aspects of slurry using were studied too.

The cost of commercial fertilizers versus the combined costs of slurry loading, transportation, and application to land are economic variables influencing the level at which slurry could substitute for commercial fertilizer. The economic aspects of the use of mineral fertilisers, solid manure and slurry are compared depending on the field distance and the technology used. Calculations show that in an average production situation in Estonia with a field distance of up to 3 km, the most economical technology is hauling solid manure to the field and distributing it with a solid manure distributor; the cost of nutrition elements is less than 0,8 € kg⁻¹. For more distant fields, it is most economical to haul slurry to the field with a transporter and spread slurry with a disc distributor (*Enno Koik, Kalvi Tamm, Raivo Vettik, Peeter Viil*).

The herd size determines proportionally the area needed for distributing the manure produced by animals. The greater the annual amount of slurry, the cheaper the management of the slurry per m³. However, a greater amount of slurry needs a larger distribution area, which requires a longer distance and a greater cost for slurry transportation. In Estonian IPPC farms 1,5 Mt slurry and 0,7 Mt of solid manure were handled annually in 2009. The calculated average price of manure is as follows: 6,22 € t⁻¹ for cattle slurry, 10,73 € t⁻¹ for solid cattle manure, 7,56 € t⁻¹ for pig slurry and 15,81 € t⁻¹ for solid pig manure (*Kalvi Tamm, Raivo Vettik*).

The equipment for slurry application can be owned by the farm or rented from a service provider. Simulations were made using composed calculation models to compare slurry distribution costs for six slurry application technologies considering the farm's annual slurry quantity and distance to the plot. The calculations show that, if the annual amount of slurry is 4 000–11 000 m³, then full custom service will be cheaper than the technology in which the farm's own slurry distributor would be used. If the annual amount of slurry is 11 000 m³ or more, then it becomes cheaper to use a custom transporter to haul slurry to the field and spreading by own slurry distributor (*Raivo Vettik, Kalvi Tamm*).

The capacity of a slurry tanker is affected by different variables. According to previous studies, the most significant influence is the tank volume. In the present version of selection model of tanker is composed a pattern to determine the optimum volume for a slurry tanker. The aim of the paper is to introduce the pattern and give an overview of the model. The optimality criterion is the minimum slurry distribution cost. In the results, the importance of optimum value for tank volume and explained the impact of non-optimal solution is discussed. Also the impact of the parameters on distribution costs is clarified (*Raivo Vettik, Kalvi Tamm*).

The calculations show that the higher is the annual amount, the longer is transportation distance, and the shorter the tolerated distribution period - then the higher will be the optimum value for tank size if slurry is transported with distributor itself. Only for short distances (<3 km) and big slurry amounts (>4 000 m³) the transportation with distributor itself has a cost benefit. However, in most of the cases, it is cheapest to use a separate tanker for slurry transportation, while the distance has no effect on optimum size of distributor tank. Therefore, in most cases only one set of the application equipment is required to supply the farm with sufficient distribution capacity. If annual amount is 4 000 m³ or less, then a 5 m³ tank will be sufficient to serve farm with required distribution capacity. If annual amount is 8 000 m³, a 10 m³ tank is the optimal one (*Raivo Vettik, Kalvi Tamm*).

A short reviews about slurry handling technologies/machinery are given too in this book (*Raivo Vettik, Jaanus Siim, Taavi Võsa*).

A review is provided about the **effect of solar radiation**, soil moisture and temperature on the processes in plant and crop production.

On the basis of experimental data the radiation curves of net photosynthesis of potato in lists order is presented. The methods to calculate the joint effect of different limiting factors are referred. The method of reference yields, based on the principle of maximum plant productivity and created for modelling the impact of different factors and groups of factors on the yield, is described (*Jüri Kadaja*).

The results of measurements (2008-2012) of transmitted solar radiation by SunScan Canopy Analysis System in crops of barley and rapeseed grown in different fertilisation and tillage combinations on a long-term crop rotational trial, and calculated LAI values were analysed. The transmission coefficient of solar radiation was smaller and LAI bigger for the canopies manured extra with slurry and straw than for these fertilised only with background mineral fertilisers. In case of conventional and steep tillage, the fertilisation with slurry and straw influenced the transmission coefficient more in early and maximum LAI phases, in case of minimum tillage - in the phase before harvest. In case of barley, the transmission of radiation was higher for plots of minimum tillage, in case of rapeseed - for conventional tillage (*Jüri Kadaja*).

The influence of weather variability on potato yield was assessed with an aim to address different soil tillage and fertilization regimes by their weather sensibility. Strong effect of experimental year on potato yields was proved for experimental period; the effect of fertilization proved significant only between the highest and the lowest fertilization rates; the effect of tillage tested insignificant. If synthesized statistically over the population (over untested period of time), significant interactions occur between years and tillage/fertilization treatments, verifying that the effect of both tillage and fertilization is dependent on year-to-year weather differences. Yields of all examined variants were found to be significantly correlated to spring weather – positively to temperatures and negatively to precipitation (*Triin Saue, Peeter Viil, Jüri Kadaja*).

The electrical characteristics of soil were studied; upon the measurements of these, a novel measuring appliance – percometer– was used. The device has been created by the PhD student Tiit Plakk, the senior engineer of the department.

Measurement of soil electrical parameters enables to evaluate soil physical properties, such as moisture content, moisture availability to plants, soil salinity. The studies carried out have demonstrated that in case of non saline soils the soil salinity, expressed as electrical conductivity of the saturated soil paste extract, is a direct measure of soil nutritional element content. The measurements carried out repeatedly (or as a permanent observation in automatic percstations) enables assessing the dynamics of nutrient flow, - use, and - leaching in agriculture. The numerical values of estimation of nutrient content levels in Estonian soils based on electrical parameters are given. According to the trial results carried out at ERIA and based on electric measurements, the Estonian soils can be divided by their nutrient content into: soils with poor nutrient content (ECe below 200), low and medium nutrient content (300-600), rich content level (700-1200 µS cm⁻¹). The values exceeding 1500 refer to excessive fertiliser or salt content (*Tiit Plakk*).

SISSEJUHATUS

Energiasäästlikumad põllukultuuride viljelustehnoloogiad leiavad järjest enam omaksvõtmist põllumeeste poolt. Nende evitamine nõuab sihikindlat teadmiste omandamist. Vedelsõnniku kasutamine kohaliku väetisena on samuti reaalsus. Selgeks tuleb õppida nende võtete keskkonnasõbralik kasutamine.

Praeguses majanduslikus situatsioonis, kus mineraalväetiste hind on kõrge ja põllukultuuride hinnad suhteliselt kõikuvad, on vedelsõnnik väga oluliseks väetiste allikaks, seda just lämmastiku ja ka kaaliumi osas. Peale selle on vedelsõnnik ka mikroelementide allikas. Selle ressursi efektiivne kasutamine sõltub käitlemise tehnoloogiast.

Käesolevasse väljaandesse on koondatud aastail 2007-2011 Eesti Maaviljeluse Instituudi Põllumajandustehnika ja -tehnoloogia osakonnas vanemteadur, doktor **Peeter Viili** juhtimisel läbi viidud rakendusliku uurimisprojekti „**Mullaharimise intensiivsuse mõju vedelsõnnikuga väetatud põllukultuuride saagile ja kvaliteedile ning mulla seisundile**“ tulemused – ilmunud artiklid originaalidena või täiendatutena ja uued kirjutised.

Projekti rahastas Põllumajandusministeerium Riikliku programmi “Põllumajanduslikud rakendusuuringud ja arendustegevus aastatel 2009–2014” raames.

Uurimistöö eesmärgid olid:

1. uurida erineva intensiivsusega mullaharimise mõju mulla seisundile, põllukultuuride saagile ja mootorikütuse kulule mineraalväetiste ja mineraalväetiste+vedelsõnnikuga väetamise foonil;
2. võrrelda vedelsõnniku laotamise ja muldaviimise erinevaid tehnoloogiaid keskkonnahoiu seisukohalt;
3. lähtuvalt agronoomilistest, keskkonnakaitselistest ja ökonoomilistest aspektidest, uurida vedelsõnniku toimet mullale ja põllukultuuride saagile;
4. uurida fotosünteesiliselt aktiivse kiirguse mõju põllukultuuride saagi kujunemisele erineva intensiivsusega mullaharimise foonil;
5. uurida mulla elektriliste omaduste, mahulise niiskuse ja toitainete vahelisi seoseid.

Uurimistöö baasiks olid kaks pikaajalist statsionaarkatset rähksel liivsavimullal Kuusikul. Viljavahelduslikus külvikorrakatses (rajatud 1989.a.) kasvatati talinisu, suvirapsi, varajast ja keskvalmivat otra ning kahel aastal põldheina kolmel erineva intensiivsusega mullaharimise foonil. Väetati NPK ja NPK+vedelsõnnikuga. 2004.a. vabariiklikul põldkatsete ülevaatusel hinnati see katse Katseasjanduse Nõukogu poolt parimaks. Katse olulisust on tunnustatud ka rahvusvaheliselt ja see on võetud Põhjamaade pikaajaliste katsete registrisse.

Monokultuurse odra katses (rajatud 1991.a.) uuriti nelja erineva põhimullaharimise võtte mõju odra saagile. Väetisfoone oli kaks: NPK ja NPK+vedelsõnnik. Taimekaitse kõikidel mullaharimise foonidel oli järgmine: ilma taimekaitseta, herbitsiidid umbrohtude tõrjeks ja herbitsiidid umbrohtude tõrjeks+ fungitsiidid taimehaiguste tõrjeks.

Teadustulemuste kontrollimiseks viidi Eesti erinevates regioonides (saviliiv- ja liivsavimuldadel) läbi 116 tootmistehnoloogilist katset.

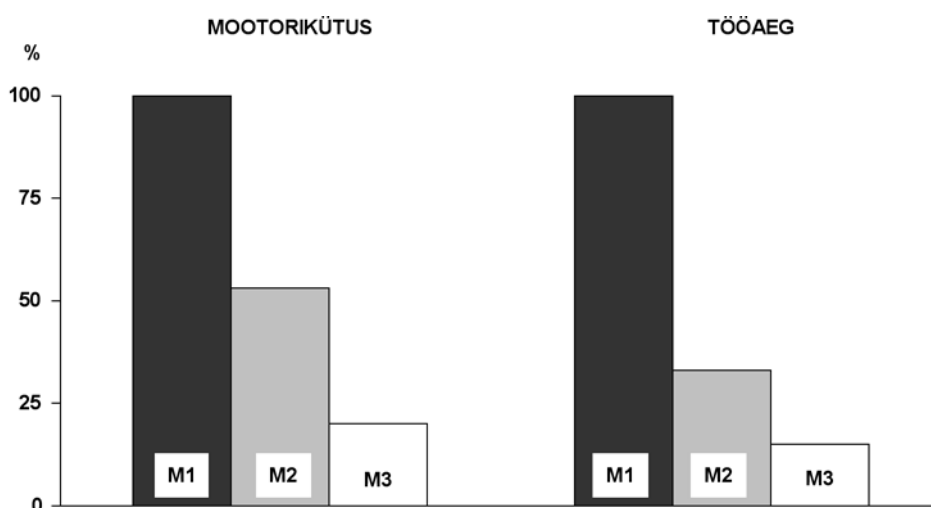
Järjest vähem tuleb põllumeeste poolt kurtmist, et ei saa teha seda ja teist. Selle asemel on hakatud otsima lahendeid, kuidas raskustest üle saada. Rõõmu teeb tootjate ja uurijate koostöö tihenemine. Siinkohal tänavad uurimistöö läbiviijad eesotsas Peeter Viiliga kõiki tootjaid, kes on võimaldanud nende põldudel läbi viia uute tehnoloogiate evitamise seotud katseid ja jälgida mullas toimuvaid protsesse.

Jaanus Siim, toimetaja

ERINEVATEST PÕLLUKULTUURIDE VILJELUSTEHNOLLOOGIADEST

Põllukultuuride eduka kasvatamise üheks oluliseks kriteeriumiks on sobilike masinate-seadmete oskuslik kasutamine. Eestis on intensiivsele mullaharimisele rajaneva põllukultuuride kasvatamise kõrval hakanud paljud tootjad suunduma maailmas levivatele uuenduste lainele, milleks on mullaharimise minimeerimine või koguni sellest loobumine ehk nn otsekülv. Hinnanguliselt kasvatatakse meil minimeeritud ja otsekülvil ligi pool teraviljast. Taliteraviljadest aga kuni 70%. Harjumaal Valdereks OÜ-s kasvatatakse juba enam kui viis aastat teravilja ja rapsi ainult minimeeritud mullaharimise foonil. 2007. a saadi talinisu 6 t ha⁻¹ ja talirukist ligi 5,5 t ha⁻¹. Keskmiseks teraviljasaagiks kujunes 5 tonni hektarilt. Edukalt on läinud Eestis esimestel otsekülviga alustanutel OÜ-l Joka Maa ja Pilu talul. Uutest tegijatest tuleb kindlasti ära märkida Kuriste talu, kus talinisu „Tarso“ otsekülvipõllult saadi 7,32 t ha⁻¹ teri. Viljelusvõistlusele 2007. a esitatud põldudest kasvatati teravilja ja rapsi 40% traditsioonilise künni foonil, 52% pindmise mullaharimise foonil ja 8% otsekülvil.

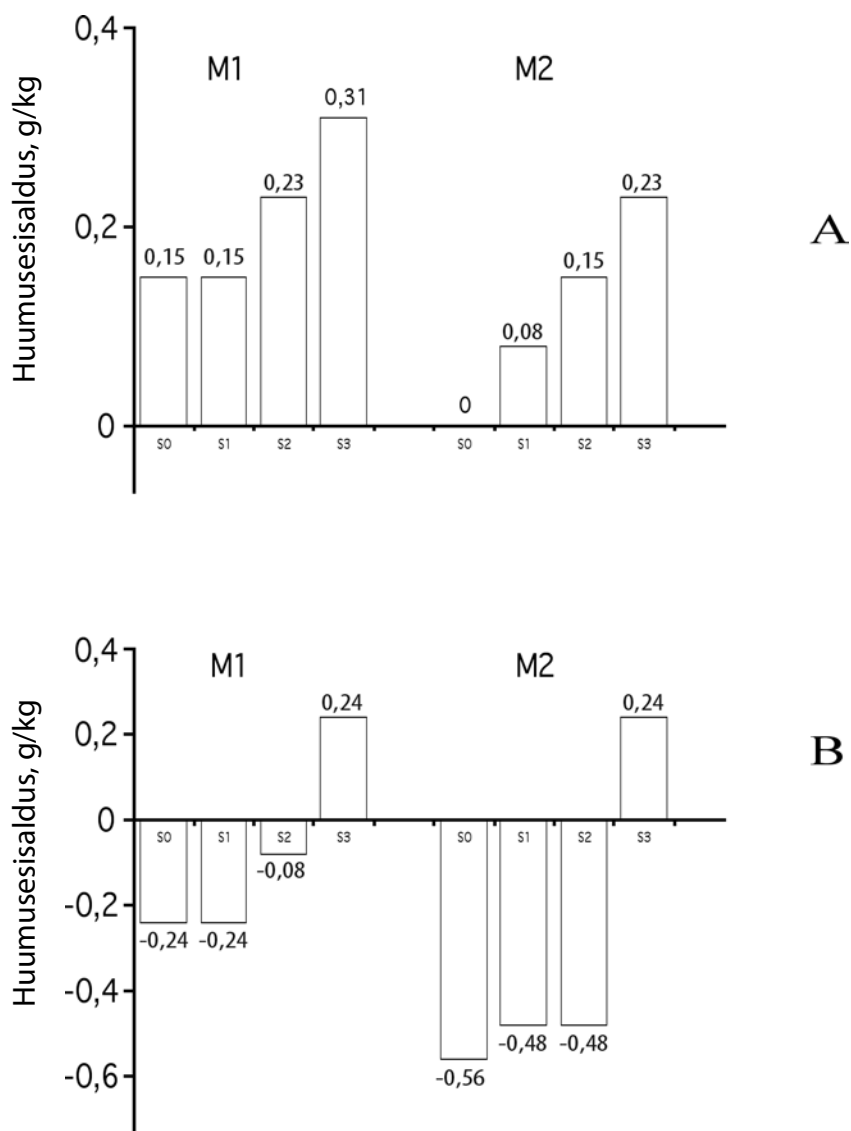
Uute tehnoloogiate kasutamise peamiseks tõukejõuks tuleb pidada ressursside kallinemist. Uurimused on näidanud, et võrreldes tavapärase viljelustehnoloogiaga säästetakse minimeeritud mullaharimisele ja otsekülvile rajaneval viljelemisel mootorikütust 47-80% (joonis 1).



Joonis 1. Mootorikütuse ja tööaja erinevus erineval viljelemisel.

- M1 – tavatehnoloogia,
- M2 – minimeeritud tehnoloogia,
- M3 – otsekülv.

Tavatehnoloogia on paljuagregaatne, kus väga suur osa on mullaharimisel. Intensiivse mullaharimisega saab alla suruda nii umbrohte kui ka mõningaid taimehaiguseid ja kahjureid, kuid seejuures halvenevad mulla füüsikalised (struktuursus, lasuvustihedus, kõvadus) ja hüdrooloogilised (veemahutavus, filtratsioon) omadused. Kiireneb mulla orgaanilise aine mineralisatsioon (oluliselt viljavahelduse nõuete eiramisel), mis viib huumuse vähenemisele. Eriti intensiivne on see protsess olnud kerge lõimisega huumusrikastel muldadel (joonis 2).



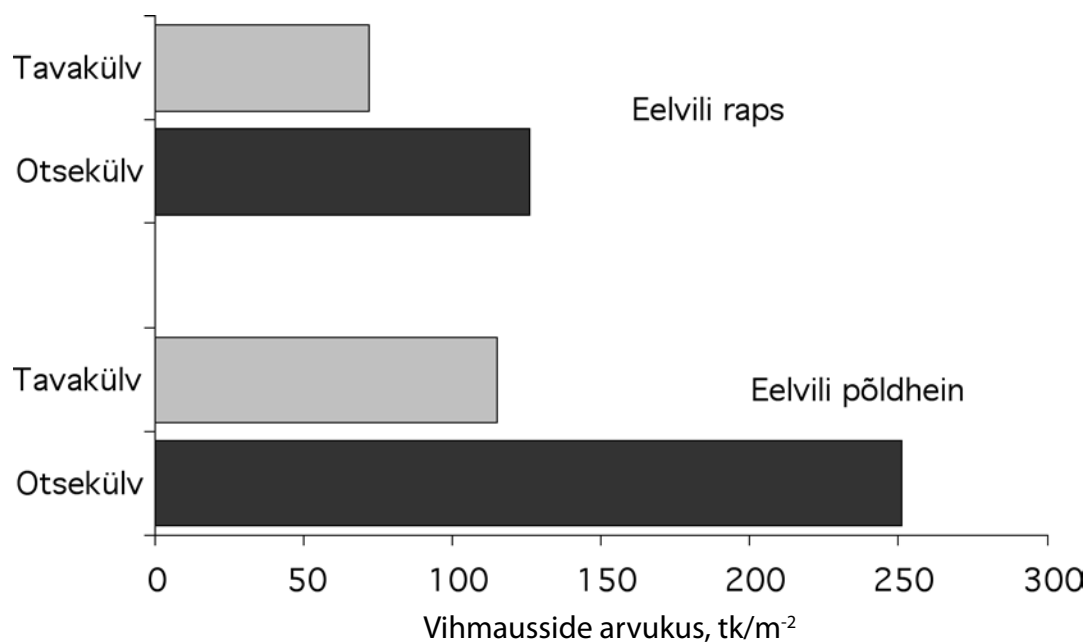
Joonis 2. Mullaharimise mõju liivsavimulla (A) ja gleisaviliivmulla (B) huumusesisalduse muutusele külvikorra esimese rotatsiooni lõpuks.

M1 - minimeeritud mullaharimine

M2 - tavapärase mullaharimine

M3 - ülisügav künd

Ainult tugev sõnnikuga väetamine võimaldas hoida huumusebilansi positiivseks. Intensiivse harimisega halvenevad ka mullas elavate mitmete kasulike organismide (vihmaussid, entomofaagid) elutingimused (joonis 3). Mullaharimise ekstensiivistumisega väheneb oluliselt nn kasvuhoo- negaaside emissioon. Kuusikul läbiviidud uuringutest selgus, et pindmisel mullaharimisel, võrreldes tavapärase kündmisega, vähenes CO₂ emissioon ligi 20%. Kasvuhoo- negaaside vähenemist minimeeritud mullaharimisel seletatakse mullaelustiku intensiivistumisest tingitud mullasisese tarbe suurenemisega.



Joonis 3. Talinisu viljelemisviisi mõju vihmausside arvukusele

Erinevate viljelusviiside efektiivsuse põhikriteeriumiks on siiski põllukultuuride saagikus. Pikaajalises viljelustehnoloogiate võrdluskatses rähksel liivsavimullal kujunesid 18 aastat nii tavapäraselt (küändmine 22-25 cm) kui ka minimeeritult (8-10 cm sügavuselt) mulda haritud variantides teraviljade saagid praktiliselt võrdseks (tabel 1).

Tabel 1. Viljelustehnoloogia mõju teravilja saagile, t ha⁻¹

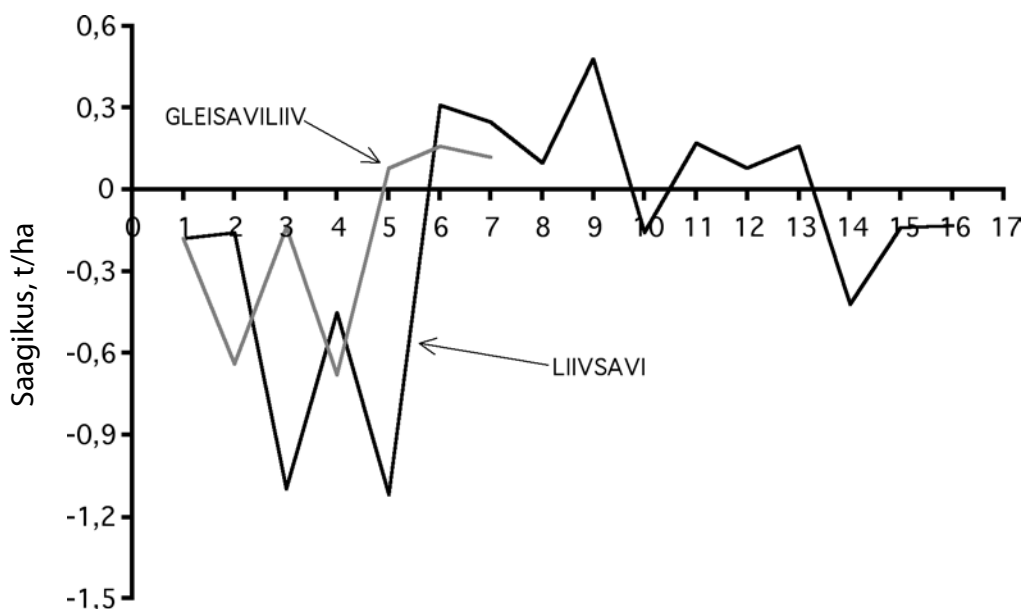
Kultuur	Tavatehnoloogia	Minimeeritud tehnoloogia
Talinisu	7,06	7,11
Keskvalmivoder	4,98	5,07
Varajane oder	4,65	4,55

Antud katses oli talinisu eelviljaks teise aasta põldhein, keskvalmival odral kartul ja varajasel odral keskvalmiv oder. Monokultuurses odrakatses (oder vahelduseta 17 aastat samal kasvukohal) jäid saagid erineval mullaharimise foonil nii ekstensiivsel kui ka intensiivsel pestitsiidide kasutamisel 2007.a. praktiliselt võrdseks (tabel 2).

Tabel 2. Monokultuurse odra saagi sõltuvus mullaharimise intensiivsusest, t ha⁻¹

Mullaharimine	Pestitsiidideta	Pestitsiididega	Erinevus
Küändmine	3,89	4,13	0,24
Pindmine mulla kobestamine	4,02	4,18	0,16

Pikaajalises tehnoloogiate võrdluskatses on esimesel viiel aastal jäänud talirukki saagikus tavatehnoloogiale alla. Järgnevatel aastatel on ta olnud tavatehnoloogiale ligilähedane (joonis 4). Odrasaagid on aga sõltunud eelviljast ja mullast (tabel 3).



Joonis 4. Otsekülvatud talirukki „Vambo” saagikuse muutus võrreldes tavakülviga aastail 1989-2006

Tabel 3. Viljelemisviisi mõju odra saagile, t ha⁻¹

Muld	Katse periood	Tavatehnoloogia	Otsekülv	Otsekülvi mõju	
				t ha ⁻¹	%
Oder kartuli järel					
Liivsavi	1989-2004	4,53	4,39	-0,14	-3,1
Gleisaviliiv	1980-1996	3,65	3,64	0,01	0,0
Oder odra järel					
Liivsavi	1989-2004	3,45	3,24	-0,21	-6,1
Gleisaviliiv	1980-1996	2,65	2,67	0,02	0,1

Uute masinate ilmumine Eestimaa põldudele on aidanud oluliselt kaasa maaviljeluskultuuri edendamisele. Nende kasutamisel, nii nagu iga uue tehnoloogilise võtte puhul, on tootmises ilmnenud rida ebakohti. Uuele tehnoloogiale üleminekul on vaja arvestada nii mullastikku, tootmisstruktuuri ja olemasolevaid tootmisressursse (masinaid, seadmeid). Vajalik on ka tööoskuste omandamine. Alljärgnevas käsitleksin enamlevinud väärtõlgendusi uute tehnoloogiate kasutamisel. Kaasaegsed pindharimise masinad (rullrandaalid, rullkäpprandaalid, oraseäkked) täidavad agronoomilisi nõudeid kõige paremini siis, kui mulla niiskus on optimaalne (50-60% väliveemahutavusest). Muudes oludes jääb tulemus keskpäraseks. Teiseks oluliseks kriteeriumiks on töökiirus. Optimaalne on 10-12 km h⁻¹. Väheoluline ei ole ka kõlviku seisund. Selle hindamist tuleks alustada visuaalse vaatlusega. Hinnatakse haritava kõlviku taset ja umbrohtumise iseloomu ning astet. Mulla füüsikalise seisundi hindamiseks on soovitatav teha kaeveid ja kasutada ka mõõtmeid, näiteks penetromeetrit. Viimane annab teavet mulla tihenemise kohta. See omakorda määrab muldharimismasina. Tihesega muldadel on otstarbekam kasutada rullkäpprandaale. Teistel muldadel piisab rullrandaalide kasutamisest. Tülikate umbrohtudega (harilik orashein, põldpuju, kesalill

jt.) saastatud põllud tuleks enne mullaharimist pritsida üldhävitava toimega herbitsiidiga. Põllule tagastatav taimne mass (põhk, aganad) määrab agregaadid töösügavuse. Kui nende kogused on 2-3 t hektarile, siis piisab 8-10 cm sügavusest harimisest. Kui kogused on suuremad, siis peaks iga enamtonni kohta lisama harimissügavust vähemalt 1-2 cm.

Rohumaade pindmise ülesharimise eel on samuti vajalik nende eelnev pritsimine üldhävitava herbitsiidiga. Taliviljadele on heaks eelviljaks raps ja rüps. Nende pindmine mullaharimine võib olla 8...10 cm sügavune. See kiirendab ja soodustab varise kasvamist. Tavaliselt tuleb nendel taliviljapõldudel teha sügisel ka keemilist umbrohutõrjet. Taliraps vajab tusedamat kobedat mullakihti kui taliteraviljad. Kui tema eelviljaks on taliteravili (talioder, varajane oder jt.), siis peaks harimissügavus olema 12-15 cm. Harimisriistade võrdluskatsed on näidanud, et rullrandaalidele ja rullkäpprandaalidele tuleks eelistada kergatru. Viimased sobivad hästi ka külviaasta haljasväetiste muldakündmiseks.

Erinevate reavahelaiustega külvikute töö efektiivsus sõltub külvisemäärast. Tootmispõldudel kasutatakse külvikuid, mille reavahed on 12,5-16,6 cm. Esimesel juhul teeb see ühe meetri külviku töölaie kohta kaheksa külvirida ja teisel juhul kuus külvirida. Võrdse külvisemäära korral mahuvad seemned esimesel juhul ära kaheksasse külviritta ja teisel juhul kuude külviritta. Esimesel juhul on seemned külvireas parajate vahedega, teisel juhul aga tihedalt üksteise kõrval ja siis jääb kasvuruumi väheseks. Seetõttu võib saak kujuneda ka väiksemaks kui kitsarealistes külvides. Et seda ei juhtuks on soovitatav laiareavahega külvides vähendada külvisemäära 15-20%.

Suviteraviljade alt vabanenud põllud tuleks võimalikult kiiresti koorida. Seda eriti siis, kui muld lapinnale tagastatakse ka peenestatud põhk. Põhu lagundamise kiirendamiseks tuleks lisada mineraalset lämmastikku arvestusega 5-10 kg tonni põhu kohta. Veelgi efektiivsem on vedelsõnniku laotamine (20-40 t ha⁻¹). Mida suurem põhukogus, seda rohkem tuleks vedelsõnnikut anda. Varakult kooritud põllud tuleks hilissügisel üle pritsida glüfosaadiga (2-3 l ha⁻¹). Kevadel sobib põldude seemendamiseks põimkülvik, mis harib mulla, külvab seemned ja väetised ning tihendab külvi- read ühe töökäiguga.

Tavatehnoloogias on väga töömahukas külvieelne mullaharimine. Valdavalt kasutatakse selleks lausharimise kultivaatoreid. Vajalik on see töö põllupinna tasandamiseks ja mineraalväetiste muldaviimiseks. Kivistel muldadel katkutakse selle tööga kivid mullapinnale. Nende koristamine on väga vaevanõudev. Teiseks selle töö puuduseks on mullavee vähenemine kuni kolmandiku võrra. Võrdluskatsed on näidanud, et efektiivseks mullaharimiseks sobivad labasilurite ja tasandusrullidega (nt Väderstad Rexius) ning kobestuskäppadega ja tasandusrullidega (nt Simba Uni-Press) põimagregaadid. Nendega ei katkuta kive põllupinnale ega kuivatata ka mulda olulisel määral.

Põllumehel on võimalik kasutada ka oraseäkkele ja ka tihendusrullidele paigutatud peenseemnete väljakülviseadiseid. Hea eduga on neid kasutatud libliköieliste allakülviks teraviljadele ning rüpsi ja rapsi külviks. Sobilikumad on sellised agregaadid kergetel ja keskmistel muldadel. Rasketel muldadel ja tiheda taimikuga taliviljadele allakülvide tegemisel on sobivamaks osutunud ketasseemenditega John Deere külvik 750A.

Väga ekstreemsetes ilmastikuoludes on ennast õigustanud ka teraviljade lauskülv. Seeme laotatakse mullapinnale tsentrifugaalväljakülviseadisega väetisekülvikuga ja viiakse mulda kas oraseäkke, lausharimise kultivaatori või rullrandaaliga. Taolise masinsüsteemi tunnitootlikkuseks võib olla 6...9 ha h⁻¹. 2004. a vihmasel sügisel oli see peaaegu ainus taliviljade külvamise võimalus.

Uuenduslikuks võtteks Eestimaa põldudel on künni ja külvi ühildamine. Efektiivsemaks on see tehnoloogiline võte osutunud taliteraviljade viljelemisel. Suviteraviljade viljelemisel on taolise tehnoloogia korral seemnealus jäänud liialt kobedaks, mistõttu põuastel kevadatel on põldtär-

kamine ebahütlane. Ka on põllupinnale jäetud suur orgaanilise aine (põhk, aganad) kogus mõjutanud mulla kapillaarset veetõusu, sest muldaviiduna tekib harimissügavuse piirile lisaks mulla tihesele ka põhust ja muust orgaanilisest ainest nn isoleeriv kiht.

Eeltoodud juttu illustreerivad joonised 5-12.

Kokkuvõtteks võib öelda, et põllumehel on ressursside säästlikuks kasutamiseks suur masinate ja seadmete valikuvõimalus. Nende efektiivne kasutamine oleneb mullastikust, viljeldavate kultuuride struktuurist ja teadmiste ning oskuste pagasist.



Joonis 5. Külvielse mullaharimise masin



Joonis 6. Vedelsõnniku muldaviimine



Joonis 7. Otsekülvik VM



Joonis 8. Mullaharimise ja külvi põimargaat peenseemnetele



Joonis 9. Peenseemnete külvik ökoäkkel



Joonis 10. Oluline on seemnete ühtlane jaotumine külviritta, see sõltub väljakülvisedise tüübist ja reguleerimisest. Alumistes ridades on suhteliselt ühtlane, kuid ülemistes on ebauhtlane jaotumine



Joonis 11. Kitsarealine ja laiarealine külv



Joonis 12. Nii külvatult põllult on loota head saaki

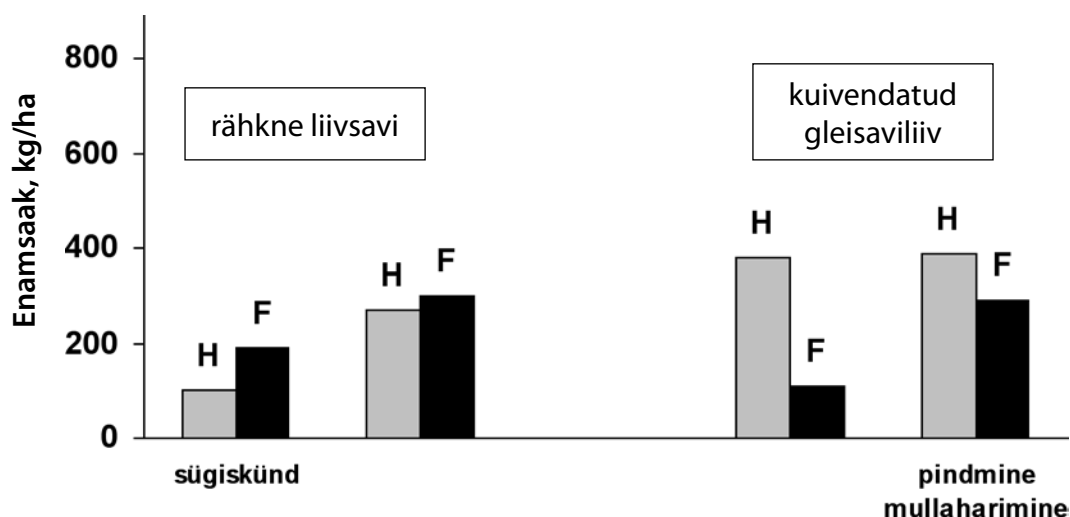
OTSEKÜLVI JA KÜNNIPÕHISE TERAVILJAKÜLVI KULUDE VÕRDLUS

Intensiivsele mullaharimisele (künnipõhine) rajaneva teraviljakasvatuse kõrval on Eestis, nii nagu paljudes riikides mujal maailmas, hakatud teravilja (ka teisi kultuure) kasvatama ka vähesel mullaharimisel (minimeeritud) või otsekülvil. FAO andmetel kasvatati 2005. a taolisel viisil maailmas teravilja enam kui 90 miljonil hektaril. Hinnanguliselt kasvatatakse praegu Eestis kogu tali-teraviljast 80% minimeeritud mullaharimise või otsekülvi foonil ja suviteravilju ligi kolmandikul kasvupinnal. Künnist loobumise motiivid on nii majanduslikku kui ka keskkonnakaitselist laadi. Künnist loobumist on oluliselt soodustanud ka põllumajanduslikus masinaehituses toimunud muutused. Oluliselt on avardunud pindmise mullaharimise masinate ja ka külvikute valik. Turule on tulnud spetsiaalsed külvikud, mis sobivad harimata pinnasesse seemnete ja väetiste külviks. Taimekaitsevahendite valik on avardunud ja nad on muutunud keskkonnale vähem ohtlikeks. Nende käitlemise tehnika on täiustunud. Põllukultuuride viljelustehnoloogia muutmisel on üheks olulisemaks kriteeriumiks selle mõju saagile. Euroopa ja USA talunikest on peaaegu pooled väitnud, et pärast künnist loobumist on saagikus suurenenud.

Eestis, Kuusikul, pikaajalises külvikorra katses on võrreldud kahekümne aasta jooksul nii künniga kui ka künnita mullaharimise mõju põllukultuuride saagile. Need katsed on näidanud, et künnist loobumine pole usutavalt vähendanud ei taliteravilja (tabel 1) ega ka keskvalmiva odra (tabel 2) teradesaaki. Varajase odra, mille eelviljaks oli keskvalmiv oder, usutavat saagi langust võis täheldada ainult mineraalväetistega väetamisel (tabel 3). Kui aga mineraalväetistele lisaks sai põllule tagastatud ka eelvilja põhk, mille lagundamise soodustamiseks anti ka mineraalset lämmastikku (7 kg ammooniumnitraati tonni põhu kohta), polnud saagilangus usutav. Tavapärasest sügavam künd ei mõjutanud ei taliviljade ega ka otrade saaki usutavalt. Katsed näitasid aga seda, et künnist loobumine nõuab tugevat taimekaitset. Võrreldes künniga, vähenes pindmises mullaharimisel monokultuurse odra saaki pestitsiidide foonil 16,4-23,6%. Pestitsiidide kasutamisel olulist saagikuse erinevust ei olnud (tabel 4). Rähksel liivsavimullal (huumusesisaldus 3,2%) mõjutasid odrasaagi kujunemist umbrohtudest tugevamini taimehaigused. Kuivendatud gleisaviliivmullal (huumusesisaldus 4,3%) aga umbrohud. Rähksel liivsavimullal suurendas pestitsiidide kasutamine monokultuurse odra saaki künnipõhises mullaharimisel 290 kg ha⁻¹ ehk 8,8% ja pindmises mullaharimisel 570 kg ha⁻¹ ehk 20,3%. Kuivendatud gleisaviliivmullal aga vastavalt 490 kg ha⁻¹ ehk 15,2% ja 680 kg hektarilt ehk 23,8%. Rähksel liivsavimullal toimusid pestitsiididest efektiivsemalt fungitsiidid ja kuivendatud gleisaviliivmullal herbitsiidid (joonis 1).

Haigustest esines nii äärislaiksust (*Rhynchosporium secalis*), võrklaiksust (*Pyrenophora tere f. sp. teres*) kui ka kõrreliste juuremädanikku (*Graeumannomyces graminis*).

Minimeeritud mullaharimisel oli umbrohtude koosluses rohkesti virna (*Galium aparine* L.). Välja löi see umbrohi varajase odra väljal, millele oli tehtud ristiku timuti segu allakülv. Umbrohtõrjeks kasutati sellel väljal MCPA-d (1 l ha⁻¹), mis virna ei hävitanud. Virna efektiivselt tõrjuvaid preparaate aga antud väljal ristiku allakülvi tõttu kasutada ei saanud. Odra koristamisel sattusid virna seemned mullapinnale, kus nad püsisid eluvõimelisena kogu põldheina kasvuaja (kaks aastat). Seetõttu leidis põldheinale järgnenud talivilja otsekülvi variandis ka virna. Künnivariantides aga mitte.



Joonis 1. Taimekaitse mõju monokultuurse odra teradesaagile erineval mullaharimisel.
H – herbitsiid; F – fungitsiid

Tabel 1. Viljelemisviisi mõju taliteravilja saagile liivsavimullal (1989-2010)

Mullaharimine	Väetamine	Saak, t ha ⁻¹	Saak võrreldes tavakünniga	
			t ha ⁻¹	%
Tavakünn 22-25 cm	NPK	4,76	-	-
	NPK + sõnnik	5,02	-	-
Sügavkünn 33-35 cm	NPK	4,68	-0,08	-1,7
	NPK + sõnnik	5,17	0,15	3,0
Otsekülv	NPK	4,72	-0,04	-0,8
	NPK + sõnnik	4,95	-0,07	-1,4

Tabel 2. Viljelemisviisi mõju keskvalmiva odra saagile liivsavimullal (1989-2010)

Mullaharimine	Väetamine	Saak, t ha ⁻¹	Saak võrreldes tavakünniga	
			t ha ⁻¹	%
Tavakünn 22-25 cm	NPK	4,45	-	-
	NPK + sõnnik.	4,78	-	-
Sügavkünn 33-35 cm	NPK	4,61	0,16	3,6
	NPK + sõnnik	4,88	0,10	2,1
Pindmine mullaharimine 8-10 cm	NPK	4,31	-0,14	-3,1
	NPK + sõnnik	4,71	-0,07	-1,5

Tabel 3. Viljelusviisi mõju varajase odra saagile liivsavimullal (1989-2010)

Mullaharimine	Väetamine	Saak, t ha ⁻¹	Saak võrreldes tavakünniga	
			t ha ⁻¹	%
Tavakünd 22-25 cm	NPK	3,38	-	-
	NPK + põhk	3,89	-	-
Sügavkünn 33-35 cm	NPK	3,47	0,09	2,7
	NPK + põhk	3,90	0,01	0,3
Pindmine mullaharimine 8-10 cm	NPK	3,05	-0,33	-9,8
	NPK + põhk	3,79	-0,10	-2,5

Künnist loobumine on positiivselt mõjunud ka mulla elustikule. Mullas on suurenenud vihmausside ja entomofaagide arvukus. Kuid taimekasvatatajale sõbralike organismide kõrval on minimeeritud mullaharimisel leidnud mullas ka sobiliku keskkonna kahjurid, mis kahjustavad kultuurtaimi. Nendeks on nälkjad (*Agriolimax agrestis*) ja ka naksurlaste (*Elateridae*) vastsed traatussid. Esimesed kahjustavad taimede tõusmeid, tegutsedes öösel ja teised aga taimede juuri, idanevaid seemneid ning juurvilju. Seda põllumees ei soovi, sest nende tekitatud kahju kultuurtaimedele võib olla küllalt suur.

Tabel 4. Viljelemisviisi mõju monokultuurse odra saagile (1990-2010)

Mullaharimine	Väetamine	Saak, t ha ⁻¹	Pindmise mullaharimise mõju	
			t ha ⁻¹	%
Pestitsiidideta foonil				
Künd 22-25 cm	NPK	4,21	-	-
	NPK + vedelsõnnik	5,16	-	-
Pindmine mullaharimine 8-10 cm	NPK	3,52	-0,69	-16,4
	NPK + vedelsõnnik	3,94	-1,22	-23,6
Pestitsiidide foonil				
Künd 22-25 cm	NPK	4,39	-	-
	NPK + vedelsõnnik	5,36	-	-
Pindmine mullaharimine 8-10 cm	NPK	4,32	-0,09	-1,6
	NPK + vedelsõnnik	5,18	-0,18	-3,4

Künnist loobumise peamiseks motiiviks peetakse aga tööaja ja mootorikütuse kokkuhoidu. Mõõtmised näitasid, et otsekülvil ja pindmisel mullaharimisel (minimeeritud mullaharimisel) oli mootorikütuse kulu tavakünnist 37,9-55,8% ja sügavkünnist 54,7–71% väiksem (tabel 5.).

Tabel 5. Kulud mootorikütusele erinevate tehnoloogiate korral

Kultuur	Mootorikütust, l ha ⁻¹			Mootorikütuse maksumus, € ha ⁻¹		
	M2	M3	M1	M2	M3	M1
Taliteravili	23,5	32,0	14,6	16,8	22,9	10,5
Keskvalmiv oder	14,1	24,8	7,2	10,1	17,8	5,2
Varajane oder	16,3	24,8	7,2	11,7	17,8	5,2

M1 - talivili otsekülv, oder minimeeritud mullaharimine;

M2 – künd 22-25 cm;

M3 – künd 33-35 cm.

Erimärgistusega mootorikütuse hind käibemaksuta 0,717 € l⁻¹

Künnist loobumine tähendab ka seda, et põllukultuuride viljelemisel saab hakkama vähema masinapargiga. Taliteraviljade erinevate viljelemistehnoloogia töödest, masinatest ja kuludest annab ülevaate tabel 6, kus taliteravilja eelviljaks oli teise kasutusaasta põldhein. Toodud andmed annavad ülevaate kasutatud traktori võimsusest, agregaadil töölaiusest, mullaharimise sügavusest, kordade arvust ning tööde maksumusest. Otsekülvil on külvielse töö hulka võetud ka herbitsiidi pritsimisele tehtavad kulutused. Tabelis toodud andmetest nähtub, et talivilja viljelemisel otsekülvil on kulud 4,77–5,17 korda väiksemad kui künnipõhisel viljelemisel.

Tabel 6. Tööde loetelu, traktori võimsus, agregaadil töölaius ja töö maksumus taliteravilja erineval viljelemisel

Tööd	M1		M2		M3	
	Agregaat	Kulu, € ha ⁻¹	Agregaat	Kulu, € ha ⁻¹	Agregaat	Kulu, € ha ⁻¹
Koorimine	-		165 kW; 6m; 8-10 cm 2x	36	165 kW; 6m; 8-10 cm 2x	36
Kündmine	-		165 kW; 5 sahka; 22-25 cm	59	165 kW; 5 sahka; 33-35 cm	71
Kultiveerimine	-		165 kW; 7,5 m; 7-8 cm 2x	48	165 kW; 7,5 m; 7-8 cm 2x	48
Pritsimine	165 kW; 2700 l; 24 m	11	-			
Roundup Gold	2,5 l ha ⁻¹	19	-			
KULUD KOKKU:		30		143		155

M1 – otsekülv;

M2 – kündmine 22-25 cm;

M3 – kündmine 33-35 cm.

Praktikas on levinud veel variant, kus Roundup´iga pritsitakse ka enne kündi. Tülikate umbrohtude esinemisel on see väga oluline ja vajalik töö. Roundup´iga pritsimine tõstab aga künnipõhise tehnoloogia kulusid keskmiselt 20%.

Ka odra künnipõhisel viljelemisel jäid kulud talivilja viljelemisega samale tasemele (tabel 7). Vaatamata sellele, et otsekülv sai asendatud pindmise mullaharimisega, jäid sellisel odra kasvatamisel kulud hektarile künnipõhise viljelemise kuludest 1,7–1,85 korda väiksemaks.

Antud analüüs toob ära ainult teraviljade külvil eel tehtavate kulude suuruse. Kogu viljeluskulude väljatoomiseks tuleb nendele lisada ka mullaharimisele järgnevate masinatööde, väetamis- ja taimekaitsetööde ning muude tööde kulud. Toodud uurimistöös oli mullaharimisele järgnevad tööd kõikides variantides täiesti sarnased, sest kasutati samu masinaid, külviseärasid, taimekaitsepreparaate jt. tarvikuid.

Tabel 7. Tööde loetelu, traktori võimsus, agregaadilise töölaia ja töö maksumus odra erineval viljelemisel.

Tööd	M1		M2		M3	
	Agregaat	Kulu, €/ha	Agregaat	Kulu, €/ha	Agregaat	Kulu, €/ha
Koorimine	165 kW; 6m; 8-10 cm 2x	36	165 kW; 6m; 8-10 cm 2x	36	165 kW; 6m; 8-10 cm 2x	36
Kündmine	-		165 kW; 5 sahka; 22-25 cm	59	165 kW; 5 sahka; 33-35 cm	71
Kultiveerimine	165 kW; 7,5 m; 7-8 cm 2x	48	165 kW; 7,5 m; 7-8 cm 2x	48	165 kW; 7,5 m; 7-8 cm 2x	48
KULUD KOKKU:		84		143		155

M1 – pindmine mullaharimine 8-10 cm; M2 – kündmine 22-25 cm;

M3 – kündmine 33-35 cm

Kokkuvõtteks

Pikaajalisest uurimistööst (1989- 2010) selgus, et erinev mullaharimine mõjutas nii talivilja kui ka suviteravilja (odra) saaki vähe. Otsekülvil ja pindmises mullaharimisel (8 -10 cm) olid saagid samal tasemel kui künnipõhises mullaharimisel. Kulud mullaharimisele erinesid aga oluliselt. Võrreldes künnipõhise viljelemisega, olid talivilja otsekülvil kulud ligi viis korda väiksemad. Odra kasvatamine pindmise mullaharimise foonil oli künnipõhisest kasvatamisest keskmiselt 1,8 korda odavam.

Teravilja kasvatamine sügavkünni foonil (33 – 35 cm) ei ole majanduslikult otstarbekas.

Mullaharimise intensiivsuse mõju monokultuurse odra saagile sõltus pestitsiidide kasutamisest. Kui pestitsiide ei kasutatud, vähenes pindmises mullaharimisel, võrreldes künniga, odra saak väetisfoonide keskmisena 20%.

Katsed näitasid ka seda, et mida efektiivsem on väetamine (mineraal- ja orgaaniliste väetiste kooskasutamine) ja taimekaitse, seda majanduslikult tasuvam on pindmine mullaharimine ja otsekülv.

UUENDUSLIKUD TEHNOLOOGILISED VÕTTED TAIMEKASVATUSES

Eestis on põllukultuuride kasvatamine valdavalt rajanenud intensiivsele mullaharimisele (seda nimetatakse ka traditsiooniliseks ehk künnipõhiseks mullaharimiseks), kus põhitöödeks on kündmine ja künnijärgne korduv pindmine mullaharimine. Taoline tehnoloogia on operatsiooniderohke, nõuab palju mootorikütust ja tööaega, aga ka tööjõudu. Pealegi ei ole intensiivne harimine kaugeltki mulla- ega ka keskkonnasõbralik. Ressursside, eriti mootorikütuse kallinemine ja keskkonnanõuete karmistumine on sundinud põllumehi otsima säästlikumaid viljelustehnoloogiaid. Üheks lahendiks on mullaharimise intensiivsuse vähendamine või sellest loobumine ehk nn otsekülvi eelnevalt harimata mulda. Uute tehnoloogiate evitamisel on oluline küsimus kuidas saada võitu umbrohtudest. Sellele probleemile saadi vastus, kui 1960. a kompanii Chemical Industries Ltd (tänapäeval Syngenta) hakkas tootma herbitsiide parakvat ja dikvat. Peagi lisandus veelgi efektiivsem ja keskkonnale vähem ohtlik kompanii Monsanto herbitsiid roundup. Hiljem lisandusid teiste kompaniide herbitsiidid glüfosaat trimesium (Touchdown) ja glüfosinaat ammoonium (Buster). See andis kiire tõuke adrata viljelustehnoloogiate levikule maailmas. Eestis tehti esimesed adrata põllukultuuride kasvatamise tootmiskatsed 1984. a Kuusikul. Varajase odra kõrde külvati külvikuga Juko 4030 talirukis. Samal aja rajati ka statsionaarsed põldkatsed - algul kuivendatud gleisaviliivmullale ja mõni aasta hiljem ka rähksele liivsavimullale. Viimased on kestnud tänaseni. Kaheksakümnendate aastate algul viidi ka Simuna katsejaamas läbi esimesed otsekülvi katsed. Tootmisüksustes hakkas adrata viljelus levima üheksakümnendate aastate keskel. Enam kasutati seda moodust taliviljade kasvatamisel. Kahel viimasel aastal on juba 70-75% taliviljast kasvatatud kas minimeeritud või otsekülvi tehnoloogiaga.

Teine uudne aspekt põllumajanduses tuleneb loomakasvatusest. Uutes kaasaegsetes loomalaudades on kõrvaltoodanguks vedelsõnnik. Selle käitlemist, eriti minimeeritud ja otsekülvi tehnoloogiates, on vähe uuritud. Viimasel paaril aastal on ka selle valdkonna uurimistöö tõhustunud. Erinevates mullastiku valdkondades on rajatud nii statsionaarseid kui ka tootmistehnoloogilisi katseid. Tootmistehnoloogiliste katsete läbiviimine on andnud teavet vedelsõnniku väetusomaduste ja käitlusagregaatide töösobivuse kohta. Uurimistöö tulemusena on saadud andmeid erinevate tehnoloogiate mõjust mullale, põllukultuuride saagile ja kvaliteedile ning ressursside kulule tootmistingimustes. Seoses ressursside (eriti mineraalväetiste) kallinemisega suureneb kompleksuringute vajadus lähiaastatel veelgi.

Uutele tehnoloogilistele viljelusvõtetele üleminekul tuleb endale selgeks teha, miks on seda vaja ja milline lahendus valida. Seega tuleb selgeks teha nii poolt- kui ka vastuargumendid. Läh-tealuseks võib välja pakkuda raamatus „No-tillage Seeding in Conservation Agriculture”, 1996. a toodud argumendid.

Minimeeritud mullaharimisele või otsekülvile ülemineku positiivsed momendid, võrreldes künnipõhise tehnoloogiaga, on:

- energeetiliste ressursside kokkuhoid;
- tööaja kokkuhoid - vähem tööoperatsioone;
- tööjõu kokkuhoid;
- paindlikkus kultuuride valikul;
- mulla orgaanilise aine suurenemine;
- mulla lämmastikuaru suurenemine;
- mulla struktuursuse säilimine;

- mulla elustiku säilimine;
- mulla aeratsiooni paranemine;
- mulla veeläbilaskvuse paranemine;
- erosiooni vähenemine;
 - mulla veevaru säilimine;
 - vihmutusvajaduse vähenemine;
 - mulla temperatuurirežiimi ühtlustamine;
 - umbrohtude tärkamise vähenemine;
 - muldade masinkandvuse paranemine;
 - üldkulude vähenemine;
 - tööjõu kvalifikatsiooni väiksem osatähtsus;
 - enam jääb aega juhtimistegevusele ja puhkusele;

Puudused, võrreldes künnipõhise tehnoloogiaga, on:

- saagi vähenemise risk;
- traktorite suurem võimsustarve;
- uue tehnika vajadus;
- uued probleemid haiguste ja kahjuritega;
- põldude ebatasasuse suurenemine;
- muldade tihenemine;
- väetiste muldaviimise probleemid;
- pestitsiidide muldaviimise probleemid;
- taimede juurekava muutumine;
- lämmastikutoitumise muutumine;
- kemikaalide kasutamisega seotud probleemid;
- umbrohtude koosluse muutumine;
- fosforitoitumise halvenemine;
- uute teadmiste vajadus;
- agregaatide valik;
- teadmiste kättesaadavus;
- põldude väljanägemine.

Minimeeritud mullaharimisele üleminekul soovitatakse arvestada ka mõjude iseloomuga. Paljude võtete mõju on aja jooksul tugevnev. Näiteks paraneb mulla struktuursus ja suureneb vihmausside arvukus, kulud aga näitavad languse trendi (joonis 1).

Mulla lasuvustihedus

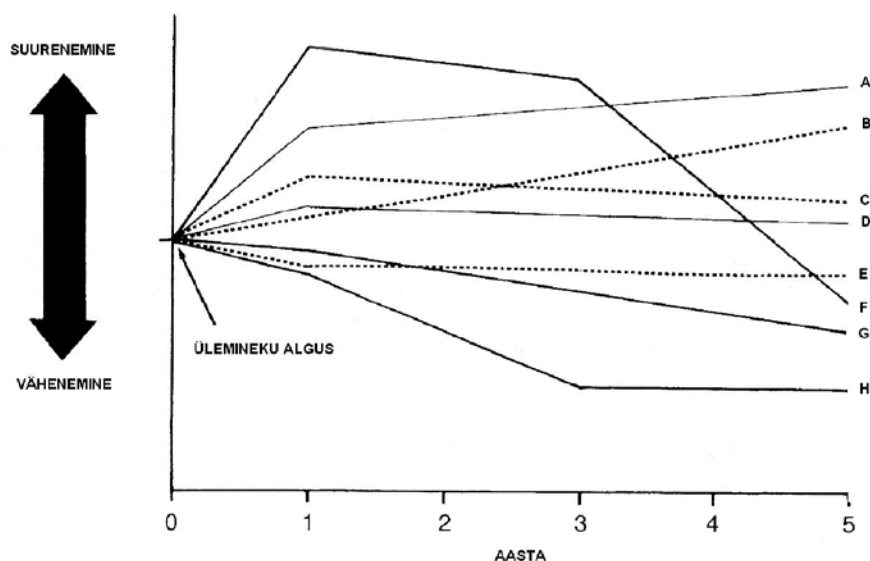
Mulla lasuvustihedus on üks olulisemaid mulla viljakust iseloomustavaid näitajaid, sest selle muutumine mõjutab peaaegu kõiki mulla omadusi ja taimede kasvutingimusi nii huumushorisondis kui ka sellest sügavamal. Põllukultuuride saagikuse ja mulla lasuvustiheduse vahelise seose analüüs on näidanud, et optimaalseks lasuvustiheduseks on 1,20-1,35 Mg m⁻³. Lasuvustihedust 1,35-1,50 Mg m⁻³ loetakse taimede kasvule eelkriitiliseks. Sellest suuremat aga kriitiliseks. Mulla tihenemine sõltub suurel määral harimisviisist. Küllalt tavaline on igal aastal sama sügavalt küntud kõlvikutel allpool künnikihti 20-25 cm sügavusel horisontaalse tihenemise kihi tekkimine. Sageli on see mullakiht taimejuurtele läbimatu. Sügavama juurekavaga sammasjuureliste taimede juured, jõudes taolise tiheseni, hakkavad levima horisontaalselt. Tavaliselt tuleb tihenemise kihi likvideerimiseks kasutada spetsiaalseid kobestusriistu või atru, mille sahkade külge on monteeritud nn.

vaopõhja kobestid. Tihese iseeneselikku likvideerumist on täheldatud mulla külmumise-sulamise või märgumise-läbikuivamise tsüklite vaheldumisel. Tihes pärsib ka vee liikumist mullas. Suurte sadude korral küllastub tihesepealne mullakiht veega. Tema filtratsioon sügavamale on aeglane. Vesi tõrjub mullast õhu välja ja taimed võivad jääda lühemaks või pikemaks ajaks anaeroobsetesse kasvuoludesse. Tekkivad toksilised raua ja alumiiniumi ühendid, mis on paljudele taimedele mürgised. Liigveest tingituna väheneb muldade kandevõime. Väga selgelt oli seda märgata käesoleva aasta koristusajal künnipõhistel tehnoloogiatel. Kergatrade kasutamisel on tihes oluliselt mullapinnale lähemal (15-18 cm sügavusel). Selle tõttu on ka tihesepealse mullakihi veemahutavus väike. Seega muldade kandevõime on veelgi väiksem kui tavasügavusega küntud aladel. Tihes pärsib ka kapillaarvee liikumist mullas takistades selle tõusu sügavamatest kihtidest ülemistesse. Tihes pärsib ka taimede juurekava arengut.

Mullaharimise intensiivsuse mõju uurimisel liivsavimullal oli kultuuride järjestus külvikorras selline: taliteravili, kartul, oder, oder (ristiku ja timuti segu allakülv), põldhein, põldhein.

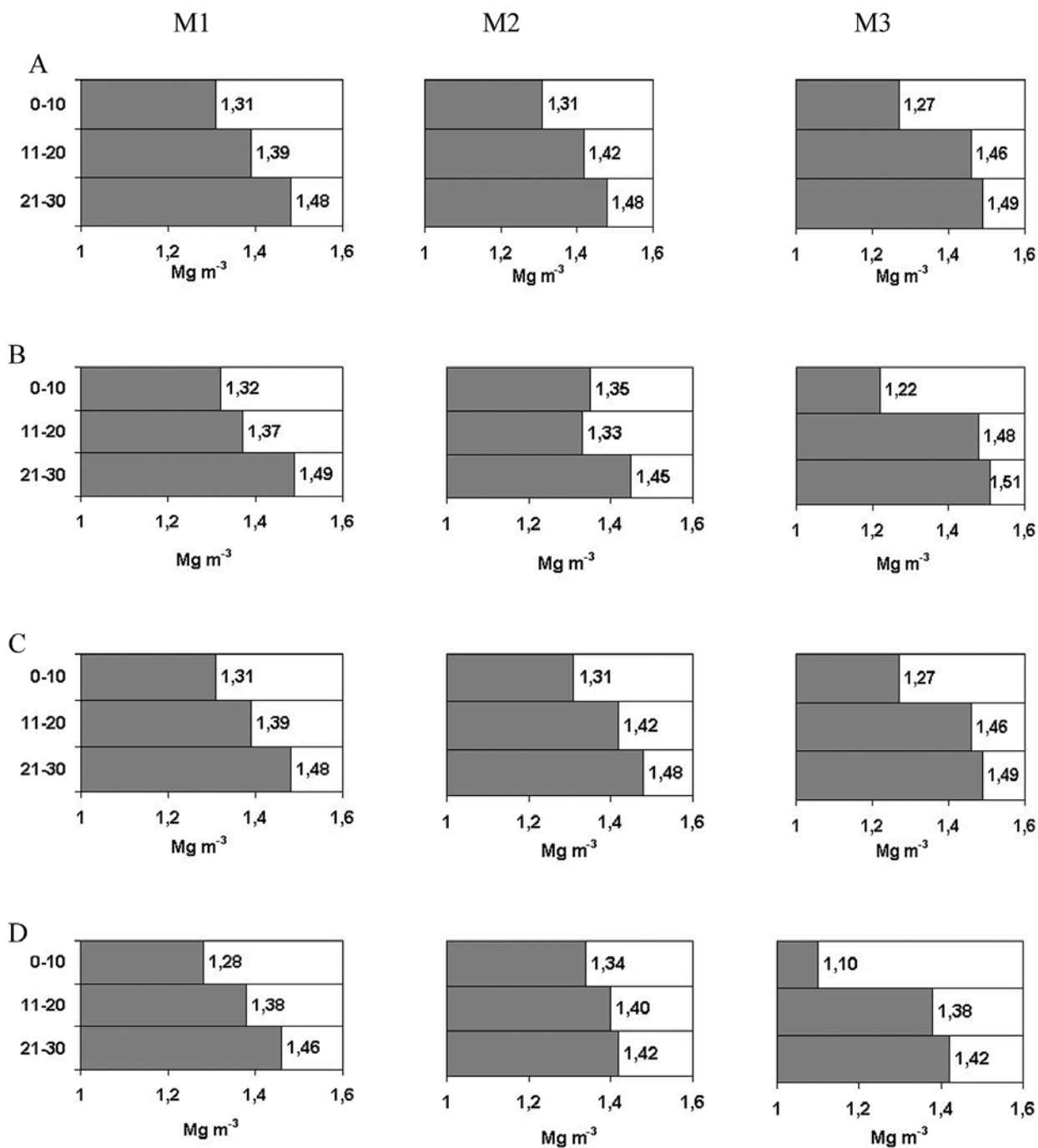
Harimisvariandid olid järgmised: kündmine 22-25 cm – M1, kündmine 33-35 cm – M2, ja pindmine 0-18 cm mulla kobestamine (kartuli väljal 15-18 cm, talivilja väljal otsekülv, otrade väljal 8-10 cm) – M3.

Selgus, et mulla lasuvustihedus sõltus harimise sügavusest, üheksateistkümnenda katseaasta lõpuks kujunenud muldade lasuvustihedusest annavad ülevaate joonis 2 ja tabel 1. Nendest andmetest nähtub, et minimeeritud harimise variandis oli pindmine 10 cm mullakiht kobedam kui teistes variantides. Sügavamates kihtides aga mõnevõrra tihenenum kui künnivariantides. Kõikide mullaharimise variantide sügavamate mullakihtide lasuvustihedus oli eelkriitilisele piiri lähedane. Kahekümnenda katseaasta lõpuks, pärast erakordset sooja talve ja vihmast sügist, oli mulla lasuvustihedus ligilähedane eelnevale.



Joonis 1. Minimeeritud mullaharimisele üleminekumõjude trendid (Caster, 1994)

- A – vihmausside arvukus,
- B – mullastruktuuri paremine,
- C – taimekahjurite arvukus,
- D – väetiste vajadus,
- E – saagikus,
- F – seemnekulu,
- G – üldkulud,
- H – masinakulud.



Joonis 2. Erineva mullaharimise mõju liivsavimulla lasuvustihedusele.

A – põldhein II

B – talinisu pärast koristamist

C – oder I

D – talinisu uuskülv sügisel

Tabel 1. Mulla lasuvustihedus (Mg m^{-3}) viljavaheldusliku külvikorra katses 2008. a (pärast saagikoristamist)

Kultuur	Horisont, cm	Mullaharimise variant		
		M1	M2	M3
Talinisu	0-10	1,27	1,34	1,22
	11-20	1,39	1,46	1,48
	21-30	1,49	1,40	1,51
Pöldhein II	0-10	1,35	1,34	1,30
	11-20	1,37	1,35	1,40
	21-30	1,46	1,39	1,46
Oder I	0-10	1,31	1,31	1,27
	11-20	1,39	1,42	1,46
	21-30	1,48	1,48	1,49

Sügisesed sajud tihendasid mulda erinevalt (tabel 2). Küntud variantide muld tihenes eelkriitilise piiri lähedaseks. Suurte vihmahogude järel oli muld veega küllastunud, pinnal olid veeloigud. Otsekülvi variandis, mille pindmise 0-10 cm kihi lasuvustiheduseks mõõdeti $1,10 \text{ Mg m}^{-3}$, pinnavee loike ei täheldatud.

Tabel 2. Mulla lasuvustihedus (Mg m^{-3}) talinisu väljal pärast tugevaid vihmahogusid

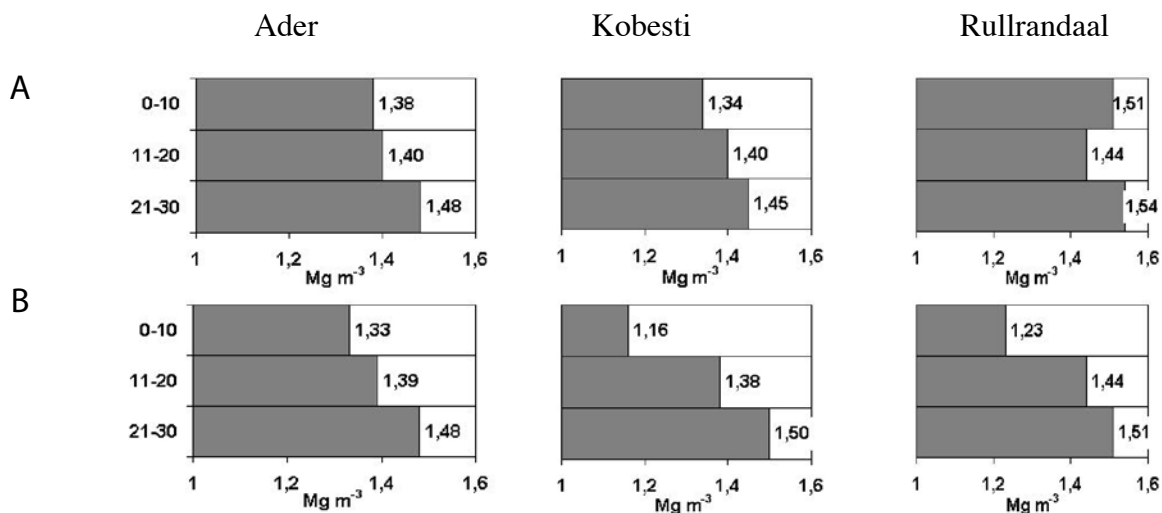
Horisont, cm	Mullaharimise variant		
	M1	M2	M3
0-10	1,34	1,34	1,10
11-20	1,38	1,40	1,38
21-30	1,46	1,42	1,42

Monokultuurse odra katses mõjutas kündmisest loobumine oluliselt tugevamini mulla lasuvustihedust kui viljavahelduslikus katses (joonis 3). Seitseteist aastat ainult pindmiselt haritud variandi 0-10 cm kihi muld tihenes eelkriitilise piirini. Küntud ja kobestatud variantides seda ei täheldatud. Vedelsõnnikuga väetamine (32 t ha^{-1} külvieelse mullaharimise alla) leevendas oluliselt pindmise mullaharimise mulda tihendavat mõju. Analoogne mõju avaldus ka teraviljade kuus aastat vahelduseta kasvatamise tootmistehnoloogilises otsekülvi katses.

Mulla huumusesisaldus

Muldade huumusesisaldust kui baromeetrit jälgides on võimalik saada teavet saavutamaks ökoloogiliselt õige, tasakaalustatud ja mulla viljakust säilitav maade kasutamine. Mulda akumuleerunud huumus (orgaaniline süsinik) täidab eelkõige mulla keskkonnatingimuste kujundaja, režiimide reguleerija ning puhverdusvõime kandja rolli. Tema sisaldust mullas saame mõjutada mitmete agrotehniliste võtete abil. Kasvatatavate kultuuride valiku ja väetamise kõrval on üheks olulisemaks mõjuriks ka mullaharimine.

Pikaajalisest uurimistööst selgus, et minimeeritud mullaharimine hoidis rähkse liivsavimulla huumusebilansi tasakaalus. Taheda sõnnikuga väetamine tagas aga positiivse huumusebilansi. Tahedat veisesõnnikut anti kuueväljalise külvikorra kahele kultuurile – taliviljale 20, 40 ja 60 t ha⁻¹ ning kartulile 40, 60 ja 80 t ha⁻¹. Ka tavapärane künd (22-25 cm) hoidis samal mullal huumusbilansi tasakaalus. Tahke sõnnikuga tugeval väetamisel (külvikorra välja kohta 16-24 t ha⁻¹) aga positiivse. Sügavkünni (33-35 cm) variandis oli sõnnikuta ja ka vähese sõnnikuga (külvikorravälja kohta 10 t hektarile) väetamisel huumusebilanss negatiivne. Positiivse bilansi tagas vaid taheda sõnnikuga tugev (23-24 t ha⁻¹) väetamine. Saviliivmulla viljavaheldusliku külvikorra huumusesisaldus vähenes aga kõikidel mullaharimise foonidel. Eriti tugev - 0,438 t ha⁻¹ kohta aastas oli huumusesisalduse vähenemine sügavkünni foonil. Tugev sõnnikuga väetamine (23-24 t ha⁻¹ aastas) hoidis huumusebilansi positiivsena minimeeritud mullaharimise ja tavapärase künni foonil, sügavkünni foonil aga mitte.

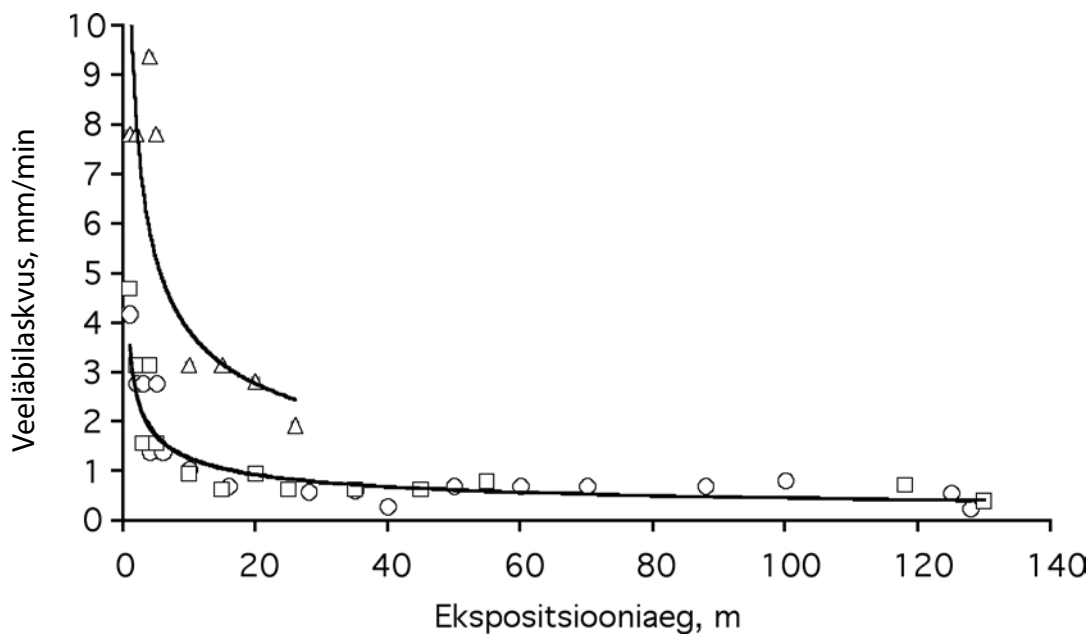


Joonis 3. Erineva mullaharimise mõju liivsavimulla lasuvustihedusele (17. katseaastal).
A – mineraalväetise foonil, B – mineraalväetise + vedelsõnniku foonil

Mulla veeläbilaskvus

Mulla veeläbilaskvus on mulla võime imada ja lasta endast vett läbi. See sõltub mulla mehaanilisest koostisest, struktuurist ja lasuvustihedusest ning niiskusesisaldusest. Vesi tungib mulda esmalt molekulaar- ja kapillaarjõudude mõjul. Edasi liigub gravitatsioonijõudude mõjul. Imendumise ajal on veeläbilaskvus suurim. Vastavalt mulla veega küllastumisele muutub see järjest väiksemaks. Muldade veeläbilaskvusest sõltub olulisel määral kultuuride viljelemiseks kasutatavate võtete kompleks. Läbiviidud katsetest selgus, et veeläbilaskvust mullas mõjutasid nii viljeldav kultuur kui ka mullaharimise intensiivsus. Veeläbilaskvus talivilja väljal, mille eelviljaks oli teise kasutusaasta põldhein, sõltus oluliselt mullaharimise intensiivsusest.

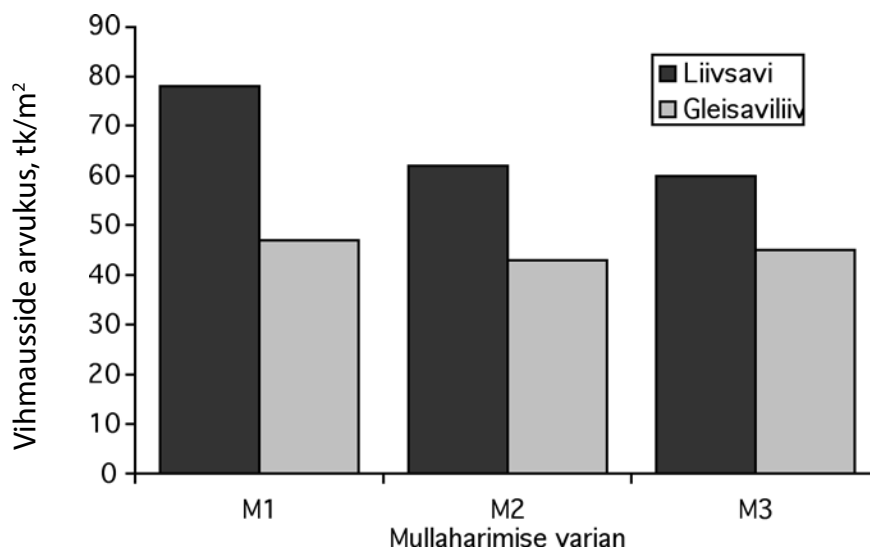
Nii filtreerus vesi (möötmistel oli veekoguseks 100 mm) enam kui viis korda kiiremini kui tavapärasel ja sügavkünnil (joonis 4). Filtratsioonikoefitsiendid olid vastavalt 3,57, 0,68 ja 0,77 minutis. Küntud variantide olulisemalt aeglasemat veeläbilaskvust võib mõjutada vaopõhja tihenenud muld, mis tavapärase künni variandis algas 20 cm ja sügavkünni variandis 30 cm sügavusest. Otsekülvi variandis selgepiirilisel väljakujunenud tihes puudus. Mullas oli rohkesti ka vihmausside käike. Taliviljale järgnenud kultuuride väljal oli veeläbilaskvus märgatavalt aeglasem.



Joonis 4. Mullaharimise intensiivsuse mõju liivsavimulla veeläbilaskvusele talirukkiväljal.
 Δ - minimeeritud mullaharimine, \circ - künd (22-25 cm), \square - künd (33-35 cm)

Mulla elustik

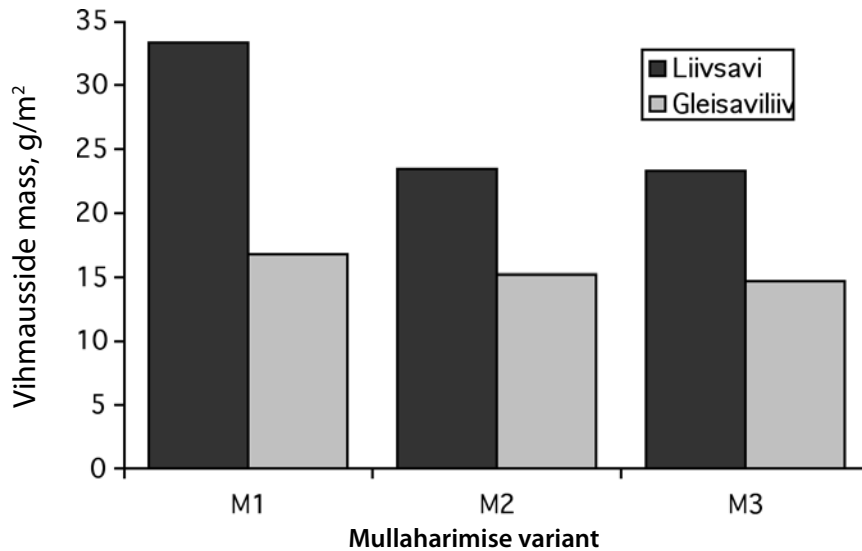
Mulla seisundi hindamisel ei piisa hinnangu andmisest ainult mulla füüsikalistele ja hüdroloogilistele omadustele. Arvestama peab ka mulla elustikuga, eeskätt vihmaussidega – nendel on mulviljakuse kujundamisel ja säilitamisel oluline osa. Taimset materjali ümber töötades soodustavad nad huumuse moodustumist **ja mulla rikastamist lämmastikuga.**



Joonis 5. Mullaharimise mõju vihmausside arvukusele.
M1 – minimeeritud harimine; M2 – künd 22-25 cm; M3 – künd 30-33 cm

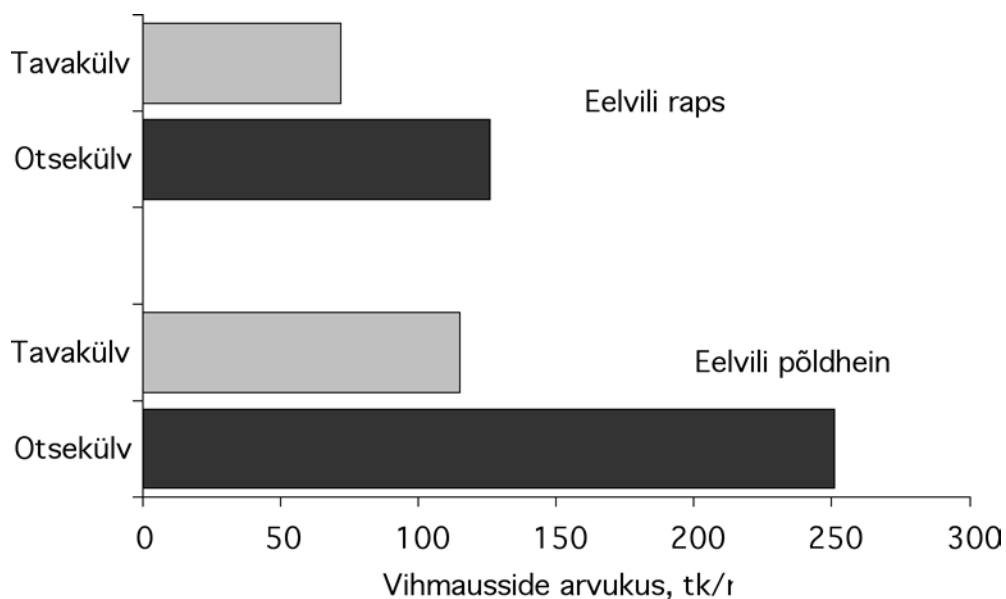
Nende intensiivse elutegevuse tulemusena on täheldatud paljude kultuuride saagikuse suurenemist. Igasugune põllumajanduslik tegevus võib suuremal või vähemal määral mõjutada kogu mulla elustikku. Tugevat mõju vihmausside elutegevusele avaldavad mullaharimine, viljavaheldus, väetamine ja taimekaitse.

Mullaharimine mõjutab vihmausside arvukust mullas nii otseselt kui kaudselt. Suurt tähtsust omab mulla tihenemine. Senised katsed on näidanud, et mida intensiivsemalt mulda hariti, seda väiksem oli mullas nende arvukus (joonis 5) ja biomass (joonis 6). Kündmisel (aga ka külvieelsel mullaharimisel) tuuakse mullapinnale suur hulk vihmausse, kus nad sattuvad lindudele söödaks. Otsekülvil on nende mullapinnale toomine tagasihoidlik. Talinisu otsekülvil on mullas olnud 75-118% rohkem vihmausse kui künnipõhisel viljelemisel (joonis 7).



Joonis 6. Mullaharimise mõju vihmausside massile.

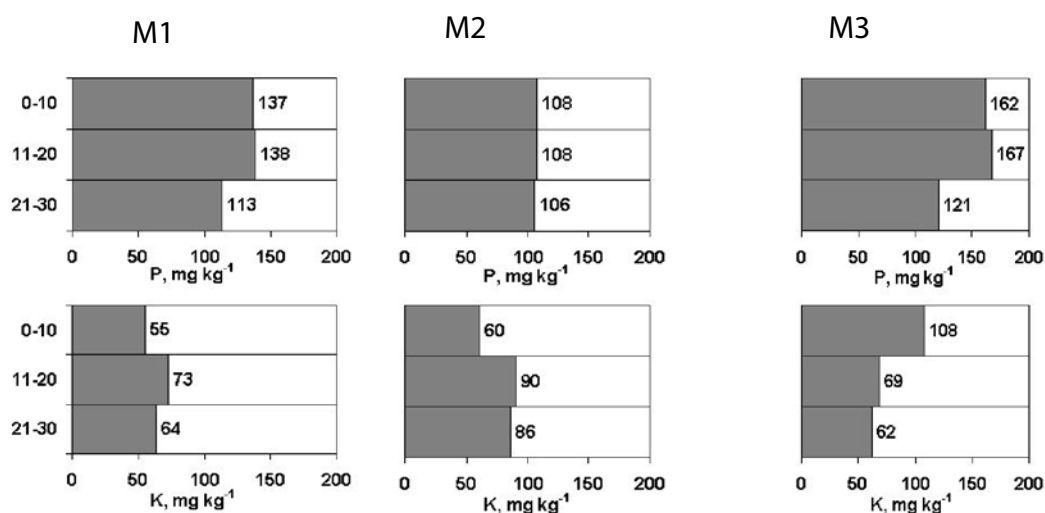
M1 – minimeeritud harimine; M2 – künd 22-25 cm; M3 – künd 30-33 cm



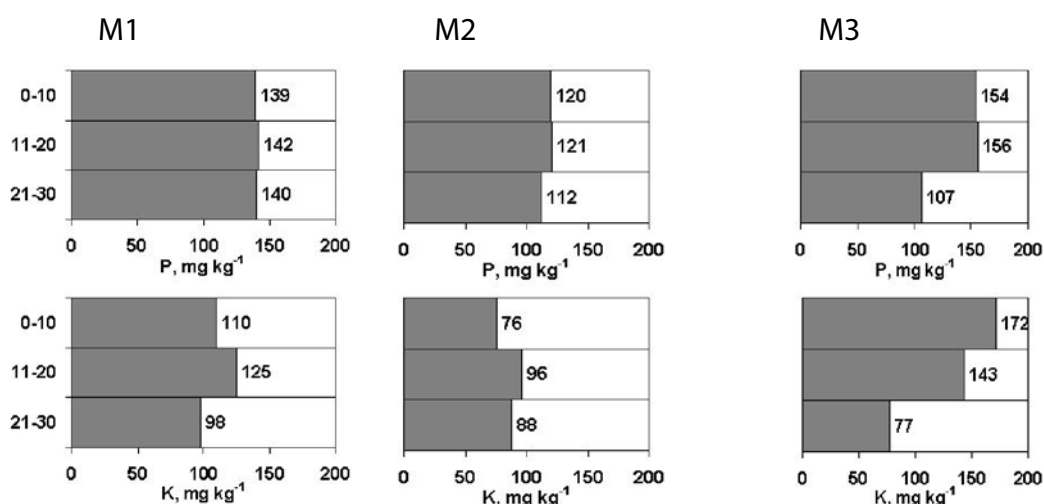
Joonis 7. Talinisu viljelusviisi mõju vihmausside arvukusele

Toitainete jaotumine mullas

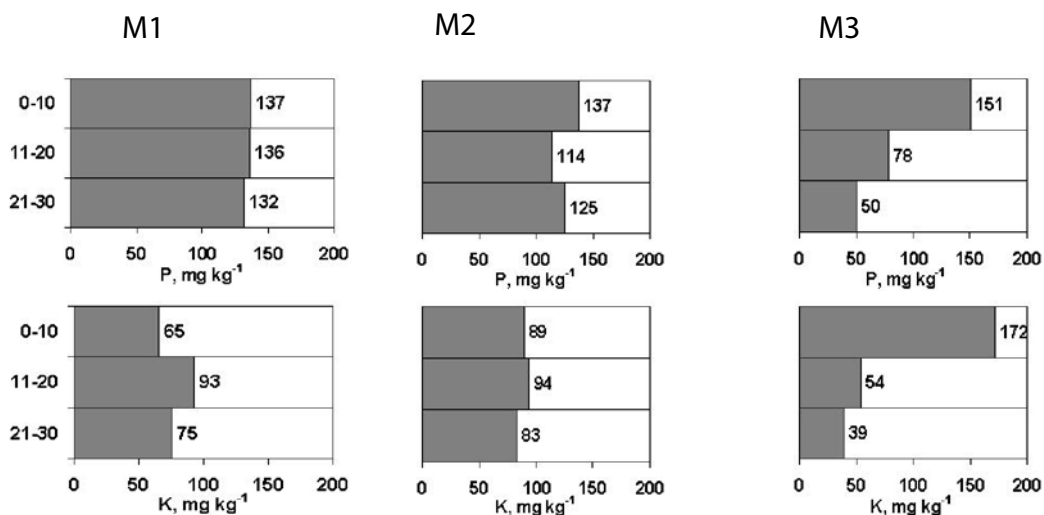
Taim vajab kasvamiseks ja arenemiseks päikeseenergiat, gaase, vett ning mineraalaineid. Katsetes uuriti erineva intensiivsusega mullaharimise mõju makro- ja mikroelementide jaotumisele mullas. Antud ülevaates esitatakse P, K, Cu, B ja Mn jaotumus viljavaheldusliku külvikorra rapsi ja odra väljadel üheksateistkümnennda katseaasta järel ja monokultuurse odrakatses seitsmeteistkümnennda katseaasta järel. Üldistavalt võib öelda, et pikaajalisel pindmisel mullaharimisel (0-18 cm) toimub mullaviljakuse vertikaalne diferentseerumine. Makroelementide (P ja K) sisaldus oli pindmise 0-10 cm mullakihis oluliselt kõrgem kui sügavamates mullakihtides (joonised 8-11). Künni variantides oli toitained jaotunud suhteliselt ühtlaselt kogu uuritud mullakihis. Monokultuurse odra katses oli pindmisel harimisel toitainete vertikaalne diferentseeritus veelgi suurem (joonised 12 ja 13). Makroelementide jaotumise kõrval võis selles katses täheldada ka mikroelementide jaotumise diferentseerumist (joonised 14 ja 15). Tootmistehnoloogilistes katsetes taolist toitainete diferentseeritust ei täheldatud (joonised 16-19). Ka kolm aastat kestnud tootmistehnoloogilises otsekülvi katses võis täheldada mullaviljakuse vertikaalset diferentseerumist (joonis 20).



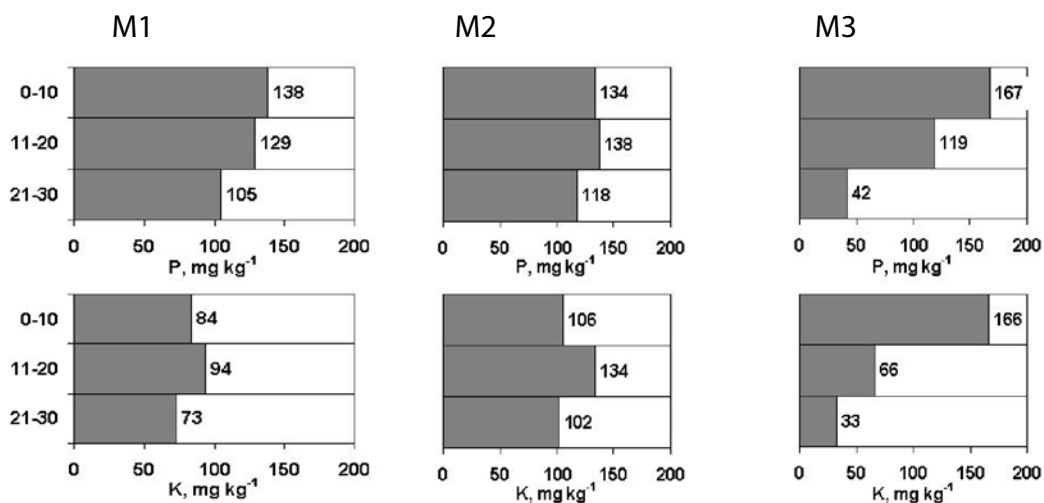
Joonis 8. Erineva mullaharimise mõju makroelementide jaotumisele mullas ilma eelvilja põhuta rapsiväljal



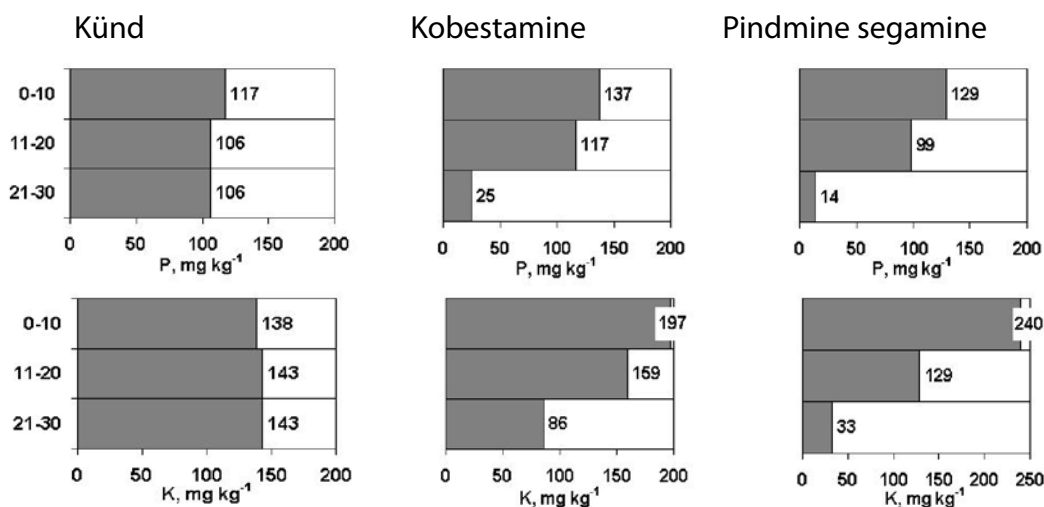
Joonis 9. Erineva mullaharimise mõju makroelementide jaotumisele mullas eelvilja põhuga rapsiväljal



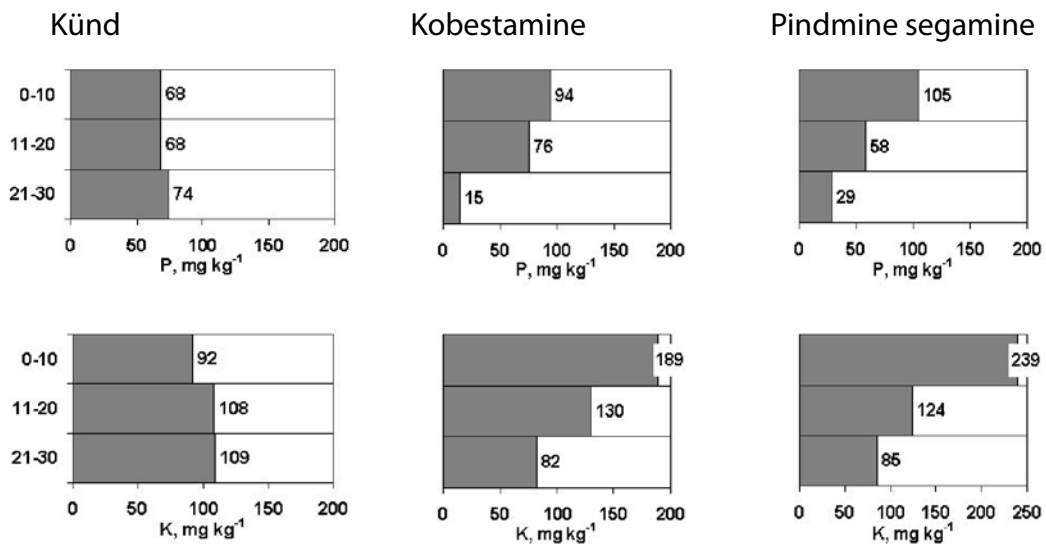
Joonis 10. Erineva mullaharimise mõju makroelementide jaotumisele mullas (ilma põhuta, oder II)



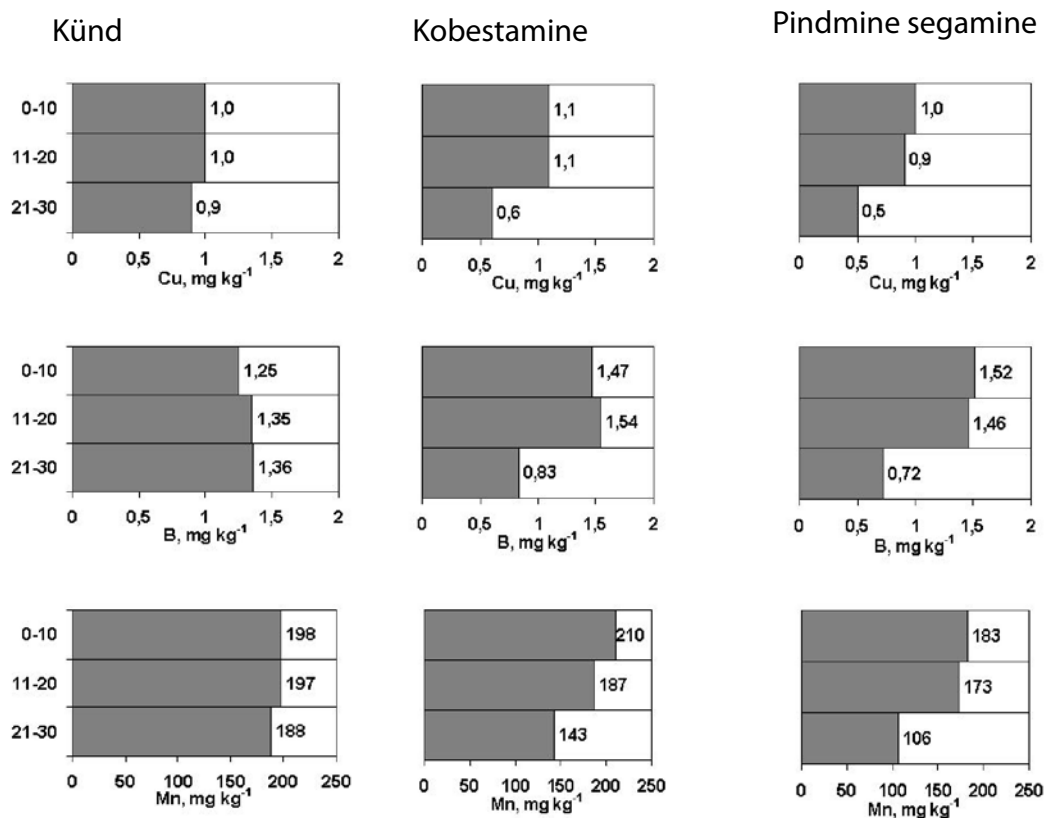
Joonis 11. Erineva mullaharimise mõju makroelementide jaotumisele mullas (põhu foonil, oder II)



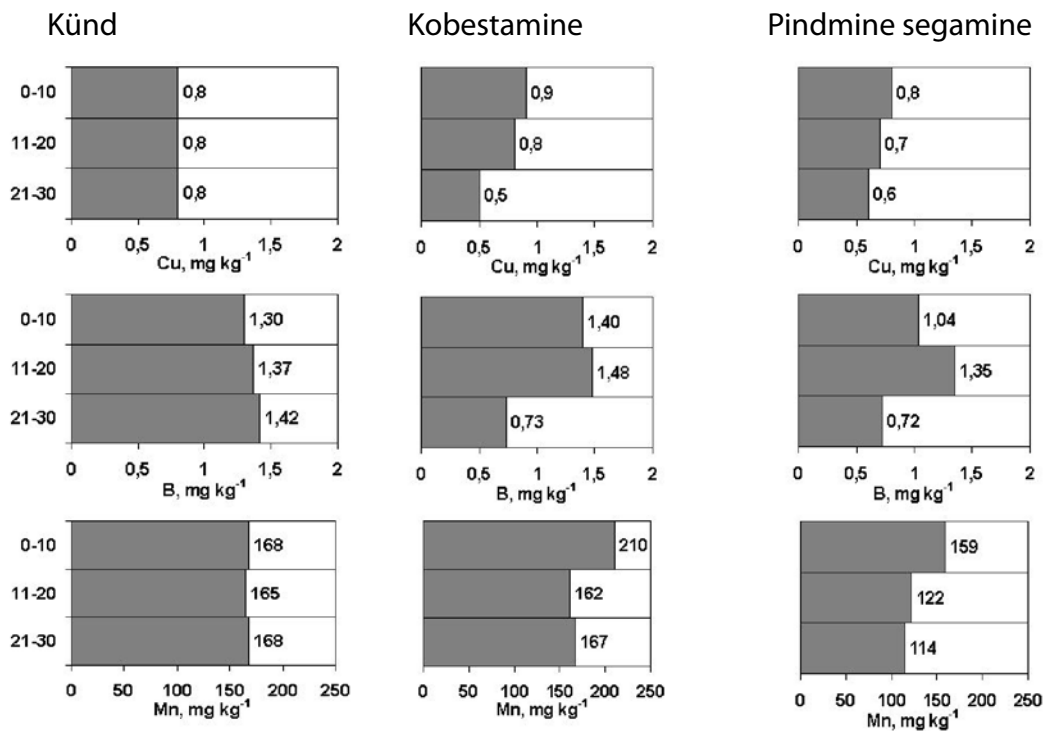
Joonis 12. Erineva mullaharimise mõju makroelementide jaotumisele mullas monokultuurse odra katses (pestitsiidideta foonil)



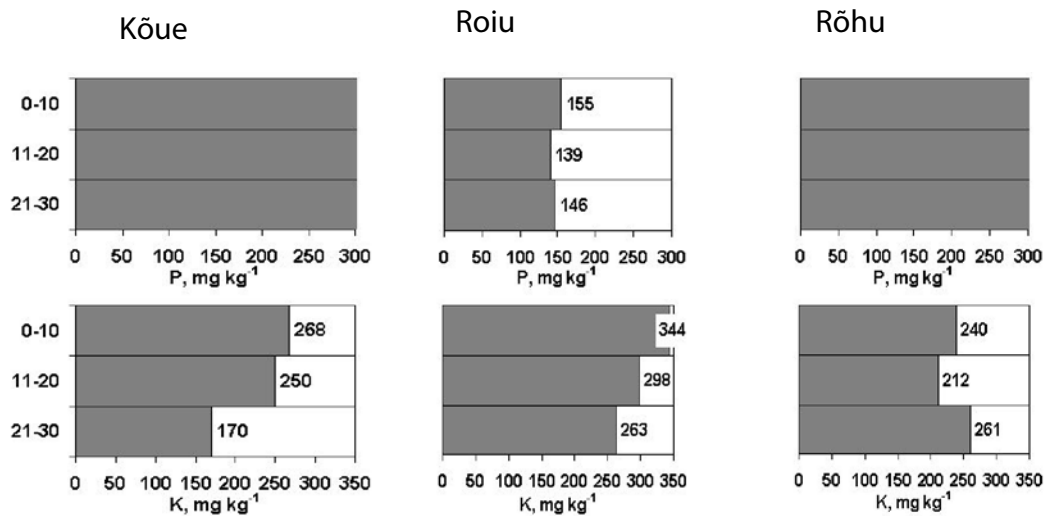
Joonis 13. Erineva mullaharimise mõju makroelementide jaotumisele mullas monokultuurse odra katses (pestitsiidide foonil)



Joonis 14. Erineva mullaharimise mõju mikroelementide jaotumisele mullas monokultuurse odra katses (pestitsiidideta foonil)

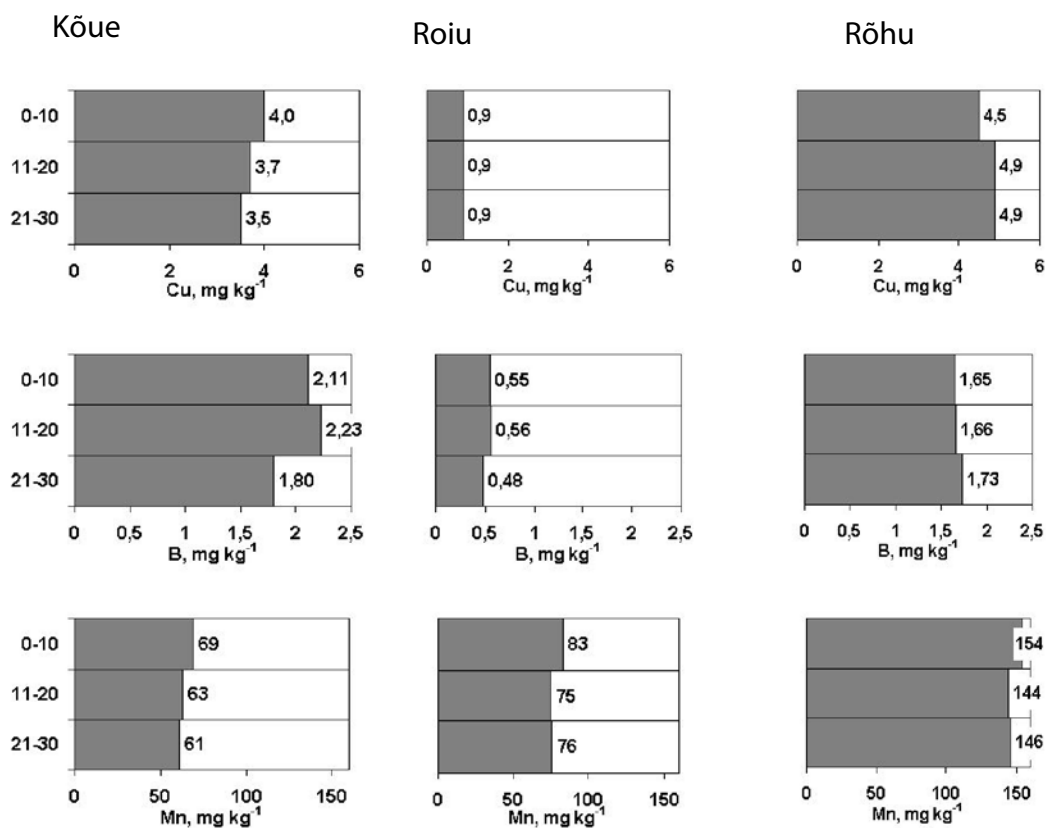


Joonis 15. Erineva mullaharimise mõju mikroelementide jaotumisele mullas monokultuurse odra katses (pestitsiidide foonil)



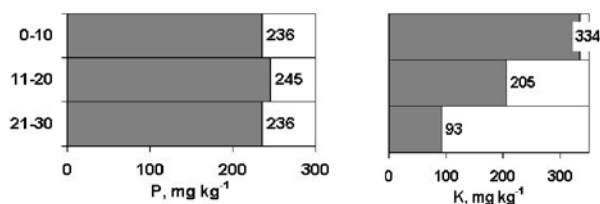
Joonis 16. Erineva mullaharimise mõju makroelementide jaotumisele tootmistehnoloogilises katses 2008. a

- Kõue - minimeeritud mullaharimine 7 aastat
- Roiu - minimeeritud mullaharimine üks aasta
- Rõhu - kündmine

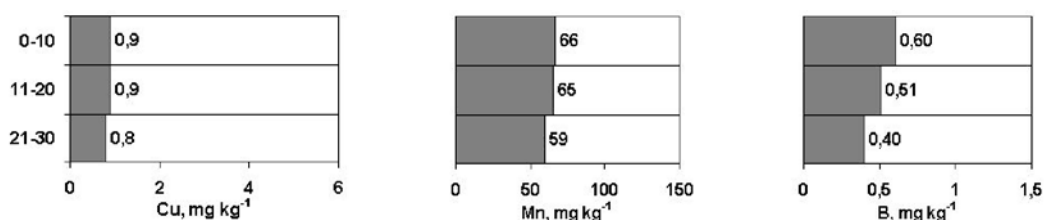


Joonis 17. Erineva mullaharimise mõju mikroelementide jaotumisele tootmistehnoloogilises katses 2008. a

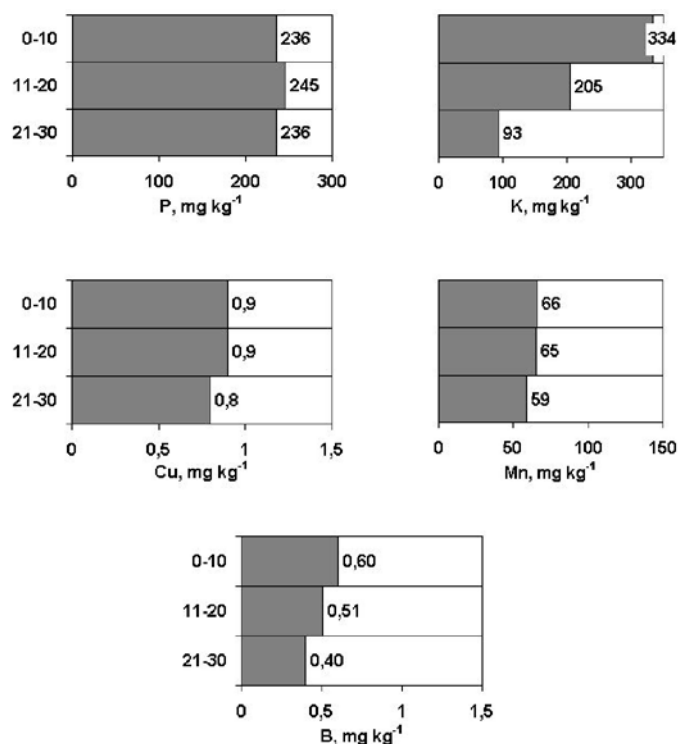
- Kõue - minimeeritud mullaharimine 7 aastat
- Roiu - minimeeritud mullaharimine üks aasta
- Rõhu - kündmine



Joonis 18. Minimeeritud mullaharimise mõju makroelementide jaotumisele mullas, taliraps (Rannu 2008. a)



Joonis 19. Minimeeritud mullaharimise mõju mikroelementide jaotumisele mullas, taliraps (Rannu 2008. a)



Joonis 20. Otsekülvi mõju toitainete jaotumisele mullas

Diferentseeritud mullaharimise mõju põllukultuuride saagile

Viljavahehelduslikus külvikorras uuriti erineva mullaharimise mõju põllukultuuride saagile nii mineraalväetiste ja ka mineraalväetiste + vedelsõnniku foonil. Väetamisvariantidest annab ülevaate tabel 3.

Ühes kuupmeetrises vedelsõnnikus oli toitaineid: N - 3,2 kg, P - 0,6 kg, K - 2,2 kg ja Mg - 0,4 kg. Vedelsõnnik anti lohisvoolikutega laoturiga. Talinisu ja põldheinte puhul jäi see mullapinnale, rapsi ja otrade puhul segati laotamise päeval (19.04) lausharimise kultivaatoriga 5-7 cm sügavusele mulda.

Tabel 3. Põllukultuuride väetamine viljavaheheldusliku külvikorra katses 2008. a

Kultuur	Mineraalväetis	Mineraalväetis + vedelsõnnik
Talinisu	400 kg ha ⁻¹ Axan Super (27 N-3,7 S – 0,9 Mn)	17 t ha ⁻¹
Suviraps	500 kg ha ⁻¹ (17-6-11 + S ja B)	17 t ha ⁻¹
Oder I	400 kg ha ⁻¹ (17-6-11 + S ja B)	17 t ha ⁻¹
Oder II	330 kg ha ⁻¹ (17-6-11 + S ja B)	17 t ha ⁻¹
Põldhein I	-	17 t ha ⁻¹
Põldhein II	170 kg ha ⁻¹ ammooniumnitraat (N 58)	17 t ha ⁻¹

Ülevaade põllukultuuride saakidest on toodud tabelis 4. Andmetest nähtub, et lohisvoolikutega laotatud vedelsõnniku mõju jäi tagasihoidlikuks (talinisu ja põldhein II). Erandiks oli põldhein I, kus mõju saagile oli positiivne kõikidel mullaharimise foonidel. Muldasegamisel (rapsi ja odra variantides) oli mõju positiivne.

Tabel 4. Põllukultuuride saagid t ha⁻¹ viljavaheldusliku külvikorra katses 2008. a

Kultuur	M1		M2		M3	
	NPK	NPK + vedelsõnnik	NPK	NPK + vedelsõnnik	NPK	NPK + vedelsõnnik
Talinisu	6,54	6,98	6,84	6,89	7,14	6,97
Suviraps	2,45	2,40	2,34	2,40	2,27	2,46
Oder I	4,80	5,78	5,02	5,67	4,59	5,36
Oder II	3,65	4,63	4,23	5,06	3,67	4,70
Põldhein I	12,75	14,89	15,74	16,13	13,34	15,56
Põldhein II	11,66	10,56	10,48	12,05	10,95	8,77

Veelgi ilmekam oli veiste vedelsõnniku mõju seitseteist aastat kestnud monokultuurse odra katses (tabel 5).

Tabel 5. Vedelsõnniku mõju monokultuurse odra saagile 2008. a, t ha⁻¹

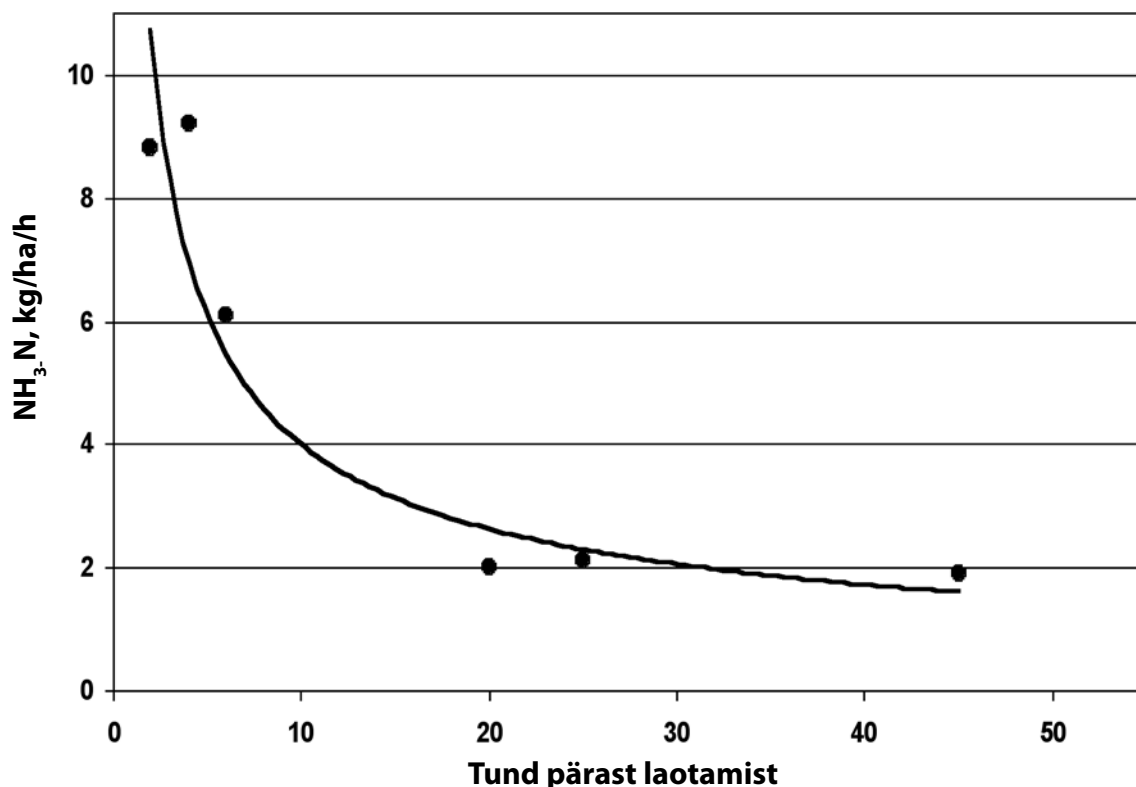
Mullaharimise variant	NPK	NPK + vedelsõnnik	Vedelsõnniku mõju	
			t ha ⁻¹	%
Taimekaitseta foon				
Sügiskünd	3,90	5,71	1,81	46,4
Kevadküüd	3,70	5,06	1,36	36,8
Kobestamine	3,47	5,55	2,08	59,9
Pindmine segamine	3,70	5,58	1,88	50,8
Keskmine:	3,69	5,48	1,79	48,5
Herbitsiidide foon				
Sügiskünd	3,61	5,55	1,94	53,7
Kevadküüd	4,02	4,90	0,88	21,9
Kobestamine	3,33	5,22	1,89	56,8
Pindmine segamine	3,99	5,92	1,93	48,4
Keskmine:	3,74	5,40	1,66	44,4
Herbitsiidide + fungitsiidide foon				
Sügiskünd	4,46	6,27	1,81	40,6
Kevadküüd	4,75	6,20	1,45	30,5
Kobestamine	4,39	5,78	1,39	31,7
Pindmine segamine	5,13	6,58	1,45	28,3
Keskmine:	4,68	6,21	1,53	32,7

Vedelsõnnik (25 t ha^{-1}) viidi mulda ketasseadisega, kevadkünnivariandis aga pärast laotamist täiendavalt adraga. Andmetest nähtub, et vedelsõnniku mõju jäi kõige tagasihoidlikumaks just kevadkünni alla antud variandis. Pindmisel muldaviimise ($5\text{-}7 \text{ cm}$) oli mõju monokultuurse odra saagile kõrge. Uurimistööst selgus ka, et mida intensiivsem oli taimekaitse, seda tagasihoidlikumaks jäi vedelsõnniku positiivne mõju. Vedelsõnnikuga väetamine stimuleeris antud katses odra- taime produktiivset võrsumist (tabel 6), mida võibki pidada saagitõusu peapõhjuseks.

Tabel 6. Produktiivvõrseid, tk m^{-2} , monokultuurse odra katses 2008. a

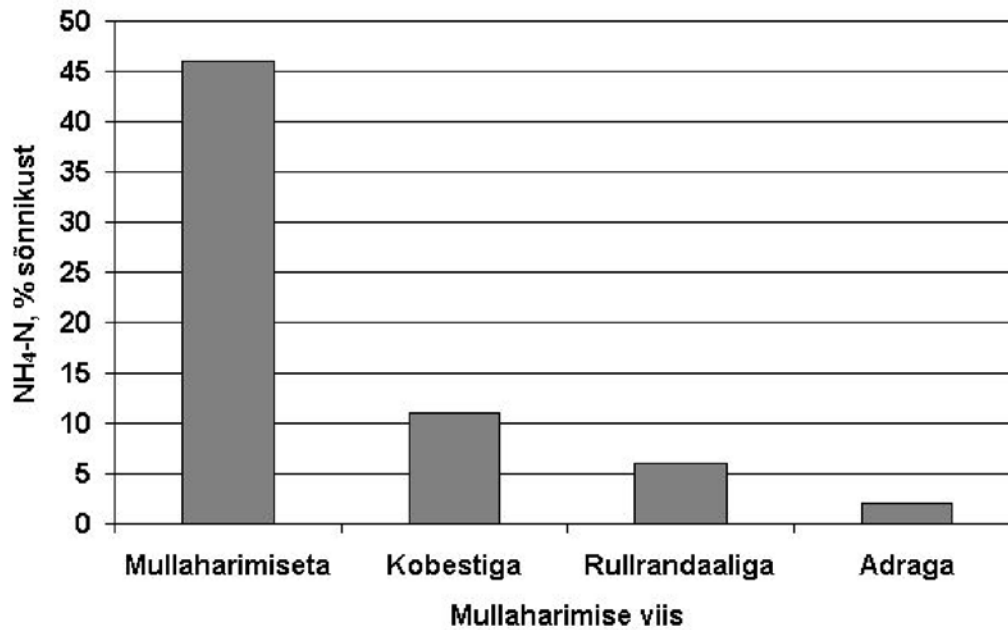
Mullaharimise variant	Kompleksväetist 400 kg ha^{-1} (17-10-14)	Kompleksväetist 400 kg ha^{-1} (17-10-14) + vedelsõnnikut 25 t ha^{-1}	Vedelsõnniku mõju	
			tk m^{-2}	%
Sügisküünd	546	798	252	46,2
Kevadküünd	530	729	199	37,5
Kobestamine	539	745	206	38,2
Pindmine segamine	518	788	270	52,1
Keskmine:	533	773	237	44,5

Vedelsõnniku efektiivsus pindlaotusel sõltub sellest, kui kiiresti ta mulda segatakse. Esimestel laotusjärgsetel tundidel võib lämmastikukadu olla ligi 9 kg hektarilt (joonis 21).



Joonis 21. $\text{NH}_3\text{-N}$ emissioon veiste vedelsõnnikust (Jokela, Meisinger, 2004)

Lämmastikukadu vedelsõnnikust on olnud kõige väiksem, kui ta on mulda viidud adraga (joonis 22).



Joonis 22. Vedelsõnniku muldaviimise mõju lämmastikukaole (Tompson, Meisinger, 2002)

Vedelsõnniku mõju odrale võis täheldada juba varajases kasvufaasis (tabel 7).

Tabel 7. Klorofüllimõõturi SPAD näit monokultuurse odra külvides 2008. a

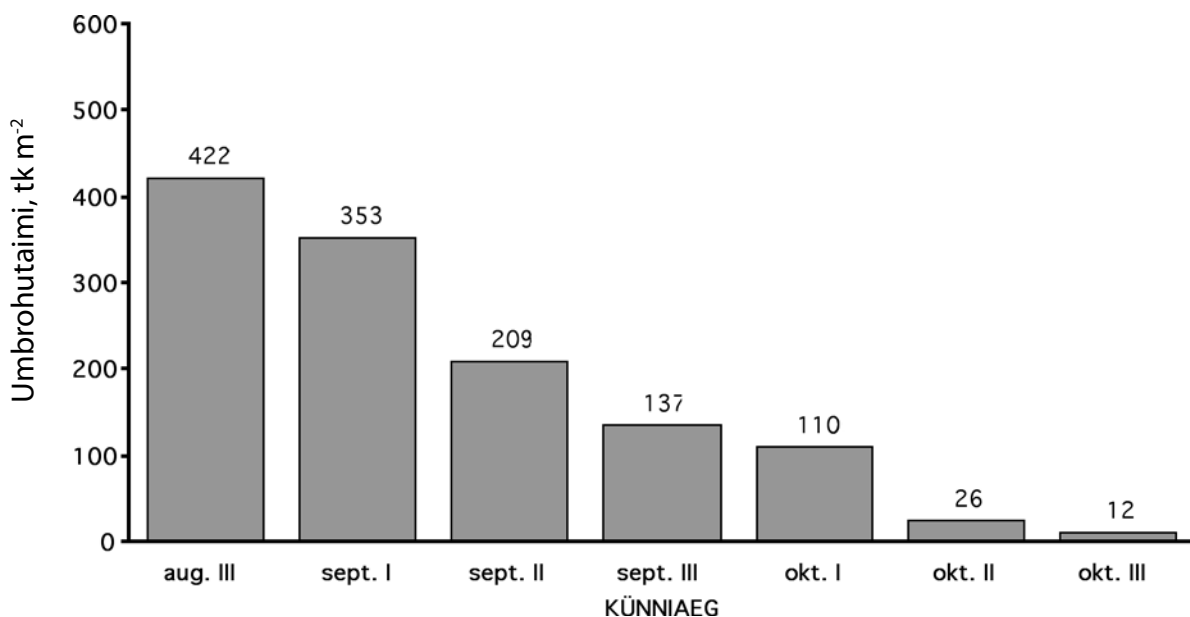
Mullaharimise variant	Mõõtmise kuupäev	NPK foonil	NPK + vedelsõnniku foonil	Vedelsõnniku mõju
Sügiskünd	14.05	34,6	44,9	10,3
Kevadküüd		32,6	44,8	12,2
Kobestamine		34,1	44,8	10,7
Pindmine segamine		37,0	45,3	8,3
Sügiskünd	27.05	49,2	52,9	3,7
Kevadküüd		49,2	51,0	1,8
Kobestamine		50,8	50,9	0,1
Pindmine segamine		48,9	50,7	1,8
Sügiskünd	03.06	48,2	53,4	5,2
Kevadküüd		46,5	51,8	5,3
Kobestamine		47,5	52,6	5,1
Pindmine segamine		47,9	54,5	6,6
Sügiskünd	09.06	41,5	48,1	6,6
Kevadküüd		42,3	47,7	5,4
Kobestamine		43,2	48,2	5,0
Pindmine segamine		39,8	51,2	11,4

Põhk

Põhk on taimekasvatuse kõrvaltoodanguks. Teda kasutatakse loomadele söödaks, allapanuks ja ka väetiseks. Odrapõllul võib põhust tekkida kuni 0,45 tonni huumust hektari kohta (H. Roostalu, 2008). Viimastel aastatel on hakatud põhku kasutama ka biokütusena. Eks iga põllumees otsustab ise, mida ta põhuga teeb. Valdavalt peaks põhk jääma põllumajanduslikku ringesse. Eriti tuleb hinnata tema tagastamist mulda koos vedelsõnnikuga. Katsed on näidanud, et eriti vajalik on taoline põhu kasutamine põllukultuuride viljelemisel minimeeritud mullaharimisel. Katses, kus talirukki järgsele kartulile anti põhku 4 t ha⁻¹ koos vedelsõnnikuga 15 t ha⁻¹ suurenes kartuli mugulasaak 18,1%. Kolm tonni odrapõhku koos vedelsõnnikuga suurendas odrasaaki 5,4%. Koristamise ajal tuleks põhk tagastada peenestatuna ja ühtlaselt laotatuna mullapinnale. Tema lagundamise soodustamiseks tuleks anda vedelsõnnikut 20-25 t ha⁻¹ ja võimalikult varakult segada mullaga. Kerge tel muldadel võiks seda tööd teha rullrandaaliga või kergadraga. Keskmistel või rasketel muldadel aga rull-käpprandaaliga. Harimissügavus sõltub tagastatava põhu kogusest. Kohe-kolme tonni korral piisab 7-9 cm. Iga lisatoni korral peaks muldaviimise sügavust suurendama 2 cm võrra.

Künnipõhine põllukultuuride viljelus

Siin on põhitöök künd. Valdavalt on hakatud hästi kündma. Künni üheks ülesandeks on umbrohtude tõrje. Nende tõrje efektiivsus sõltub ajast. Mida varem sügisel seda teha, seda efektiivsem on nende tõrje (joonis 23).



Joonis 23. Künniaja mõju umbrohtumusele

Varajase künniga provotseeritakse kuni 35 korda rohkem umbrohuseemneid tärkama kui hilise künniga. Suurem osa nendest hukkub talvel. Tali- ja talvituvad umbrohud aga hävitatakse kevadise külvielse mullaharimise käigus.

Külvielseks mullaharimiseks on aegade jooksul olnud lausharimise kultivaator. Viimastel aastatel on ka selles tehnoloogias toimunud muutuseid. Üha enam kasutatakse külvielseks mullaharimiseks labasiluritega varustatud rulle. Taoline agregaat sobib sügisel küntud kerge ja keskmise lõimisega muldade kevadiseks külvielseks mullaharimiseks. Raskema lõimisega muldade (nii sügisel kui ka kevadel küntud) külvielseks harimiseks on hakatud järjest enam kasutama kobes-

tuskäppadest ja rõngasrullidest koosnevat agregaat. Kui lausharimise kultivaatoritega harimisel katkutakse mullasolevad kivid pinnale, siis nende agregaatide kasutamisel jäävad kivid mulda, ega sega järgnevate tööde tegemist.

Põldpuju tõrjest

Varasematel aastatel võis täheldada puju rohket esinemist jäätmaadel ja põldude piiretel. Viimasel ajal on see umbrohi hakanud ulatuslikult levima ka põldudel. Eriti rohkesti oli seda märgata käesoleval aastal nii teravilja kui ka teiste kultuuride põldudel. Üheks selle põhjuseks on peetud põllukultuuride viljelemise uute tehnoloogiate ulatuslikku kasutamist.

Efektiivne põldpuju tõrje koosneb võtete kompleksist, kus tuleb kasutada nii kaudseid (puhas külvis, sõnniku ja kompostide õige käitlemine, umbrohtude tõrje väljaspool põldu jt.) kui ka otse- seid võtteid (koorimine, õigeaegne kündmine ja herbitsiidide optimeeritud kasutamine).

Minimeeritud mullaharimise tehnoloogia korral (muld haritakse rullrandaaliga või rull-käpp- randaaliga) tuleks võimalikult kiiresti pärast kultuuri koristamist sügisel kõlvik mustaks harida. Sellega provotseeritakse umbrohuseemned tärkama ja pikaajalised umbrohud uut lehekodarik- ku kasvatama. Hilissügisel (oktoobris) tuleks haljendama löönud kõlvikud üle pritsida üldhävitava toimega herbitsiididega, mis hävitab kogu kasvav taimestiku. Tuntuim ja enam kasutatav prepa- raat on Roundup Gold. Kulunorm 1,2-4,8 ltr ha⁻¹. Otsekülvi tehnoloogias tõrjutakse umbrohtusid, kaasa arvatud ka põldpuju, vaid keemiliste preparaatidega kas enne külvi või pärast külvi enne külvide tärkamist.

Minimeeritud mullaharimise ja otsekülvi rekordsaigid tootmispõldudel 2008. a

Tähelepanu vääriv on see, et nii minimeeritud kui ka otsekülvi viljelemisel on Eestimaal kasva- tatud väga kõrgeid teravilja ja rapsisaake.

Austust vääriv on **OÜ Valdereks** tulemus talinisu kasvatamisel. Mitmetel põldudel küündis see 8-9 tonnini hektarilt. Eriti viljakal põllul, kus nii makro- kui ka mikroelementide tarve (v.a. Mn) oli väike, andis talinisu „Olivin” 12,74 t ha⁻¹ teri. Mida siis sellel põllul tehti:

eelvili:	talirüps;
mullaharimine:	rullrandaal Amazone Catros;
külvieelne umbrohutõrje:	Roundup Gold 0,5 l ha ⁻¹ ;
külv:	25. 08. 07;
külvisemäär:	200 idanevat seemet m ⁻² ;
väetamine sügisel :	200 kg ha ⁻¹ kompleksväetist (15:9:12);
sügisene umbrohutõrje:	Sekator: 0,15 kg ha ⁻¹ (koos taimekaitsega anti ka mangaansulfaati 1,25 kg ha ⁻¹);
kevad:	orase äestamine;
pealtväetamine:	
ammooniumnitraat:	190 kg ha ⁻¹ ;
kaaliumkloriid:	100 kg ha ⁻¹ ;
kompleksväetis (15:9:12):	100 kg ha ⁻¹ ;
ammooniumnitraat:	250 kg ha ⁻¹ ;

taimekaitse ja väetamine:

Mustang:	0,5 ltr ha ⁻¹ ;
vaskvitriol:	0,5 kg ha ⁻¹ ;
mangaansulfaat:	1,25 kg ha ⁻¹ ;
CCC :	0,5 ltr ha ⁻¹ ;
Input :	0,5 ltr ha ⁻¹ ;
Proteus:	0,5 ltr ha ⁻¹ ;
CCC:	1,0 ltr ha ⁻¹ ;
Opera:	0,5 ltr ha ⁻¹ ;
MgSO ₄ :	2,5 kg ha ⁻¹ ;
Karbamiid:	5,0 kg ha ⁻¹ .

Sellise tulemuse tagas väga oskuslik taimekaitse ja väetamine. Samuti sobilik külvisemäär, mis andis taimetele endale taimiku tiheduse kujundamise võimaluse. Koristuseelselt oli produktiivvõrseid 590 tk m⁻².

Märkimist väärib **OÜ Rannu Seeme** tulemus talirapsi kasvatamisel minimeeritud mullaharimisel. Makroelementide poolest keskmise ja mikroelementide poolest viljakal mullal kasvatatud talirapsi „Excalibur“, suurimaks saagiks kujunes 7,4 t ha⁻¹. Kuidas selline saak saadi:

eelvili:	oder;
mullaharimine:	rullrandaal Väderstad Carrier;
külv:	19.08.07;
külvisenorm:	1,5 kg ha ⁻¹ ;

väetamine sügisel:

PK (16:30):	300 kg ha ⁻¹ ;
ammooniumnitraat:	115 kg ha ⁻¹ ;

sügisene taimekaitse:

Teridox 500 EC:	2,5 ltr ha ⁻¹ ;
Fusilade Forte:	0,6 ltr ha ⁻¹ ;
boor:	2 ltr ha ⁻¹ ;
Folicur EW 250:	0,5 ltr ha ⁻¹ ;

kevadine väetamine:

ammooniumnitraat:	235 kg ha ⁻¹ (varakevadel);
NS (21:24):	200 kg ha ⁻¹ ;

kevadine taimekaitse:

boor:	1,0 ltr ha ⁻¹ ;
Proteus:	0,75 ltr ha ⁻¹ ;

See tulemus saavutati väga väikese külvisemääraga. Koristusaegseks taimede tiheduseks kujunes keskmiselt 30 tk m⁻². See andis tuumakad seemned. Koristatud talirapsi 1000 seemne massiks kujunes 8,03 g.

Kokkuvõte

Energiasäästlikumad põllukultuuride viljelustehnoloogiad leiavad järjest enam omaksvõtmist põllumeeste poolt. Nende evitamine nõuab sihikindlat teadmiste omandamist. Vedelsõnniku kasutamine kohaliku väetisena on samuti reaalsus. Altminekud nii ühes kui teises valdkonnas on paratamatud. Selgeks tuleb õppida nende võtete keskkonnasõbralik kasutamine. Järjest vähem tuleb põllumeeste poolt kurtmist, et ei saa teha seda ja teist. Selle asemel on hakatud otsima lahendeid, kuidas raskustest üle saada. Rõõmu teeb ka tootjate ja uurijate koostöö tihenemine. Siinkohal tänan kõiki tootjaid, kes on võimaldanud nende tootmisüksustes läbi viia uute tehnoloogiate evitamise kulgemist ja jälgida mullas toimuvaid protsesse.

Järgnevatel värvitahvlitel tutvustatakse põgusalt vedelsõnnikuga väetamise erinevaid viise ja erinevate agrotehniliste võtete mõju taimede arengule.



Joonis 24. Vedelsõnniku laotamine paisklaoturiga



Joonis 25. Vedelsõnniku laotamine lohisvooliklaoturiga



Joonis 26. Muldaviimisseadisega vedelsõnnikulaotur



Joonis 27. Vedelsõnnik on viidud mulda



Joonis 28. Nisu külviaja mõju taimede arengule:
vasakul – optimaalne, paremal – hiline külviaeg



Joonis 29. Rapsitehnoloogia – mullaharimine ja külv ühe töökäiguga



Joonis 30. Pindmine mullaharimine – saagikas raps



Joonis 31. Otsekülvatud taliodra oras



Joonis 32. Teravilja otsekülv hernekõlvikusse



Joonis 33. Põldpuju – tõrjeks glüfosaat



Joonis 34. Suur külvisemäär – keskpärane saak



Joonis 35. Optimaalne külvisemäär – tugevad taimed

VEDELSÖNNIK – MÕJU MULLALE JA PÕLLUKULTUURIDELE

Hinnanguliselt tekib Eestis aastas üle 1,3 miljoni tonni vedelsõnnikut (Vettik ja Tamm, 2008). Sellest moodustab 32% sea- ja 68% veisevedelsõnnik. Kui varem oli vedelsõnnik probleem, siis praeguses majanduslikus situatsioonis nähakse selles kasu, sest sellest on saanud paljude tootmisüksuste arvestatav kohalik väetiste katteallikas. Toitainete sisaldus erinevates vedelsõnnikutes on erinev. Proovid näitasid, et sigade vedelsõnnik oli toitainerikkam (makroelementide) kui veiste vedelsõnnik (tabel 1).

Tabel 1. Toitainete sisaldus vedelsõnnikus

Kuivainet, %	N	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Mn	B	Zn
	kg m ⁻³					g m ⁻³				
Veiste vedelsõnnik										
7,16	3,62	0,68	2,10	1,12	0,51	300	1,22	5,52	0,70	5,4
Sigade vedelsõnnik										
7,45	3,68	0,86	2,92	1,65	0,57					

Kui võrrelda Eestis tekkivat vedelsõnnikut teiste riikide vedelsõnnikuga, siis võib siin täheldada mõningaid erisusi (tabel 2).

Tabel 2. Toitainete sisaldus erinevate riikide veiste vedelsõnnikus

Riik	Kuivainet, %	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Mn	B
		kg m ⁻³					g m ⁻³		
Eesti	7,16	3,62	0,68	2,10	1,12	0,51	1,22	5,52	0,70
Soome	5,5	3,0	0,5	3,3	0,8	0,4	2,7	12,4	1,3
Saksamaa	7,3	3,5	0,65	4,13		0,45			

Kuivainet on rohkem kui Soomes kogutud vedelsõnnikus. Samuti on enam ka lämmastikku, kaltsiumi ja magneesiumi. Mikroelemente on aga kaks korda vähem. Võrreldes Saksamaal kogutava vedelsõnnikuga on toitaineid peaaegu samapalju. Vähem on vaid kaaliumi.

Arvestuslikult kogutakse Eesti vedelsõnnikuga kõige enam lämmastikku (4500-4700 tonni, tabel 3) ja kaaliumi (3000-3200 tonni). Küllalt palju ka kaltsiumi (1600-1700 tonni) ja mikroelementidest väävlit (39-40 tonni). Teiste mikroelementide üldkogused on väiksemad. Vedelsõnniku toitainete sisalduse ja koguse teadmine võimaldab igal tootmisüksusel kindlaks määrata kohalike väetiste koguse ja selle põhjal ka planeerida nende kasutamise.

Lisaks eeltoodule leidub vedelsõnnikus ka raskemetalle Ni, Pb, As, Cd ning desoaineid ja ravimeid. Eestis on nende sisaldust ja toimet vähe uuritud, kuid vajadus selle järele on.

Vedelsõnniku käitlemise mõju mullale

Vedelsõnniku laotamise kõige kiiremad ajad on enne külvi aprillis ja sügisel pärast viljakoristust. Ohud, mis sellel ajal võivad vedelsõnniku laotamisega kaasneda, on mulla tihenemine ja mul-

la struktuuri halvenemine. Mõlema tekkimise oht on suur siis, kui muld on märg. Eriti ohtlik on see keskmise ja raske lõimisega muldadel.

Tabel 3. Toitainete üldkogus vedelsõnnikus (2008. a)

Toitaine	Kogus, tonni
N	4500-4700
P	940-960
K	3000-3200
Ca	1600-1700
Mg	670-690
Mn	2,0-2,2
B	1,5-1,7
Zn	7,0-7,5
Cu	1,3-1,4
S	39-40

Kõige enam tihendatakse mulda agregaadid rehvidega ülesõidetaval alal s.o. rehvi jälgedes. Taimede normaalne kasv on häiritud, kui mulla lasuvustihedus ületab $1,40-1,45 \text{ Mg m}^{-3}$. Tootmispõldudel on see näitaja olnud aga $1,67-1,73 \text{ Mg m}^{-3}$. Eriti tihenenud on muld põllule peale ja mahaõitute alal. Mullaseisundi taastamiseks tuleks need alad pärast tööde lõpetamist sügavkõbega üles harida. Kevadisel vedelsõnniku kasutamisel on vaja jälgida mulla niiskust. Kui märjale keskmise või raske lõimisega küntud liivsavimullale minna vedelsõnnikut laotama muldaviimise seadise laoturiga, siis mitte ainult ei tihendata mulda vaid ka lõhutakse selle struktuur. Muld kuivab panklikuks. Pankade purustamine nõuab lisatööd. Selle käigus muld tolmustub. Suureneb mulla peenfraktsiooni (agregaadid läbimõõduga alla 2 mm) osa. Vähesel harimise korral on aga ülekaalus suured mullaagregaadid (läbimõõduga üle 5 cm). Kergetel liivsavimuldadel on see oht väiksem. Mullastruktuuri halvenemise oht on väike ka pindmiselt haritud muldadel (kui mulda on segatud eelkultuuri taimejäänustega). Vedelsõnniku laotamist kevadel tulekski alustada nendel põldudel.

Vedelsõnniku mõju vihmausside arvukusele

Vihmaussidel on mullaviljakuse kujundamisel ja säilitamisel oluline mõju. Optimaalseks peetakse, kui nende arvukus ühel ruutmeetril 25 cm tõeseduses mullakihi on 300-400 isendit. Katsetes, kus kasutati vedelsõnnikut, suurenes nende arvukus märgatavalt. Kevadisel vedelsõnniku (33 t ha^{-1}) pindmisel muldaviimisel suurenes nende arvukus kaks kuni kolm korda. Eriti märgatav oli nende arvukuse suurenemine monokultuurse odra (kakskümmend aastat ühel ja samal kasvukohal kasvatamist) katses. Väetamata alal oli 25-28 isendit ruutmeetril ja vedelsõnnikuga väetamisel 79-98 isendit. Viljavahelduslikus külvikorras, kus odra eelviljaks oli suviraps, oli vedelsõnniku mõju mõnevõrra väiksem. Väetamata variandis oli neid ruutmeetril 56 ja väetatud alal 118 isendit.

Vedelsõnniku mõju vihmausside arvukusele sõltus ka käitlemise viisist. Talinisu väljal oli vedelsõnniku muldaviimisel vihmausse 17-28% rohkem kui vedelsõnniku lohisvoolikutega pinnalelaotamisel. Vedelsõnniku sügavale muldaviimisel (adraga künni alla) jäi positiivne mõju vihmausside arvukusele märksa väiksemaks kui pindmisel muldaviimisel.

Vedelsõnniku efektiivsuse sõltuvus laotusseadisest

Vedelsõnnikus oleva lämmastiku efektiivsus sõltub suuresti laotamisaegsest ilmastikust ja laotamisviisist (tabel 4). Mullapinnale laotamisel (paisk- või lohisvooliklaoturiga) tuleks see mulda segada vahetult laotamise järgselt. Kui seda ei tehta, on esimesel laotusjärgsel paaril tunnil lämmastikukadu väga suur ja võib ulatuda 9-10 kilogrammini hektari kohta. Lämmastikukaod on minimaalsed kui vedelsõnnik viiakse laotusseadisega otse mulda. Katses, kus kevadel võrreldi vedelsõnniku erinevaid laotamisviise künnimaal, selgus, et pinnale laotamisel oli keskvalmiva odra saak 18,8-35,5% väiksem kui vedelsõnniku kohesel muldaviimisel.

Kevadel võib küntud alade mullapinna temperatuur tõusta keskpäeval 40 ja enam kraadini. Taolistes oludes, eriti kui sellega kaasneb tugev tuul, võib pinnale laotatud vedelsõnnikust lämmastikukadu olla enam kui 50%. Juba 8-10 kraadise õhutemperatuuril korral võib lämmastikukadu olla 22-40%. Veiste vedelsõnnikust on kadu suurem kui sea vedelsõnnikust, sest viimasest imuvad toitained kiiremini mulda.

Tabel 4. Vedelsõnniku kevadise muldaviimise viisi mõju odra saagile

Variant	Saak, t ha ⁻¹	Saak võrreldes kontrolliga	
		t ha ⁻¹	%
Vedelsõnnik mulda ketasseadisega laoturiga (kontroll)	4,20	-	-
Vedelsõnnik mullapinnale lohisvooliklaoturiga ja ühe tunni pärast mulda rullrandaaliga	3,41	-0,79	-18,8
Vedelsõnnik mullapinnale lohisvooliklaoturiga ja 24 tunni pärast mulda rullrandaaliga	3,12	-1,08	-25,7
Vedelsõnnik mullapinnale lohisvooliklaoturiga ja 48 tunni pärast mulda rullrandaaliga	2,81	-1,49	-37,5

Vedelsõnniku mõju kestvusest

Vedelsõnniku mõju ei piirdu ühe aastaga. Kirjanduse andmetel (tabel 5) kasutavad taimed väetamisaastal kogulämmastikust 54-71% ja esimesel järelmõju aastal 10-23%. Mida suurem on ühekordselt antud vedelsõnniku kogus, seda pikem on tema järelmõju. Vedelsõnnikuga liivsavimulla väetamisel kasutavad taimed väetamisaastal 60-70% ja saviliivmullas kuni 80% toitainetest.

Vedelsõnniku suurte koguste kasutamisel on täheldatud Zn ja Cu toksilist mõju taimedele, eriti siis, kui kasutatakse vedelsõnniku suuri koguseid - 50-60 t ha⁻¹. Uurimused on näidanud, et Cu pärsib taimede juurekava arengut ja pidurdab taimedel fosfori omastamist. (Chambers et al., 1999).

Tabel 5. Vedelsõnniku mõju jaotumine (ajak. „Topagrar“ 11/2008, lk 30-31)

Vedelsõnniku liik	Kuivainet, %	Üldlämmastikkku, kg m ⁻³	Üldlämmastikust kasutatakse taimede poolt, %	
			väetusaastal	esimesel järelmõjuaastal
Veiste vedelsõnnik	6	3,2	56	21
	8	3,9	54	23
Sigade vedelsõnnik	7	6,6	71	10

Vedelsõnniku mõju odra saagile

Veiste vedelsõnniku mõju monokultuurse odra saagile on toodud tabelis 6. Selles katses on otra „Anni” kasvatatud alates 1991. a neljal erineval mullaharimise foonil: SK - sügiskünd 22-25 cm, KK – kevadkünd 22-25 cm, TK – mulla kobestamine rullkäpprandaaliga 15 – 18 cm ja BA – mulla kobestamine rullrandaaliga 8-10 cm. Taimekaitsefoone oli kõigil mullaharimise tasemetel kaks: ilma taimekaitseta ja herbitsiid + fungitsiid. Vedelsõnnikut laotati lohisvooliklaoturiga mulla pinnale 33 tonni hektari kohta. Paari tunni pärast viidi see variandis KK mulda adraga ja teistes variantides lausharimiskultivaatoriga.

Tabel 6. Vedelsõnniku mõju monokultuurse odra saagile, 2008. a, t ha⁻¹

Mullaharimise variant	NPK	NPK + vedelsõnnik	Vedelsõnniku mõju	
			+ t ha ⁻¹	+%
Taimekaitseta foon				
Sügiskünd	4,81	6,08	1,27	26,4
Kevadkünd	4,28	4,93	0,65	15,2
Kobestamine 15-18 cm	4,02	4,25	0,23	5,7
Kobestamine 8-10 cm	4,21	4,55	0,34	8,1
Keskmine:	4,33	4,95	0,62	14,3
Herbitsiidide + fungitsiidide foon				
Sügiskünd	4,85	6,20	1,35	27,8
Kevadkünd	5,10	6,21	1,11	21,8
Kobestamine 15-18 cm	4,47	5,74	1,27	28,4
Kobestamine 8-10 cm	4,78	5,78	1,00	20,9
Keskmine:	4,80	5,98	1,18	24,6

Taimekaitseta foonil suurenes odrasaak mullaharimisfoonide keskmisena 14,3%. Kõige enam suurenes saak sügiskünni foonil. Tagasihoidlikumaks jäi mõju mulla kobestamisel. Kui NPK foonil oli erineva mullaharimise mõju odra saagile suhteliselt väike (võrreldes sügiskünniga 11-17% madalam), siis NPK + vedelsõnniku foonil oluliselt suurem (võrreldes sügiskünniga 19-30%). Põhjus näib olevat umbrohtumises. Vedelsõnniku lisamine suurendas nii umbrohtude arvukust kui ka nende biomassi. Teada on, et vedelsõnnik stimuleerib mulla bioloogilist aktiivsust, seega aktiveerib ka mullasolevate umbrohuseemnete elutegevust. Teisalt suureneb umbrohuseemnete hulk mullas ka vedelsõnnikus oleva varu arvel.

Pestitsiidide foonil oli erineva mullaharimise mõju odra saagile oluliselt väiksem, sest umbrohtumine ja taimede haigestumine olid väga väikesed. Mõlemal väetisefoonil jäi saagierinevus katsevea piiresse (1-8%). Mineraalväetistele lisaks antud vedelsõnniku mõju odrasaagile kujunes ka oluliselt suuremaks, keskmine enamsaak oli 24,6%.

Vedelsõnniku mõju viljavaheldusliku külvikorra kultuuride saagile

Viljavahelduslikus külvikorras on põllukultuure alates 1989. aastast kasvatatud mullaharimise kolmel foonil:

- M1 – pindmine mullaharimine (taliniisu otsekülv),
- M2 – tavapärase sügiskünd 22-25 cm,
- M3 – sügavkünd 33-35 cm.

Külvikord on nii ajas kui ruumis s.t. kõik kultuurid on igal aastal esindatud. Külvikorra keskmine mineraalväetiste kogus hektarile oli N67-P39-K74. M2 variandis anti varakevadel veiste vedelsõnnikut 33 t ha⁻¹ lohisvooliklaoturiga. Talivilja ja põldheinete väljal jäi see mulla pinnale, teiste kultuuride väljadel aga segati lausharimiskultivaatoriga mulda. Katsetulemused on toodud tabelis 7.

Mineraalväetistele lisaks antud veiste vedelsõnnik avaldas kõige suuremat positiivset mõju minimeeritud mullaharimise külvikorras, kus saak suurenes keskmiselt 20,9%. Tavapärase mullaharimise külvikorra saak suurenes 19,3% ja väga sügava harimise külvikorra saak 13,8%. Teraviljadest suurendas vedelsõnnik kõige enam varajase odra saaki - keskmiselt 37,3%. Keskvilma odra saak suurenes 19,2% ja talinisu saak 18,1%. Tugev oli mõju ka teise kasutusaasta põldheina saagile, mille keskmine enamsaak oli 23,6%.

Suvirapsi saagile oli mõju tagasihoidlikum - keskmine enamsaak oli 10,1%. Vedelsõnniku mõju esimese kasutusaasta põldheinale realiseerus esimese niite saagis, kus keskmine enamsaak oli 21,5%, kuid teise niite saak jäi väiksemaks kui mineraalväetiste foonil. Seetõttu andis esimese kasutusaasta põldhein kahe niitega mõlemal väetusfoonil võrdse kogusaagi.

Tabel 7. Põllukultuuride saagid viljavahelduslikus külvikorras, 2009. a, t ha⁻¹

Kultuur	M1		M2		M3	
	NPK	NPK + veiste vedelsõnnik	NPK	NPK + veiste vedelsõnnik	NPK	NPK + veiste vedelsõnnik
Talinisu	6,16	6,68	5,09	6,46	5,87	7,02
Suviraps	2,19	2,44	2,56	2,70	2,30	2,61
Oder I	5,37	6,49	5,40	6,41	5,57	6,57
Oder II	3,06	4,89	3,69	5,18	4,36	4,87
Põldhein I	10,74	10,60	10,93	11,72	10,14	10,34
Põldhein II	5,43	6,79	6,02	6,77	6,39	7,33

Katses, kus kasutati sea vedelsõnnikut, milles oli ühes kuupmeetris lämmastikku 1,5-1,7 kg, fosforit 0,4-0,5 kg ja kaaliumi 0,5-0,6 kg andis põuakartlikul rähksel liivsavimullal saagilisa 16-47%. Kasutatud vedelsõnniku kogused odrale ja suvinisule olid 20 t ha⁻¹ ja suvirapsile, talinisu ning rukkile 40 t ha⁻¹ (tabel 8).

Tabel 8. Sea vedelsõnniku mõju põllukultuuride saagile

Kultuur	Saak, t ha ⁻¹		Vedelsõnniku mõju	
	Vedelsõnnikuta	Vedelsõnnikuga	+ t/ha	%
Oder	2,82	3,60	0,78	28
Suvinisu	2,75	3,18	0,43	16
Suviraps	1,88	2,65	0,77	41
Talinisu	2,35	2,88	1,10	47
Rukis	2,00	2,83	0,83	42

Väga huvitavaks kujunesid sea vedelsõnnikuga väetamise tulemused põllukultuuride saagile turvasmullal. Kahe erineva külvisemääraga teraviljapõlde väetati normida 20 t ha⁻¹. Nii täiskülvi-määraga (600 idanevat tera m²) kui ka kolm korda väiksema külvisemääraga külvatud foonil olid

suvinisu saagid praktiliselt võrdsed (vastavalt 4,2 ja 4,1 t ha⁻¹). Väetamise tulemusena võrsusid taimed tugevasti. Täiskülvisemääraga variandis oli loomise alguseks ruutmeetril 2400-3200 võrset ja vähendatud külvisemääraga variandis 1000-1200 võrset. Koristamise ajal oli produktiivseid võrseid mõlemas variandis pea võrdselt 500-520 tk m⁻².

Turvasmullal on uuritud ka sea vedelsõnniku mõju suvirapsi saagile. Vedelsõnniku 20 t ha⁻¹ ulatusid saagis 3,5-3,9 t ha⁻¹.

Vedelsõnnik taliviljadele

Vedelsõnnik osutus efektiivseks ka taliviljadele, kui see anti pinnakihti enne taliviljade külvi. Seda oludes, kus taliteraviljade (nisu, rukis) eelviljadeks olid raps, rüps ja heintaimed (põldhein) või varajane teravili. Oludes, kus eelkultuuri põhk (aganad, varred, lehed) tagastatakse mulda, tuleks vedelsõnnik laotada põllule ja segada mulda. Vedelsõnniku kogus sõltub tagastatud põhu kogusest. Alla kolme tonni põhu korral võiks vedelsõnnikut laotada 15-20 t ha⁻¹ ja kolme–nelja tonni korral 25-20 t ha⁻¹.

Väiksema põhukoguse korral tuleb harida 8-10 cm sügavuselt. Suuremate põhukoguste korral tuleks iga lisatoni põhu korral suurendada harimissügavust 2-3 cm võrra. Vedelsõnnik on osutunud efektiivseks ka siis, kui taliviljade eelviljaks on põldhein. Taliviljade alla minevad põldheinapõllud valdavalt küntakse. Künniga viiakse aga pinnalelaotatud vedelsõnnik suhteliselt sügavale, kus selle mõju ei avaldu täiel määral. Vedelsõnniku efektiivsus suureneb, kui see aga segada põldheinapõllu pindmisse kihti, mis on eelnevalt Roundup`iga pritsitud.

Efektiivseks on osutunud veise vedelsõnnik talinisu pealtväetisena (tabel 9). Mineraalmuldadel on põhiväetiste foonil P 40 ja K 70 (vedelsõnnik antud lohisvooliklaoturiga kevadel) saadud küllalt kõrgeid saake.

Tabel 9. Veiste vedelsõnniku mõju talinisu saagile tootmistehnoloogilises katses, t ha⁻¹

Variant	N, kg ha ⁻¹	Ramiro	Olivin
Vedelsõnnik 20 t ha ⁻¹	72	3,9	4,0
Vedelsõnnik 40 t ha ⁻¹	144	5,1	5,7
Vedelsõnnik 60 t ha ⁻¹	216	6,6	7,6
Mineraalne lämmastik	120	5,2	6,1

Andmetest nähtub, et mida suurem oli vedelsõnniku kogus, seda suuremaks kujunes saak. Sellest katsest nähtub, et 40 t ha⁻¹ vedelsõnnikut andis 120 kg lämmastikuga ligilähedase saagi.

Vedelsõnnik on osutunud efektiivseks ka siis, kui teda anda taliviljadele külvielse mullaharimise alla. Talirukis, mille eelviljaks oli varajane oder ja kus põhk tagastati mulda peenestatuna ning tema lagundamise soodustamiseks anti 30 t ha⁻¹ vedelsõnnikut (segati rullrandaaliga mulda) andis 30% kõrgema saagi kui ilma vedelsõnnikuta variant.

Vedelsõnnik sügisel järgmiseks aastaks kavandatavate kultuuridele

Hilissügiseks on vaja hoidlad tühjaks vedada, et sinna saaks talveperioodil koguda uue vedelsõnniku. Selleks on soovitatav valida teraviljade ja suvirapsi-rüpsi alt vabanenud põllud kuhu on tagastatud peenestatud põhk. Taolistele põldudele võiks vedelsõnniku laotada kas paisk- või lohisvooliklaoturiga ja segada kohe mulda pindmise mullaharimise agregaatidega. Kerge ja keskmise saviliiv- ja liivsaviõimisega muldadele on sobivam rullrandaal, raske liivsaviõimisega ja sa-

vimuldadele aga rullkäpp-randaal. Tavaliselt jõuavad need põllud sügisel ka rohetama minna. Kui taolistel põldudel on umbrohtudest ülekaalus harilik orashein ja põldpuju, on soovitatav nende allasurumiseks pritsida üldhävitava herbitsiidi, näiteks Roundup`iga või kända. Kündmisel suureneb aga toitainete (lämmastik, väävel) väljaleostumine.

Vedelsõnniku mõju monokultuurse odra terade toorproteiinisaldusele

Vedelsõnnikuga täiendav väetamine mõjutas oluliselt ka monokultuurse odra terade toorproteiinisaldust (tabel 10). Taimekaitseta foonil oli mõju oluliselt tugevam kui intensiivsel pestitsiidide kasutamisel.

Esimesel juhul suurenes vedelsõnnikuga väetamisel toorproteiinisaldus 2,33 protsendipunkti võrra ja teisel juhul 1,6 protsendipunkti võrra. Kündmata variantides oli mõju tugevam kui küntud variantides. Kuid kokkuvõttes oli pestitsiidide mõju terade toorproteiinisaldusele väheoluline.

Ka viljavahelduslikus külvikorrakatses suurendas täiendav vedelsõnnikuga väetamine mõnevõrra terade toorproteiinisaldust (tabel 11). Võrreldes monokultuurse odra katsega oli mõju aga nõrgem. Vedelsõnnik mõjutas talinisu ja keskvalmiva odra terade toorproteiinisaldust tugevamini kui varajase odra oma. Tavapärase mullaharimise foonil kasvanud teraviljade terade oli kõige madalama toorproteiinisaldusega, suurima sisaldusega aga minimeeritud mullaharimisel.

Tabel 10. Vedelsõnniku mõju monokultuurse odra toorproteiinisaldusele, % kuivaines

Mullaharimine	Toorproteiini sisaldus		Sõnniku mõju
	NPK	NPK + vedelsõnnik	
Pestitsiidideta foonil			
Sügiskünd 22-25 cm	8,7	10,5	+1,8
Kevadküünd 22-25 cm	8,9	11,2	+2,3
Kobestamine rullkäpprandaaliga 15 – 18 cm	8,1	10,6	+2,5
Kobestamine rullrandaaliga 8-10 cm	8,1	10,8	+2,7
Keskmine:	8,45	10,78	+2,33
Herbitsiidide + fungitsiidide foonil			
Sügiskünd 22-25 cm	8,9	10,4	+1,5
Kevadküünd 22-25 cm	9,4	10,2	+0,8
Kobestamine rullkäpprandaaliga 15 – 18 cm	8,3	10,5	+2,2
Kobestamine rullrandaaliga 8-10 cm	8,6	10,6	+2,0
Keskmine:	8,77	10,43	+1,66

Vedelsõnniku kasutamine ülesharitavatel söödipõldudel

Söötis seisnud põllud on pikka aega olnud rohttaimede all. Seetõttu on nende kamar tihe ja liigirohke. Kasutuselevõtu esimeseks tööks peaks olema pritsimine üldhävitava herbitsiidiga. Pärast taimekuhtumist tuleks laotada vedelsõnnik ja kända. Suhteliselt tasased alad võib ka harida pindmiselt. Vähetihenenud alad võiks töödelda rullrandaaliga ja tihenenud mullad rullkäpprandaaliga. Kui põllud kavatsetakse viia suviteraviljade alla, siis tuleks harimistöid teha ära juba sügisel. Kevadine söödipõldude ülesharimine ilma eelneva herbitsiidiga pritsimiseta on osutunud väheefektiivseks. Laotatud vedelsõnnik soodustab märksa enam rohttaimede kasvu kui sinna kül-

vatud kultuuride kasvu. Sademeterohkel vegetatsiooniperioodil on taolistel aladel rohttaimed, sh ka mitmed umbrohud, külvidest läbi kasvanud ja koristada pole praktiliselt midagi.

Tabel 11. Terade toorproteiini sisalduse sõltuvus väetamisest ja mullaharimisest, % kuivaines

Kultuur	Mullaharimine	Toorproteiini sisaldus		Sõnniku mõju
		NPK	NPK + vedelsõnnik	
Oder I	M1 – pindmine	9,5	11,3	+1,8
	M2 - sügiskünd 22-25 cm	9,9	11,2	+1,3
	M3 – sügavküünd 33-35 cm	10,2	10,9	+0,7
Keskmine:		9,87	11,13	+1,27
Oder II	M1 – pindmine	9,6	10,5	+0,9
	M2 - sügiskünd 22-25 cm	9,5	10,0	+0,5
	M3 – sügavküünd 33-35 cm	9,0	10,5	+1,5
Keskmine:		9,37	10,33	+0,97
Talinisu	M1 – pindmine	13,4	15,0	+1,6
	M2 - sügiskünd 22-25 cm	13,5	14,3	+0,8
	M3 – sügavküünd 33-35 cm	13,3	14,7	+1,4
Keskmine:		13,4	14,67	+1,27

Külvisemäärdest vedelsõnnikuga väetatavatel aladel

Vedelsõnnik, kui orgaaniline väetis soodustab tugevasti teraviljade võrsumist. Mineraalväetiste foonil peetakse sobilikuks suviteraviljade külvisemääraks 350-400 idanevat seemet ruutmeetrile. See tagab tavaliselt küllaldase tihedusega taimiku. Katsetes, kus koos mineraalväetistega on kasutatud ka vedelsõnnikut, on need külvisemäärad osutunud liialt suureks, sest taimede võrsumine on tugevam - võrseid on 30-40% enam kui ilma vedelsõnnikuta variandis. Taimede kõrred on nõrgad ja teri peas vähe. Vedelsõnnikuga antud lämmastik kulutatakse kõrte ja lehtede kasvuks. Seega annavad taoliselt väetatud põllud rohkesti põhku ja vähe teri.

Optimaalseks odra külvisemääraks võiks olla 300 ja suvinisu külvisemääraks 350 seemet ruutmeetrile. Ka suvirapsi külvisemäärade arvutamisel tuleks lähtuda seemnete arvust pinnaühikul. Optimaalseks tuleks pidada 40-50 taime ruutmeetril. Sorditi on seemned erineva suurusega. 1000 tera mass võib olla 2,7 grammist kuni 4,5 grammini ja enamgi. Kui me seda ei arvesta ja külvame mõlemaid näiteks 5 kg ha⁻¹, siis saab peenemaid seemned pinnaühikule pea poole rohkem kui tuumakamaid seemneid.

Kokkuvõte

Praeguses majanduslikus situatsioonis, kus mineraalväetiste hind on kõrge ja põllukultuuride hinnad suhteliselt madalad, on vedelsõnnik väga oluliseks väetiste allikaks, seda just lämmastiku ja ka kaaliumi osas. Peale selle on vedelsõnnik ka mikroelementide allikas. Selle ressursi efektiivne kasutamine sõltub käitlemise tehnoloogiast. Peaesmärk on, et vedelsõnniku saaks kiiresti mulda viidud. Kõige paremini tagavad selle laoturid, mis on komplekteeritud muldaviimise tööseadistega.

Ülesharitud söödipõldudel vedelsõnniku efektiivse kasutamise eeltingimuseks on taimiku allasurumine üldhävitava herbitsiidiga.

Vedelsõnniku kasutamine eeldab tavapärasest väiksemat külvisemäära: see võiks olla 300-350 idanevat suviteraviljaseemet ja 40-50 rapsiseemet ruutmeetrile.

Vedelsõnniku kasutamine suurendab umbrohtude levikut. Seepärast peab nende tõrje olema integreeritud selliselt, et mehaaniline tõrje on ühendatud keemiliste tõrjevõtetega.

VÄRVITAHVLID

Järgnevatel värvitahvlitel tuuakse näiteid nii korralikust kui puudulikust mullaharimisest. Tutvustatakse vedelsõnniku laotamise ja muldaviimise erinevaid viise ning masinaid. Juhitakse tähelepanu vedelsõnniku laotamisel tehtud vigadele. Tuuakse näiteid pritsimisel tehtud eksimustest ja sellest, mis juhtub põllul siis, kui eksitakse agrotehnika põhitõdede vastu. Tuuakse esile suure saagi saamiseks vajalikke eeldusi ja agrotehnilisi võtteid.



Joonis 1. Korralik söödikund



Joonis 2. Kas selliselt künda on mõistlik?



Joonis 3. Lohisvoolikutega laotatud vedelsõnnik vajab kohest muldasegamist



Joonis 4. Tihenemata muldadel tuleks vedelsõnnik mulda segada rullrandaaliga



Joonis 5. Tihenenud muldadel tuleks vedelsõnnik mulda segada rullkäpp-randaaliga



Joonis 6. Pinnalelaotatud vedelsõnniku muldasegamisega on hiljaks jäädud



Joonis 7. Vedelsõnniku puudulik muldaviimine: kulunud ketasseadised ei moodusta piisavalt suuri lõhesid vedelsõnniku mahutamiseks



Joonis 8. Vegetatsiooni ajal vedelsõnnikuga pealtväetatud talinisu



Joonis 9. Suur külvisemäär pluss vedelsõnnik annavad palju põhku kuid vähe teri



Joonis 10. Liiga suur vedelsõnniku kogus põhjustab vilja lamandumise



Joonis 11. Vedelsõnnikuga ebaühtlaselt väetatud ja puuduliku umbrohutõrjega talinisu



Joonis 12. Suure saagi aluseks on pikad pead ja tuumakad terad



Joonis 13. Õige külvisemäär ja vedelsõnnik annavad tiheda taimiku



Joonis 14. Vedelsõnnik stimuleerib mullaelustikku

ÜLEVAADE VEDELSÖNNIKU KÄITLEMISE TEHNOLOOGIADEST

Viimastel aastatel on Eestis rekonstrueeritud hulgaliselt vanu ja ehitatud uusi vedelsõnnikusüsteemidega loomapidamishooneid ning seetõttu on oluliselt suurenenud käitlemist vajava vedelsõnniku kogus. Käivitunud ja käivitumas on biogaasi- ja koostootmisjaamad, kus tekib vedel kääritusjääk e digestaat, mis vajab samuti põldudele laotamist. Võrreldes tahesõnnikuga on vedelsõnniku kasutusvõimalused paindlikumad. Vedelsõnnikut saab teisaldamiseks pumbata torude või voolikute kaudu. Tahesõnniku laadimiseks kasutatavate tsüklilise toimega laadurite ning laoturite konstruktsioon on mõnevõrra keerukam. Sõltuvalt vajadusest võib vedelsõnnikut laotada nii kevadel kui sügisel. Samuti on võimalik vedelsõnnikuga pealtväetada kasvavaid kuni 30 cm kõrguseid kultuure. Teraviljade kasvuaegse väetamise tehnoloogiaid ja efektiivsust on uuritud mitmel pool maailmas, sh ka Eestis (P. Viil jt).

Tootmiskulude minimeerimise ja mullakaitse vajaduse tõttu on hakanud järjest enam levima künni asemel mulla pindmine harimine. Pindharimise masinate suure tootlikkuse tõttu sobivad need ka laotatud vedelsõnniku kiireks segamiseks mulda. See võte vähendab ammoniaagi lendumiskadu, soodustab orgaanilise aine lagunemist ja ergutab umbrohuseemneid tärkama. Põllumajanduslikke teenustöid osutavad firmad pakuvad liikurlaoturitega vedelsõnniku muldasegamineenust, mille korral ühe töökäiguga laotatakse vedelsõnnik ja valmistatakse põld külviks ette. Sobiva laotamisviisi valikul on vedelsõnnikuga väetamine võimalik nii künni, pindharimise kui ka otsekülvi tehnoloogia korral.

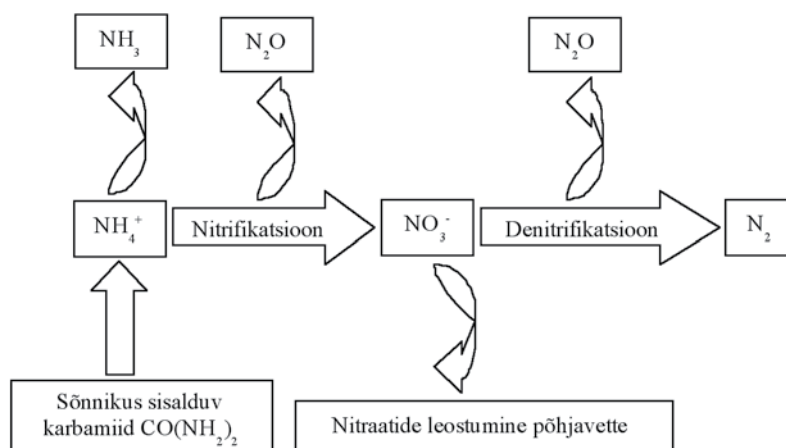
Vedelsõnnik väetisena

Mineraalväetiste hinna tõusu tõttu on vedelsõnnik muutunud arvestatavaks kohalikuks väetiseks, sest sisaldab taimedele vajalikke toiteaineid (N, P, K, Ca, S, Mg jt). Lämmastik on vedelsõnnikus esindatud nii anorgaanilises (mineraalses) kui ka orgaanilises vormis. Mineraalne lämmastik, põhiliselt sõnnikus sisalduvast karbamiidist hüdrolüüsunud ammooniumioonidena (NH_4^+) on taimede poolt kergesti omastatav, kuid ammooniaagina (NH_3) kergesti atmosfääri lenduv. Samuti on lenduv dilämmastikoksiid (N_2O), mis tekib pärast vedelsõnniku muldaviimist nitrifikatsiooni ja denitrifikatsiooni käigus. Vedelsõnniku kasutamisel väetisena on ümbritsevale keskkonnale peamiseks riskifaktoriteks vedelsõnnikus sisalduva lämmastiku emissioon atmosfääri ammooniaagina ja lämmastiku oksiididena, samuti leostumine nitraatidena pinna- ja põhjavette (joonis 1). Suurte laotusnormide korral võib esineda ka fosfori ja kaaliumi ärakannet põllult, kui pinnaveel on võimalik voolata mulda imbumata põllult ära.

Ammoniaagi lendumist suurendavad laotamisaegne kõrgem õhutemperatuur (Misselbrook jt, 2006), tuul (Pinder jt, 2004), vedelsõnniku kõrgem pH, kuivaine- ja ammooniumlämmastiku sisaldus (Mattila, 2006) ning kõrgem mulla pH, temperatuur (Sommer jt, 2003; Misselbrook jt, 2006) ja vähene niiskusesisaldus (Potter jt, 2003). Määrava tähtsusega on vedelsõnniku laotamise ja muldaga segamise vaheline ajavahemik. Ammoniaagi lendumist on uuritud mitmel pool maailmas. Euroopa Liidu toetusel viidi aastatel 1998-2001 läbi rahvusvaheline uurimisprojekt „Ammonia Loss from Field-applied Animal Manure“ (ALFAM), milles osalesid teadlased Taanist, Itaaliast, Hollandist, Norrast, Rootsi, Šveitsist ja Suurbritanniast (Søgaard *et al.*, 2003). Projekti käigus võrreldi ammoniaagi lendumist vedelsõnniku erinevate laotustehnoloogiate korral nii rohumaal kui ka põllumaal. Projekti tulemusena leiti, et ammoniaagi kao vähenemine paisklaotusega võrreldes oli

keskmiselt järgmine: lohisvoolikseadis 32%, taldmikseadis 60%, avalõheseadis 67%, sulglõheseadis 82% ja sügav muldaviimine 86%. Vedelsõnniku sügavale pinnasesse sisestamise korral on küll väiksem ammoniaagi lendumine, kuid suureneb nitraatide leostumise oht.

Eestis on vedelsõnniku laotamine keelatud ajavahemikus 1. detsembrist kuni 31. märtsini ning muul ajal, kui maapind on kaetud lumega, külmunud või perioodiliselt üleujutatud. Samuti ei tohi vedelsõnnikut anda muul põhjusel veega küllastunud maale (Veeseadus, 2011). Kui Eestis üldiselt on sõnnikuga lubatud anda haritava maa ühe hektari kohta keskmiselt kuni 170 kg lämmastikku aastas ja mineraalväetistega selline kogus lämmastikku, mis on põllumajanduskultuuride kasvuks vajalik, siis nitraaditundlikul alal on sõnniku- ja mineraalväetistega kokku lubatud anda haritava maa ühe hektari kohta keskmisena kuni 170 kg lämmastikku aastas. Kaitsmata põhjaveega aladel ei tohi mineraalväetisega antav lämmastikukogus olla aastas üle 120 kg haritava maa ühe hektari kohta ning taliviljadele ja mitmeaastastele rohumaadele korraga antav lämmastikukogus üle 80 kg haritava maa hektari kohta (Pandivere ja Adavere-Põltsamaa nitraaditundliku ala kaitse-eeskiri, 2003).



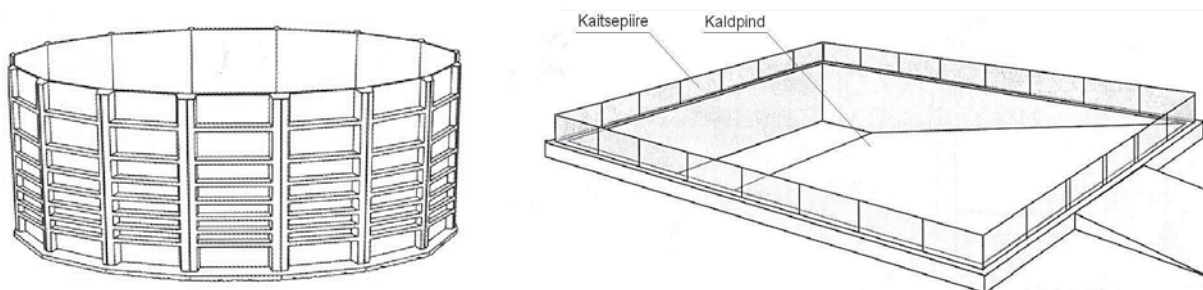
Joonis 1. Vedelsõnnikus sisalduva ammooniumlämmastiku muundumise protsess

Vedelsõnniku hoiustamine

Vedelsõnnikut tuleb kuni kasutamiseni hoiustada vastavalt seaduses sätestatud nõuetele. Vastavalt „Saastuse kompleksse vältimise ja kontrollimise seadusele“ pidid intensiivse sea-, veise- ja linnukasvatusega tegelevad ettevõtted (nn IPPC - Integrated Pollution Prevention and Control ettevõtted) rakendama hetkel saadaolevat parimat võimalikku tehnoloogiat (PVT) hiljemalt 31. oktoobriks 2007. Vastavalt Veeseadusele peab hoidla mahutama vähemalt 8 kuu sõnniku.

PVT vedelsõnniku säilitamiseks on lekke- ja korrosioonikindel, mehhaaniliste-, keemiliste- ning termiliste mõjuritele vastupidav betoon- või teraselementidest mahuti või eelmainitud mõjurite suhtes vastupidav plastmaterjalist laguun-tüüpi hoidla (joonis 2). Plastmaterjali korral tuleb arvestada ka päikese ultraviolettkiirguse kahjuliku mõju enamikele plastikutele. Hoidla võib olla täielikult maa pinnal, osaliselt, või täielikult maa sees. Hoidlat tühjendatakse regulaarselt tehnilise korrasoleku kontrolliks ning hooldustöödeks. Vedelsõnnikut segatakse ainult vahetult enne laotamist, sest segamise käigus lendub hulgaliselt lämmastikku ammoniaagina. Gaasiliste ühendite (CO_2 , NH_3 , CH_4 , N_2O) lendumise tõkestamiseks säilitusperioodil peab vedelsõnnikuhoidla olema kaetud. Betonelementidest või teraskonstruktsioonidest poolvedel- ja vedelsõnniku rõngashoidlate katmiseks sobivad 10 cm paksune kergkruusa-, hekselpõhu- või 0,5 cm paksune

rapsiõlikiht, ujuv membraankate, samuti õhutihe katus (PVT, 2007). Poolvedel- ja vedelsõnniku laguunhoidlate katmiseks soovitatakse kasutada kilematerjali või ujuvkatet (kergekruus, hekselpõhk vms). Lämmastiku emissioon katmata vedelsõnnikuhooldlast on 15-40%, ujuvkatte korral 5–20% ja jäiga katte kasutamisel 5% (PVT, 2007).



Joonis 2. Vedelsõnniku „Acontank“ betoonelementidest rõngas- ja laguunhoidla

Kui sõnnikuhoidla kuulub 1. jaanuaril 2002. a. kasutusel olnud üle viie loomühikuga lauda juurde ning asub nitraaditundlikul alal, pidi hoidla olema kaetud 31. detsembriks 2008. a. Kui laut asub väljaspool nitraaditundlikku ala ja loomühikute arv on üle 10, siis peab hoidla olema kaetud 1. jaanuariks 2013. a. (Veekaitseõuded ..., 2011). 2010. aasta Statistikaameti küsitluse alusel oli Eestis kokku kaetud 51,3% vedelsõnniku- ja 78,2% virtsahoidlatest (Statistikaamet, 2011).

Vedelsõnniku segamine, pumpamine ja töötlemine

Hoidlas seismisel vedelsõnnik kihistub, sellise vedelsõnniku toitainete sisaldus on kihtide lõikes väga ebahühtlane. Seetõttu tuleb vedelsõnnikut enne proovide võtmist ja väljapumpamist segada (homogeniseerida). Veiste vedelsõnniku segamine vähese settega hoildlates peaks algama vähemalt 4 tundi enne laotamist. Mida paksem on sete, seda kauem tuleb vedelsõnnikut segada.

Vedelsõnnikut segatakse kas:

- 1) mehaaniliselt - tööorganiks on pöörlev tiivik;
- 2) hüdrauliliselt - vedelsõnnikut pumbatakse (tagasi);
- 3) pneumaatiliselt - hoidla põhja pumbatakse suruõhku.

Segureid käitatakse kas elektri- või hüdro mootoriga või saavad nad ajami traktori käitusvõllilt. Seadmed võivad olla nii statsionaarsed (enamasti elektrikäitusega) kui ka teisaldatavad.

Vedelsõnniku põhilised töötlemisviisid on:

- 1) separeerimine – eraldatakse vedel ja paks fraktsioon;
- 2) aereerimine – õhustamine – eesmärgiks on vähendada sõnnikus ammooniumlämmastiku sisaldust ja lõhnaainete eritumist; aereerimisel vedelsõnnik käärneb aeroobselt, käärinud vedelsõnnikuga väetatakse põllu- ja rohumaid;
- 3) anaeroobne – biogaasi tootmine – anaeroobsete protsesside tulemusena viiakse suur osa vedelsõnniku ammooniumlämmastikust mittelenduvasse vormi, väheneb lõhnaainete emissioon ning langeb orgaanilise aine sisaldus; anaeroobse käärimise saaduseks on biogaas ja käärimisjääd; biogaas asendab maagaasi, käärimisjäädidega väetatakse põllu- ja rohumaid;
- 4) keemiline ja/või bioloogiline töötlemine – eesmärgiks on saaste- ja lõhnaainete emis-

siooni vähendamine, vedelsõnniku füüsikaliste omaduste muutmine, toitainete sisalduse suurendamine ja/või patogeensete mikroorganismide hävitamine;

- 5) komposteerimine on hästi rakendatav tahesõnnikusüsteemis, sügavallapanu korral või kui separeerimisel vedelsõnnikust separeeritakse tahe fraktsioon. Vedelsõnnik on kompostimiseks liiga suure veesisaldusega, kuna optimaalne niiskussisaldus on 60%. Taheda materjali lisamine aitab vähendada niiskussisaldust.

Vedelsõnniku transport ja laotamine

Vastavalt seadusandlusele peab üle 300 loomühiku loomi pidav isik, kes kasutab loomapidamishoones vedelsõnnikutehnoloogiat, või isik, kes lepingu alusel laotab 300-le loomühikule vastava koguse loomade vedelsõnnikut, koostama enne vedelsõnniku laotamist laotamisplaani, milles näidatakse laotatav vedelsõnniku kogus, laotusala pindala, laotamisviisid, laotusala põhjavee kaitstus, laotusalal asuvad pinnaveekogud ja veehaarded. Vedelsõnniku laotamisplaani kinnitab Keskkonnaamet kolme aasta kohta. Vedelsõnniku koguse suurenemisel peab taotlema laotamisplaanis muudatuste tegemist.

Vedelsõnnik transporditakse ja laotatakse vedelsõnnikulaoturiga, mis on kas haagised, poolhaagised või liikurmasinad.

Haagislaoturid on tavaliselt kahe- või kolmeteljelised, kogu massi kannab oma veermik.

Poolhaagislaoturite veermik on ühe- kuni kolmeteljeline, ka tandemina, suurt osa laoturi massist kannab tiisli kaudu traktori haakeseadis.

Liikurlaoturitel on oma mootor ja juhtimissüsteem, manööverdamise lihtsustamiseks on tavaliselt kõik rattad juhitud (sh nn "krabikäik").

On veel olemas ripplaoturid, mille jagamispea ja laotusseadis on traktori haakeseadisel. Vedelsõnnik pumbatakse hoidlast või vahemahutist laoturini ema- ehk toitevooliku kaudu, seda veab traktor järel. Sõltuvalt kasutatava pumba tootlusest saab kasutada kuni 1000 m pikkust toitevoolikut läbimõõduga 65 kuni 90 mm. Voolikute kerimiseks on traktorile haagitud voolikutrummel. Ummistuste vältimiseks ei tohiks kasutatava vedelsõnniku kuivainesisaldus ületada 5% (Vacutec, 2011). Sellise laoturi suurimaks eeliseks on mulla väiksem tallamine. Peamisteks puudusteks on vooliku takistamatuks liikumiseks vajalik eelnev pinna planeerimine, takistustest tingitud tühisõidud ja vooliku lohistamiseks vajalik lisavõimsus.

Laoturite põhisõlmed on:

1. Raam koos veermikuga, teraspaagiga laoturitel võib raam puududa, mispuhul kandvaks ning teisi sõlmi ja tööseadiseid siduvaks elemendiks on paak.
2. Vedelsõnniku paak, selleks võib olla galvaniseeritud, tsingitud või seest korrosioonitõrjeks epoksiidvaiguga kaetud teraspaak, samuti on kasutusel alumiinium- ja plastpaake.
3. Pump - kas kompressor-vaakum-, labarootor-, pöördkolb- või eksentrikruvi-pump.
4. Kas rõht- või püstrootorjagur (enamasti varustatud löikeseadisega) või tigukonveierjagur.
5. Laotamisseadised.

Laoturitel on tavaliselt veel mitmeid lisaseadiseid, nt: tankimisseadis, segur, juhtarvuti, valgustid, rehvirõhu muutmise seadis jt. Hüdrauliliselt liigutatav tankimisseadis hõlbustab paagi täitmist (ei pea ühendama voolikuid). Lihtsamate ja odavamate seadiste korral tuleb imivoolik ühendada

ja pumpa ümberlülitada käsitsi. Segur väldib vedelsõnniku kihistumise sõidu ajal. Arvuti ja andurite ning täiturmehhanismide olemasolul saab automaatselt reguleerida põllule väljastatava vedelsõnniku kogust vastavalt liikumiskiirusele. Arvutist saab välja printida info vedelsõnniku koguse ja laotamisala kohta.

Pinnase tihendamise vähendamiseks on võimalik valida laiad rehvid ja rehvirõhu muutmise süsteemid. Tihti saab rehvirõhku vastavalt vajadusele muuta automaatselt.

Vedelsõnniku vedu ja laotamine põllule võib toimuda nii otseveo- (sama masin transpordib ja laotab) kui ümberpumpamistehnoloogiaga (vedelsõnniku transpordiks ja laotamiseks on erinevad masinad). Ümberpumpamistehnoloogia eeliseks on laoturi tootluse maksimaalne kasutamine. Ka võib siis põllul töötaval laoturil vähendada rehvirõhku. Nii ettevedavate veokite kui laoturi seisakute vältimiseks (seisakud on põhjustatud ettevedavate veokite ja laoturi paagi mahtude erinevusest) võib kasutada põllul vahemahuteid. Vahemahuti suurus peaks olema laoturi ja etteveopaagi mahutavuste kordne, sest siis saavad mõlemad masinad töötada teineteisest sõltumata. Ettevedavate paakhaagiste mahutavus on kuni 30 m³. Etteveomasina massi (paagi suurus) piirab nii seadusandlus kui kohalike teede kandevõime. Eesti Vabariigis on maksimaalseks lubatud täismassiks 40 t ja teljekoormuseks sõltuvalt veermiku ehitusest kuni 11,5 t. Lisaks võib kohalik omavalitsus kehtestada teljekoormusele lisapiiranguid. Kevadise teedelagunemise ajal piiratakse teljekoormus sageli 6–8 tonnini.

Vedelsõnniku laotamisviisid

Vedelsõnnikut võib laotada:

- 1) põllu pinnale - pindlaotamine,
- 2) põllu pinnale koos samaaegse sõbastamisega (muldaviimisega) - tavaliselt ketastega,
- 3) mulda või rohukamarasse sisseviimisega.

Vedelsõnniku laotamiseks põllu pinnale on levinud põhiliselt kaks moodust: vedelsõnnik paisatakse õhu kaudu laiali (paisklaotamine, paisklaotur) või jaotatakse töölaiuse ulatuses nn lohisvoolikutega (lohisvooliklaotamine, lohisvooliklaotur).

Paisklaoturid on ühe-, kahe- või kolme ja enama paiskeseadisega. Enamlevinud lahenduse korral suunatakse vedelsõnniku juga vastu kaldu asetsevat plaati, mis pihustab sõnniku laiali. Töölaius on 6–12 m. Kahe paiskeseadise korral on need paigutatud laotamisloomile. Töölaius on 12–24 m. Parema laotamisühtluse tagamiseks ja vedelsõnniku läbi õhu liikumise tee lühendamiseks on võetud kasutusele pendelpaiskuriga laoturid või kolme ja enama paiskeseadisega laoturid, mille üksikud laotamispaigad asuvad maapinnale lähemal ning mille töölaius on väiksem. Sellise paisklaoturi töölaius on 12–16 m. Paisklaoturite kasutamine on piiratud kasvavate taimede, eriti rohumaade väetamisel, kuna sõnnikuga saastunud taimedest pole võimalik valmistada kvaliteetset sööta. Selline laotamisviis sobib jahedate, tuulevaiksete ning uduste ilmadega teraviljapõldudele tagastatud peenestatud põhule laotamiseks. Kindlasti tuleb selliselt laotatud vedelsõnnik võimalikult kiiresti pinnasesse segada.

Lohisvooliklaoturitel on poomi külge töölaiuse ulatuses ühtlase vahega (20–30 cm) paigutatud maapinnani ulatuvad voolikud, mille kaudu jaotatakse vedelsõnnik ribadena maapinnale. Taimede kõrgemalasuavad lehed jäävad puhtaks. Vedelsõnnik suunatakse voolikutesse jaguri kaudu, mis võib olla vertikaalne või horisontaalne ja varustatud lõikeseadmega. Töölaius on 9–36 m. Lohisvooliklaotur sobib nii põllu- kui ka rohumaade (kasvavate taimede) väetamiseks. Kuivanud

maapinnale laotatud vedelsõnnik ei imbu piisavalt kiiresti pinnasesse mistõttu lendub palju ammoniaaki.

On veel olemas laoturid, mis on põhimõtteliselt sarnased lohisvooliklaoturitega, kuid selle erinevusega, et igale voolikule on paigaldatud „liuguv taldmik“, mille väljavooluavaga kand toetub maapinnale. Vedelsõnnik laotatakse enamasti taimkatte alla mulla pinnale, kuid mõnel seda tüüpi seadisel löikab taldmik või kiil vedelsõnniku jaoks väikese sügavusega pilu. Laoturi töölaiuseks on 6–18 m ja ta sobib nii põllu- kui ka rohumaade (kasvavate taimede) väetamiseks.

Seadised vedelsõnniku sisseviimiseks mulda või kamarasse jagunevad üldjoontes kaheks. Ühel juhul löigatakse pinnasesse ca 5-20 sentimeetri sügavused lõhed, kuhu vedelsõnnik suunatakse voolikute kaudu. Teisel juhul pressitakse vedelsõnnik maa sisse survega.

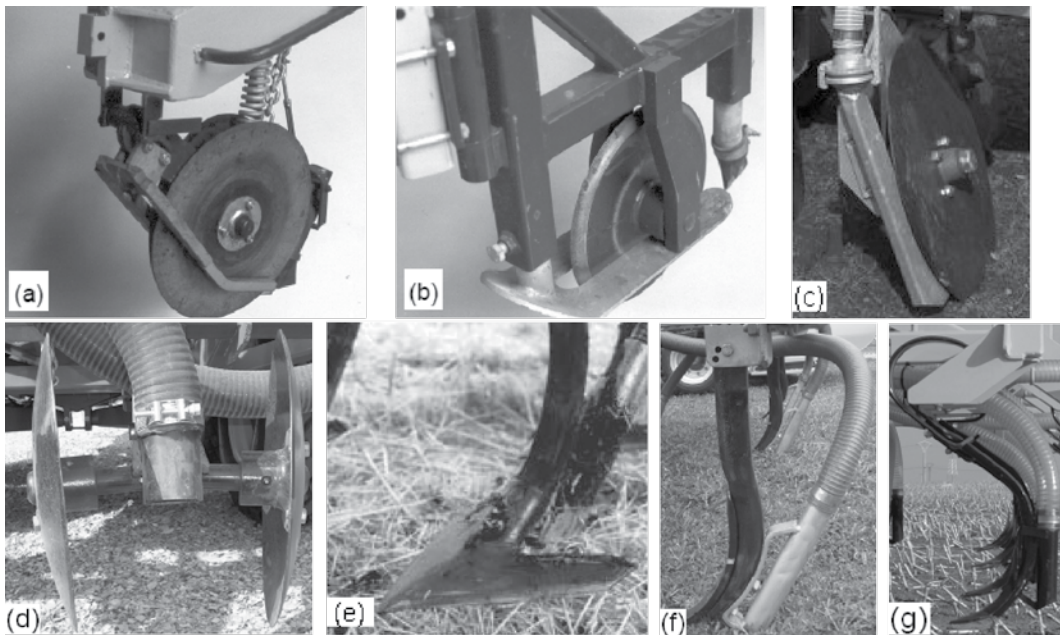
Avalõhe seadised - vedelsõnnik suunatakse 5–15 cm sügavusele pinnasesse. Lõhed löigatakse kamarasse spetsiaalsete nugade või ketastega. Lõhedevaheline kaugus on tavaliselt 20–40 cm ning laoturi töölaius 4–8 m. Sellised seadised ei sobi väga kivistele ning raskete muldadega põldudele, kuhu vajaliku sügavusega lõhe löikamine on problemaatiline.

Sulglõhe seadised - vedelsõnniku suunatakse 5–20 cm sügavusele pinnasesse. Sõnnikuga täidetud lõhe suletakse vannase järel oleva surveratta või rullikuga. Seadise eeliseks on 30–40% väiksemad toitainetekaod võrreldes sama võimsusega lohisvoolikseadisega. Samaaegselt sõnniku laotamisega kobestatakse mõningal määral ka mulda. Seadme puuduseks on väiksem laotamislaius, vajadus võimsamate traktorite järele ning suur oht kasvavate taimede juurestikku vigastada. Suletud lõhega laotamiseseadiste kasutamist piiravad eelkõige mullastikutingimused. Kivistele ja savistele (rasketele) muldadele see ei sobi.

Lõhede löikamiseks on kasutusel järgmised tööseadised:

- 1) kahekettaline tööseadis, mis löikab mulda V-kujulise pilu, kuhu voolikust suunatakse vedelsõnnik (joonis 3 a);
- 2) ühekettaline tööseadis (tavaline või paksem, vertikaalsihis kallutatud, joonis 3 b ja c);
- 3) kahe sfäärilise kettaga tööseadis, mis segab vedelsõnniku mullaga (joonis 3 d);
- 4) hanijalgkäpp (joonis 3 e), kobestuskäpp või S-pii (joonis 3 f ja g).

Survelaotusel pressitakse vedelsõnnik üle 10 atmosfäärilise rõhuga kuni 5 cm sügavusele pinnasesse. Tööseadisteks on kõrgsurvet taluvad jaotuskambrid (joonis 4). Tööasendis libisevad need maapinnal, transpordiasendis tõstetakse üles. Kambri alumisel küljel on viis ava, mille kaudu kõrgsurvepumbast tulev vedelsõnnik pihustatakse maasse. Avade juures on pöörlevad noad, mis tekitavad pulseeriva joa ja hoiavad väljalaskeava puhtana. Mooduse eeliseks võrreldes lohisvooliklaotusega võib pidada saasteainete emissiooni vähenemist õhku üle 40%. Seda moodust saab kasutada madala taimestikuga ja pinnakivideta põldudel.

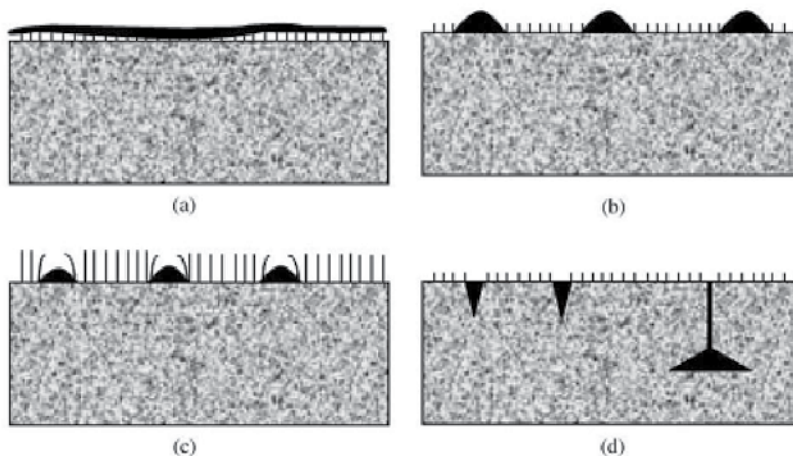


Joonis 3. Vedelväetise muldaviimise tööorganid



Joonis 4. Vedelsõnniku muldaviimine surve-laotusega

Erinevate seadmetega laotatud vedelsõnniku paiknemisest mulla pinnal või mulla sees annab ülevaate joonis 5.



Joonis 5. Vedelsõnniku paiknemine erinevate laotusviiside korral (Misselbrook, 2002)
 a – paisklaotamine, b – lohisvoolik, c – liuguv taldmik, d – vasakul madal sisestus (avatud lõhe),
 paremal sügav sisestus (suletud lõhe)

Jooniselt on näha, et paisklaotamisel kaetakse kogu põllupind ja taimed vedelsõnnikuga. Lohisvooliklaotamisel jääb vedelsõnnik maapinnale ribadena ja taimedele, mis jäid voolikutest väljuva sõnnikunire alla. Liuguva taldmikuga seadise korral paikneb vedelsõnnik samuti ribadena, kuid asetseb vahetult mulla pinnal taimkatte all ja osaliselt ka maapinna sees. Madala sisestuse korral asetseb vedelsõnnik pinnasesse lõigatud pilus, suure laotusnormi korral aga jääb osa vedelsõnnikust maa pinnale. Sügava sisestuse korral paikneb kogu laotatud vedelsõnnik pinnasesse lõigatud kanalis.

Parim võimalik tehnoloogia (PVT) väetamisel on väetiste tasakaalustatud andmine kõlvikutele vastavalt mullastiku ja taimede vajadustele, õhusaaste (hais) vältimine ja keskkonna(mulla)säästliku tehnika kasutamine. PVT on vedelsõnniku andmine koos mulda viimisega. Arvestatavad on ka lohisvoolik- ja paisklaotamine kui laotatud vedelsõnnik segatakse **mulda hiljemalt 6 tunni jooksul peale laotamist**. Vedelsõnniku laotamisel rohu- ja karjamaadele on PVT vedelsõnniku kamarasse viimine, samuti lohisvooliklaotamine. Paisklaotamine sõnniku andmisel rohu- ning karjamaadele ei ole PVT. Ammoniaagi kadude – lendumise vähendamisel on määravaks teguriks sõnniku laotusjärgne kiire muldaviimine. Rohu- ja karjamaade puhul ei ole sõnniku muldaviimine mõne laotamismeetodi korral aga võimalik. Mitmete kirjandusallikate põhjal (Smith et al., 2000; Huijsmans, J.F.M., 2003; Misselbrook et al., 2005; Defra, 2006, PVT, 2007) on ammoniaagi lendumist tingitud keskmise lämmastikukao väärtused järgmised, tabel 1.

Tabel 1. Keskmine ammooniumlämmastiku kadu erinevate laotamistehnoloogiate korral

Laotamistehnoloogia	NH ₄ -N kadu, %
Paisklaotamine, millele ei järgne mullaga segamine	70
Paisklaotamine, 12 tunni jooksul muldasegamine	55
Lohisvooliklaotamine, millele ei järgne mullaga segamine	24
Lohisvooliklaotamine, 12 tunni jooksul muldasegamine	10
Lohisvooliklaotamine kasvavatele taimedele (taimiku kõrgus on 10–30 cm)	20
Lohisjalaslaotamine kasvavatele taimedele (taimiku kõrgus on vähemalt 8 cm)	18
Avalõhe-sisestus rohumaal	10
Laotus sõbastamisega	5
Sulglõhe-sisestus rohu- või põllumaal	1

Elurajoonide läheduses tuleb arvestada lõhnasaastega. Seepärast kuulub PVT juurde sõnniku laotamise vältimine nädalavahetustel ning pühade ajal, samuti tuleb arvestada tuule suunaga (PVT, 2007).

Tabeli 1 andmetest järeldub, et vedelsõnniku kasutamise efektiivsus sõltub laotamistehnoloogiast ning laotamise ja muldaviimimise ajalisest vahest. Pinnalelaotamisel lohisvoolikutega või paisklaoturiga tuleks vedelsõnnik segada mulda võimalikult kiiresti, soovitatavalt vahetult laotamise järel. Selleks sobivad nii rullrandaal, rullkärprandaal kui hõlmkoorel. Mida kõrgem on laotamisaegne õhutemperatuur, seda suuremad on lämmastikukaod ja seda väiksemaks jääb vedelsõnniku positiivne mõju (Misselbrook *et al.*, 2006). Samuti suurendab ammoniaagi emissiooni tuul

(Pinder *et al.*, 2004). Mulla madalam pH (Sommer *et al.*, 2003) ja suurem niiskus (Potter *et al.*, 2003) aga vähendavad ammoniaagi emissiooni. Temperatuuri ja niiskuse mõju sõnnikus sisalduva ammoniumlämmastiku kaale ammoniaagi emissioonina on esitatud tabelis 2. Seal toodud andmed näitavad, et mida suurem on laotamise ajal õhuniiskus ja madalam on temperatuur, seda rohkem seotakse gaasilist ammoniaaki ja seetõttu vähenevad sõnnikus sisalduva ammoniumlämmastiku kaod.

Ammoniaagi emissiooni saab vähendada ka kui vedelsõnnikule lisada mitmesuguseid preparaate (vedelsõnniku pH regulaatorid, bakteritsiidsed preparaadid jms (PVT, 2007)).

Tabel 2. Ammooniumlämmastiku kadu (%) erinevate temperatuuride ja õhuniiskuste korral

Laotamise ja muldaviimise ajaline vahe	Keskmine	Jahe (< 10 °C)		Palav (>25 °C)	
		Niiske	Kuiv	Niiske	Kuiv
1 päev	25	10	15	25	50
2 päeva	30	13	19	31	57
3 päeva	35	15	22	38	65
4 päeva	40	17	26	44	73
5 päeva	45	20	30	50	80
Ei viida mulda	66	40	50	75	90

Kokkuvõte

Erinevate laotamisviiside korral kasutatavad seadmed erinevad üksteisest oluliselt nii hinna kui ka nende tööks vajaliku võimsuse poolest. Seetõttu peab kalkuleerima, milline seade antud tingimustes kõige paremini nii hinna kui töö kvaliteedi poolest sobib. Osade laotamistehnoloogiate korral on määravaks teguriks toitainete, eriti ammoniaagi, kadude vähendamiseks vedelsõnniku kiire muldaviimine, millega kaasnevad aga lisakulud. Vedelsõnniku mõningate laotamistehnoloogiatega väetamise kulud põllu kaugusest sõltuvalt on artiklis "Vedelsõnniku käitlemise kulud".

Kasutatud kirjandus

- Defra. 2006. ADAS Research project A Collation and Analysis of Current Ammonia Research. [WWW] <http://sciencesearch.defra.gov.uk/Default.aspx?Menu=Menu&Module=11440> (05.09.2011).
- Eesti Statistikaamet. 2011. <http://www.stat.ee/34224> (10.01.2011).
- Huijsmans, J.F.M. 2003. Manure application and ammonia volatilization. Doctoral Thesis. Wageningen University. 160 pp.
- Mattila, P.K. 2006. Ammonia emissions from pig and cattle slurry in the field and utilization of slurry nitrogen in crop production. Doctoral Thesis. MTT Agrifood Research Finland. 136 pp.
- Misselbrook, T.H., Nicholson, F.A., Chambers, B.J. 2005. Predicting ammonia losses following the application of livestock manure to land. *Biosystems Technology* 96. pp. 159–168.
- Misselbrook, T.H., Smith, K.A., Johnson, R.A., Pain, B. (2002) F. Slurry Application Techniques to reduce Ammonia Emissions: Results of some UK Field-scale Experiments. *Biosystem Engineering* 81. 313–321.
- Misselbrook, T.H., Webb, J., Gilhespy, S.L. 2006. Ammonia emissions from outdoor concrete yards used by

- livestock-quantification and mitigation. *Atmospheric Environment* 40. pp. 6752–6763.
- Pinder, R.W., Pekney, N.J., Davidson, C.I., Adams, P.J. 2004. A process-based model of ammonia emission from dairy cows: improved temporal and spatial resolution. *Atmospheric Environment* 38. pp. 1357–1365
- Potter, C.S., Klooster, S., Krauter, C. 2003. Regional modelling of ammonia emissions from native soil sources in California. *Earth Interactions* 7. pp. 1–29.
- PVT, 2007. Saastuse kompleksne vältimine ja kontroll. Parim võimalik tehnika veiste intensiivkasvatustes. http://www.ippc.envir.ee/docs/PVT/VeistePVT_parandustega.pdf (05.09.2011).
- Smith, K. A.; Jackson, D. R.; Misselbrook, T. H.; Pain, B. F.; Johnson, R. A. 2000. Reduction of Ammonia Emission by Slurry Application Techniques. *Journal of Agricultural Engineering Research* 77 (3), pp. 277–287.
- Sommer, S.G., Générumont, P., Cellier, P., Hutchings, N.J., Olsen J.E. 2003. Processes controlling ammonia emission from livestock slurry in the field. *European Journal of Agronomy* 19. pp. 465–486.
- Søgaard, H.T., Sommer, S.G., Hutchings, N.J., Huijsmans, J.F.M., Bussink, D.W., Nicholson, F. 2003. Ammonia volatilization from field-applied animal slurry - the ALFAM model. *Atmospheric Environment* 36. pp. 3309–3319.
- Vacutec. 2011. <http://www.vakutec.at/rtc-vakutec/890> (05.09.2011).
- Veekaitse nõuded väetise- ja sõnnikuhoidlatele ning siloladustamiskohtadele ja sõnniku, silomahla ja muude väetiste kasutamise ja hoidmise nõuded. 2011. Riigi Teataja. <https://www.riigiteataja.ee/akt/720428?leiaKehtiv> (05.09.2011).
- Veeseadus. 2011. Riigi Teataja. Redaktsiooni jõustumine 02.01.2011. <https://www.riigiteataja.ee/akt/123122010041?leiaKehtiv> (05.09.2011).

MULLA PINNALE LAOTATUD VEDELSÖNNIKU MULLAGA SEGAMISE SEADISTEST

Mulla pinnale laotatud vedelsõnnik tuleb segada mullaga võimalikult kiiresti. Selleks on võimalik kasutada erinevate tööseadistega mullaharimisriistu. Tihti on ühele raamile paigutatud erineva ülesandega seadiseid, et ühe töökäiguga sooritada mitu vajalikku toimingut. Mulda töötlevate seadistena on kasutatusel hõlmad, kettad või piid .

Hõlm

Eestis senilevinud atradelt ja hõlmkoorlitelt tuntud, mullakihti külgsuunas nihutava ja samal ajal pöörava pinnakujuga seadised viivad küll laotatud materjali mullakihi alla, kuid segamine mullaga on tagasihoidlik. Segamise tõhustamiseks peab hõlma kuju olema pigem viilu murdevkobestav kui pöörav. Riista soetamisel peab müüja oskama hõlma iseloomustada, sest tellida tuleb vajaliku kujuga hõlm. Ribihõlma korral on võimalik hõlma parameetreid küllalt suures ulatuses oludega kohandada.

Hõlmadega riista kasutamisel on raskendatud töötamine madalal (<10 cm) töösügavusel, sest põllu ebatasasuse tõttu võivad jääda töötlemata alad. Hõlmseadise peamiseks puuduseks on suur veojõu vajadus, kuna kogu masina laiuselt nihutatakse mullakihti ühe seadise töölaiuse võrra kõrvale ja umbes 3 võrra edasi. Tööprotsessi käigus surub seadis nii vao põhja kui seinale, tekitades seal lokaalse tihenemise. Külglise tihenemise kõrvaldab järgnev töökäik, kuid vaopõhja tihenemine jääb. Pidevalt samal sügavuse töötades on oht püsiva tihenemise kihi tekkeks vao põhjale.

Peamiseks hõlmseadise puuduseks vedelsõnniku muldaviimisel on sõnnikukihi matmine liiga sügavale selle mullaga segamise asemel. Samuti toimub üleauruse mullakihi töötlemine.

Ketas

Liikumissuuna all nurgi paigutatud, reeglina kumera või koonilise ristlõikeprofiiliga ketas lõikab liikumisel põllu pinnast lahti mullariba ja heidab seda kõrvale, segades samal ajal mulda intensiivselt. Sõltuvalt ketta parameetritest (peamiselt läbimõõdust) on võimalik 10-18 cm sügavuse mullakihi töötlemine. Suurema läbimõõduga ketaste korral saavutatakse küll suurem töösügavus, kuid nendega ei ole võimalik kvaliteetselt madalalt (7-10 cm) töötada, kuna ketaste vahele võib jääda töötlemata ala. Eriti suurte väljalõigetega (2,5 cm või rohkem) ketaste kasutamisel tekivad probleemid töödeldava mullakihi läbilõikamise pidevuses, kuna põllupinna ebatasasuste tõttu võib sälkude põhi jääda põllu pinnast kõrgemale. Töötlemata kohtades aga ei toimu materjali segamist ega taimejuurte läbilõikamist.

Ketastega töötamisel tekib samuti tihenemise kiht, kuid see ei ole püsiv. Erinevalt hõlmriistadest kantakse osa tekkivatest reaktsioonidest üle tihendusruullile, samuti tiheneva kihi perioodiliselt kaussja profiili ja väikese tuseduse tõttu on vähetõenäoline selle kihi sattumine järjestikustel aastatel samale sügavusele. Lisaks asuvad selles tsoonis taimejuured, mis tekkinud tihedest kasvades mõneti murendada suudavad. Seetõttu on ketasriistadega harimisel tihese teke vähetõenäoline, ettevaatus on vajalik rasketel savimuldadel, kus samal ajal on ülioluline õige harimisaja tabamine.

Kiirekäiguliste (>10 km/h⁻¹) riistade kettad on reeglina kinnitatud ühe, harvem paarikaupa raamile kummileevenditel olevate kanduritega. Aeglasekäiguliste (< 10 km/h⁻¹, näiteks tavarandade) kettad on sektsiooniti ühisele völliile paigaldatud. Tihti kasutatakse X-kujulist paigaldust, kus vasak- ja parempoolsed sektsioonid on vastassuunalise toimega: reeglina esimesed mulda välja-

poole siirdavad, tagumised sissepoole tõmbavad, sektsioonidevahelised nurgad on muudetavad.

Nüüdisaegsete kiirekäiguliste mullaharimisriistade, sealhulgas rullrandaalide oluliseks koostisosaks on tihendusrull. Selle asendi (kõrgus raami suhtes) abil määratakse töösügavus, tagatakse mulla optimaalne tihendus ja soovitud pinna profiil. Rulli materjal ja profiil on määravad soovitud tulemuse saamisel. Enamasti on kasutusel terasketasrullid, kuid kohtab ka eriprofiiliga kummirõngasrulle (U- või trapetsprofiil) ja õhkrehvulle.

Terasest ketas- ja kummiprofiilrullid on osutunud küllalt vastupidavateks, malmist ketastest koostatud rullid taluvad halvasti hooletut töötamist kivistes oludes. Metallpinnaga rullide puhul on probleemiks mulla kleepumine teatud niiskuse juures. Probleem on suurem rasketel muldadel. Õhkrehvrullide korral on esinenud probleeme rehvide õhusurve püsimisega. Rehvi tühjenemist põhjustavad nii läbivad torked kui võõrkehade sattumine rehvide vahele, mistõttu surutakse rehvi velje istepinnalt sissepoole maha. Tülikaks on osutunud lapikud paekivitükid, mille paksus on paar ja pikkus-laius kümnekond cm, mis serviti rehvide vahele sattudes ka rehvi ja velge vigastama kipuvad.

Kuigi kiirekäigulised rullrandaalid võimaldavad õhukest pindmist mullaharimist teha kõrge tootlikkuse juures, ei ole nendega võimalik segada mulda orgaanilise aine suuri koguseid. *Kuna aga vedelsõnnik moodustab mulla pinnale õhukese (paksus kuivainesisaldusest sõltuvalt 0,8-2,5 cm) ja selle muldaviimiseks piisab töösügavusest 10-12 cm, sobivad rullrandaalid pinnale paisk- või lohisvooliklaoturiga laotatud vedelsõnniku muldaviimiseks.*

Piid ja kobestuskäpad

Need võimaldavad töödelda oluliselt түsedamat mullakihti. Vedrupiid võimaldavad töösügavust 15-25 cm, jäiga säärega käpad ka kuni 35 cm. Veel sügavamalt töötamisel ei ole eesmärgiks enam mulla segamine, vaid kergitamine-kobestamine.

Nüüdisaegse vedrupii kuju on valitud selline, et piisavalt kiire liikumise ($>10-12 \text{ km/h}^{-1}$) korral piiteraga lahtilõigatud viil tõuseb mööda säärt üles, langeb ettepoole ja hakkab rulluma, vajudes ühtlasi veidi kõrvale. Niimoodi rulluvas mullavallis segunevad taimejäänused ja vedelsõnnik mullaga väga tõhusalt ja tekkiv *muld-muld* kontakt ei hävita mulla struktuuri. Kirjanduses esitatakse erinevaid väiteid mulla edasi- ja kõrvalekaldumise ulatuse kohta, kuid enamasti jäävad need seadise ühe töölaiuse piiresse.

Piiseadis koosneb reeglina kandvast elemendist (vedru, liigendiliselt kinnitatud sääär) ja kuluvast elemendist (piiootsak, tera). Seetõttu on piiseadise kuluosade asendamise kulu veidi väiksem, kui ketasseadiste puhul - vahetatav detail on väiksem ja seetõttu odavam. Mitmed tootjad on välja töötanud kiirvahetussüsteemid, mis võimaldavad purunenud või kulunud otsi vahetada kas täiesti tööriistu kasutamata või keermesliideteta kiilkinnitust kasutades.

Samuti on kulumise mõju töövaliteedile väiksem. Samas ei võimalda piiseadised töödelda kvaliteetselt õhukest mullakihti ($\sim 10 \text{ cm}$), kuna rulluva mullavalli tekkimiseks ei piisa materjali. Eriti terav on probleem Eestis nii tavalistel, ebatasastel põldudel.

Sügavamalt (25-35 cm) mulda kobestavatel riistadel on mulla paremaks segamiseks kasutusel sääärtele kinnitatud mulda suunavad hõlmakesed. Nende ülesandeks on piiteralt liikumiseks vajaliku impulsi saanud mulla soovitud viisil edasi suunamine. Äärmiste piide hõlmakesed suunavad mulla keskele, sisemised reeglina kahele poole.

Suure töösügavuse puhul kannatab mulla pindmise kihi segamise kvaliteet ja nii ongi hakatud tootma kombineeritud riistu, mille raamil on nii mulda sügavamalt kobestavad käpad või piid kui

ka mulla pinnakihti intensiivselt töötlevad kettad. Sääraste riistade puhul on vältimatu tihendus-
rull, et läbivalt kobestatud mullakiht saaks optimaalselt tihendatud. Neil riistadel puudub senini
hea eestikeelne nimetus, käesolevas trükises nimetatakse neid *rull-käpprandaalideks*.

Viimatimainitud riistad on sobivad senilevinud künnipõhisel harimisel asendama atra, kuna
võimaldavad töödelda paksemat kihti, segades samaaegselt ka pindmist kihti ja tasandades ning
tihendades mullapinda. Saadud tulemus ei esita nii kõrgeid nõudmisi külvikule ja jäävad ära eba-
kvaliteetse künni põhjustatud perioodilised ebatasasused.

*Pelgalt vedelsõnniku muldaviimiseks on kõnealused riistad liiga intensiivselt mulda töötlevad, mis-
tõttu on harva põhjendatud nii energamahuka viisi valik nii õhukese orgaanikakihi (vedelsõnnikukihi
paksus põllul on (0,8-2,5 cm) töötlemiseks.*

Kõikide riistade puhul määrab töö tulemuse õigeaegsus (peamiselt mulla niiskuse suhtes) ja
nõuetekohane kasutamine. See hõlmab peale ettenähtud võimsusklassiga traktoriga (piisav töö-
kiirus!) haakimisele ka vajalikku reguleerimist ja kuluosade õigeaegset vahetamist.

VEISESÖNNIKU EFEKTIIVSUSE SÕLTUVUS MULDAVIIMISE SÜGAVUSEST

Tahe veisesõnnik on hinnatud väetis põllukultuuridele. Tema kasutamise efektiivsust on uuritud paljude kultuuride kasvatamisel. Selgitatud on andmisaegade ja koguste mõju põllukultuuride saagile ja kvaliteedile. Sõnnikut soovitatakse anda üldiselt sügiskünni alla ja taliteraviljadele juulis-augustis (Raudväli, 1996). Eestis on aga järjest ulatuslikumalt hakanud levima põllukultuuride kasvatamine pindmise mullaharimise foonil. Taliteraviljadest kasvatatakse juba üle 70% mini-meeritud või otsekülvi meetodil. Kuidas kasutada taolistes oludes veisesõnnikut? Selle kohta on aga teavet ebapiisavalt. Sõnnikuga antavate taimetoitainete ja orgaanilise aine kogused on küllalt suured. Nii antakse 50 tonni taheda veisesõnnikuga üldlämmastikku keskmiselt 200, fosforit 60, kaaliumi 120, magneesiumi 45, rauda 10, mangaani 1,2-2,5, naatriumi 15-26, kloori 20-30 ja väävlit 10-16 kg. Teisi elemente sisaldab sõnnik vähemal määral.

Taheda veisesõnniku muldaviimise efektiivsuse selgitamiseks korraldati Kuusikul aastatel 1989-2000 statsionaarne külvikorra komplekskatse. Katseala mullaks oli rähkne liivsavi (Calcic Luvisol by WRB), mille huumushorisoni tuseduseks oli 22-30 cm. Katses oli kuueväljaline külvikord (ajas ja ruumis): talirukis, kartul, hiline oder, varajane oder ristiku-timuti allakülviga, põldhein, põldhein. Kuna antud kirjutises vaadeldakse ainult taheda veisesõnniku muldaviimise sügavuse mõju põllukultuuride saagile, siis on mitmefaktorilisest katsest võetud vaatluse alla vaid seda mõjurit käsitlevad variandid.

Katses kasutatud mullaharimise variandid:

- **M1** - tahe sõnnik segatuna 0-15 cm pindmisse mullakihti (talirukkile 0-10 ja kartulile 0-15 cm);
- **M2** - tahe sõnnik antuna 22-25 cm sügavuse künni alla;
- **M3** - tahe sõnnik antuna 33-35 cm sügavuse künni alla.

Külvikorras anti sõnnik talirukkile ja temale järgnevale kartulile järgmiste normidega:

- **S1**=20+40 t ha⁻¹;
- **S2**= 40+60 t ha⁻¹;
- **S3**=60+80 t ha⁻¹.

Katseaastatel kasutatud veisesõnniku keskmine kuivainesisaldus oli 19,1% milles oli üldlämmastikku 2,18-2,70%, P 0,43 % ja K 2,11%.

Külvikorras anti mineraalväetisi foonina kõikidele kultuuridele v.a. allakülviga oder, mis sai vaid P 39 ja K 74 väetise, järgmiselt: N 70, P 39 ja K74.

Saagid on toodud metaboliseeruva energiana hektari kohta. Andmed töödeldi dispersioonanalüüsi meetodil.

Sõnnik viidi katses mulda järgmiselt. Talirukki põhk tagastati peenestatuna ja segati koristusjärgselt mulda. Septembri teisel dekaadil anti sõnnik ja segati 0-15 cm sügavuselt mulda. Tavapärase künni variandis sai sõnnik viidud valdavalt vao põhja ja sügavkünni variandis nii vao põhja kui osaliselt ka künniviilude vahele, sest siis toimus viilu pööramine mitte 180 kraadi vaid 130-140 kraadi.

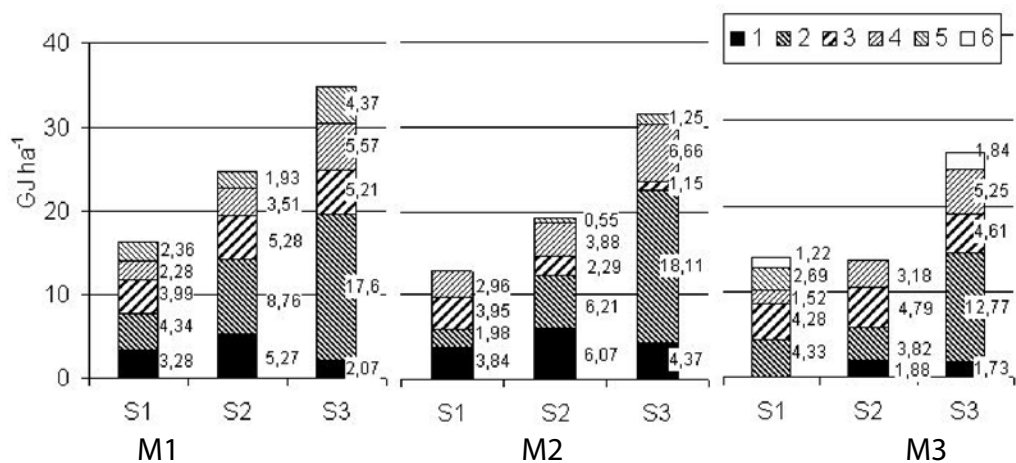
Katse näitas, et tahe veisesõnnik avaldas positiivset mõju nii talirukki kui ka kartuli saagile (tabel 1). Mida suurem kogus sõnnikut anti, seda suurem oli enamsaak. Talirukkile osutus võrdsest efektiivseks sõnniku viimine pindmisse 0-10 cm kihti või sügavale mulda (33-35 cm sügavusele). Tavapärase künniga (22-25 cm sügavusele) muldaviimisel jäi sõnniku mõju ligikaudu veerandi väiksemaks.

Saadud tulemusi kinnitavad ka varasemad uurimused (Viil *et al.*, 2007). Kartulile mõjus veisesõnnik märksa tugevamini kui talirukkile. Tegemist on siin ühelt poolt kartulile antud sõnniku otsemõjuga ja teisalt ka talirukkile antud sõnniku järelmõju koosmõjuga. Kõige efektiivsemaks osutus siingi sõnniku pindmine muldasegamine. Sõnnikuannuste keskmisena suurenes saak 10,23 GJ hektarilt ehk 14,2%, tavapärasel muldaviimisel 9,10 GJ ha⁻¹ ehk 12,6% ja sügavale muldaviimisel 6,74 GJ ha⁻¹ ehk 8,3%.

Tabel 1. Veisesõnniku mõju talirukki ja kartuli saagile

Mullaharimine	Saak sõnnikuta, GJ ha ⁻¹	Enamsaak erinevate sõnnikukoguste korral						PD _{0,05}
		S1		S2		S3		
		GJ ha ⁻¹	%	GJ ha ⁻¹	%	GJ ha ⁻¹	%	
Talirukis								
M1	51.06	3.28	6.4	4.86	9.5	5.65	11.1	2.71
M2	51.97	1.58	3.0	3.50	6.7	5.42	10.4	1.43
M3	53.67	3.05	6.7	5.08	9.5	5.76	10.7	2.82
PD _{0,05}		1.99		2.55		2.65		
Kartul								
M1	71.91	4.34	6.0	8.76	12.2	17.60	24.5	2.65
M2	71.91	2.98	4.1	6.21	8.6	18.11	25.2	2.52
M3	80.84	4.34	5.4	3.82	4.7	12.07	14.9	2.82
PD _{0,05}		2.55		2.82		2.77		

Sõnnikuga muldaviidud toitainetest kasutavad taimed esimesel aastal ära vaid osa. Lämmastikust 20-30%, fosforist 20-40% ja kaaliumist 50-70% (Raudväli, 1996). Katses kasutasid külvikorra esimesed kaks kultuuri (talirukis ja kartul) põhiosa toitainetest. Sõnniku otsemõju osakaal oli järgmine: 60 t ha⁻¹ 31-46%, 100 t ha⁻¹ 42-65% ja 140 t ha⁻¹ 55-61%. Seega, mida suurem oli sõnnikukogus, seda enam kasutati toitaineid esimesel aastal. Antsla katsejaamas aastatel 1981-1992 läbiviidud katsest aga selgus, et väikeste sõnnikuannuste kasutamisel oli sõnniku otsemõju osakaal külvikorra summaarsest enamsaagist suurem kui suuremate sõnnikuannuste kasutamisel (Kärblane *et al.*, 1999). Ülejäänud mõju jäi külvikorra teiste kultuuride arvele (joonis1).



Joonis 1. Enamsaak veisesõnniku mõjul viljavahelduse saagikusele. 1- talirukis, 2- kartul, 3- oder, 4- oder, 5- esimese aasta põldhein, 2- teise aasta põldhein.

Sõnniku usutav positiivne mõju külvikorras avaldus veel neljandal–viiel aastal pärast muldaviimist. Suure normi korral (talirukkile 60 ja kartulile 80 t ha⁻¹) oli mõju tugevam ja pikaajalisem. Sõnnikukoguse 20+40 t ha⁻¹ kasutamisel suurenes külvikorra saagikus 3,8-5,1%; sõnnikukoguse 40+60 t ha⁻¹ korral 3,9-7,7% ja sõnnikukoguse 60+80 t ha⁻¹ mõjul 7,4-9,5%. Kõige efektiivsemaks osutus sõnniku kasutamine selle pindmisel muldasegamisel ja kõige tagasihoidlikumaks sügavale muldakündmisel. Siit järeldub, et kvaliteetse taheda sõnnikuga tuleks väetada vähemalt iga nelja aasta järel. Soovitatavalt segada pindmise 0-15 cm mullakihi. Mulda tuleks veisesõnnik viia vahetult pärast laotamist. Eelnevates sõnnikukasutuse alastes uuringutes ei ole muldaviimise sügavusele erilist tähelepanu pööratud. Kõik soovitused rajanevad sõnniku muldakündmisele (Kuldkepp, 1991; Kärblane *et al.*, 1999; Masso, 1991; Raudväli, 1991). Katsest selgus, et see võte ei ole kõige efektiivsem. Märksa efektiivsem ja energiasäästlikum on sõnnik mulda viia kaasaegsete mullaharimise agregaatidega. Kerge lõimise ja aeglaselt tihenevatel muldadel rullrandaali või kergadruga. Raske lõimisega muldadel aga rullkäpprandaaliga.

Järeldused ja soovitused

Pikaajalised katsed näitasid, et:

- taheda veisesõnniku efektiivsus oli kõige kõrgem tema pindmisel muldasegamisel (0-15 cm sügavusel) ja madalam sügavale muldaviimisel (33-35 cm künd);
- sõnniku muldaviimise aastale langes põhiosa tema mõjust. S1 foonil (60 t ha⁻¹) 31-46%, S2 foonil (100 t ha⁻¹) 42-65% ja S3 foonil (140 t ha⁻¹) 55-61%;
- sõnnik avaldas positiivset mõju külvikorras ka talirukkile ja kartulile järgnenud kultuuride (odrad) saagikusele. Otse ja järelmõju tulemusena suurenes külvikorra saagikus sõnnikukoguste keskmisena pindmisel mullaharimisel 14,2%, tavapärasel muldaviimisel 12,6% ja sügavale muldaviimisel 8,3%;
- sõnniku efektiivsuse suurendamiseks tuleks künniga muldaviimisele eelistada tema pindmist muldasegamist. Pinnalelaotatud sõnnik on soovitatav mulda segada rullrandaali, rullkäpprandaali või kergadruga.

Kasutatud kirjandus

- Kuldkepp, P. 1991. Kui võrrelda orgaanilisi väetisi omavahel.- Põllumajandus nr.8/9, lk. 23-24.
- Kärblane, H., Kevvai, L., Kanger, J. 1999. Veisesõnniku mõju teravilja, kartuli, heinte saagile. – Põllumajandus nr 10, lk 2-4.
- Masso, V., Kerem, T. 1991- Kvaliteetse sõnniku tootmise ja kasutamise põhiabinõudest. – Põllumajandus nr. 8/9, lk 20-22.
- Raudväli, E. 1991. Allapanuta ja taheda sõnniku väetusväärtusest. – Põllumajandus nr. 8/9, lk. 25-26.
- Raudväli, E. 1996. Sõnnikus sisalduvate taimetoitainete omastatavus ja sõnnikuga antavate taimetoitelementide arvestuslikud kogused.. – Taimede toitumise ja väetamise käsiraamat. Tallinn, 283 lk. Koostanud H. Kärblane.
- Viil, P., Vösa, T. 2007. Talirukki `Vambo` saagikuse sõltuvus mullaharimise intensiivsusest. – Agronoomia 2007, lk. 17-20.

SÖNNIKU KOGUSED JA SELLE VÄÄRTUS EESTIS

Sõnnik, sisaldades arvestatavas koguses taimedele vajalikke toiteaineid (N, P, K, Ca, S, Mg jt), on kujunenud oluliseks kohalikuks väetiseks. Sealjuures tuleb silmas pidada sõnnikus sisalduvate toiteainete omastatavust taimede poolt. Lämmastik on sõnnikus nii $\text{NH}_4\text{-N}$ -na kui ka orgaaniliselt seotud N-na. $\text{NH}_4\text{-N}$ mõjub õige laotamistehnoloogia kasutamise korral kasutusaastal sama hästi kui mineraalväetisega antud N. Orgaaniline lämmastik peab aga esmalt mullas mineraliseeruma. Sõnnikus ja mineraalväetistes sisalduvat kaaliumi ja fosforit kasutavad taimed sarnaselt. Sõnnikus on ka orgaanilist süsinikku, mis parandab mulla struktuuri, vee- ja õhurežiimi, kuid seda on sõnniku väärtuse leidmisel keeruline arvestada. Lisaks aktiveerib sõnniku kasutamine mullas toimuvaid mikrobioloogilisi protsesse.

Uurides ja võrreldes erinevaid väetamistehnoloogiaid, on tekkinud küsimus, kui suur on laotatav sõnniku kogus ja selle liigid Eestis ning seega kui olulised on erinevat liiki sõnniku käitlemise tehnoloogiad Eestis üldiselt ja piirkonniti.

Üldiseid koguseid loomaliikide kaupa on võimalik tuletada loomade arvu ja nende aastase teoreetilise väljaheidete koguse järgi. Et selgitada vedel- ja tahesõnniku osakaalu kogu sõnnikust, korraldati 2009. aastal Eesti põllumajandusettevõtetes küsitlus.

Koik et al. (2009) on käsitlenud vedel- ja tahesõnnikus sisalduvate taimetoiteelementide põllule viimise kulusid juhul, kui on tegu ettevõttes toodetud sõnnikuga, selle rahalist väärtust ei arvestatud. Juhtudel, kus sõnnik ostetakse ettevõttesse või on mõnel muul põhjusel selle ostu-müügihinda vaja määrata, tekib vajadus hinnata selle taimekasvatuse jaoks vajaliku materjali rahaline väärtus. Käesoleva artikli eesmärk on anda ülevaade Eesti keskkonnakompleksloa kohuslaste (KKLK) nimekirjas olevate sea- ja veisekasvatusega tegelevates ettevõtetes aastas käideldava sõnniku kogustest ning selle rahalisest väärtusest põhiliste taimetoiteelementide (N, P, K) sisalduse ja hinna kaudu.

Artiklis esitatakse materjalid ja meetodikad, mille põhjal tulemused leitakse. Tulemuste osas antakse ülevaade sigade ja veiste väljaheidete summaarsest arvutuslikust kogusest, küsitletud KKLK poolt toodetud sõnniku kogustest ja sõnniku hinnangulisest rahalisest väärtusest Eestis. Arutelus võrreldakse sõnnikuliikide osakaale varem kirjanduses esitatud väärtustega ja põhjendatakse arvutuslike ning küsitluse põhjal saadud tulemuste erinevusi.

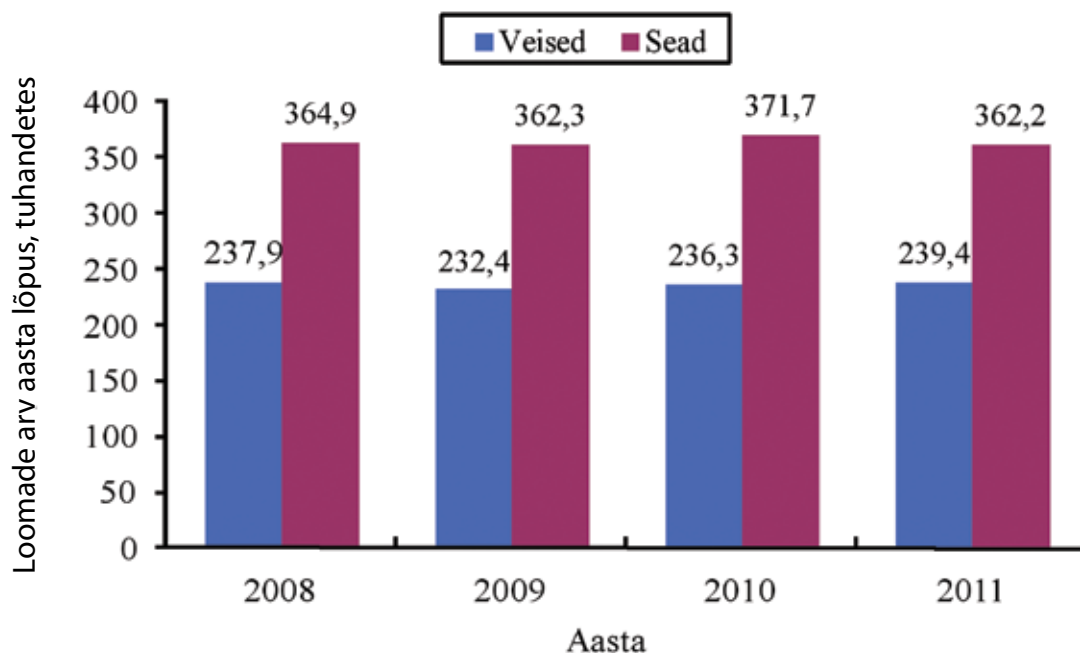
Artikli tulemusi on võimalik kasutada erinevat liiki sõnnikute käitlustehnoloogiate uurimise vajaduse põhjendamisel, sõnnikuga seotud tootmissuundade ja tehnoloogiate majandusarvutustel, sõnnikulaotuse teenuse pakkumise kavandamisel ning sõnnikuga kauplemisel.

Loomade arv

Perioodi 2008–2011 sigade ja veiste arvu muutus on esitatud graafiliselt joonisel 1 (Statistikaamet, 2011). Graafikult on näha, et viimase nelja aasta jooksul on veiste ja sigade arv Eestis suhteliselt vähe muutunud – vahemikes vastavalt 232,4–239,4 ja 362,2–371,7 tuhat.

KKLK ettevõtete küsitlus viidi läbi aastatel 2008–2009 ja seetõttu on väljaheidete aastaste koguste arvutamisel kasutatud sigade ja veiste jaotust erinevatesse loomagruppidesse 2009. aastal. Aastaste väljaheidete koguste arvutamisel võeti aluseks keskmised aastased väärtused erinevate loomgruppide lõikes, lähtuvalt määruse „Looma- ja linnukasvatusest välisõhku eralduvate saasteainete heitkoguste määramismeetodid“ (2008) lisast. Sealjuures piimaveiste puhul arvestati keskmise piimatoodanguga 7000 kg aastas lehma kohta. Eesti Statistikaametis (2011) avaldatud viimase 8 kvartali (2008. a 4 kvartal–2010. a 3. kvartal) andmete põhjal oli aasta keskmine piima-

toodang lehma kohta 6981 kg. Väljaheidetes olevate toiteelementide N, P ja K summaarse koguse arvutamisel kasutati PVT juhendmaterjalides (PVT, 2007; PVT, 2004) avaldatud vastavaid väärtuseid. Väljaheiteid käideldakse kas vedel- või tahesõnnikuna. Vedelsõnnikuna määratleti see osa, mis on pumbatav ja vedelsõnnikulaoturiga laotatav.



Joonis 1. Veiste ja sigade arv Eestis aastatel 2008–2011

Sõnniku liigid ja kogused

Andmeid, kui palju tekib aastas sea- ja veisekasvatusega tegelevates ettevõtetes tahe- ja vedelsõnnikut tegelikult, ei olegi lihtne leida. Kui veiseid karjatatakse, siis osa sõnnikut jääb karjamaale ja seda sõnnikukogust ei ole vaja käidelda. Eesti Statistikaameti andmebaas sisaldab andmeid loomaliikide koguarvu kohta erinevate vanusegruppide lõikes. Selle alusel saab arvutada keskmise sõnnikukoguse, kuid ei selgu millist sõnniku käitlemise süsteemi rakendatakse.

Eestis aastas tekkiva käitlemist vajava vedel- ja tahesõnniku koguse selgitamiseks korraldati küsitlus. Küsitluse aluseks võeti sea- ja veisekasvatusega tegelevad ettevõtted, kelle kontaktandmed olid kantud KKLK nimekirja (IPPC, 2009). Eesti Vabariigi Valitsuse määrusega „Keskkonnampleksluba nõudvate alltegevusvaldkondade ja künnisvõimsuste kehtestamine ning olemasolevate käitiste käitajate poolt kompleksloa taotluste esitamise tähtaegade kehtestamine“ (2002) on määratud vastavad künnisvõimsused:

- seakasvatuskäitisel kohtade arvuga rohkem kui 2000 seale (kehamassiga üle 30 kg) või 750 emisele;
- veisekasvatuskäitisel, kus peetakse üle 300 piimalehma või üle 400 ammalehma või üle 600 noorveise, kelleks loetakse üle 8 kuu vanuseid lehmullikaid kuni poegimiseni ja üle 8 kuu vanuseid pulle.

Küsitlus viidi läbi ajavahemikul august-september 2008. aastal ja täiendavalt täpsustati andmeid 2009. aasta septembris. Mitmetes küsitletud veisefarmides oli käsil üleminek tahesõnniku tehnoloogialt vedelsõnniku tehnoloogiale ja seetõttu ei osatud vedelsõnniku kogust prognoo-

sida. Kontaktandmed olid olemas 62 seakasvatusega tegeleva ettevõtte ja 190 veisekasvatusega tegeleva ettevõtte kohta. Tegelikult saadi kontakti 196 ettevõttega, mis oli 78% kompleksloa kohuslaste üldarvust.

Farmides toodetud sõnniku kuivaine ja taimetoiteelementide sisaldus on erinev. Arvutustes võeti aluseks aastatel 2009–2011 Põllumajandusuuringute Keskuses tehtud sõnniku keemiliste analüüside keskmised väärtused:

7,5% kuivainesisaldusega veise vedelsõnnik N – 3,5 kg t⁻¹, P – 0,6 kg t⁻¹, K – 2,0 kg t⁻¹ (173 analüüsi keskmine);

5,6% kuivainesisaldusega sea vedelsõnnik N – 4,2 kg t⁻¹, P – 1,1 kg t⁻¹, K – 1,6 kg t⁻¹ (55 analüüsi keskmine);

20,1% kuivainesisaldusega veise tahesõnnik N – 5,4 kg t⁻¹, P – 1,2 kg t⁻¹, K – 4,1 kg t⁻¹ (432 analüüsi keskmine);

22,0% kuivainesisaldusega sea tahesõnnik N – 7,3 kg t⁻¹, P – 2,8 kg t⁻¹, K – 3,8 kg t⁻¹ (25 analüüsi keskmine).

Sõnniku rahalise väärtuse leidmisel arvatati taimetoiteelementide (N, P, K) hinnad mineraalväetiste hindadest lähtuvalt. Arvutustes kasutati Baltic Agro AS hinnakirja seisuga september 2011. a.

Küsitletud 58-st seakasvatuseetevõttest oli 9 ainult tahe- ja 49 täielikult või osaliselt vedelsõnniku süsteemiga. 138-st veisekasvatuseetevõttest oli 58 ainult tahe- ja 80 täielikult või osaliselt vedelsõnniku süsteemiga. Kokkuvõtte vedel- ja tahesõnniku käideldavate koguste ja paiknemise kohta maakondades on esitatud tabelis 1.

Tabel 1. Summaarne sõnniku aastatoodang küsitletud ettevõtetes maakondade lõikes, tuhandetes tonnides

Maakond	Vedelsõnnik			Tahesõnnik		
	sead	veised	kokku	sead	veised	kokku
Harju	25,1	43,6	68,7		20,0	20,0
Hiiu				4,0	2,0	6,0
I-Viru	2,5	20,0	22,5	1,5	8,0	9,5
Jõgeva	36,1	79,2	115,3	14,8	117,8	132,6
Järva	11,5	141,9	153,4	1,9	169,1	171
Lääne	20,9	11,8	32,7		22,7	22,7
L-Viru	52,4	183,8	236,2	2,0	55,6	57,6
Põlva	31,5	76,0	107,5		17,5	17,5
Pärnu	28,5	77,0	105,5		89,6	89,6
Rapla	23,7	94,0	117,7	3,0	15,3	18,3
Saare	34,7	35,0	69,7		26,1	26,1
Tartu	36,9	129,6	166,5	6,1	54,2	60,3
Valga		36,5	36,5	1,8	9	10,8
Viljandi	140,5	74,0	214,5		30,7	30,7
Võru	20,0	33,5	53,5	4,0	16,6	20,6
Kokku	464,2	1 035,9	1 500,1	39,1	654,2	693,3

KKLLK ettevõtetes käideldakse aastas kokku ca 1,5 milj tonni vedelsõnnikut ja ca 0,7 milj tonni tahesõnnikut. Protsentuaalselt väljendades moodustab käideldavast sõnnikust 68% vedel- ja 32% tahesõnnik. Seasõnnik moodustab kogu käideldavast sõnnikust 23%. EL projekti MATRESA (*Manure Treatment Strategies for Sustainable Agriculture*, Eestis esindas seal EMVI vanemteadur Ph.D Gennadi Bogun) tulemusi kajastava Manure Management (2003) andmetel oli Eestis vedelsõnniku osakaaluks alla 50% ja seasõnniku osakaaluks alla 20% kogu sõnnikust. Järelikult on Eestis suurenenud vedelsõnniku süsteemi kasutatavate ettevõtete arv. Seasõnniku osakaalu suurenemine on seletatav sigade osakaalu 4%-se kasvuga sigade ja veiste koguarvust (Eesti Statistikaamet 2010). Vedelsõnnikut käideldakse kõige enam Lääne-Virumaal, koguseliselt järgnevad Viljandi- ja Järvamaa. Käideldav kogus oli väikseim Ida-Virumaal. Hiiumaal KKLLK vedelsõnniku tehnoloogiaga ettevõtteid küsitluse aluseks võetud nimekirjas ei olnud. Tahesõnniku käideldav kogus oli suurim Järvamaal, järgnevad Jõgeva- ja Pärnumaa ning väikseim kogus jällegi Hiiumaal.

Vedelsõnnik moodustas ettevõtetes käideldavast sõnnikust seakasvatuses 92% ja veisekasvatuses 61%. Kogu tahesõnnikust moodustas veise tahesõnnik 94%. Manure Management (2003) andmetel oli Eestis sea vedelsõnniku osakaal 50–65% seasõnnikust ja veise vedelsõnniku osakaal alla 50% veisesõnnikust. Sama allika andmeil moodustas veiste tahesõnnik üle 85% kogu tahesõnnikust.

Loomade arvu alusel prognoositav aastas tekkiv väljaheidete kogus oli 3,24 milj tonni. Küsitluse tulemusel leitud sõnnikukogus oli kokku 2,19 milj tonni. Neid kahte kogust ei saa aga võrrelda. Küsitluses osalesid ainult KKLLK ettevõtted ja väiksemate ettevõtete poolt toodetavad sõnnikukogused pole tulemustes kajastatud. Loomade arvu alusel väljaheidete koguse leidmisel ei ole arvestatud karjatusperioodiga. Samas küsitluse tulemusel leitud tahesõnnik sisaldab ka allapanu kogust. Lisaks mõjutab sõnniku kogust ja toitainete kontsentratsiooni säilitusperioodi kestel ka orgaanilise aine lagunemine käärimisprotsessi käigus, millega kaasneb intensiivne gaasiliste ühendite (CO_2 , NH_3 , CH_4 , N_2O) emissioon. Sellest tulenevalt võib hoidlasse ladustatud tahesõnnik aastase säilitusperioodi jooksul kaotada oma massist kuni 50%. Sõnniku koguseid mõjutavad ka üheltpoolt nii sinna sattuvad pesu- ja vihmaveekogused kui teisalt vee aurustumine (Kaasik et al., 2002; PVT, 2007).

Toiteainete kogused

Loomade arvu alusel arvutatud ja küsitluse tulemusel saadud sõnniku koguses sisalduvate tai-metoiteainete koguste (tabel 2) võrdlemisel selgus, et suurim erinevus on lämmastiku koguses. Küsitletud koguse NPK moodustas arvutuslikult vastavalt 48%, 58% ja 49%. Selle üheks põhjuseks on lämmastiku emissioon NH_3 -na farmihoonetest ja sõnnikuhoidlastest. PVT (2007) andmeil on kaetud tahesõnnikuhoidlast lämmastiku kadu 12–20% ja katmata hoidlast 25–40%; katmata vedelsõnnikuhoidlast on N emissioon 15–40%, ujuvkatte korral 5–20% ja jäiga katte kasutamisel 5%. Fosfori- ja kaaliumikao võimalused on väiksemad - see saab toimuda näiteks siis, kui tahesõnnik on aunastatud pinnasele või hoidla lekib. Sellisel juhul võib olla fosforil 20–22% ja kaaliumil 12–27% kadu (Kaasik et al., 2004).

Tabel 2. Loomade arvu alusel arvatud ja küsitluse tulemusena saadud sõnniku koguses sisalduv NPK hulk

Maakond	Loomade arvu alusel arvatud väljaheidete segus sisalduv kogus, t			Küsitluse tulemusel aastas käideldavas sõnnikus sisalduv kogus, t		
	N	P	K	N	P	K
Harju	953,6	173,7	567,5	366,0	77,8	209,4
Hiiu	212,8	32,6	134,7	40,0	13,6	23,4
I-Viru	427,2	74,7	265,6	134,7	28,6	82,5
Jõgeva	2 054,7	388,7	1 176,3	1173,0	270,0	755,4
Järva	2 423,0	428,1	1 504,6	1472,0	306,0	1 002,7
Lääne	668,5	112,3	419,3	251,7	57,3	150,1
L-Viru	2 414,8	442,8	1 424,1	1178,3	240,2	687,0
Põlva	1 037,4	182,8	639,6	492,8	101,3	274,2
Pärnu	1 836,4	321,6	1 146,9	873,0	185,1	567,0
Rapla	1 219,0	215,0	741,3	533,1	109,2	300,1
Saare	1 314,2	237,0	782,8	409,1	90,5	232,5
Tartu	1 183,8	220,2	694,4	945,7	200,4	563,6
Valga	724,0	124,2	457,1	189,5	37,7	116,7
Viljandi	1 934,8	392,0	1 014,1	1 014,9	235,8	498,7
Võru	828,0	146,2	508,8	320,1	73,2	182,3
Kokku	19 232,2	3 491,8	11 477,1	9 393,6	2 026,7	5 645,4

Kasutatava sõnniku laotamisnormi määramisel tuleb arvestada, et Eestis kehtiva „Veeseaduse“ (1994) alusel on sõnnikuga lubatud anda haritava maa ühe hektari kohta keskmiselt kuni 170 kg N ja 25 kg P aastas, kaasa arvatud karjatamisel loomade poolt maale jäetavas sõnnikus sisalduv N ja P. Kui leida sõnnikus sisalduva fosfori ja lämmastiku kogus, siis selgub, et sõnniku kasutamist piirab sõnnikus sisalduva fosfori hulk. Seetõttu peaks sõnniku laotamisnormi määramisel lähtuma sõnnikus sisalduva fosfori kogusest. Seejärel tuleks kontrollida kui palju antakse sõnniku antud laotamisnormi kasutamisel lämmastikku, sest mõningal juhul võib piiravaks teguriks osutuda just lämmastiku liig. Seetõttu tuleb sõnniku laotamisnormi määramisel alati lähtuda keemilise analüüsi tulemustest.

Mineraalväetiste hindadest lähtuvalt kalkuleeriti sõnniku taimetoiteelementidele järgmised hinnad: N – 0,94 € kg⁻¹, P – 2,04 € kg⁻¹ ja K – 0,85 € kg⁻¹. Aastatel 2009–2011 Põllumajandusuurin-gute Keskuses analüüsitud sõnnikuproovide keemilise analüüside tulemuste põhjal kujunes veise vedelsõnniku rahaliseks väärtuseks toiteainete sisaldusest sõltuvalt 6,22 € t⁻¹ (arvutuslik hinnava-hemik oli 1,8–20,2 € t⁻¹), sea vedelsõnnikul 7,56 € t⁻¹ (2,9–21,1 € t⁻¹), veise tahesõnnikul 10,73 € t⁻¹ (2,8–34,6 € t⁻¹) ja sea tahesõnnikul 15,81 € t⁻¹ (6,6–34,9 € t⁻¹). Sõnniku ostmisel või oma ettevõttes kasutamisel peab arvestama ka sõnniku käitluskuludega, mis määravad toiteelementide lõpliku hinna.

Kokkuvõte

Eesti KKLK ettevõtetes käideldavast sõnnikust oli 68% vedelsõnnik ja 32% tahesõnnik. Veisesõnnik moodustas kogu käideldavast sõnnikust 77%. Vedelsõnniku kogus oli suurim Lääne-Virumaal, väikseim Ida-Virumaal ja puudus Hiiumaal. Tahesõnnikut oli kõige rohkem Järvamaal ja kõige vähem Hiiumaal.

Sõnniku müügihinna määramisel peaks lähtuma sõnnikus sisalduvate taimetoiteelementide sisaldusest ja nende hinnast.

Kasutatud kirjandus

- Eesti Statistikaamet. 2011. <http://www.stat.ee/34224> (10.01.2011).
- IPPC. 2009. Kompleksloa kohuslased alltegevusvaldkondade kaupa ja künnisvõimsused, mille jaoks on nõutav kompleksluba. <http://www.ippc.envir.ee/estonian/tegevusvaldkonnad.htm> (05.09.2009).
- Kaasik, A., Leming, R., Remmel, T. 2002. Toitainete (N, P, K) kadu veise- ja seakasvatustes. Agraarteadus. 2002 * XIII * 4, lk 201–211.
- Kaasik, A., Leming, R., Remmel, T. 2004. Säilitusviiside mõju tahke veisesõnniku toiteelementide (lämmastik, fosfor, kaalium) sisaldusele. Agraarteadus. 2004 * XV * 4, lk 193–197.
- Keskonnakompleksluba nõudvate alltegevusvaldkondade ja künnisvõimsuste kehtestamine ning olemasolevate käitiste käitajate poolt kompleksloa taotluste esitamise tähtaegade kehtestamine. 2002. <https://www.riigiteataja.ee/ert/act.jsp?id=95269> (05.10.2010).
- Koik, E., Tamm, K., Vettik, R., Viil, P. 2009. Taimetoiteelementide põllule viimise kulud sõltuvalt väetise liigist. Agronoomia 2009, lk 212–207.
- Looma- ja linnukasvatusest välisõhku eralduvate saasteainete heitkoguste määramismeetodid. 2008. <https://www.riigiteataja.ee/akt/13086529/htmlisa/13095479> (07.01.2011).
- Manure Management. 2003. Manure Management. Treatment Strategies for Sustainable Agriculture. 2nd Edition. UK: Silsoe Research Institute, 451 pp.
- PVT. 2004. Saastuse kompleksne vältimine ja kontroll. Parim võimalik tehnika sigade ja lindude intensiivkasvatustes. <http://www.ippc.envir.ee/docs/PVT/sead-linnud-pvt%20eesti%20k.pdf> (07.01.2011).
- PVT. 2007. Saastuse kompleksne vältimine ja kontroll. Parim võimalik tehnika veiste intensiivkasvatustes. http://www.ippc.envir.ee/docs/PVT/VeistePVT_parandustega.pdf (07.01.2011).
- Sõnniku keskkonda säästev hoidmine ja käitlemine. 2005. AS Maves, Tallinn, 48 lk.
- Veeseadus. 1994. <https://www.riigiteataja.ee/ert/act.jsp?id=13339827> (05.10.2010).

TAIMETOITAINE MAKSUMUS SÖLTUVALT VÄETAMISTEHNOLLOOGIAST

Tõhusaks majandamiseks peab taimekasvataja kalkuleerima, milline on soodsaim tehnoloogia taimede varustamiseks toiteainetega. Mineraalväetiste kõrval on oluliseks toiteelementide allikaks nii tahe- kui vedelsõnnik, kusjuures loomühiku kohta tekib viimast kaaluliselt 1,8–2,0 korda rohkem.

Seoses mineraalväetiste hinna tõusuga on viimasel ajal suurenenud põllumeeste huvi nii vedelsõnniku kui ka tahesõnniku käitlemis-, eelkõige transpordikulude määramise vastu. Käesolevas artiklis võrreldakse erinevate väetiseliiikide – mineraalväetise ja tahe- ning vedelsõnniku käitlemiskulusid kogu käitlemisahela ulatuses: segamis-, laadimis-, veo-, ümberlaadimis- ja laotamiskulusid kokku sõltuvalt põllu kaugusest.

Sõnnikuhoidlatele lähemalolevatele põldude väetamisel kasutatakse laoturit sageli ka sõnniku vedamiseks. Kaugemate põldude korral on aga sõnniku veoks otstarbekam kasutada eraldi veokit ja põllul ümberlaadimist. Seetõttu võrreldakse käesolevas artiklis ka seda, millisest kaugusest alates tasub sõnnikuga väetamisel kasutada ümberlaadimisega tehnoloogiat.

Võrreldud tehnoloogilised variandid:

- 1) mineraalväetist laadib haagisele ja veab põllule kopplaadur, laotatakse ketaslaoturiga;
- 2) tahesõnnikut veetakse põllule ja laotatakse sama agregaadiga;
- 3) tahesõnnikut veetakse põllule traktorihaagisega ja laotatakse laoturiga;
- 4) vedelsõnnikut veetakse põllule ja laotatakse sama agregaadiga;
- 5) vedelsõnnikut veetakse põllule renditud paakautoga ja laotatakse oma laoturiga.

Lähteandmed I – masinate hinnad

Arvutuste lähteandmeteks koguti masinate maaletoojatelt väetiste käitlemistehnika hindu, hinnavahekud on esitatud tabelites 1–5. Mineraalväetise laoturite hinnad on pärit 2010/2011. aasta Saksa majandusarvutuste käsiraamatust Betriebsplanung (KTBL, 2010). Teistes tabelites esitatud andmed pärinevad Soome põllumajandustehnika ajakirjast Koneviesti (Koneviesti, 2011). Hinnad on esitatud käibemaksuta.

Tabel 1. Mineraalväetise laoturite hinnad, veebruaris 2011. aastal

Laoturi tüüp	Mahutavus, liitrit	Tööresurss, tonni	Hind, tuhat €	Laoturi tüüp	Mahutavus, liitrit	Tööresurss, tonni	Hind, tuhat €
Ketaslaotur, ripp	300	750	1,9	Ketaslaotur, haagis	8000	22500	45,0
	400	1250	2,6		9000	27500	41,8
	600	1500	3,3		12000	35000	50,0
	800	2000	3,5		14000	40000	67,0
	1000	3000	4,5	Pneumolaotur, ripp, maht 1700 l	Haardelaius, m		
	1200	4000	5,5		12	4200	18,0
	1500	5000	7,5		18	6300	20,5
	2000	6000	9,0		21	7350	21,0
	2500	7500	11,0		24	8400	27,5
	3000	9000	12,5				
	2400	7500	15,0				
	4000	11850	31,0				
	6000	17500	37,0				

Tabel 2. Vedelsõnniku laotusseadmete hinnad veebruaris 2011. a (paakhaagise hinnata)

Laotamiseadme tüüp	Töölaius, meetrit	Hinnavahe, tuhat €
Lohisvoolik	12	9,8 – 23,6
	16	11,9 – 27,1
	18	19,5 – 36,2
	24	37,1 – 42,1
	30	44,2 – 46,1
Lohisjalas	4	12,5 – 16,8
	6	17,6 – 19,2
	8	18,3 – 22,7
	12	18,6 – 36,7
	15	38,2 – 40,1
	18	41,6 – 43,2
Lõikeketas	4	8,9 – 22,9
	6	18,5 – 30,5
	8	21,4 – 54,4
	12	36,3 – 72,8
Vedrupiid ja käpad	3	10,2 – 10,3
	4,5	14,9 – 19,1
	6	22,0 – 32,0
	7,5	34,0 – 37,2

Tabel 3. Vedelsõnniku paakhaagiste hinnad, veebruaris 2011. a (laotusseadise hinnata)

Pumba tüüp	Maht, m ³	Hinnavahe, tuhat €
Tsentrifugaalpump	7 – 9	12,2 – 17,5
	10 – 12	13,5 – 28,2
	13 – 15	15,2 – 61,2
	16 – 18	20,8 – 67,6
	19 – 20	33,6 – 71,7
	22 – 25	53,9 – 104
Vaakumpump	6 – 7	12,7 – 12,9
	8 – 9	17,6 – 20,0
	10 – 11	16,0 – 25,3
	12 – 13	18,4 – 31,0
	14 – 15	19,0 – 41,5
	16 – 17	21,2 – 36,6
	18	28,7
	20	44,6
	24	45,9

Tabel 4. Tahesõnniku laoturite hinnad, veebruaris 2011. a

Laotamis- seadme tüüp	Kande- võime, tonni	Telge- de arv	Hinna- vahemik, tuhat €	Laotamis- seadme tüüp	Kande- võime, tonni	Telge- de arv	Hinna- vahemik, tuhat €
Röht- biitrid ja laotuskettad	8	1	22,9 – 32,4	2 püst- biitrit	8	2	15,3*
	8	2	36,7		9	1	21,9 – 29,8
	9	2	30,5		10	1	25,5 – 32,2
	10	1	20,4 – 25,9		10	2	17,1*
	10	2	21,1*		11	1	26,5 – 33,7
	12	1	39,4 – 42,7		12	1	27,4 – 35,8
	12	2	48,1 – 48,7		12	2	21,3*
	14	2	26,3 – 47,9		15	1	30,9 – 37,7
	14	2	24*		18	2	32,5 – 45,0
	15	2	41,0 – 44,7		20	2	39,8
	16	2	32,4 – 53,8		22 – 24	2	58,4 – 65,5
	18	2	36,6 – 64,7		4 püst- biitrit	6,5	2
	20	2	53,5 – 60,9	8		2	13,5*
	21 – 22	2	58,4 – 64,7	8		2	18 – 24
	23	2	68,5	10		2	15,6*
	24	2	86,1				

Märkus: * - Tempo laotur

Tabel 5. Vedelsõnniku segurite hinnad veebruaris 2011. a

Seguri tüüp	Pikkus, m	Hinnavahemik, tuhat €
Traktorilt käitatavad tiiviksegurid	2	1,5
	3	1,6 – 2,7
	4	1,8 – 4,2
	Jõudlus, m ³ min ⁻¹	
Traktorilt käitatavad pumpsegurid	5 – 7	2,9 – 3,8
	6 – 8	3,2 – 6,4
	7 – 10	3,8 – 6,6
	11 – 12	6,4 – 7,2
Elektriamiga pumpsegurid	2,5	2,1 – 3,2
	3	3,3
	4	3,8
	6	5,5

Tehnoloogiate majanduslik võrdlus

Kulude arvutamisel arvestati kulu väetistele ja nende hoidlast põllule viimisele. Põllu suuruseks võeti arvutustes 20 ha. Arvutused tehti sõnniku- ja väetisehoidlast erinevatel kaugustel – 1, 3, 5, 10 ja 15 km - asuvate põldude väetamisel. Samuti arvestati laotamiskulud ümberlaadimistehnoloogia korral laaduri põllule sõitmise kulud ja etteveo korral masinate põllule transportimise kulud. Masinate põllulesõidukulud arvutati põllu kauguse hindamiseks koostatud algoritmi järgi (Tamm,

2009). Masinate põllutööde kulud leiti tunnihinna arvutamise algoritmide abil (Edwards 2005), kasutati ka tootjate küsitluse ja tootmispõldudel tehtud vaatluste andmeid.

Orgaanilise väetise korral eeldati, et see on sama ettevõtte loomakasvatusest pärinev saadus, mistõttu selle väetise hinnaks võeti 0 € t⁻¹.

Mineraalväetis. Võrdlusesse valiti mineraalväetis NPK 18-8-16+3 S+ (Mg, B), sest see on elementide struktuurilt lähedane sõnnikule. Valitud mineraalväetis sisaldab järgmisi toiteelemente: N – 18%, P – 3,6%, K – 13,3% ja S – 3,0%, Mg – 1,7% ja B – 0,02% – kokku 39,52%. Suviteraviljade kevadiseks külveelseks väetamiseks valiti mineraalväetise koguseks 400 kg ha⁻¹. Mineraalväetisega antav toiteainete summaarne kogus on siis 158,1 kg ha⁻¹ ja selle maksumus oli septembris 2011 (siin ja edaspidi hinnad km-ta) oli 440 € t⁻¹ (Baltic Agro AS, 2011), ehk 176 € ha⁻¹.

Mineraalväetis laaditakse hoidlas veokile ja veetakse põllule, kus laaditakse 1000 liitrise punkrimahuga laoturisse ja laotatakse.

Tahesõnnik. Põllumajandusuuringute Keskuses aastatel 2009–2011 analüüsitud sõnnikuproovide keskmisena sisaldab allapanuga veisesõnnik 20,1% kuivainet, 0,51% N, 0,12% P, 0,41% K, 0,17% Ca ja 0,07% Mg.

TTVK (1996) andmeil omastavad taimed külvikorra vältel sõnnikust keskmiselt 50% N, 50% P ja 75% K. Väevli sisaldus allapanuga veisesõnnikus on 400 g t⁻¹ (Kanger *et al.*, 2009). Seega arvestati, et külvikorra vältel viiakse allapanuga veisesõnnikuga põllule 7,3 kg t⁻¹ taimede poolt omastatavaid samu toiteelemente, mis võrreldava mineraalväetisega.

Tahesõnniku laotusnormi valikul lähtuti, et põllule saaks viidud külvikorraga sama palju omastatavat N kui võrreldava mineraalväetisega. Seega, et anda hektarile 72 kg lämmastikku, peab tahesõnnikut andma 28 tonni.

Tahesõnnikuga väetamisel analüüsiti kahte varianti: otseveoga ja ümberlaadimisega tehnoloogiaid. Otseveol laaditakse tahesõnnik hoidla juures laoturisse, veetakse põllule ja laotatakse. Ümberlaadimise korral laaditakse tahesõnnik hoidla juures 10 t haagisele ja veetakse 105 kW võimsusega traktori jõul põllule, kus sõnnik kallutatakse vaheladustusauna kõrvale maha. Kopplaadur virnastab maha kallatud koorma auna ja laadib sõnniku aunast väetustööde ajal laoturile. Laaduri jõudluseks on arvestatud 40 t h⁻¹. Laotustraktori võimsuseks on 105 kW ja laoturi kandevõime on 12 t ning haardelaius 10 m.

Vedelsõnnik. Vedelsõnnikus sisalduvate taimetoiteainete kogus on nii mitmete välisallikate kui ka Eestis teostatud vedelsõnnikuanalüüside alusel üsna erinev. Arvutustes kasutati Põllumajandusuuringute keskuses aastatel 2009–2011 analüüsitud veise vedelsõnniku analüüside taimetoiteainete sisalduste keskmiseid väärtuseid: kuivainesisaldus 7,5%, 0,35% N, 0,06% P, 0,20% K ja 0,05% Mg. Väevli sisaldus veise vedelsõnnikus on 300 g t⁻¹ (Kanger *et al.*, 2009). Kui arvestada külvikorra vältel omastatavate toiteelementide osa vedelsõnnikus sarnaselt tahesõnnikuga, siis viiakse ühe tonni vedelsõnnikuga põllule 4,35 kg toiteelemente.

Vedelsõnniku laotusnormi valikul lähtuti, et põllule viidaks sama palju külvikorraga omastatavat N kui on võrreldavas mineraalväetises. Seega, et anda hektarile 72 kg lämmastikku, peab vedelsõnnikut andma 40 tonni.

Vedelsõnnikut segatakse 3 tundi enne väljavedu ja selle kestel. Segamiseks ja veokisse pumpamiseks on hoidlas paikne 15 kW elektriline pumpsegisti jõudlusega 4,5 m³ min⁻¹. Nagu sissejuhatavas osas juba märgiti, analüüsiti kahte vedelsõnniku veo ja laotamise tehnoloogilist lahendust:

- 1) vedu haagislaoturiga hoidla juurest põllule ja laotamine sama agregaadiga;
- 2) vedu põllule paakveokiga ja ümberpumpamine seal laoturi paaki, laotatakse haagislaoturiga, millel on pump vedelsõnniku ümberpumpamiseks.

Arvutustes lähtuti 15 m³ mahuga paagiga haagislaoturist, mille pumba jõudlus on 3 m³ min⁻¹ ja millel on 4,5 m töölaieuga rullrandaal vedelsõnniku muldaviimiseks. Laotur on agregateeritud 205 kW traktoriga.

Orgaaniliste väetiste laotatavad kogused aastas valiti arvutustes järgmised: vedelsõnnik 6000 t ja tahesõnnik 3000 t. Laotusperioodi kestuseks võeti vedelsõnniku korral 40 päeva ja tahesõnniku korral 20 päeva.

Kulud väetistele

Varemkoostatud mudeli (Tamm ja Vettik, 2008) abil arvutati väetise käitlemise kulu viie tehnoloogilise variandi korral. Tulemused väljendati kuluna hektari kohta ja taimetoiteelementide kilogrammi kohta. Erinevate variantide kulud üritati muuta võimalikult võrreldavaks võrdsustades selleks külvikorras omastatava lämmastiku koguse. Kuna aga muude elementide kogused on mõnevõrra erinevad, siis esitati kulud ka toiteelementide summa ühiku kohta. Tabelis 6 on esitatud mineraalväetise, tabelites 7 ja 8 tahesõnniku ning tabelites 9 ja 10 vedelsõnniku käitlemiskulud. Tabelite viimastes veergustes on toiteelementide käitlemiskulud, need on esitatud ka graafiliselt joonisel 1.

Kui mineraalväetisega väetamisel põllu kaugus toiteelemendi hinda põllul oluliselt ei mõjuta, siis sõnnikuga antud toiteelemendi hinda mõjutab see märkimisväärselt, kus vastav kulu kasvas otseveol iga kilomeetri kohta vedelsõnniku veol 0,24 € kg⁻¹ ja tahesõnniku veol 0,20 € kg⁻¹.

Tahesõnnikuga väetamisel lisandub ümberlaadimisega tehnoloogias täiendav põllul laadimine, mistõttu on tabelis 8 esitatud laadimiskulu kaks korda suurem võrreldes tabelis 7 tooduga.

Tabel 6. Kulud mineraalväetisele sõltuvalt põllu kaugusest

Põllu kaugus, km	Kululiik, € ha ⁻¹				Kulu kokku, € ha ⁻¹	Kulu toitainetele, € kg ⁻¹
	Laadimine ja vedu	Laoturi põl-lulesõit	Laadimine ja laotamine	Mineraal-väetis		
1	1,05	0,06	6,86	176	183,97	1,16
3	1,14	0,19	6,86	176	184,18	1,17
5	1,39	0,31	6,86	176	184,56	1,17
10	1,86	0,62	6,86	176	185,34	1,17
15	2,38	0,93	6,86	176	186,17	1,18

Tabel 7. Kulud tahesõnnikule sõltuvalt põllu kaugusest otseveo korral

Põllu kaugus, km	Kululiik, € ha ⁻¹		Kulu kokku, € ha ⁻¹	Kulu toitainetele, € kg ⁻¹
	Laadimine	Vedu ja laotamine		
1	16,68	107,01	123,69	0,60
3	16,68	122,59 x 2	261,86	1,28
5	16,68	138,18 x 2	276,36	1,35
10	16,68	177,14 x 2	370,96	1,81
15	16,68	216,10 x 3	664,98	3,25

Tabel 8. Kulud tahesõnnikule sõltuvalt põllu kaugusest ümberlaadimise korral

Põllu kaugus, km	Kululiik, € ha ⁻¹				Kulu kokku, € ha ⁻¹	Kulu toitainetele, € kg ⁻¹
	Laadimine	Sõnniku transport	Laaduri sõit põllule	Laotamine		
1	33,36	43,00	0,12	99,22	175,70	0,86
3	33,36	59,29	0,35	99,22	192,22	0,94
5	33,36	75,58	0,59	99,22	208,75	1,02
10	33,36	116,30	1,18	99,22	250,06	1,22
15	33,36	157,02	2,37	99,22	291,97	1,43

Tabel 9. Kulud vedelsõnnikule sõltuvalt põllu kaugusest otseveo korral

Põllu kaugus, km	Kululiik, € ha ⁻¹		Kulu kokku		Kulu toitainetele, € kg ⁻¹
	Segamine	Vedu ja laotamine	€ ha ⁻¹	€ m ⁻³	
1	25,55	114,62	140,18	3,50	0,81
3	39,36	144,94	184,30	4,61	1,06
5	53,17	175,26	228,42	5,71	1,31
10	87,68	251,05 x 2	589,78	14,74	3,39
15	122,20	326,84 x 2	775,88	19,40	4,46

Tabel 10. Kulud vedelsõnnikule sõltuvalt põllu kaugusest ümberpumpamise korral

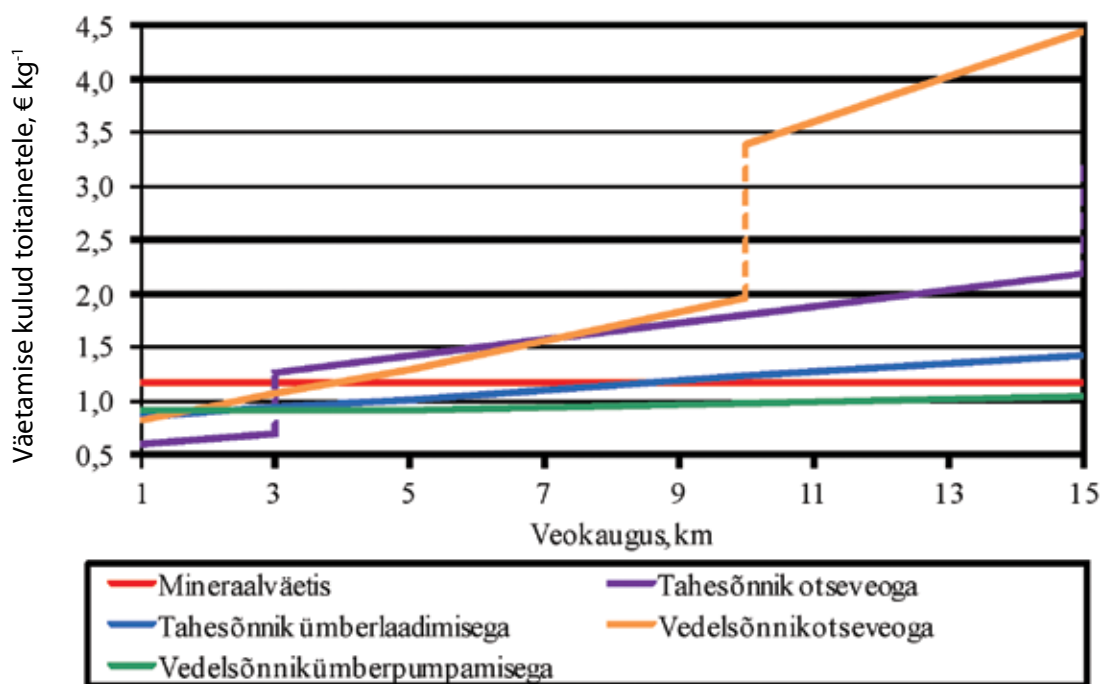
Põllu kaugus, km	Kululiik, € ha ⁻¹				Kulu kokku,		Kulu toitainetele, € kg ⁻¹
	Segamine	Ettevedu	Laoturi sõit põllule	Laotamine	€ ha ⁻¹	€ m ⁻³	
1	17,21	44,00	0,18	96,31	157,70	3,94	0,91
3	17,21	44,00	0,55	96,31	158,07	3,95	0,91
5	17,21	44,00	0,92	96,31	158,44	3,96	0,91
10	17,21	53,60	1,85	96,31	168,97	4,22	0,97
15	17,21	65,60	2,77	96,31	181,89	4,55	1,05

Graafikul on tahe- ja vedelsõnniku väetamiskulusid kujutavad jooned hüplikud, sest nende veokauguse korral ei piisa ühest masinakomplektist sõnnikukoguse laotamiseks valitud perioodi kestel ja peab soetama täiendava masinakomplekti.

Lisaks vaadeldavaile toitelementidele sisaldab Põllumajandusuuringute Keskuses aastatel 2009–2011 analüüsitud sõnnikuproovide keskmisena allapanuga veisesõnnik Ca 1,7 kg t⁻¹ ja veise vedelsõnnik 1,1 kg t⁻¹. Tahesõnniku laotusnormi 30 t ha⁻¹ korral viiakse mulda 51 kg ha⁻¹ Ca ja vedelsõnniku laotamisnormi 40 t ha⁻¹ korral 44 kg ha⁻¹ Ca. TTVK (1996) andmeil on keskmine Ca kadu saagi ja leostumise tõttu aastas 162 kg ha⁻¹. Seega orgaanilise väetise kasutamine aitab veidi vähendada põllu lupjamisvajadust.

Kokkuvõte

1. Mineraalväetise, vedel- ja tahesõnnikute veo- ja laotuskulude võrdlus taimetoitelemendi kohta näitab, et kuni 3 km kauguseni on kõige odavam väetada tahesõnnikuga kasutades otseveotehnoloogiat. Suurema veokauguse korral on odavamaks väetamine vedelsõnnikuga kasutades ümberpumpamistehnoloogiat.



Joonis 1. Väetamiskulud toitainele erinevate tehnoloogiate korral sõltuvalt põllu keskmisest kaugusest

2. Veokauguseni 2 km on vedelsõnniku haagislaoturiga vedu ja laotamine odavam ümberlaadimistehnoloogiast.

3. Tahesõnnikuga otseveoga väetamine on ümberlaadimistehnoloogiast odavam veokauguseni kuni 3 km.

4. Kuni 3 km kauguste põldude väetamine mineraalväetisega on võrreldes vedel- ja tahesõnnikuga väetamisega kõige kulukam. Kaugematel põldudel osutub mineraalväetisega väetamine odavamaks tahesõnnikuga otseveoga väetamisest, 4 km-st kaugematel põldudel odavamaks ka vedelsõnniku otseveoga väetamisest ja 8 km kaugustel põldudel odavamaks ka tahesõnniku ümberlaadimisega väetamisest.

Kasutatud kirjandus

- Edwards, W. 2005. Estimating Farm Machinery Costs. Iowa State University, University Extension. Interneti aadress: <http://www.extension.iastate.edu/Publications/PM710.pdf> (29.02.2008).
- Kanger, J., Kevvai, T., Kevvai, L., Kärblane, H. 2009. Sõnniku koostis. Väetamise ABC. Interneti aadress: <http://pmk.agri.ee/est/ettekanded/vaetaminepub/page20.html>.
- Koneviesti, 2011. Nr 3, veebruar 2011, s 62–80.
- KTBL, 2010. Betriebsplanung Landwirtschaft 2010/11. 22. Auflage, 784 s.
- Tamm, K. 2009. The dependency on the structure of machinery and the locality of plots on cereal farm work activities. A thesis for applying for the degree of Doctor of Philosophy in Agricultural Machinery. Estonian University of Life Sciences. Tartu. 127 p.
- Tamm, K. ja Vettik, R. 2008. Põllu kauguse mõju väetamistehnoloogia valikule. Agronoomia 2008, lk 80–83.
- TTVK, 1996. Taimede toitumise ja väetamise käsiraamat. Koost. Kärblane, H. Eesti Vabariigi Põllumajandusministeerium. Tallinn 1996. 285 lk.

VEDELSÖNNIKU KÄITLEMISKULUD SÕLTUVALT AASTAKOGUSEST

Loomakasvatusega kaasneva keskkonnamõju allikad saab jaotada kaheks: punkt- (loomakasvatushooned, hoidlad jne) ja hajureostusallikad (sõnniku veo ja põllule laotamisega kaasnev reostus). Vedelsõnnikus sisalduvate toitainete paremaks kasutamiseks ja õhusaaste vähendamiseks on oluline rakendada vedelsõnniku laotamisel gaasiliste ühendite lendumist vähendavat tehnoloogiat. Ettevõttes peetavate loomade arvust sõltuvalt võib aastas käideldav vedelsõnniku kogus erineda suurel määral. Mida suurem on loomade arv, seda rohkem põllupinda on vaja tekkiva sõnniku laotamiseks. Pinna suurenedes kasvab üldiselt ka põldude arv ja seetõttu suureneb ka sõnnikuveo keskmine kaugus, sest hektarile laotatava sõnniku kogus on seadusega piiratud (Veeseadus, 2011). Lendumist tõhusamalt takistavad seadmed on kallid ja seetõttu töö maksumuse alandamiseks tuleb tagada võimalikult suur töömaht aastas. Vedelsõnniku laotamise periood aastas on aga üsna piiratud (Veeseadus, 2011). Vedelsõnniku käitlemiseks on ettevõttele võimalik ise soetada keskkonnasäästlik vedelsõnniku laotamistehnika või vedu ja laotamine teenusena sisse osta. Sõltuvalt ettevõttes aastas käideldava vedelsõnniku kogusest võib osutada tasuvamaks kasutada vedelsõnniku laotamiseks oma masinate asemel laotamisteenust ja ka vedelsõnniku põlluleveo teenust.

Käesolevas artiklis on võrreldud vedelsõnniku käitlemise järgmisi tehnoloogilisi lahendusi :

- 1) vedu, laotamine ja sõbastamine (mulda segamine) oma laoturiga; aastas käideldav vedelsõnniku kogus on 4 000 m³;
- 2) vedu põllule teenusena, laotamine ja sõbastamine oma laoturiga; aastas käideldav vedelsõnniku kogus on 4 000 m³;
- 3) vedu, laotamine ja sõbastamine oma laoturiga; aastas käideldav vedelsõnniku kogus on 16 000 m³, ajapiiranguta;
- 4) vedu, laotamine ja sõbastamine oma laoturiga; aastas käideldav vedelsõnniku kogus on 16 000 m³, laotamisperiood 40 päeva;
- 5) vedu põllule teenusena; laotamine ja sõbastamine oma laoturiga; aastas käideldav vedelsõnniku kogus on 16 000 m³;
- 6) vedu, laotamine ja sõbastamine teenusena (ei sõltu aastas käideldavast kogusest).

Materjal ja meetoodika

Arvutustes eeldati, et sõnnik on ettevõtte omatoodang ja kulud on seotud ainult vedelsõnniku käitlemisega. Kulude leidmisel kasutati autorite poolt varemkoostatud ja avaldatud (Tamm ja Vettik, 2008) mudelit. 4,5 m töölaiusega randaalseadisega vedelsõnniku haagislaoturi paagi mahutavus on arvutustes 15 m³ ja hind 59 000 €. Haagislaotur on agregateeritud 205 kW võimsusega traktoriga, mille hinnaks on arvutustes 162 000 €. Vedelsõnniku laotusnormiks on võetud 30 m³ ha⁻¹ ja põllu keskmiseks suuruseks 20 ha. Vedelsõnniku hoidlas paikneb 15 kW elektriline pumpsegur jõudlusega 4,5 m³ min⁻¹ ja hinnaga 4 600 €. Vedelsõnniku paakhaagistega hoidlast veo teenuse maksumus kuni 7 km kaugusele põllule on erinevate teenusepakkujate keskmisena 1,1 € m⁻³. Suurema veokauguse korral lisandub iga lisakilomeetri kohta 0,06 € m⁻³. Vedelsõnniku paakhaagistega hoidlast veo ja põllul liikurlaoturiga laotamise kompleksteenuse maksumus kuni

7 km kaugusele põllule on erinevate teenusepakujate keskmisena 2,8 € m⁻³. Suurema veokauguse korral lisandub iga lisakilomeetri kohta 0,06 € m⁻³.

Vedelsõnniku käitlemiskulude leidmisel on arvestatud järgmiste komponentidega:

- 1) vedelsõnniku segamine - alustatakse 3 tundi enne laotamist ja kestab kogu laotamise aja, pumpamine hoidlas;
- 2) vedelsõnniku vedu põllule - laoturi või paakhaagistega;
- 3) vedelsõnniku paakhaagistega põllule veo korral ümberpumpamine haagislaoturi pumpa laoturi paaki;
- 4) vedelsõnniku sõbastamine (muldasegamine).

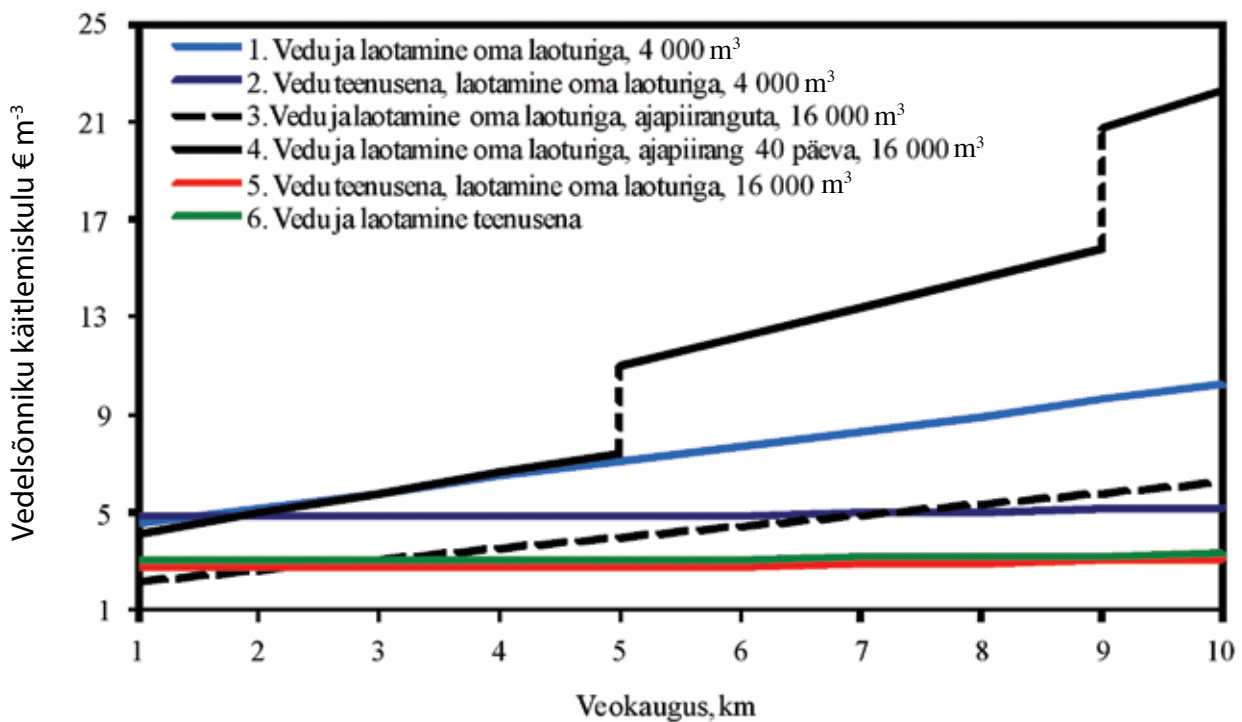
Tulemused ja arutelu

Tabelis 2 ja joonisel 1 oleval graafikul on esitatud vedelsõnniku käitluskulud ettevõtte oma randaalseadisega haagislaoturiga laotamisel aastas käideldava vedelsõnniku kahe koguse - 4000 ja 16000 m³ korral võrrelduna laotamise teenustöö ja põlluleveo teenuse kasutamisega. Laotamise aja piirangut 40 päeva arvestades on 16 000 m³ aastakoguse puhul joon hüplik, sest ühest laoturist etteantud laotamisperioodi kestuse korral ei piisa ning soetama peab täiendavad masinakomplektid.

Tabel 1. Vedelsõnniku käitlemiskulu (€ m⁻³) sõltuvalt tehnoloogiast, aastas käideldavast kogusest ja veokaugusest

Veokaugus, km	Vedu ja laotamine oma laoturiga, 4 000 m ³	Vedu teenusena, laotamine oma laoturiga, 4 000 m ³	Vedu ja laotamine oma laoturiga, ajapiiranguta, 16 000 m ³	Vedu ja laotamine oma laoturiga, aja- piirang 40 päeva, 16 000 m ³	Vedu teenusena, laotamine oma laoturiga, 16 000 m ³	Vedu ja laotamine teenusena*
1	4,54	4,88	2,21	4,16	2,77	3,07
2	5,17	4,88	2,66	4,99	2,78	3,07
3	5,81	4,89	3,11	5,82	2,78	3,07
4	6,44	4,89	3,56	6,64	2,79	3,07
5	7,08	4,90	4,00	10,94	2,79	3,07
6	7,71	4,90	4,45	12,15	2,80	3,07
7	8,34	4,97	4,90	13,35	2,86	3,13
8	8,98	5,03	5,35	14,56	2,92	3,19
9	9,61	5,10	5,80	15,76	2,99	3,25
10	10,24	5,16	6,25	22,33	3,05	3,31

* juurde on arvestatud vedelsõnniku segamise ja laadimise kulu hoidlas.



Joonis 1. Vedelsõnniku käitlemiskulu sõltuvalt aastas käideldavast kogusest ja laotamise tehnoloogilisest lahendusest

Joonisel 1 esitatud graafikutelt selgub, et:

- 1) kui ajapiirangut ei arvestaks, siis oleks vedelsõnniku 16 000 m³ aastakäibe korral oma laoturiga vedu ja laotamine (3) odavam veokauguseni 2,5 km;
- 2) 40 päevase laotusperioodiga arvestades osutub vedelsõnniku 16 000 m³ aastakäibe korral odavamaks vedelsõnniku teenusena põllule vedu ja oma laoturiga laotamine (5);
- 3) vedelsõnniku 4 000 m³ aastakäibe korral osutus veokauguseni 1,5 km oma laoturiga vedu ja laotamine (1) odavamaks etteveto kasutamisest (2);
- 4) vedelsõnniku 4 000 m³ aastakäibe korral on odavam kasutada oma laoturi asemel teenustööna põllule vedu ja muldaviimist (6).

Arvutustest selgus, et 40 päevase laotusperioodi kestuse korral on vedelsõnniku teenustööna põllule vedu ja laotamine soodsaim aastakoguseni 11 000 m³, sellest suurema aastakoguse korral osutus soodsaimaks vedelsõnniku teenusena põllule vedu ja oma laoturiga laotamine.

Järelikult, enne kallihinnalise laotustehnoloogia soetamist peab kalkuleerima, kas ettevõttes on piisavalt vedelsõnnikut, et selle tehnoloogiaga laotamise kulud osutuksid madalamaks teenustöö hinnast.

Tabelis 2 on toodud vedelsõnniku käitlemiskulud vedelsõnnikus sisalduvate taimetoitelementide kilogrammi kohta aastatel 2008–2012 kui kasutakse ettevõtte oma laoturit või teenusmasinaid. Lisatud on võrdlus mineraalväetisega (2008 - ammoniumnitraat, 2009–2012 - NPK 18-8-16+3 S (Mg, B)). Võrdluse aluseks on võetud, et nii vedelsõnnikuga kui mineraalväetisega saaks põllule antud 72 kg ha⁻¹ lämmastikku. Arvutused on tehtud mineraalväetise ja vedelsõnniku põllule veo kauguse 5 km ning vedelsõnniku aastase koguse 6000 m³ korral.

Tabel 2. Väetamiskulude võrdlus

	Kulu toiteainetele, € kg ⁻¹				
	2008	2009	2010	2011	2012
Ettevõtte laotur	0,81	0,82	0,82	0,90	1,20
Teenustöö	0,82	0,80	0,74	0,66	0,67
Mineraalväetis	1,21	1,13	0,88	1,20	1,17

Tabeli andmete põhjal saab väita, et vedelsõnniku laotusteenuse hind on viimaste aastate jooksul langenud ja paljud ettevõtted on sõlminud laotusteenuse pakkujatega lepingu, mis tagab neile veel soodsama hinna.

Järeldused

1. Vedelsõnniku aastakäibe 4 000–11 000 m³ korral on otstarbekas kasutada vedelsõnniku põllule veo ja laotamise teenust.

2 Vedelsõnniku aastakäibe 11 000 m³ ja enam korral on soodsaim oma laoturi ja ettevõtte teenuse kasutamine.

Kasutatud kirjandus

Tamm, K. ja Vettik, R. 2008. Põllu kauguse mõju väetamistehnoloogia valikule. *Agronoomia* 2008, lk 80–83.

Veeseadus. 2011. Riigi Teataja. Redaktsiooni jõustumine 02.01.2011. <https://www.riigiteataja.ee/akt/123122010041?leiaKehtiv> (05.09.2011).

RAPS – MIKS JA KUIDAS

Eestis on rapsi-rüpsi kasvatamine omandanud olulise osa maaviljeluses ja ka majanduslikus tegevuses. Aasta aastalt on nende kultuuride kasvupind laienenud, sest raps on olnud teraviljast tulusam. Eesti Statistika andmetel kasvatati Eestis 2001. a rapsi 27,5 tuhandel hektaril, kuid 2010. aastal oli rapsi külvipind juba 98,2 tuhat hektarit. Kümne aastaga on tema kasvupind suurenenud 3,57 korda ning moodustab praegu kogu põllukultuuride kasvupinnast 17,2%. Rapsi osatähtsus ei tohiks tõusta üle 25%. Samale kasvukohale ei tohiks rapsi külvata enne 3-5 aastat. Eriti suur on rapsi osakaal Hiiu, Tartu ja Viljandi maakondades. Kui 2001. a koguti rapsi 41,3 tuhat tonni, siis 2009. a juba 136 tuhat tonni. Kogusaak on seega suurenenud 3,29 korda. Rapsi hektarisaagid ei ole olnud eriti kõrged, vaid on püsinud 1,3-1,9 t ha⁻¹ piires. Rapsi potentsiaalne saagivõime on aga meil saadavast tegelikust saagist kaks-kolm korda suurem. Parimates tootmisüksustes on hektarisaagid olnud 3-3,5 tonni piires. Üksikutelt talirapsi põldudel on aga saadud 4-4,5 tonni seemet. Suvirapsi rekordsaak 3,73 t ha⁻¹ koguti aga 2009. a Saaremaal Nuudi talu põllult ja talirapsi rekordsaak 4,81 t ha⁻¹ Valgemaal 2008. a Kesa Agro põllult. Kogusaagi suurendamine külvipinna laiendamise arvel on ammeldumal. Mõningal määral saab seda teha söötijätud alade ülesharimise arvel. Kuid rapsiseemne kogusaagi suurenemise peamiseks teeks saab olla ikkagi hektarisaagi suurendamine. Siin on võtmeküsimuseks sobiliku agrotehnika (muldade valik ja mullaharimine, eelvilid, väetamine, taimekaitse) kompleksne rakendamine.

Nõuded mullale

Rapsile ja rüpsile (nii suvi- kui ka talivormidele) on kohased kõik soodsa veerežiimiga muldaerimid. Enam sobivad keskmised liivsavi- ja saviliivmuldad. Kuid ka savi- ja turvasmuldadelt on saadud korralikke rapsi- ja rüpsisaake. Nende kultuuride kasvatamise edukus siin sõltub suuresti agrotehniliste võtete oskuslikust kasutamisest. Savimuldade vajavad reeglina vee- ja õhurežiimi korrastamist. Valdavalt on need muldad tihenenud. Olukorda aitab parandada sügavkobestamine 35-45 cm sügavuselt (joonised 1 ja 2).



Joonis 1. Sügavkobesti tihenenud muldadele

Selle tulemusena paraneb mulla veeläbilaskvus. Väheneb pinnaveest tingitud taimede hukumine. Parim aeg selle töö tegemiseks on juuli lõpp augusti algus, sest siis on muldade veesisaldus kobestamiseks tavaliselt kõige soodsam. Savimuldade pinnavee kahjustuste vähendamiseks sobib ka kitsaeeline kokkukünd (ee laius 15-20 m), mis jätab põllule tavapärasest rohkem lõpuvagu-

sid, seega lainja põllupinna. Lõpuvaod täidavad siis vesivagude ülesandeid mille kaudu pinnavesi pääseb põllult ära kogujakraavidesse. Kui vee äravooluks pole võimalusi, siis töötavad nad vee kogumiskraavidena. Vee alla jäänud taimed enamasti küll hukkuvad, kuid suuremal osal põllupinnast jäävad taimed liigveest siiski kahjustamata. Oluline osa rapsi-rüpsi kasvatamise õnnestumisel, nii savi- kui ka turvasmullal, on õlikultuuri vormil. Rapsile tuleks eelistada rüpsi, sest viimane on vastupidavam karmidele ilmastikuoludele, eriti turvasmuldadel (joonis 3), kus öökülmade oht (eriti kevadel) on suurem kui mineraalmuldadel.



Joonis 2. Sügavkõrestuse ja külvi põimmasin rapsi viljelemiseks tihenend muldadel



Joonis 3. Suviraps turvasmullal

Eelkultuuri valik

Suvirapsi ja -rüpsi sobivamaks eelviljaks on teraviljad. Ühiseid haigusi kandvate kultuuride – hernes, kartul ning rapsi vahele soovitatakse jätta üks aasta. Rapsi talivormidele peetakse sobivamateks eelkultuurideks ristikut ja ristiku-kõrreliste segu, kaunviljade ja teraviljade segukülve, taliotra, varajast otra ning ka varajast talinisu. Siia võivad lisanduda ka keskvalmiv oder, juhul kui ta koristatakse terade vahaküpsuse alguses (40% niiskusega) ja kaer, kui ta koristatakse piimküpsuse faasis. On oluline et, pärast nende koristamist jääks piisavalt aega maade ettevalmistamiseks ja seemnete külviks. Tavatehnoloogia rakendamisel peaks seda aega olema paar nädalat, otsekülvitehnoloogia rakendamisel vähem. Kuna õlikultuuride optimaalne külviaeg on augusti esimene pool, siis juuli lõpuks peaks eelkultuuride saak olema koristatud.

Mullaharimine

Peeneseemnelise kultuurina vajavad raps ja rüps külviks korralikult ettevalmistatud mulda. Et soodustada juurekava kasvu, peaks harima 20-25 cm sügavuselt. Üldlevinud on arvamused, et selle peab tagama korralik künd. Uuringud on näidanud, et rapsile ja -rüpsile sobilik mullaseisund saavutatakse ka teiste mullaharimisriistadega harimisel. Näitena tooksin 1989. a rajatud pikaajalise külvikorra komplekskatse, kus põllukultuure: taliteravili – kartul – oder – põldhein – põldhein (2008. a asendati kartul suvirapsiga) on kasvatatud adraga tavapärase künni (22-25 cm) ja sügavkünni (33-35 cm) ning diferentseeritud mullaharimise s.o. adrata harimise foonil. Diferentseerimine tähendab seda, et põldheinale järgnenud taliteravilja eel mulda ei haritud vaid külvati otse mulda (otsekülvikuga), temale järgnev kartul (alates 2008. a suviraps), pandi maha rull-käpprandaaliga 15-18 cm sügavuselt haritud mulda (joonis 4). Kartulile järgnevad odrad aga külvati rullrandaaliga 8-10 cm sügavuselt haritud mulda (joonis 5). Seega 22 aastat ei ole selles variandis atra kasutatud. Katse ühe välja kultuuride ajalisest järgnevusest ja rakendatud mullaharimisest annab ülevaate tabel 1.



Joonis 4. Rull-käpprandaal tihenenud muldadele



Joonis 5. Rullrandaal kerge ja keskmise löimisega muldadele

Tabel 1. Komplekskatse kultuuride järjestus ja mullaharimine

Aasta	Kultuur	Mullaharimise sügavus, cm		
		M1	M2	M3
1989	taliteravili	0	22-25	33-35
1990	kartul	15-18	22-25	33-35
1991	oder	8-10	22-25	33-35
1992	oder (allakülv)	8-10	22-25	33-35
1993	põldhein	0	0	0
1994	põldhein	0	0	0
1995	taliteravili	0	22-25	33-35
1996	kartul	15-18	22-25	33-35
1997	oder	8-10	22-25	33-35
1998	oder (allakülv)	8-10	22-25	33-35
1999	põldhein	0	0	0
2000	põldhein	0	0	0
2001	taliteravili	0	22-25	33-35
2002	kartul	15-18	22-25	33-35
2003	oder	8-10	22-25	33-35
2004	oder (allakülv)	8-10	22-25	33-35
2005	põldhein	0	0	0
2006	põldhein	0	0	0
2007	taliteravili	0	22-25	33-35
2008	suviraps	15-18	22-25	33-35
2009	oder	8-10	22-25	33-35
2010	oder (allakülv)	8-10	22-25	33-35

M1 – mulla kobestamine 15-18 cm

M2 – kündmine 22-25 cm

M3 – kündmine 33-35 cm

Üldse oli katses kuus välja st, et kõik katsekultuurid olid igal aastal esindatud. See võimaldas hinnata agrotehnika mõju kõikidele katsekultuuride igal katseaastal. Kõikidel mullaharimisfoonidel oli väetamine ühesugune. Väetamistasemeid oli kaks: mineraalväetis (tabel 2) ja mineraalväetis + põhk, mille lagundamiseks anti tonni põhu kohta 5 kg ammooniumnitraati.

Alates 2008. aastast asendati põhk veiste vedelsõnnikuga. Kolme aasta keskmisena anti seda 31 t ha⁻¹, ühes tonnis oli lämmastikku 3,3 kg, fosforit 0,6 kg ja kaaliumi 1,6 kg. Talinisu ja põldheinad said vedelsõnniku pealtväetisena, odrad ning suviraps külvielse mullaharimise alla. Katse tulemused on toodud tabelites 3 ja 4. Nendest nähtub, et kuueväljalise külvikorra kogusaak oli tavakünnil (variant M2) mõnevõrra suurem kui diferentseeritud mullaharimisel (variant M1). Kuid see erinevus jääb katsevea piiridesse ega ole usutav. Sügavkünnil (variant M3) koguti suurem saak

kui tavakünnil ja diferentseeritud mullaharimisel. Usutav suurenemine toimus siis, kui külvikorras asendati kartul suvirapsiga.

Tabel 2. Põllukultuuride väetamine külvikorras, tegevainet kg ha⁻¹

Kultuur	N	P	K
Talinisu	130	54	112
Suviraps	115	35	50
Oder	92	28	40
Oder (allakülviga)	69	21	30
Pöldhein	-	-	-
Pöldhein	68	-	-
Kokku külvikorras	474	138	232

Tabel 3. Külvikorra keskmine kogusaak 1989-2007. a, GJ ha⁻¹

Väetamine		Mullaharimisvariant		
		M1	M2	M3
NPK		351,70	351,44	356,78
NPK + orgaaniline väetis - põhk		368,78	372,33	377,82
Orgaanilise väetise - põhu mõju:	GJ ha ⁻¹	17,08	20,89	21,04
	%	4,9	5,9	5,9

Tabel 4. Külvikorra keskmine kogusaak 2008-2010. a, GJ ha⁻¹

Väetamine		Mullaharimisvariant		
		M1	M2	M3
NPK		338,07	340,53	354,48
NPK + orgaaniline väetis - vedelsõnnik		373,89	378,10	392,76
Orgaanilise väetise - vedelsõnniku mõju:	GJ/ha	35,82	37,57	38,28
	%	10,6	11,0	10,8

Mullaharimisest märksa enam mõjutab saagikust aga väetamine. Esimesel katseperioodil (1989-2007) suurenes külvikorra saagikus mineraalväetistele lisaks antud orgaanilisele väetisele (põhk + ammooniumnitraat 5 kg tonni põhu kohta) 17,08-21,04 GJ ha⁻¹ ehk 4,9-5,9%. Teisel katseperioodil (2008-2010), kui kartul asendati külvikorras suvirapsiga, oli integreeritud väetamise mõju oluliselt tugevam, sest mineraalväetistele lisaks anti ka veiste vedelsõnnikut 31 t ha⁻¹. Külvikorra saagikus suurenes 35,82-38,28 GJ ha⁻¹ ehk 10,6-11%. Selle katse mootorikütuse kulu erineval mullaharimisel on toodud tabelis 5.

Tabel 5. Mootorikütuse kulu, l ha⁻¹

Kultuur	Mullaharimisvariant		
	M1	M2	M3
Taliteravili	14,6	23,5	32,0
Kartul (raps)	9,0	14,1	24,2
Oder	7,2	14,1	24,2
Oder	7,2	16,3	24,8
Kokku	38,0	68,0	105,2

Diferentseeritud mullaharimisel (M1) kulus mootorikütust 38 l ha⁻¹. Tavakünnil (M2) aga 78,9% ja sügavkünnil 176,8% rohkem.

Milliseks kujunes suvirapsi seemnesaak siis, kui üheksateistkümnne aasta jooksul enne tema kasvatamist, hariti mulda väga minimaalselt. Vaid kolm korda (iga kuue aasta tagant) kobestati mulda 15-18 cm sügavuselt. Kuus korda kobestati 0-10 cm sügavuselt ja kümme aastat ei haritud üldse. Võrdluseks on kolmteist aastat 22-25 cm ja 33-35 cm sügavust kündi. Kahekümnendal katseaastal asendati külvikorras kartul suvirapsiga, mille eel hariti mulda kolmel eri viisil (tabel 6).

Tabel 6. Erineva mullaharimise mõju suvirapsi seemnesaagile

Mullaharimine	Saak t ha ⁻¹			
	2008. a	2009. a	2010. a	Keskmine
N115 P35 K50 foon				
Mulla kobestamine, 15-18 cm	2,27	2,19	2,14	2,20
Kündmine, 22-25 cm	2,45	2,56	2,05	2,35
Kündmine, 33-35 cm	2,34	2,45	2,24	2,34
N115 P35 K50 foon + vedelsõnnikut 31 t ha ⁻¹				
Mulla kobestamine, 15-18 cm	2,46	2,44	2,30	2,40
Kündmine, 22-25 cm	2,40	2,70	2,23	2,44
Kündmine, 33-35 cm	2,40	2,61	2,52	2,51

Andmetest nähtub, et ainult mineraalväetiste kasutamisel (N115 P35 K50) oli kündmine mulla kobestamisest efektiivsem: kolme katseaasta keskmine enamsaak oli 0,15 t ha⁻¹ ehk 6,8%. Integreeritud väetamisel (N115 P35 K50 + 31 t ha⁻¹ vedelsõnnikut) oli rapsi seemnesaak mulla kobestamise ja tavakünni foonil praktiliselt võrdne. Mõnevõrra suurem oli see aga sügavkünni foonil.

Rapsi külvipinda saaks mõnevõrra suurendada söödipõldude ülesharimisega (joonis 6). Erinevatel hinnangutel on Eestis taolist maad 200-300 tuhat hektarit. Kasutuselevõtu esimesel aastal on taolistel aladel tavaliselt kasvatatud taliteravilja. Rapsi kasvatuskogemusi söödialadel on aga vähe. Suvirapsi kasvatamise võimalusi uuriti rohumaal, mis oli 15 aastat söötis. Aeg-ajalt oli seal vaid lambaid karjatatud. Enne ülesharimist pritsiti Roundupiga (3 l ha⁻¹). Seejärel anti ka vedelsõnnikut 24 t ha⁻¹ (milles m³ kohta oli lämmastikku 3,5 kg, fosforit 0,66 kg ja kaaliumi 1,8 kg). Mulda hariti sügisel kolmel erineval viisil (tabel 7).



Joonis 6. Söötis põllu ülesharimiseks on vaja atra

Tabel 7. Söödipõllu ülesharimisviisi mõju suvirapsi seemnesaagile

Mullaharimine	Seemnesaak t ha ⁻¹		Vedelsõnniku mõju	
	NPK	NPK + vedelsõnnik	t ha ⁻¹	%
Mulla kobestamine 15-18 cm	2,20	2,43	0,23	10,5
Kündmine 22-25 cm	2,35	2,46	0,11	4,7
Kündmine 33-35 cm	2,34	2,51	0,17	7,3

Kevadel hariti enne suvirapsi külvi üks kord lausharimiskultivaatoriga. Uurimistööst selgus, et ekstensiivsel, ainult mineraalväetistega väetamisel oli kündmine efektiivsem kui mulla kobestamine. Integreeritud, NPK + vedelsõnnikuga väetamisel polnud harimisviiside vahel olulist erinevust. Sügavküünd ei olnud parem kui tavaküünd. Mullaharimisest oluliselt tugevamat mõju avaldas vedelsõnnikuga väetamine. Mulla kobestamise variandis suurenes suvirapsi saak 10,5%, tavakünni variandis 4,7% ja sügavkünni variandis 7,3%.

Söödipõllu ülesharimine talirapsi või –rüpsi külviks peaks algama kevadel, hiljemalt varasuvel. Tülikate umbrohtude allasurumiseks on vaja pritsida Roundupiga. Võimaluse korral tuleks anda sõnnikut (tahesõnnikut 40-50 t ha⁻¹ või vedelsõnnikut 25-30 t ha⁻¹ ja pärast seda künda 22-25 cm sügavuselt. Kui künni alla pole võimalik orgaanilist väetist (sõnnikut) anda, siis tuleks rohukamar enne kündmist purustada rullrandaaliga 8-10 cm sügavuselt. See kiirendab künniga muldaviidud rohukamara lagunemist ega lase ka tekkida vao põhjas vee liikumist takistavat taimsest materjalist vahekihti.

Sort ja väetamine

Ilmastiku mõju elimineerimiseks peaks tootmisüksuses kasvatama vähemalt kahte- kolme erineva kasvuajaga rapsisorti. Heades kasvuoludes annavad peaaegu kõik sordid suurt saaki. Neid olukordi esineb aga haruharva. Ikka on ilmastik mõnele sordile soodsam kui teisele. 2010. a andis

suviraps „Clipper” hektarilt 380 kg ehk 23,9% rohkem seemet kui sort 'Larissa'. 2009. a andis 'Larissa' hektarilt 3,52 tonni seemet, 2010. a aga sama agrotehnika foonil vaid 2,89 tonni.

Katsed on näidanud, et eriti hea oli taimedele variant, kus pool lämmastikust anti vedelsõnnikuga ja pool mineraalväetisega. Otsekülvatud ja pindmise mullaharimise foonile külvatud tali-rapsi talvekindlust suurendas ka sügisene pealtväetamine ammooniumnitraadiga (50-70 kg ha⁻¹). Efektiivne on olnud ka sügisene pealtväetamine lämmastik-väävelväetistega.

Põhk kui kohalik väetis

Paljudes tootmisüksustes põhku ei koristata, vaid see tagastatakse peenestatuna põllule. Millist mõju avaldab põhk järgneva suvirapsi seemnesaagile, uuriti keskmise sügavusega rähksel liivsa-vimullal. Eelviljaks oli talinisu. Kolmkümmend päeva pärast talinisu koristamist viidi põhk kolmel erineval viisil mulda: esimeses variandis rull-käpprandaaliga 0-18 cm sügavusele, teises adraga 22-25 cm ning kolmandas 33-35 cm sügavusele. Millised oli põhukogused ja mida põhule lisati lagundamise soodustamiseks, on esitatud tabelis 8.

Kevadel anti külvielse mullaharimise alla 500 kg ha⁻¹ kompleksväetist Yara Mila (23-7-10). Andmetest nähtub, et kui põhk ära koristati, oli kündmine efektiivsem kui mulla kobestamine. Rapsi seemnesaak suurenes 0,17-0,28 t ha⁻¹ ehk 7,6-12,6%. Kui aga põhk tagastati põllule, siis künni variantides suvirapsi seemnesaak langes ja mullakobestamise variandis suurenes. Sügavale mulda anaeroobsesse keskkonda viidud põhk laguneb aeglaselt. Künnivao põhjale moodustub põhust kiht, mis takistab mullas vee liikumist ja taimejuurte mulda tungimist (joonis 7).

Põhu lagundamist ei soodustanud oluliselt ka mineraalne lämmastik. Kui aga põhu lagundamise soodustamiseks sai lisatud vedelsõnnikut (0,2 tonni tonni põhu kohta), siis oli põhul positiivne mõju suvirapsi seemnesaagile ka künnivariantides (tabel 8). Enamsaak oli 0,59 t ha⁻¹ ehk 23,5-29,6%. Eriti tugev oli põhu ja vedelsõnniku koosmõju mulla kobestamise variandis. Enamsaak oli 1,06 t ha⁻¹ ehk 47,5%. Mullaharimisviisi valikul tuleb arvestada ka agregadi tootlikkust ja mootorikütuse kulu. Selles katses hariti mulda rull-käpprandaaliga (töölaius 5 m) ja viiesahalise pöördadraga. Nende tootlikkusest ja mootorikütuse kuludest annab ülevaate tabel 9.

Tabel 8. Talinisu põhu mõju suvirapsi saagile

Põhku t ha ⁻¹	Mulla kobestamine 0-18 cm			Kündmine 22-25 cm			Kündmine 33-35 cm		
	Saak, t ha ⁻¹	Põhu mõju		Saak, t ha ⁻¹	Põhu mõju		Saak, t ha ⁻¹	Põhu mõju	
		t ha ⁻¹	%		t ha ⁻¹	%		t ha ⁻¹	%
0	2,23	-	-	2,51	-	-	2,40	-	-
6	2,34	0,11	4,9	2,36	-0,15	-6,0	2,35	-0,05	-2,1
6*	2,61	0,38	17,0	2,40	-0,11	-4,4	2,42	0,02	0,8
11,5*	2,55	0,32	14,3	2,55	0,04	1,6	2,50	0,10	4,2
11,5**	3,29	1,06	47,5	3,10	0,59	23,5	3,11	0,59	29,6

* - lisaks 5 kg ammooniumnitraati tonni põhu kohta

** - lisaks 0,2 tonni vedelsõnnikut tonni põhu kohta (vedelsõnnikus N sisaldus 3,3 kg m⁻³)

Tabel 9. Agregaaadi tootlikkus ja mootorikütuse kulu

Mullaharimine	Tootlikkus ha h ⁻¹	Mootorikütuse kulu l ha ⁻¹
Mulla kobestamine 15-18 cm	3,5	13,3
Kündmine 22-25 cm	1,0	21,4
Kündmine 33-35 cm	0,9	25,2



Joonis 7. Kündmisel ei jaotu põhk mullas ühtlaselt

Lähtudes nendest näitajatest, on majanduslikult kasulikum mulda kobestada kui künda. Ilma lisälämmastikuta sügavale mulda viidud põhk laguneb aeglaselt (joonised 8 ja 9). Järgmise sügiskünniga tuuakse põhk uuesti mullapinnale, kus aeroobses keskkonnas saab lagunemine jätkuda. Adraga muldaküntud põhk takistab ka vee mulda imbumist.



Joonis 8. Sügavale mulda küntud põhk ei lagune veel aastaga



Joonis 9. Mulda küntud suviteravilja põhk ei ole aastaga lagunenu

Suurte sadude korral ei imbu vesi enam mulda, sest põhk ja selle all olev tihenenud muld nn adraühes takistavad seda. Valdavaks saab mullas vee horisontaalne liikumine ja tema valgumine põllu lohkedesse (joonis 10).



Joonis 10. Paduvihma järgne põllupind erinevatel mullaharimistel:
vasakul – 20 aastat pindharitud, tihest ei ole tekkinud;
paremal – 20 aastat küntud, väljakujunenud tihes

Oluline on põhu ühtlane jaotamine põllupinnale, ebaühtlaselt laotatud põhk takistab taimede ühtlast tärkamist (joonis 11). Põhuvaale saab paremini hajutada kui liikuda nende suhtes diagonaalselt (joonis 12), risti liikumisel tekivad mullaharimismasinaga alla tropid.



Joonis 11. Otsekülvatud taliraps ebaühtlaselt laotatud põhuga põllul



Joonis 12. Põhku saab paremini hajutada kui mullaharimisel liikuda diagonaalselt koristussuunaga

Kuna rapsi ja rüpsi talivormid on suvivormidest suurema saagivõimega, siis on ka põllumehed järjest enam huvitunud nende kasvatamisest. 2009. a sügisel külvati neid kultuure juba enam kui 10 000 hektarile. Karmides talvitumisoludes jäi 2010. a kevadeks alles vaid 5700 hektarit. Talirapsi kasvatamise edukus meie kliimatilistes oludes sõltub suuresti külviajast ja kasutatavast tehnoloogiast. Talirapsi parimaks eelviljaks peetakse kultuurideta kesa. Kuid praktikas on see harva kasutusel. Enam kasvatatakse talirapsi ristiku, põldheina (ristiku ja kõrreliste segu) taliotra, varajase odra ja ka talinisu järel. Oluline on, et eelvili võimaldaks maa talirapsi või –rüpsi õigeaegseks külviks (augusti esimene pool) ette valmistada. Heintaimed on ühed paremad eelviljad talirapsile ja –rüpsile, sest nende järel on muld struktuurne ning struktuuriagregaadid (sõmerad) on mehhaanilistele mõjutustele hästi vastupidavad. Taoliste põldude ülesharimise skeem võiks olla järgmine. 10-15 päeva pärast esimese niite koristamist pritsida põldu Roundupiga (2-3 l ha⁻¹). Sellega surutakse alla tülikad umbrohud. Kui neid ei esine, siis võib Roundupiga pritsimise ära jätta. Võimaluse korral anda ka sõnnikut (tahesõnnikut 40-50 t ha⁻¹ või vedelsõnnikut 25-30 t ha⁻¹). Orgaaniline väetis stimuleerib mulla elustikku. Künda tuleks juuli lõpus adraga, mis oleks komplekteeritud pakkerullidega, 20-25 cm sügavuselt. Enne kündi on soovitatav külvata ka klinkritolmu 2 t ha⁻¹. EMVI vanemteaduri pm. dr. M. Järvani uurimustel viiakse klinkritolmuga mulda ligi 100 kg kaaliumi, 40 kg magneesiumi ja 60 kg väävlit ning rapsile väga vajalikke mikroelemente. Taoline tehnoloogia tagab tüseda ja viljaka mullakihi, mis on talirapsi kasvatamiseks väga oluline. Tootmistehnoloogilistes katsetes on taoliselt foonilt kogutud hektarilt 4,5-4,7 tonni talirapsi.

Teiste eelviljade (teraviljad) korral, eriti kui põhk tagastatakse põllule, on talirapsi ja –rüpsi saagipotentsiaali realiseerimiseks vaja samuti anda lämmastikku kas mineraal- või orgaaniliste väetistega. Eelistada tuleks orgaanilisi väetisi. Kogused oleksid samad mis ristiku ja põldheinagi korral. Soovitav on ka klinkritolmuga väetamine. Mulda võib harida nii rull-käpprandaaliga kui ka adraga. Saagikuses olulist erinevust pole, mootorikütuse kulus ja tootlikkuses aga küll. Sellest lähtuvalt on majanduslikult kasulikum rull-käpprandaaliga harimine.

Raps eelviljana

Rapsi peetakse väga heaks eelviljaks teraviljadele, sest oma tugeva juurekavaga kobestab ta mulda ja põhk (varred, lehed, ködrad), mis valdavalt saab tagastatud põllule, rikastab mulda oluliste toitainetega. Seemnete ja põhu suhteks arvestatakse 1:2,9. Kirjanduse andmetel on rapsipõhus (Taimede toitumise ja väetamise käsiraamat, 1996. Koostaja H. Kärblane) 0,4-0,5% lämmastikku, 0,09-0,13% fosforit ja 1,67-2,5% kaaliumi. Peale selle sisaldab rapsipõhk ka väävlit, keskmiselt 18 kg tonni kohta. Rapsi, kui odra eelvilja väärtust sai uuritud keskmise sügavusega liivsavimullal, kui 2008 a sügisel anti hektari kohta rapsipõhku 6,6 tonni ja 2009. a sügisel 6,9 tonni. Toiteelementide kogused, mis rapsipõhuga mulda tagastati, on toodud tabelis 10.

Tabel 10. Rapsipõhuga põllule tagastatud toiteelemendid

Aasta	Põhku põllule t ha ⁻¹	Toiteelemente kg ha ⁻¹			
		N	P	K	S
2008	6,6	29,7	7,3	137,3	112,2
2009	6,9	31,1	7,6	143,5	117,3

Põhu muldaviimise variante oli kolm: adraga 22-25 cm ja 33-35 cm sügavusele, ning rullrandaaliga 0-10 cm sügavusele. Katsekultuuriks oli oder 'Anni'. Väetised anti kevadel külveelse mullaharimise alla. Väetusvariante kaks: ainult 400 kg ha⁻¹ kompleksväetist (milles N23 P7 K10) ja komp-

leksväetised + 31 t ha⁻¹ veiste vedelsõnnikut (ühes m³ N 3,5 kg, P 0,66 kg, K 1,8 kg, Mg 0,29 kg, Cu 1,2 g, B 3,3 g, Zn 21,7 mg). Sellest uurimusest selgus (tabel 11), et rapsijärgse odra 'Anni' terasaak sõltus mullaharimisest vähe. Tugev oli aga aasta so kasvuaegse ilmastiku ja väetamise mõju. Kui 2009. a kujunes katse keskmiseks odrasaagiks 5,97 t ha⁻¹, siis 2010 a vaid 4,91 t ha⁻¹ so 1,06 t ha⁻¹ ehk 17,8% vähem. Tugev oli vedelsõnniku mõju 2009. a, mil mineraalväetistele lisaksantud 31 t ha⁻¹ vedelsõnnikut suurendas mullaharimisvariantide keskmisena odrasaaki 1,04 t ha⁻¹ ehk 18,7%. Põuasel 2010. a aga vedelsõnniku usutavat mõju saagile ei olnud.

Tabel 11. Rapsi kui eelvilja mõju keskvalmiva odra terasaagile 2009-2010. a

Mullaharimine	Väetamine	Odra saak t ha ⁻¹		
		2009. a	2010. a	Keskmine
Mulla kobestamine 15-18 cm	NPK	5,37	4,86	5,12
	NPK + vedelsõnnik	6,49	4,78	5,64
Kündmine 22-25 cm	NPK	5,40	4,82	5,11
	NPK + vedelsõnnik	6,41	4,89	5,65
Kündmine 33-35 cm	NPK	5,57	5,21	5,39
	NPK + vedelsõnnik	6,57	4,91	5,74

Külviviis

Rapsi ja –rüpsi kasvatamise edendamisele on aidanud kaasa ka otsekülvi kasutuselevõtt. Selle külviviisi agrotehnikat on uuritud ka Eestis. Senised kogemused on näidanud, et otsekülv sobib siis, kui eelkultuuri valmimise hilinemise tõttu jääb mullaharimise jaoks liiga vähe aega. Otsekülvi õnnestumise üheks oluliseks tingimuseks on eelkultuuri (teravilja) põhu peenestamine (hekslid 30-40 mm) ja ühtlane jaotamine ning tülikate umbrohtude (harilik orashein) vähene esinemine. Vaatlused on ka näidanud, et otsekülvatud taliraps on tavakülvi rapsist paremini talvitunud. Selle üheks põhjuseks saab pidada eelvilja pikki kõrsi, mis kaitsesid rapsitaimi sügiseste külmade eest ning kogusid ja hoidsid põllul lund ega lasknud seda ära puhuda. Täheldasime ka, et otsekülvi rapsi põllule kogunes vähem lumesulamisvett kui tavakülvi rapsi põllule. Küntud ja kündmata põllu veerežiimi uurimine näitas, et otsekülvatud põllul filtreerus vesi oluliselt kiiremini kui küntud põllul. Peapõhjuseks oli paremini säilinud kapillaarsüsteem, mis töötas kui vertikaalne dreanaž.

Nii nagu Euroopas on ka Eestis hakatud rapsi viljelema ilma künnita sügaval mullaharimisel, kus ühe ülesõiduga haritakse põld, segatakse väetised mullaga, külvatakse seeme ja rullitakse (joo-nised 13-19). Täiuslikumad agregaadid profileerivad ka põllupinna. Selle toiminguga vajutatakse mullapinnale lohud, mis suurendavad mulla kontaktpinda ja parandavad oluliselt mullapinna vee-läbilaskvust. Võrreldes adrapõhise mullaharimisega, võimaldab see tehnoloogia kasvatada rapsi väiksema aja- ja kütusekuluga. Võrdluskatses saadi adraga harimisel suvirapsiseemet 2,51 t ha⁻¹ ja sügaval mullaharimise ilma künnita 2,49 t ha⁻¹.



Joonis 13. Mullaharimise ja külvi pöimmasin SIMBA 500SL



Joonis 14. Otsekülvik Väderstad Seed Hawk



Joonis 15. CROSS-SLOT otsekülvik sobib ka rapsi külviks



Joonis 16. Põimmasinaga SIMBA 500SL külvatud raps õitsemise faasis



Joonis 17. Otsekülvatud talirüps 2010. a oktoobris



Joonis 18. Otsekülvatud taliraps 2010. a oktoobris



Joonis 19. Rapsi juurekava erinevatel mullaharimistel:
vasakul - künnil, paremal – sügavkobestusel

Külviaeg ja külvinorm

Need on rapsi ja –rüpsi agrotehnika olulised võtted, mille õigest rakendamisest sõltub suurel määral saagikus. Suvirapsi ja –rüpsi seemned hakkavad mullas idanema juba +5°C juures. Sellise tasemeni tõuseb mulla temperatuur tavaliselt aprilli lõpus. 2010. a olid Kesk-Eesti mullad nii soojad juba aprilli kolmandal dekaadil, Lõuna-Eestis veelgi varem. Rapsikülviga alustati aga alles mai esimese dekaadi lõpus. Põhiline osa külvist tehti aga mai teises pooles. Suvirapsi kui pika kasvuajaga kultuuri saak võib aga hilisel külvil oluliselt väheneda. 2010. a 26. aprillil oli mullatemperatuur 10 cm sügavusel keskpäeval 7,8 °C, sel päeval külvatud suviraps 'Clipper' andis 2,56 t ha⁻¹ seemet. Sellest 11 päeva hiljem tehtud külv andis 2,12 t ha⁻¹ seemet. Viimasest omakorda 11 päeva hiljem külvatud suviraps andis vaid 1,83 t ha⁻¹ seemet s.o. 28,5% vähem kui aprillis tehtud külv ja 13,7% vähem kui mai esimesel dekaadil tehtud külv. 23 päevaga jäi saamata 0,73 t ha⁻¹ seemet, mis teeb päevaseks saagikaoks 31-32 kg ha⁻¹. Suvirüps kui lühema kasvuajaga kultuur talus aga hilist külvi paremini.

Talvitumiseks vajaliku kasvu- ja arengufaasi saavutamiseks vajavad talirapsi ja –rüpsi taliteraviljadest pikemat sügisest kasvuaega. Enne talvitumist peaks rapsitaimel olema 5-8 lehte ja juurekaela läbimõõt üle 6-8 mm (joonis 20).

Talirapsi varre kasvupunkt ei tohi alustada aktiivset kasvu. Et taimed jõuaksid niisugusesse arengufaasi tuleb neid teraviljadest ka 3-4 nädalat varem külvata. Parim külviaeg on augusti esimene pool. Varre sügisest ülekasvamist saab pidurdada kasvuregulaatoritega. Selleks tuleb talirapsi pritsida sügisel 6-8 lehe staadiumis kas Folicur`iga 0,75 l ha⁻¹ või Juventus`ega 0,5-1,0 l ha⁻¹. Talirüpsi külviaastal vart ei moodusta, seepärast pole ka kasvuregulaatorite kasutamine hädavajalik.



Joonis 20. Otsekülvatud talirüpsi taim 2010. a oktoobris

Talirapsi ja –rüpsi tuleks külvata hõredamalt kui suvirapsi ja –rüpsi. Suvirapsi ja –rüpsi külvinorm võiks olla 120-130 idanevat seemet ning talirapsil ja –rüpsil 60-70 idanevat seemet 1 m² kohta.

Külvatud seemnetest tärkab enamasti 80-85%. Hea suvirapsi saagi saamiseks on vaja 95-100 taime (joonis 21) ja talirapsi saamiseks 50-60 taime 1 m² kohta (joonis 22). Vajaliku seemnekoguse arvutamiseks sobib kasutada järgmist valemit:

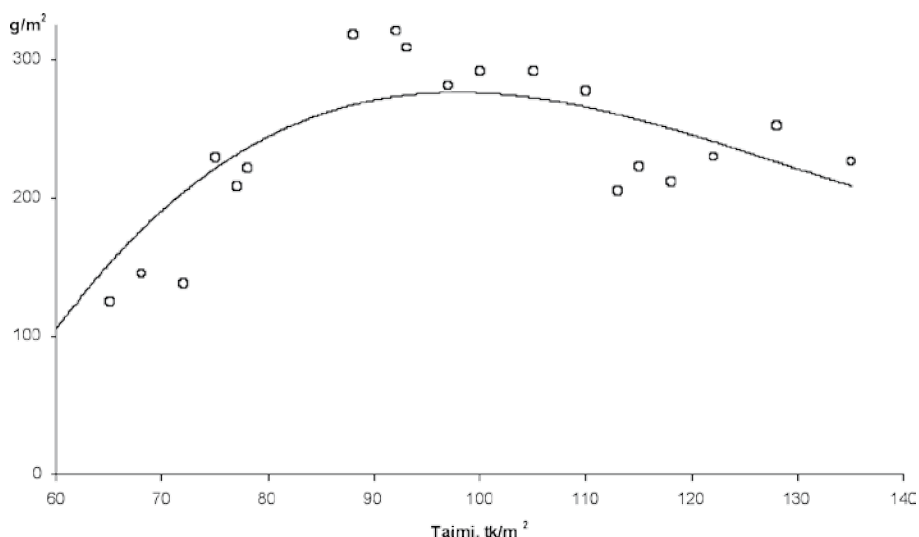
$$\frac{\text{soovitud taimede tihedus } 1 \text{ m}^2 \text{ (tk)} \times 1000 \text{ seemne mass (g)} \times 100}{\text{idanevus \%} \times \text{tärgamine põllul \%}}$$

Põldtärgamine on tavakülvil olnud 95% ja otsekülvil 90%.

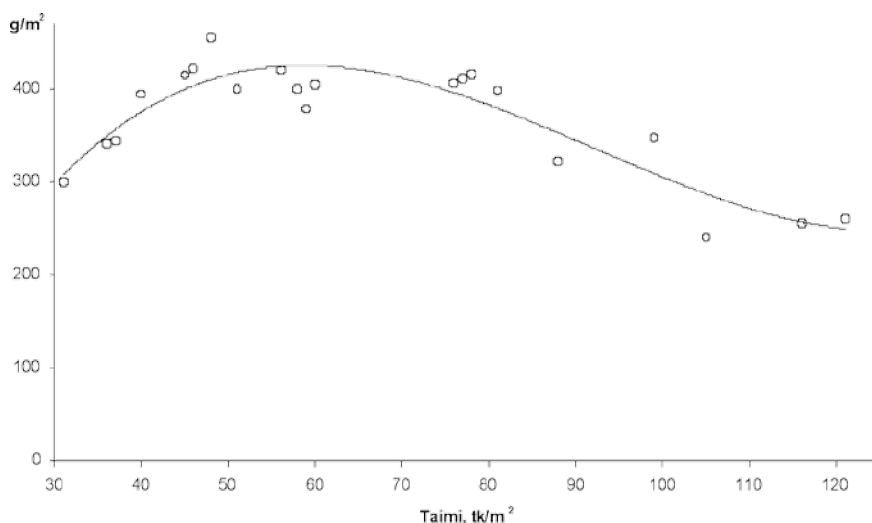
Varajane suvirapsi külv peaks olema tihedam ja hilisem külv hõredam, sest siis on taimede kasv kiirem ja külgharude arenemine parem. Talirapsi tuleks varajasel külvil külvata 50-60 idanevat seemet ja hilisel külvil (augusti III dekaad) 70-80 idanevat seemet 1 m² kohta. Vaatlused on näidanud, et hõreda taimiku (48 taime 1 m²-l) üks taim andis 32,5 g seemet ja tiheda taimiku (105 taime 1 m²-l) taim 15,7 g seemet.

Külvamisel tavalisel viisil küntud ja haritud mulda kasutatakse kitsa reavahega (12,5 cm) külvi-
kuid. See võimaldab seemnete ühtlasema jaotuse kui laia (16-25 cm) reavahega külv.

Rapsitaimedele sobilikuma toitpinna tagab aga seemnete hajukülv (joonised 23 ja 24).



Joonis 21. Taimede arvukuse mõju suvirapsi seemnesaagile



Joonis 22. Taimede arvukuse mõju talirapsi seemnesaagile



Joonis 23. Liiga tihe rapsitaimik



Joonis 24. Hajukülvi üheks eeliseks on taimede soodsam jaotumine toitepinnale võrreldes reaskülviga

Haigused ja kahjurid

Rapsi ja rüpsi saagikust vähendavad haigused ja kahjurid. Põllumees on küllalt teadlik nende toimest ja tõrjeviisidest. Kuid käsitleda tahaksin mõningaid viljavahelduse eiramisega ja uute tehnoloogiate kasutamisega kaasnevat haigusi ja kahjureid. Seoses rapsikasvatuse laienemisega on hakanud levima ohtlik haigus nuuter (*Plasmodiophora brassicae*). Haigust on leitud mitmelt Valga ja Tartumaa põllult. Haigus kahjustab rapsitaimede juurekava, tekitades neil moondeid ja pahkasid (joonis 25). Haigestunud taimed on juurte halva toimimise tõttu viletsa kasvuga ning neil ei moodustu kõtru.



Joonis 25. Nuuter rapsi juurtel

Paaril viimase aastal on Viljandi-, Harju- ja Raplamaal talirüpsi otsekülvi põldude täheldatud nälkjate kahjustusi (joonis 26). Mõnel põllul on taimed 100% ära söödud. Peamiselt tegutsevad nälkjad öösiti. Päeval on seetõttu neid põllul ka vähe märgata.



Joonis 26. Nälkjate kahjustatud ja kahjustamata otsekülvatud talirüps

Talirapsipõlde ründavad ka teod (joonis 27). Nende poolt kahjustatud põlde on leitud Viljandimaalt. Põldhiirte toitumisalaks on kujunemas rapsipõldude äärealad, sest nende elupaikades (põlluga piirnevad kaitsevöödid) on sööki vähe kuid elamine turvaline.



Joonis 27. Teod „söögilaul“

Kokkuvõtteks

Rapsi ja rüpsi kasvupinna edasine laiendamine saab toimuda eeskätt söötijäetud alade arvel. Saagikuse suurendamise peamiseks teeks on agrotehnoloogia täiustamine. Siin ei saa ühtegi agrotehnika võtet teisest olulisemaks pidada. Tähtis on aga nende oskuslik ja õigeaegne rakendamine. Rapsikasvatuse edendamine ja kasumlikkus sõltuvad suuresti ka kohalike ressurside (põhk, haljas- ja orgaanilised ning lubiväetised) oskuslikust kasutamisest.

ILMASTIKU MÕJUST JA SELLE HINDAMISEST SAAGI KUJUNEMISELE

India vanasõna ütleb: päike on saagi isa, vesi saagi ema. Kaks saagi kujunemiseks vajalikku ressursi on sellega öeldud. Ei saa vanadele hindudele pahaks panna, et nad silmaga nähtamatut, süsihappegaasi õhus ja taimetele vajalikke mineraalaineid mullas ei osanud sellesse tarkuseterasse põimida. Lisaks koguneb saaki määravate mõjurite hulka veel rida keskkonnategureid, mis pole taimetele kasutatavaks ressursiks, küll aga mõjutavad ressursside kättesaadavust või võivad osutada taimetele kahjulikeks. Nende keskkonnategurite hulka kuuluvad näiteks temperatuur, tuul, mulla omadused, talvituvate kultuuride korral lumikate, taimekahjustajad (haigused, kahjurid, umbrohud), aga samuti ka teised sama liigi kultuurtaimed. Viimased on ju konkurendid kõigile ressurssidele ja vähendavad nende kättesaadavust, samas aga võivad olla ka toeks või kaitseks ebasoodsate tingimuste korral. Kuigi erinevaid mõjufaktoreid on palju, hinnatakse uurimustes ilmastiku või ainult selle üksikute faktorite osakaaluks saagikuse kõikumistes üle poole või isegi kuni 80–85% (Uchijima, 1981; Yamoah et al., 1998; Almaraz et al., 2008; Saue et al., 2010).

Käesolev artikkel on kirjutatud lühiülevaate andmiseks ilmastikuga seotud faktorite mõjust taimedes toimuvatele protsessidele ja saagile, nende faktorite koosmõju hindamisest ning ühest saagikuse modelleerimise põhimõttest erinevate faktorite ja nende gruppide mõju eristamiseks.

Taim ja päike

Mõned arvud, mis iseloomustavad Päikest, tema kiirgust, taimkatte võimet kiirguse akumulatsioonil ja võrdluseks ka inimese võimet energia kasutamisel ja muundamisel, on toodud tabelis 1 ([http://en.wikipedia.org/wiki/Orders_of_magnitude_\(power\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Orders_of_magnitude_(power)) ; http://et.wikipedia.org/wiki/Eesti_soojuselektrijaam ; http://et.wikipedia.org/wiki/Balti_soojuselektrijaam).

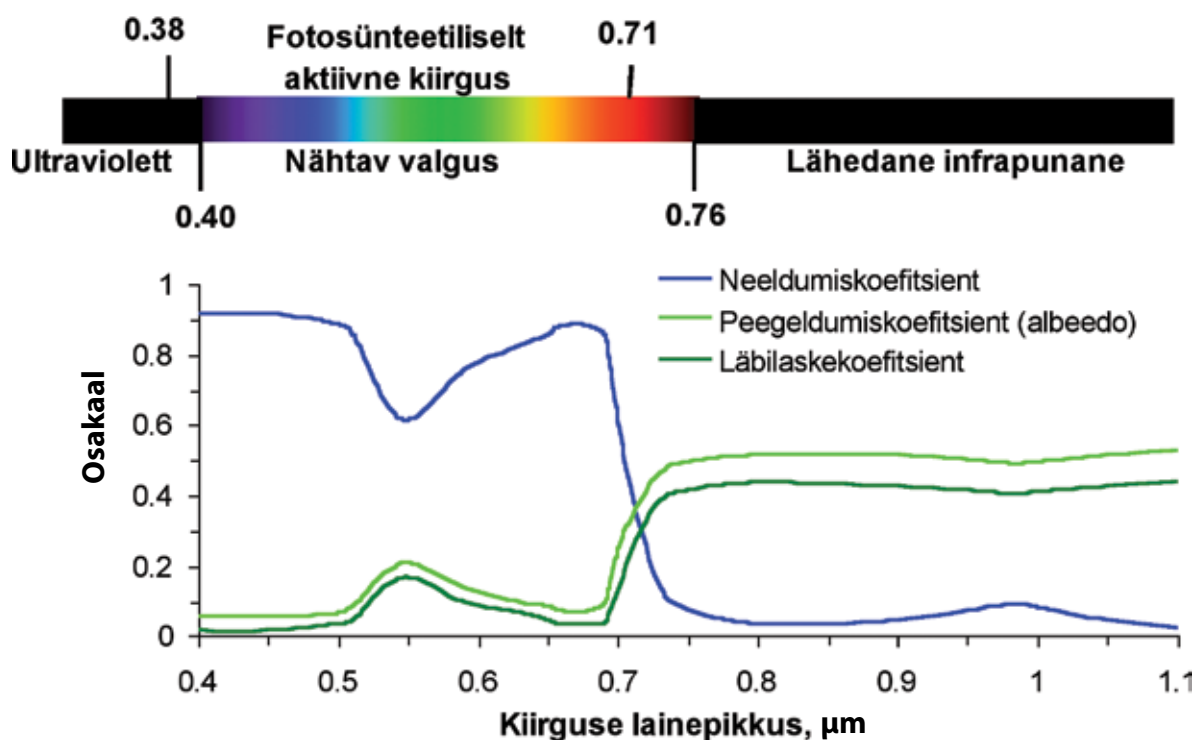
Eestis on küllalt tavaline et südasuvel päikesepaistelise ilmaga on päikesekiirguse intensiivsus keskpäeva tundidel horisontaalsele maapinnale 700 W/m² või üle selle. Seega saab maapind siis maailma võimsaima, Hiinas asuva Kolme Kuristiku Hüdrolektrijaama võimsuse päikesekiirguse näol kätte vähemalt 26 ruutkilomeetril, Eesti ja Balti soojuselektrijaamade võimsuse aga 3,4 km² suurusel alal. Kogu inimkonna poolt tarvitatav võimsus aga langeks sel juhul päikesekiirgusena 22857 ruutkilomeetrile, mis on lähedane poolele Eesti maismaa pindalast.

Tabel 1. Päike, taimkate ja inimkond energiaskaalal (Wikipedia)

Energiavoog	Võimsus	Suhe eelmisesse
Päike kiirgab	385 YW = 3,85 10 ²⁶ W	
Maa atmosfääri välispinnale jõuab	174 PW = 1,74 10 ¹⁷ W	4,5 10 ⁻¹⁰
Taimed salvestavad biomassi	75 TW = 7,5 10 ¹³ W	4,3 10 ⁻⁴
Inimkond kasutas (2010. a)	16 TW = 1,6 10 ¹³ W	0.21
Kolme Kuristiku Hüdrolektrijaam	18,3 GW = 1,83 10 ¹⁰ W	1,1 10 ⁻³
Narva Elektrijaamad (Eesti + Balti) elektriline võimsus	2,38 GW = 2.38 10 ⁹ W	0.13

YW – yottawatt (10²⁴ W); PW – petawatt (10¹⁵ W); TW – terawatt (10¹² W); GW – gigawatt (10⁹ W)

Päikesekiirgus on energeetiliseks aluseks taimede fotosünteesi protsessile. Selleks on taimedel aga võimalik kasutada ainult poolt päikeselt saabuvast kiirgusenergiast, nõndanimetatud fotosünteesiliselt aktiivset kiirgust, mille spektri ulatus (joonis 1) on ligilähedane nähtavale valgusele (erinevates käsitlustes võivad piirid siiski veidi erineda, Eesti Kiirguskliima teatmik, 2003). Fotosünteesiliselt aktiivsest kiirgusest lühema lainepikkusega ultravioletne kiirgus omab taimede jaoks peamiselt ainult regulatiivset toimet, infrapunane aga valdavalt soojuslikku mõju. Fotosünteesiliselt aktiivsest kiirgusest, mis taimelehele langeb, peegeldub tagasi 5–10% ja lehte läbib mõnevõrra vähem. Kuid ka fotosünteesi jaoks kõlblikust neeldunud päikesekiirgusest kasutavad taimed fotosünteesiks ära üpris tühise osa, 1–2%, erakordselt efektiivsete koosluste korral kuni 4–5%. Kogu taimedele langeva päikesekiirguse osas jääb kasutegur poole madalamaks. Suurem osa sellest kiirgusenergiast, mis taimedes neeldub, läheb varjatud kujul koos veeauruga läbi õhulõhede atmosfääri ning annab seal olulise panuse pilvede, sademete ja tuulte tekkeks.

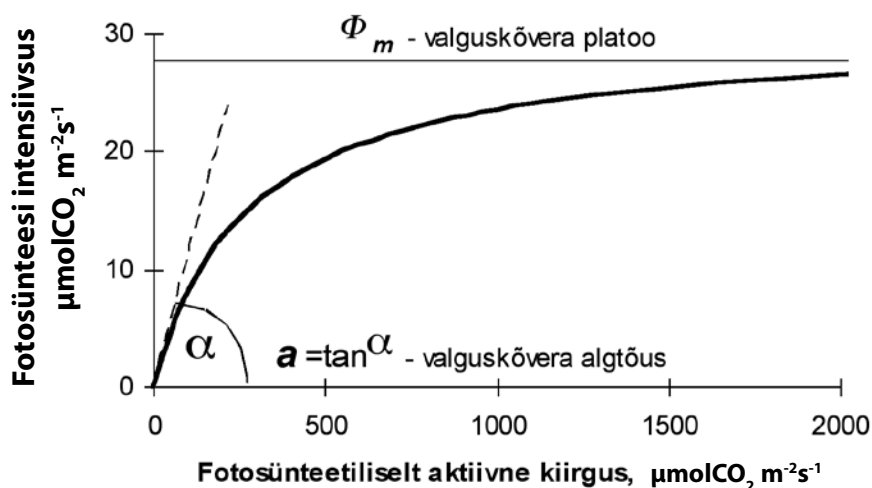


Joonis 1. Päikesekiirguse spekter (μm) ning kiirguse jaotumine neeldunud, peegeldunud ja taimelehte läbinud kiirgusteks sõltuvalt lainepikkusest

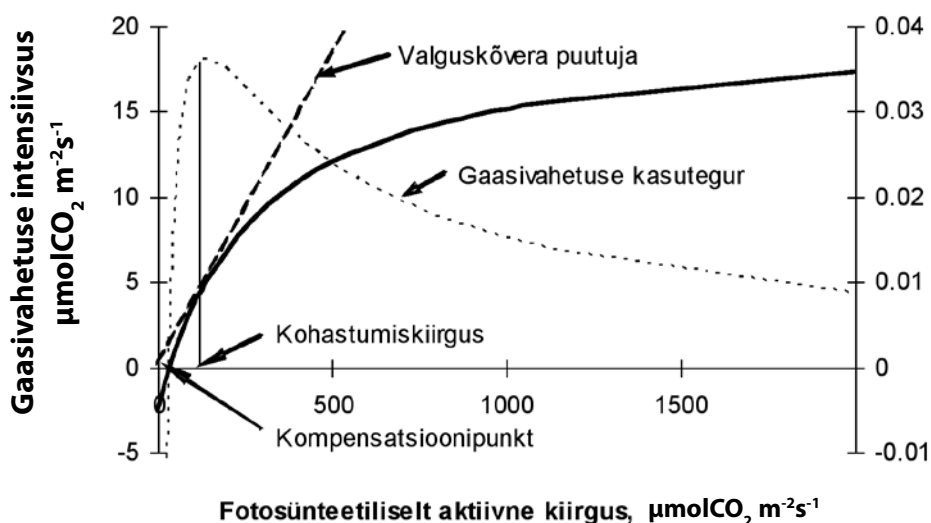
Milline on fotosünteesi intensiivsuse sõltuvus sellest, kui palju langeb lehele kiirgust, seda iseloomustavad fotosünteesi valguskõverad. Kui kiirgus puudub, on ka fotosüntees null. Kiirguse intensiivsuse kasvades hakkab kiirelt kasvama ka fotosünteesi intensiivsus (joonis 2). Algmomendi kasvukiirus, ehk fotosünteesi valguskõvera alg tõus on üheks oluliseks parameetrikaks nende kõverate kirjeldamisel, ka matemaatiliselt. Kiirguse intensiivsuse kasvades hakkab aga fotosünteesi juurdekasv järjest aeglustuma, kuni jõuab platooni ning edasine kiirguse juurdekasv enam fotosünteesi ei suurenda.

Kuid samal ajal fotosünteesimisega taim ka hingab ja otseselt saame me mõõta nende kahe suuruse vahet. Seda vahet, fotosüntees miinus hingamine, nimetatakse taimelehe gaasivahetuseks või neto-fotosünteesiks. Kiirguse puudumisel ei ole gaasivahetus enam null, vaid on negatiivne – väärtuselt võrdne pimehingamisega (joonis 3).

Fotosünteesiliselt aktiivse kiirguse intensiivsust, mille korral fotosüntees saab võrdseks hingamisega, nimetatakse kompensatsioonipunktiks. Kui nüüd lisaks gaasivahetuse valguskõverale arvutada välja ka kiirguse kasutamise efektiivsus, jõuame kiirguse intensiivsuse kasvul välja sellisesse punkti, kus efektiivsuse kõver saavutab maksimumi ja hakkab seejärel uuesti langema. Selles punktis kasutab taimeleht kiirgust kõige suurema kasuteguriga ja vastavat kiirguse väärtust nimetatakse kohastumiskiirguseks. Kasulik oleks, kui taimikus kõik lehed töötaksid just sellise valguse intensiivsuse juures, mis vastab nende kohastumiskiirgusele. Looduslikes kooslustes on see lahendatud rindelisusega, ülemistes rinnetes kasvavad kõrge kohastumiskiirgusega valguslembesed liigid (näit puud), keskmises madalama väärtusega (näit põõsastaimed), maapinnal aga väga madala kohastumiskiirgusega varjulembesed taimed (näit jänesekapsas). Kultuurtaimi, mille kohastumiskiirgus on evolutsiooniprotsessis või aretuse tulemusena kujunenud madalaks, võime panna kasvama tihedalt või teiste varju. Kui taolised taimed panna kasvama hõredalt, siis nad lihtsalt raiskavad kiirgusressurssi ning umbrohud kasutavad selle kiiresti ja edukalt ära. Kõrge kohastumiskiirgusega taimed toodavad palju produktsiooni hästi valgustatud tingimustes ja kiratsevad varju sattudes. Näiteks maisi või päevalille ei õnnestu varjulise kohas just kuigi edukalt kasvatada.

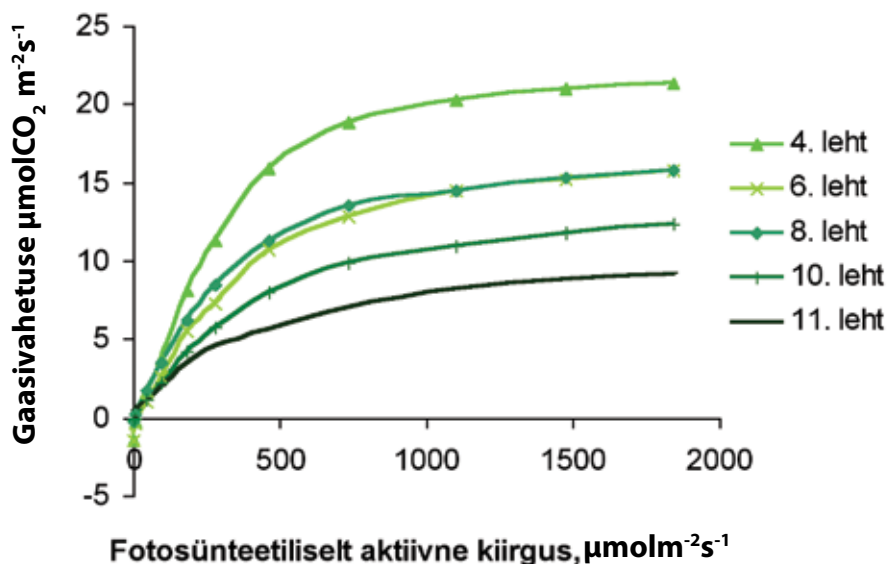


Joonis 2. Fotosünteesi valguskõver



Joonis 3. Taimelehe gaasivahetuse valguskõver ja kasuteguri sõltuvus kiirguse intensiivsusest

Nagu näitavad mõõtmistulemused, on lehtede assimilatsioonivõime muutuv ka kasvuperioodi käigus. Ülemistel noorematel lehtedel on see kõrgem, siis mõningases lehtede vahemikus (nagu joonisel 4 kartuli kohta toodud näites lehtedel 6 ja 8) jääb see suhteliselt stabiilseks, hakates alumistel vanematel lehtedel uuesti langema. Seega optimeerib ka taim ise ontogeneesi käigus oma lehtede kohanemist valgusoludega.



Joonis 4. Kartuli lehtede gaasivahetuse (fotosüntees miinus hingamine) valguskõverad. Sort Ants, mõõdetud Sakus 03.07.2007. Lehtede järjestus algab ülalt.

Taim ja vesi

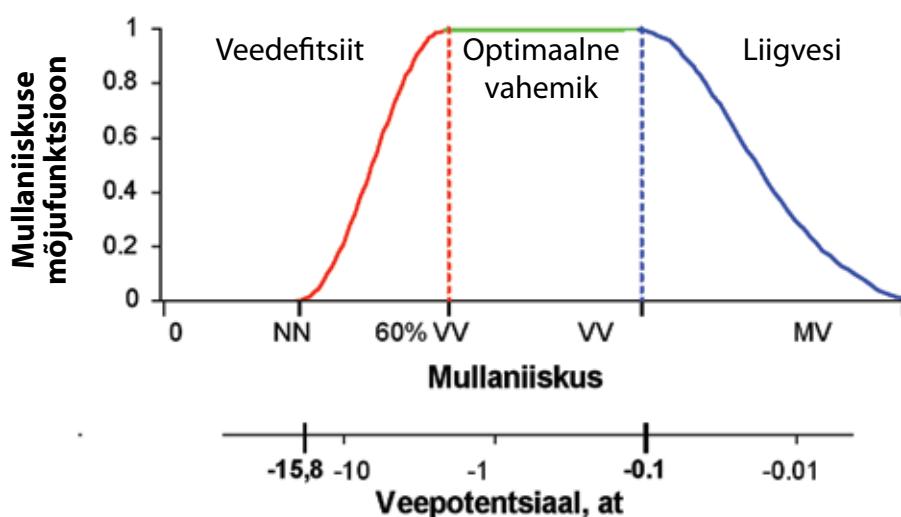
Samuti on üheks ressursiks vesi, mida taim kasutab fotosünteesi protsessis uue orgaanilise aine loomiseks. Kuid nagu kiirgusegi korral – uude ainesse läheb taimesse imetud veest vaid tühine osa. Suurem osa veest aurustub ehk transpireerub läbi õhulõhede atmosfääri, täites taime jaoks transpordi- ja jahutussüsteemi ülesandeid. Veega koos liiguvad juurtest maapealsetesse orgaanidesse toitained. Vee aurustumisel läbi taimede õhulõhede viib veeaur kaasa suurel hulgal varjatud soojust ja korraliku veega varustatuse korral hoitakse lehepinna temperatuur ümbritseva õhu temperatuurist veidi madalam. Kui tekib veedefitsiit, siis lehtede õhulõhed sulguvad ja koos süsihappegaasi sissevoolu katkemisega lakkab ka fotosüntees.

Vesi on taimede kasvule limiteerivaks teguriks kahelt poolt, pole hea, kui teda napib, ega ka see, kui on liiast. Kui mullaniiskus jääb väliveemahutavusest 60% ja 100% vahele, on vesi taimele hästi kättesaadav ning mullas sisaldub ka taime juurte ja mikroorganismide elutegevuseks piisavalt õhku (joonis 5). Väljaspool neid piire hakkab aga mõjufunktsioon assimilatsiooniprotsessile kiiresti langema jõudes defitsiidi poole pealt nullise väärtuseni närbumisniiskuse juures ja liigvee tingimustes maksimaalse veemahutavuse lähistel. Nende piirväärtuste lühiajalisest esinemisest võivad taimed veel toibuda, aga pikemaajaline kestus on enamusele liikidest aga hukutav. Erandeid muidugi on, nagu mitmed kõrbetingimustele kohanenud liigid, mis taluvad väga pikki põua-perioode, või kultuurtaimede poole pealt näiteks riis, mis lausa vajab üleujutamist.

Seda, millise efektiivsusega taim vett kasutab, iseloomustatakse transpiratsioonikoefitsiendiga, mis näitab, mitu massiühikut vett on vaja ühe ühiku kuivaine tootmiseks. Näiteks võib selle koefitsiendi kohta leida kirjandusest järgmisi arvulisi väärtusi: lutsern 840, uba 700, riis 680, kartul 640,

rukis 630, nisu 530, oder 520, mais 370, kask 320, sorgo 250, kuusk 230, pöök 170 (Polevoi, 1992). Siiski on see koefitsient sõltuv ka paljudest teistest mõjuritest ja toodud arvud pigem orienteeriva iseloomuga. Laiema vahemikuna esitatuid transpiratsioonikoefitsiendi väärtusi võib leida eesti-keelsest üld- ja agrometeoroloogia õpikust (Aruksaar jt, 1964).

Süsteemsel lähenemisel ei vaadelda tavaliselt mitte seda, kui palju ühes või teises substansis (muld, taimede erinevad osad) on kaaluliselt või protsentuaalselt vett, vaid seda, millise jõuga vett läbi taime atmosfääri veetakse. Seda iseloomustavaks suuruseks on veepotentsiaal. Selleks, et vesi liiguks gravitatsioonijõule vastupidises suunas, peab tegemist olema jõuga, mis imeb vett üles ja veepotentsiaal omama sellise liikumise tekitamiseks negatiivset märki – mida kaugemal ahe- las muld-juur-vars-leht-atmosfäär vaadeldav lüli paikneb, seda negatiivsem peab veepotentsiaal olema. Sellise tõmbe (või kinnihoidmise) põhjustajateks on kapillaarjõud (maatrikspotentsiaal), lahustunud ainete kontsentratsioonist tingitud vett juurde imav jõud (osmootne potentsiaal) ja atmosfääri veedefitsiit. Vastu töötavad gravitatsioonijõud, atmosfääri rõhk ja raku seinte vastusur- ve (turgorjõud). Lisaks sellele, et veepotentsiaali mõistet kasutades saame ühes süsteemis vaadel- da mulda, taime ja atmosfääri, ei sõltu ka näiteks närbumisniiskusele vastav mulla veepotentsiaal, mis on piiriks taimele mullast kättesaadava ja kättesaamatu vee vahel, enam mullaniiskuse kom- bel mulla liigist. Põllukultuuridel vastab närbumisniiskusele veepotentsiaal -15 – -16 at (joonis. 5).



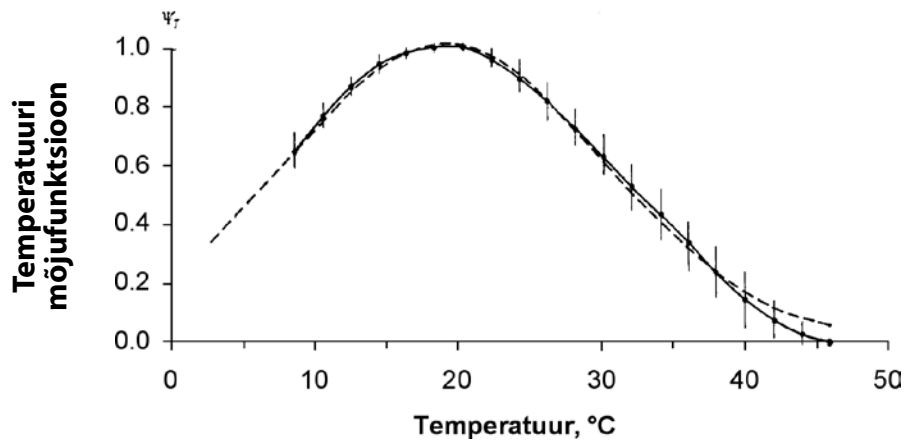
Joonis 5. Skemaatiline mullaniiskuse mõjufunktsioon taimede kasvule.

NN – närbumisniiskus; VV – väliveemahutavus; MV – maksimaalne veemahutavus.

Alumisel skaala on antud mullaniiskusele vastavad veepotentsiaali väärtused.

Taim ja temperatuur

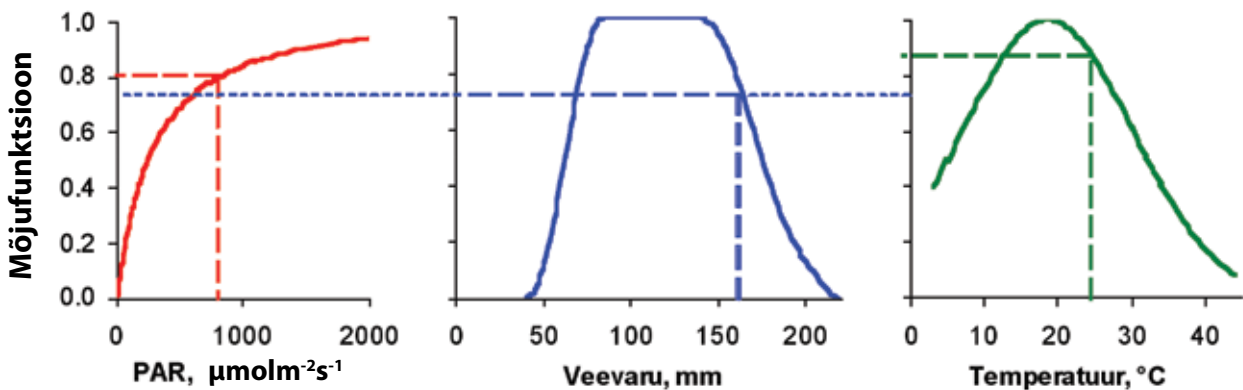
Analoogselt mullaniiskusele omab taimede jaoks maksimumiga kõveraga kirjeldatavat mõju ka üks olulisemaid keskkonnanäitajaid – temperatuur. Kuid erinevalt mullaniiskuse mõjust on optimaalse temperatuuri vahemik suhteliselt kitsas, jäädes meil kasvatatavatel kultuuridel 20 °C lähistele, ja pigem alla kui üle selle (joonis 6). Madalate temperatuuride mõju on suuresti seotud keemiliste protsesside kiiruse aeglustumisega, temperatuuri tõustes hakkab aga gaasivahetust järjest enam piirama hingamise kasv, mis suureneb umbes kaks korda iga 10 °C kohta.



Joonis 6. Kartuli lehtede fotosünteesi intensiivsuse sõltuvus temperatuurist normeerituna maksimaalse väärtuse suhtes kirjandusest kogutud andmete põhjal (Winkler, 1971). Pidev joon – empiirilised andmed koos vea piiridega; katkendjoon – eksponentsiaalne lähendus.

Koosmõju

Printsiibid, millest lähtuda erinevate tegurite koosmõju määramisel, on sageli olnud vaidluste objektiks. Oluline on siin see, kui pikas ajaskaalas me protsesse vaatleme. Kui on tegemist momenti mõjudega, võime küllaltki heas lähenduses lähtuda Liebig'i seadusest (rahvakeeli tuntud ka kui tunni või keti reegel), mille kohaselt määrab tulemuse see tegur, mille maksimumi suhtes normeeritud mõjufunktsiooni väärtus on kõige madalam – optimumist suhteliselt kõige kaugemal. Joonisel 7 toodud näite korral, mis võiks kajastada kõrge ja õhukese pilvkatttega keskpäevalähedast aega peale eelmistel päevadel toimunud tugevat sadu, limiteerib fotosünteesi protsessi mullas olev liigne niiskus. Tema normeeritud mõjufunktsioon omab kõige madalamat väärtust. Pikemaajavahemikke kirjeldavate andmete korral on arvutustes sageli kasutatud mõjufunktsioonide korrutamist, kuid sellisel juhul asendub seose füüsikaline sisu statistilise seosega.



Joonis 7. Näide limiteeriva teguri määramise kohta kolme faktori – fotosünteesiliselt aktiivse kiirguse (PAR), mulla veevaru ja õhutemperatuuri – momendi andmetest Liebig'i seaduse järgi.

Etalonsaakide meetod

Etalonsaakide meetod on lähenemisviis, mis annab sobiva võimaluse taimi mõjutavaid tegureid grupeerida ja neid arvutustesse järk-järgult sisse tuua. See meetod on välja töötatud Eestis prof. Heino Toominga poolt (Tooming, 1977, 1984). Meetodi lähtealuseks on sama mehe poolt avastatud maksimaalse produktiivsuse printsiip, mille kohaselt taimede adaptatsioon (kohandumine evolutsiooni käigus ja kohanemine kasvuperioodi vältel) on suunatud taimede poolt mak-

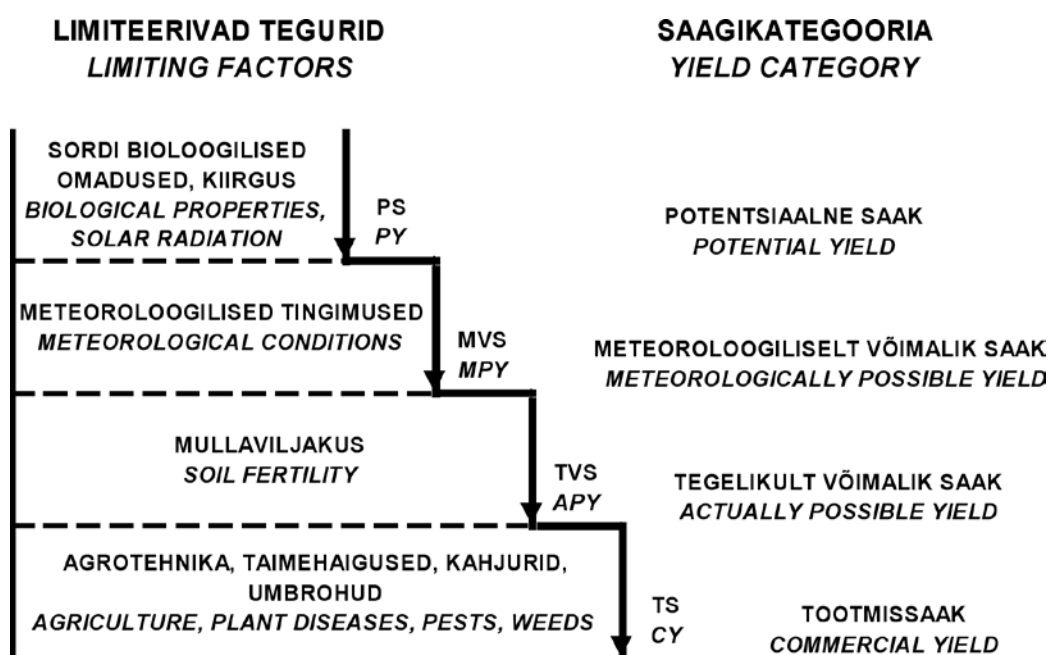
simaalse ressursside kasutamise efektiivsuse ja nende koosluse maksimaalse produktiivsuse tagamisele olemasolevate tingimuste korral (Tooming, 1967, 1977, 1984). Etalonsaakide meetod vaatleb maksimaalset produktsiooni ja maksimaalseid saake erinevatesse agroökoloogiliste gruppidesse jaotatud faktorite mõju all. Kõige üldisemalt moodustuvad need grupid bioloogilistest, meteoroloogilistest, mullastikulistest ja agrotehnilistest mõjuritest. Maksimaalseid saake, mida iga grupi mõju all on võimalik saada ja mis ühtlasi on piirväärtusteks üleminekul ühelt grupilt teisele, nimetatakse etalonsaakideks. Etalonsaakide põhikategooriatena vaadeldakse potentsiaalset, meteoroloogiliselt võimalikku, tegelikult võimalikku ja tootmissaaki (Kadaja 2004, Kadaja & Tooming, 2004).

Potentsiaalne saak (PS) on maksimaalne saak, mida on võimalik saada antud bioloogiliste omadustega kultuurilt või sordilt olemasolevates kiirgustingimustes (joonis 8). Seega määravad PS väärtuse sordi bioloogilised omadused ja kasutada olevad kiirgusressursid. Kõigi teiste faktorite mõju fotosünteesile loetakse optimaalseks. Sisuliselt väljendab see saagikategooria kiirgusressursse antud kultuuri või sordi kasvatamiseks väljendatuna saagi ühikutes.

Meteoroloogiliselt võimalik saak (MVS) on saak, mille määravad ära meteoroloogilised tingimused. Teiste sõnadega on see maksimaalselt võimalik saak, mida antud sordilt on võimalik saada olemasoleva päikesekiirguse ja meteoroloogiliste tingimuste korral. Optimaalseteks loetakse kõik mullaviljakuse ja agrotehnikaga seotud mõjurid. Seega väljendab MVS saagi ühikutes avaldatud agrometeoroloogilisi, pikemas perspektiivis aga agrokliimaatilisi ressursse.

Tegelikult võimaliku saagi (TVS) väärtuse määramisel osalevad peale PS ja MVS juures nimetatud mõjuritest veel mullaviljakusest tingitud tegurid. Optimaalseks loetakse selle saagikategooria korral agrotehnika, puuduvaks taimehaiguste, -kahjurite ja umbrohtude mõju. TVS näol on tegemist mullastiku ressursse väljendava näitajaga tegelike meteoroloogiliste või kliimatingimuste korral.

Tootmissaak (TS) on saak, mille korral tulevad arvesse kõik saagi kujunemist mõjutavad tegurid. Lisaks sordi bioloogilistele omadustele, meteoroloogilisele keskkonnale ja mullaviljakusele võetakse selle kategooria määramisel arvesse puudulikust agrotehnikast, taimehaigustest, -kahjuritest, umbrohtudest jms tingitud saagi vähenemine. See on saak, mida saadakse reaalses põlutingimustes.



Joonis 8. Etalonsaagid ja nendes arvesse võetavad limiteerivad tegurid

Etalonsaakide meetodi eeliseks on asjaolu, et ta võimaldab läheneda terviklikule produktsiooniprotsessile n.ö. ülaltpoolt, alustades kõige kõrgematelt saagi tasemetelt ja võttes kõigepealt arvesse need tegurid, mille mõju ei sõltu või sõltub vähem teistest mõjuritest ja mida inimtegevuse tulemusena on raskem muuta. Sellisteks on näiteks sordi bioloogilised omadused, mis määravad saagi, kui kõik keskkonnatingimused on optimaalsed. Samuti ei sõltu ülejäänud taimede jaoks arvesse tulevatest mõjuritest taimikule langev päikesekiirgus. Edasi võetakse selle skeemi kohaselt arvesse meteoroloogilised faktorid, esmajärjekorras temperatuur ja veega varustus. Seejärel kumuleeritakse eelnevatele juurde mullaviljakusest põhjustatud faktorid ja lõpuks puudulikust agrotehnikast tingitud piirangud.

Loomulikult on etalonsaakide süsteemi võimalik edasi diferentseerida, abstraherides mõne eelpool vaadeldud grupi raames kokku võetud faktorite mõju omakorda, näiteks vaadeldes MVS gruppi kuuluvatest meteoroloogilistest faktoritest temperatuuri ja sademeid eraldi, tuues nende mõju potentsiaalsele saagile ükshaaval juurde. Samuti võimaldab vaadeldav ideoloogia tuua eraldi sisse erinevaid mullaviljakuse komponente ning võtta ükshaaval arvesse praegusel juhul väga mitmepalgelisse agrotehnika gruppi arvatud faktorid. Erinevate ülesannete lahendamisel võib ka sissetoodavate mõjuritite või nende gruppide järjestust muuta, näiteks määrata mullaviljakuse mõju tingimustes, kus kõik teised keskkonnatingimused on optimaalsed.

Lisaks võimaldavad toodud saagikategooriad võrrelda erinevate faktorite gruppide osakaalu. Näiteks võib tuua järgnevad suhted, mis omavad küllaltki olulist sisulist tähendust:

$K_m = MVS/PS$ – meteoroloogiliste tingimuste soodsuse koefitsient, mis näitab, kui suurt osa kiirgusressurssidest on võimalik olemasolevates ilmastikutingimustes maksimaalselt ära kasutada. Seda koefitsienti on võimalik tõsta melioratiivsete abinõudega. Ühelt poolt näitabki K_m vajadust melioratsiooni järele, teiselt aga on üks võimalikke kriteeriume hindamiseks, kas antud kultuuri või sorti on üldse otstarbekas antud koha tingimustes kasvatada;

$K_p = TVS/MVS$ – mullastikutingimuste soodsuse koefitsient, mis toob välja mullaviljakuse limiitriiva mõju ilmastiku- või pikemas perspektiivis kliimatingimuste poolt võimaldatava suhtes. Seda koefitsienti tõstavad väetamine ja kõik mullaviljakuse suurendamisele suunatud meetmed;

$K_A = TS/TVS$ – mullastikuressursside kasutamise efektiivsus näitab agrotehniliste ja taimekaitsetööde taset;

$K_E = TS/MVS$ – agrometeoroloogiliste ressursside kasutamise efektiivsus on suhe, mis iseloomustab seda, kui hästi on põllumees oma põldu harides, väetades ja taimekaitsetööd tehes ilmastikuolusid suutnud ära kasutada. Selle alusel on näiteks võimalik hinnata, kas ikalduse põhjustasid antud kohas ikkagi ilmaolud, või tuleb otsida tegija poolseid vajakajäämisi töödes või otsustes.

Iseloomustamiseks etalonsaake ja nende vahelisi suhteid vaatleme mõningaid kartuli kohta saadud tulemusi (Sepp & Tooming, 1991; Kadaja, 2004; Kadaja & Saue, 2011; Saue & Kadaja, 2011). Muudeliiga tehtud arvutused näitavad, et hiliste sortide potentsiaalne saak kõigub vahemikus 50 – 90 t/ha, muutudes Eesti alal paljuaastase keskmisena 67 – 78 t ha⁻¹. PS omab kasvutendentsi põhjast lõunasse ja on suurem rannikualadel kui sisemaal. Meteoroloogiliselt võimaliku saagi kõikumised on oluliselt suuremad, ulatudes vahemikku 20 – 75 t/ha ja muutudes paljuaastase keskmisena 44

t/ha Saaremaa ja Hiiumaa lääneosas kuni 61 – 65 t ha⁻¹ Lõuna-Eestis. Paljuaastane keskmine meteoroloogiliste tingimuste soodsuse koefitsient K_m on kõrgem Eesti keskosas, olles seal 0,84 – 0,88. Rohkem piiravad meteoroloogilised tingimused (peamiselt sademete puudujääk) saaki saartel, võimaldades nende lääneosas kasutada kiirgusressurssidest ära ainult 60 – 65%. Agrometeoroloogiliste ressursside kasutamise efektiivsus K_E sõltub konkreetsest ettevõttest ja tema saagitasetest ning seda on võimalik oma saagi numbraid teades ligikaudselt hinnata. Täpsemaks määramiseks on muidugi vajalikud MVS arvutused konkreetse koha ja aasta kohta. Mingi ettekujutuse selle koefitsiendi suuruse kohta võib saada kasutades statistikaameti kodulehel maakondade kohta toodud saagikuse andmeid (olemas 2004–2008 kohta, kõikumine 11 – 23 t hektarilt) ja kohaliku meteoroloogijaama andmetel arvutatud meteoroloogiliselt võimalikku saaki. Kasutades ainult hilise sordi MVS andmeid, saame K_E väärtuseks Tartumaal 0,26, Harjumaal ja Saaremaal 0,33. Võttes aluseks keskmise väärtuse hilise ja varase sordi meteoroloogiliselt võimalikest saakidest, tõusevad K_E väärtused, olles vastavalt 0,28, 0,35 ja 0,38.

Kokkuvõtteks võib öelda, et etalonsaagid moodustavad agroökoloogiliselt põhjendatud taustsüsteemi, mis on sobivaks võrdlusaluseks erinevate taimekasvu ressursside ja keskkonnatingimuste vaheliste seoste lahtimõtestamisel ja mitmesuguste probleemide lahendamisel nii mudelitega arvutatud saakide baasil kui ka nende võrdlemisel tegelikkuses saadutega.

Kokkuvõte

Artiklis antakse lühiülevaade päikesekiirguse, mullaniiskuse ja temperatuuri mõjust taimedes toimuvatele protsessidele ja saagi formeerumisele. Mõõtmistulemuste baasil tuuakse välja taime lehe gaasivahetuse (fotosüntees ja hingamine vahe) valguskõverad olenevalt lehtede paiknemise järjekorrast. Tuuakse välja mõned limiteerivate faktorite koosmõju arvestamise põhimõtted. Kirjeldatakse maksimaalse produktiivsuse printsiibil põhinevat etalonsaakide meetodit, mis võimaldab saakide modelleerimisel tuua välja erinevate faktorite ja nende gruppide mõju ja esitatakse mõned näited mudeliga arvutatud kartuli etalonsaakide kohta.

Kirjandus

- Almaraz, J.J., Mabood, F., Zhou, X., Gregorich, E.G., and Smith, D.L. 2008. Climate change, weather variability and corn yield at a higher latitude locale: southwestern Quebec. *Climatic Change* **88**(2), pp.187-197.
- Eesti kiirguskliima teatmik. 2003. V. Russak, A. Kallis (koost.), H. Tooming (toim.). 384 lk.
- Aruksaar, H., Liidemaa, H., Martin, I., Mürk, H., Nei, I., Põiklik, K. 1964. Üld- ja agrometeoroloogia. K. Põiklik (koostaja). Eesti Raamat, Tallinn, 766 lk.
- Kadaja, J., 2004. Kartuli produktsiooniprotsessi dünaamiline mudel ja selle rakendused. *Agraarteadus*, 15 (2), 74-89.
- Kadaja, J. Tooming, H. 2004. Potato production model based on principle of maximum plant productivity. *Agricultural and Forest Meteorology* 127 (1-2), 17-33.
- Polevoi, 1992: Полевой, А.Н. 1992. Сельскохозяйственная метеорология. Гидрометеоиздат, Ленинград, 424 с.
- Kadaja, J., Saue, T. 2011. Ilmastikuressursid kartuli kasvatuseks kliimamuutuste tingimustes. J. Kadaja (Toim.). *Agronoomia* 2010/2011. Eesti Maaviljeluse Instituut, Saku, lk. 87–94.
- Saue, T., Kadaja, J. 2011. Possible effects of climate change on potato crops in Estonia. *Boreal Environment Research*, 16, 203–217.

- Saue, T., Viil, P., Kadaja, J. 2010. Do different tillage and fertilization methods influence weather risks on potato yield? *Agronomy Research*, **8**(Special Issue), pp. 427-432.
- Sepp & Tooming, 1991: Сепп Ю.В., Тооминг Х.Г. 1991. Ресурсы продуктивности картофеля. Гидрометеоиздат, Ленинград, 261 с.
- Tooming, H., 1967. Mathematical model of plant photosynthesis considering adaptation. *Photosynthetica* 1 (3-4), 233-240.
- Tooming, 1977: Тооминг Х.Г. 1977. Солнечная радиация и формирование урожая; ред. Ю. Росс. Гидрометеоиздат, Ленинград, 200 с. (jaapani keeles 1982)
- Tooming, 1984: Тооминг Х.Г. 1984. Экологические принципы максимальной продуктивности посевов / ред. Ю. К. Росс. Гидрометеоиздат, Ленинград, 264 с
- Uchijima Z. 1981. Yield variability of crops in Japan. *GeoJournal*, **5**(2), pp.151–163.
- Winkler, E. 1971. Kartoffelbau in Tirol II. Photosynthesevermögen und Respiration von verschiedenen Kartoffelarten. *Potato Research* 14, 1–18.
- Yamoah, C.F., Varvel, G.E., Francis, C.A., Waltman, W.J. 1998. Weather and management. Impact on crop yield variability in rotations. *Journal of Production Agriculture*, **11**(2), pp. 219–225.

TAIMKATET LÄBINUD KIIRGUS NING KULTUURIDE LEHEPIND ODRA JA RAPSI KÜLVIS

Üheks peamiseks taimede elutegevust, nende kasvu ja arengut tagavaks ressursiks on päikese-kiirgus. Fotosünteesi seisukohalt on eriti oluline kiirguse lainepikkuste vahemik 380-410 nm, mida nimetatakse fotosünteesiliselt aktiivseks kiirguseks (photosynthetically active radiation – PAR), mis kattub ligilähedaselt nähtava valguse vahemikuga. Fotosüntees toimub lehtedes, vähesemal määral ka rohelistes vartes ja viljades. Mida suurem on taime lehtede ja varte pindala, seda rohkem on nad võimelised neelama ka päikesekiirgust ja seda fotosünteesi protsessis kasutama. Siiski peab ütleva, et neelatud kiirgusest rakendatakse fotosünteesi protsessis otseselt ära väike kogus, enamuse neelatud energiast kasutatakse ära taimi läbiva veevoo aurustamiseks ehk transpiratsiooniks – aga ka see protsess on taimede elutegevuses olulise tähtsusega, võimaldades hankida mullast toitaineid ja reguleerida taimelehtede temperatuuri. Seega on taimede lehepinna suurus nende tootlikkuse seisukohalt küllaltki oluline näitaja. Lehepinna suurust maapinna ühiku kohta (näit $m^2 m^{-2}$) nimetatakse lehepinna indeksiks (leaf area index – LAI). Lehestikus neeldunud kiirgust on võimalik mõõta, mõõtes selle väärtuse samaaegselt ära taimkatte kohal ja selle all. Esimest nimetatakse pealelangebaks, teist taimestikust läbitulnud kiirguseks. Kasutades küllaltki keerukaid mittelineaarseid seoseid ja mõningaid lehti kirjeldavaid parameetreid, on nende kaudu teatud lähenduses võimalik arvutada välja ka LAI väärtus.

Antud kogumikus kirjeldatavate külvikorra katsete käigus tegime fotosünteesiliselt aktiivse kiirguse mõõtmisi külvides, hindamaks seda, kuivõrd erinevad mullaharimise ja väetamise viisid mõjutavad nende lehepinda ja kiirguse läbilaskvust. Antud artikli raames vaatleme saadud tulemusi kahe kultuuri, odra ja rapsi korral.

Metoodika

Mõõtmisi viidi läbi pikaajalise külvikorra katse (Viil, 2012) kahe väetusvariandi, vedelsõnnikuga väetatud ja kahekordse põhukoguse saanud (väetatud) ning foonina ainult mineraalväetist saanud variandi (foon) kolme harimisvariandi (pindharimine, tava- ja sügavkünn) katselappidel.

Mõõtmised toimusid raadioühendusega varustatud mõõteriistaga SunScan Canopy Analysis System SS1 (Delta-T Devices Ltd). Seade koosneb külvi kohale paigaldatavast kiirguse andurist BF3, mõõtelatist kiirguse mõõtmiseks külvil ja pihuarvutist (joonis 1).

Mõõtelatt sisaldab 64 eraldi mõõtvat ja ühtlaselt paigutatud fotodiodi, võimaldades taimestikust läbi tulnud kiirgust keskmistada 1 m pikkuse lõigu kohta, aga soovi korral ka kiirguse pilti kaardistada. Anduris BF3 on mõõteelemendid paigutatud osaliselt värviga kaetud kupli alla selliselt, et paralleelselt on võimalik mõõta nii kogukiirgust kui eristada ka päikeselt tulev otsene ja hajuskiirgus. Selline eristamine on vajalik LAI arvutusteks. Mõõdetakse fotosünteesiliselt aktiivset kiirgust, mille ühikuteks on $\mu mol m^{-2} s^{-1}$ (mikromoolid loendavad siin kiirguskvante, kuna fotosünteesi keemilistes protsessides osaleb kiirgus kvantidena). LAI arvutus baseerub Campbell (1986) teoorial (Webb et al., 2008). Selle arvutuse tegemiseks on eelnevalt vaja pihuarvutisse sisestada asukoha geograafilised koordinaadid, kellaaeg, ajanihe Greenwich'i aja suhtes ning parameetrid, mis kirjeldavad taimelehtede ruumilist orientatsiooni ja läbilaskvust PAR suhtes. Viimaste parameetrite ligikaudse määramise meetodid on kirjeldatud juhendis (Webb et al., 2008). Kuna kiirguse nõrgenemise järgi arvutatud LAI väärtused arvestavad nii taimede lehti kui ka varsi ja generatiivorganeid, on saadud LAI väärtust sisuliselt õigem vaadata kui efektiivset lehepinna indeksit.



Joonis 1. Külvi kohale paigutatud kiirguse andur koos raadiosaatjaga (vasakul) ja mõõtja koos kiirguse mõõtmise lati ning pihuarvutiga (parempoolsel fotol)

Arvutatud LAI väärtustest korrektsemateks tuleb siiski pidada otseseid kiirguse kohta mõõdetud andmeid. Lisaks lehtede orientatsiooni kirjeldava parameetri määramise ligikaudsusele näitasid meetodilised mõõtmised ka arvutustulemuste mõningast sõltuvust peale langeva PAR intensiivsusest. Seetõttu on ka artiklis arvandmetena toodud välja peamiselt PAR kohta saadud tulemused ja LAI väärtustele jäätud peamiselt illustreeriv osa graafikutena.

Külvist läbi tulnud kiirgust mõõdeti iga variandi nelja järjestikku paikneva korduse variandisestest otstest, kaks mõõtmist igast otsast, kokku iga variandi kohta seega 12 mõõtmist (osal aastatel ka 30). Artiklis on kasutatud viie aasta jooksul (2008–2012) tehtud mõõtmiste andmeid. Erinevate variantide võrdlemisel on väetatud varianti vaadeldud foonivariandi ja künnivariante pindharimise suhtes.

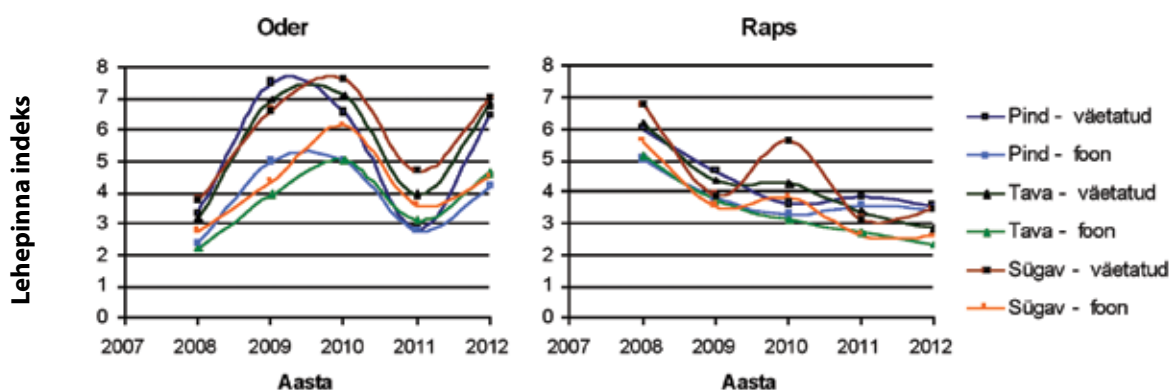
Tulemused

Taimkatte läbilaskvus muutub odra korral minimaalseks juuni lõpus või juuli alguses, rapsi puhul juuli keskel. Erandiks oli rapsi korral 2010 a, mil neeldumine osutus maksimaalseks juba juuni lõpus ning hakkas juulis uuesti vähenema. Reeglina neelavad tugevamalt väetatud külvid rohkem kiirgust (tabel 1).

Tabel 1. Taimkatte läbinud fotosünteesiliselt aktiivse kiirguse suhe pealangevasse mõõtmiskordadel, mil selle suhte väärtus oli minimaalne ja neeldumine taimedes kõige suurem

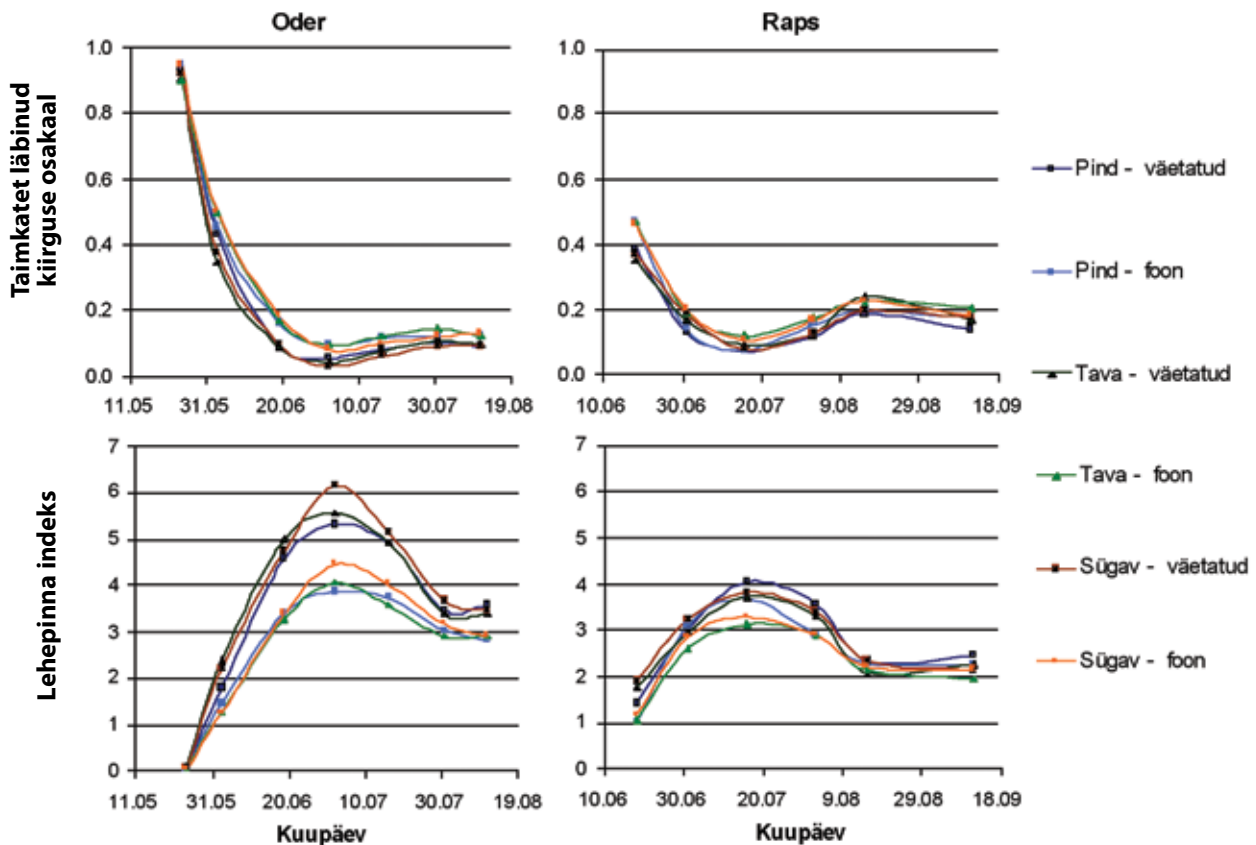
Harimisviis	Väetus	Oder						Raps					
		2008	2009	2010	2011	2012	Keskmine	2008	2009	2010	2011	2012	Keskmine
Pind	Väetatud	0.126	0.019	0.027	0.151	0.027	0.070	0.028	0.019	0.093	0.083	0.047	0.054
Pind	Foon	0.211	0.060	0.067	0.152	0.111	0.120	0.054	0.037	0.114	0.099	0.048	0.070
Tava	Väetatud	0.182	0.024	0.023	0.090	0.034	0.071	0.026	0.028	0.060	0.118	0.097	0.066
Tava	Foon	0.222	0.106	0.082	0.140	0.092	0.128	0.046	0.043	0.129	0.156	0.139	0.102
Sügav	Väetatud	0.113	0.031	0.019	0.063	0.020	0.049	0.019	0.040	0.027	0.123	0.051	0.052
Sügav	Foon	0.164	0.089	0.043	0.117	0.080	0.098	0.035	0.050	0.080	0.164	0.103	0.086
Keskmine		0.170	0.055	0.043	0.119	0.061		0.034	0.036	0.084	0.124	0.081	
Väetatud keskmine		0.140	0.025	0.023	0.101	0.027	0.063	0.024	0.029	0.060	0.108	0.065	0.057
Foon keskmine		0.199	0.085	0.064	0.136	0.094	0.116	0.045	0.043	0.108	0.140	0.096	0.086
Väetatu fooni suhtes		0.71	0.29	0.36	0.74	0.29	0.48	0.55	0.67	0.55	0.77	0.67	0.64

Erinevused minimaalses läbilaskvuses ja maksimaalses lehepinnas olid väetatud variandi ja fooni vahel kõige väiksemad 2011 a, mil põhule lisaks vedelsõnnikut ei antud. Odra korral olid väetusvariantide vahelised erinevused väiksemad ka 2008. a, mil vedelsõnnikuga väetamine toimus esimest aastat. Nendele kahele aastale on odral üldiselt iseloomulik suurem kiirguse läbilaskvus ja väiksem lehepind (joonis 2). Rapsile on pigem iseloomulik maksimaalse lehepinna indeksi vähenemine perioodi vältel, mil raps oli katses. Harimisvariantide vahelised kõikumised on väiksemad ja mitte nii kindlalt ühesuunalised kui erinevate väetusrežiimide vahel. Aastate keskmisena omavad odra korral suuremat maksimaalset lehepinda ja neelavad rohkem kiirgust sügavkünni variandid. Pindharimine ja tavakünn annavad omavahel lähedasi tulemusi. Rapsi korral annavad pindharimine ja sügavkünn keskmiselt üpris lähedased tulemused, tavaharimise korral jääb lehepinna indeks mõnevõrra väiksemaks.



Joonis 2. Odra ja rapsi maksimaalne lehepind aastati

Taimkatet läbinud kiirguse osakaalu ja lehepinna indeksi käik kasvuperioodil (keskmistatult üle 5 aasta) on toodud joonisel 3. Suhtelised erinevused väetusvariantide vahel osutusid suuremateks kasvuperioodi alguses ja maksimaalse lehepinna faasis. Kasvuperioodi hilisemas osas, kus põhiliselt kiirguse neelajateks jäid varred ja viljad (pead või ködrad), vähenes väetusvariantide vaheline erinevus, kuid säilis samasuunalisena edasi kuni kasvuperioodi lõpuni. Väetusvariantide vahelised erinevused osutusid suuremateks odra korral.



Joonis 3. Üle viie aasta keskmistatud taimkattest läbi tulnud PAR osakaalu ja lehepinna indeksi käik kasvuperioodil

Kasvuperioodi algul ja maksimaalse lehepinna faasis osutusid väetatud ja foonivariandi vahelised suhtelised erinevused külvist läbi tulnud PAR väärtustes väiksemateks (lähedasemateks ühele) pindharimise variandi korral (tabel 2). Enne koristust tehtud mõõtmiste korral, kui lehestik oli juba praktiliselt hävinud, oli situatsioon vastupidine – pindharimise variandi korral oli väetamine vedelsõnniku ja põhuga vähendanud kiirguse läbiminekut rohkem kui künnivariantide korral. Selle põhjal võib oletada, et künnivariantide korral soodustab tugevam väetamine enam lehestiku, pindharimise variandi korral varte ja/või viljade kasvu.

Tabel 2. Väetatud variandist taimikust läbi tulnud PAR fooni korral läbitulnu suhtes. Tulemused on arvatud üle viie aasta keskmistatud andmete baasil, samuti on kuupäevad antud aastate keskmised

Kultuur ja harimisviis	Kasvu algperioodil	Maksimaalse LAI faasis	Enne koristust	Keskmine kõigist vaatluskordadest
Oder	2.juuni	1.juuli	10.aug	
Pind	0.95	0.59	0.71	0.77
Tava	0.70	0.47	0.79	0.70
Sügav	0.76	0.41	0.73	0.68
Raps	18.juuni	15.juuli	11.sept	
Pind	0.84	0.95	0.79	0.87
Tava	0.75	0.76	0.83	0.84
Sügav	0.80	0.76	0.98	0.85

Harimisvariantide omavaheline võrdlus annab odra ja rapsi korral erinevad tulemused. Odra korral läheb taimkattest rohkem kiirgust läbi ja lehepind on valdavalt väiksem pindharimise variandi korral, variantide erinevused on aga siiski üpris väikesed. Rapsi puhul on erinevused suuremad ja vastupidised, künnivariantidel kasvavad taimed lasevad läbi keskmiselt 18% rohkem kiirgust (tabel 3). Sama protsendi võrra on keskmistatud andmete põhjal pindharimise variandi lehepind suurem künnivariantide omast. Mõlema kultuuri korral omavad pindharimise variandi suhtes mõnevõrra kõrgemaid läbi tulnud kiirguse ja madalamaid lehepinna väärtusi fooni ja tava-künni variandid.

Tabel 3. Künnivariantide taimikust läbi tulnud kiirguse erinevused pindharimise variandi suhtes viie aasta ja kõigi vaatluskordade keskmisena

Harimisvariant	Väetusvariant	Oder	Raps
Tava	Väetatud	0.94	1.17
Tava	Foon	1.03	1.22
Sügav	Väetatud	0.88	1.15
Sügav	Foon	0.99	1.17
Keskmised erinevatest variantidest	Kõik	0.96	1.18
	Väetatud	0.91	1.16
	Foon	1.01	1.20
	Tava	0.99	1.20
	Sügav	0.94	1.16

Kokkuvõte

Pikaajalise külvikorra katse erinevatel harimis- ja väetusvariantidel kombinatsioonidel mõõdeti mõõteseadmega SunScan Canopy Analysis System pealelangev ja odra ning rapsi taimikut läbinud fotosünteesiliselt aktiivne kiirgus (PAR) ning arvutati lehepinna indeksi (LAI) väärtused.

Täiendavalt vedelsõnniku ja põhuga väetatud variantide läbilaskvus PAR suhtes oli väiksem ja LAI suurem kui ainult mineraalväetistega väetatud foonivariandil. Väetusvariantide vahelised erinevused olid suuremad odra korral. Kasvuperioodi alguses ja maksimaalse lehepinna faasis oli täiendava väetamise mõju kiirguse taimikust läbimine suurem künnivariantidel, koristuse eelisel perioodil pindharimisel. Odra korral oli PAR läbilaskvus valdavalt parem pindharimise ja rapsi korral üheselt künnivariantidel.

Kirjandus

- Campbell, G.S. 1986. Extinction coefficients for radiation in plant canopies using an ellipsoidal inclination angle distribution. *Agric. For. Meteorol.*, 36, 317-321.
- Viiil, P. 2012. Raps – miks ja kuidas. Vt. Käesolev kogumik.
- Webb, N., Nichol, C., Wood, J., Potter, E. 2008. User Manual for the SunScan Canopy Analysis System type SS1 (v2.0). 83 p. (ftp://ftp.dynamax.com/manuals/SS1_Manual.pdf).

ILMASTIKU NING ERINEVATE MULLAHARIMISE JA VÄETAMISE VIISIDE MÕJU KARTULI SAAGIKUSELE

Viimastel aastatel on põlluharijate seas järjest populaarsemaks muutunud vähemintensiivsed mullaharimise meetodid ja alternatiivsete orgaaniliste väetiste kasutamine. Eestis nagu ka mujal parasvöötmes on põllukultuuride saagi varieerumine oluliselt sõltuv ilmastikutingimustest (Carter 1996, Karing et al., 1999). Uute meetodite rakendamise korral on oluline tunda nende tundlikkust ilmastiku kõikumiste suhtes. Lihtsaimaks ja suhteliselt objektiivseks tööriistaks on selle ülesande lahendamisel statistiline analüüs. Kuigi seoste analüüs üldiste ilmastikuparameetritega loob vaevalt süvateadmist komplektsetest seostest ilma ja saagi kujunemise vahel, võib see anda meile lihtsa indikaatori saagikuse ennustamiseks ja hindamiseks (Meuwissen et al., 2000).

Antud töös kasutasime kartuli kohta kogutud andmeid pikaajalisest külvikorra katsest, mis kaasas erinevaid mullaharimise ja väetamise kombinatsioone. Uurimuse põhieesmärgiks oli hinnata, kas meteoroloogiliste tingimuste varieerumine põhjustab pikemaajalises perspektiivis kartuli saagikuse olulisi erinevusi erinevate harimis- ja väetusviiside vahel (Saue et al. 2010). Samuti seadsime eesmärgiks hinnata selle katse põhjal kartuli saagikuse ja üldiste ilmaparameetrite vaheliste seoste tugevust.

Metoodika

Töö põhineb mullaharimis- ja väetusmeetodite pikaajalisel katsel. Katses oli kuus külvikorda (talirukis või -nisu – kartul – oder – varane oder heintaimede allakülviga – heintaimed – heintaimed) ja see asus Kuusiku katsejaamas (Viil, Nugis, 2002; Viil, Vösa, 2006) liivsavi mullal. Iga külvikord oli jaotatud kolme mullaharimise viisi vahel, millest igaüks sisaldas neli erinevat väetusvarianti neljas korduses (kokku 288 katselappi, á 10 × 5 m). Selles töös on vaatluse alla võetud 19 aasta kartulisaagid. Saagi määramiseks kasutati katselapil paiknevast kuuest kartulivaost kahte keskmist.

Kolm vaatluse all olnud harimismeetodit olid pindharimine M1 (harimise sügavus kartuli korral 15–18 cm), tavakünd M2 (22–25 cm) ja sügavküünd (33–35 cm). Neli väetusvarianti erinesid eelkultuuri talirukki põhu sissekünni osas: S0 – kontrollvariant ilma põhuta, S1 – põhku 4,5 t ha⁻¹, S2 – 4,5 t ha⁻¹, millele lisati 5 kg ammooniumnitraati iga põhutonni kohta; S3 – 9 t ha⁻¹ pluss 5 kg NH₄NO₃ põhutonni kohta (baasväetus N₇₀P₃₉K₇₅ oli kõigil variantidel sama). Seega oli katses kokku 12 erinevat varianti.

Katse käigus kasutati kolme Eestis aretatud kartulisorti: 1989–1992 'Eba'; 1993–2002 'Ando'; 2003–2007 'Anti'.

Kliimaatilisel kuulub katseala Mandri-Eesti kontinentaalsesse allregiooni, kus Balti mere mõju juba praktiliselt puudub (Jaagus & Truu 2004). Aasta keskmine temperatuur on 5,3 °C (<http://www.emhi.ee/?ide=6,299,302>; 29.08.2012); aastane sademete summa 747 mm (...; 303; 29.08.2012). Öökülmadevaba perioodi pikkus on keskmiselt 115 päeva. Antud töös on saagikuste analüüsil kasutatud keskmise temperatuuri, temperatuurisummade ja sademete summade aegridasid. Vaadeldi nii üksikute ja erinevalt grupeeritud kuude kui ka kartuli arengufaaside (mahapanek, tärkamine, õitsemine, koristus) vahele jäävate perioodide kohta käivaid andmeid (tabel 1).

Andmete analüüsiks kasutati statistilist tarkvarapaketti Statistica 7.0. Uuriti harimisviisi, väetusviisi ja aasta (väljendab ilmastiku osalust) mõju kartuli saagile kasutades ühe- ja kolmefaktorilist dispersioonanalüüsi. Ühefaktorilise dispersioonanalüüsi korral vaadeldakse iga faktori mõju uuritavale tunnusele üksikult, näiteks aasta mõju hindamisel ei võeta sel juhul arvesse väetamise

ja kündmise mõjusid jne. Mitmefaktoriline dispersioonanalüüs võtab arvesse ühe faktori mõju olukorras, kus teiste faktorite mõjud on juba arvesse võetud. Lisaks võimaldab mitmefaktoriline dispersioonanalüüs välja tuua faktorite võimalikud koosmõjud ehk interaktsioonid. Näiteks küsime interaktsiooni uurides, kas väetamise mõju saagile sõltub ka ilmastikust ja/või künniviisist ja vastupidi. Kui dispersioonanalüüs näitas mingite variantide vahelise olulise erinevuse esinemist, kasutati keskmiste vaheliste erinevuste hindamiseks Tukey HSD *post hoc* testi. Selle tulemusena selgus, millised konkreetset variandid vaatlusalustest on omavahel erinevad ja millised mitte. Kuna korduste vahelised erinevused ei osutunud oluliseks, kasutati testides üle korduste keskmistatud saake. Sortidevahelised olulised erinevused saagikustes elimineeriti saakide normeerimise teel, st et individuaalsed saagi väärtused jagati läbi antud sordi keskmise saagiga.

Tabel 1. Keskmised meteoroloogilised näitajad Kuusiku vaatlusandmete põhjal katseperioodi 1989–2007 kohta.

Periood	Sademed, mm	Keskmine temperatuur, °C	Positiivsete temperatuuride summa, °C	Päevi
Märts	45,7	-1,0	35,3	31
Aprill	35,8	5,0	155,7	30
Mai	46,1	10,2	317,2	31
Juuni	70,8	14,5	435,0	30
Juuli	79,1	17,1	531,6	31
August	82,6	15,9	491,8	31
Mahapanek – öitsemine	129,8	13,9	840,8	60,7
Tärkamine – öitsemine	72,8	15,9	489,3	31,2
Öitsemine – koristus	161,0	15,5	994,2	62,5

Ilmastiku mõju üldistamiseks pikema perioodi kohta kasutasime juhuslike faktoritega dispersioonanalüüsi. Juhuslik faktor on statistikas selline diskreetne sõltumatu muutuja, mille tasemed on vaadeldavad valimina mingist suurest tasemete üldkogumist. Antud juhul, kui vaatleme aastat juhusliku faktorina, siis tähendab see seda, et kuigi meil on katseandmed 18 konkreetse aasta ilmastiku kohta, tahame me järeldusi teha ilmastiku mõju kohta üldiselt, mitte ainult neil konkreetsetel aastatel. Katseaastad moodustavad niisiis juhusliku valimi üldkogumist ehk kõikidest aastatest. Faktor, mis ei ole juhuslik, on fikseeritud – faktori tasemeid on lõplik hulk ja kõik nad on valimis esindatud – st me soovime uurida just ja ainult katses esindatud künni- ja väetusvariante ega soovi üldistada neid tulemusi mingitele teistele künni- või väetusviisidele. Faktori liigitamine juhuslikuks või fikseerituks sõltub täpsest probleemipüstitusest – nii võibki faktor 'aasta' olla fikseeritud, kui meid huvitavad just meie katseaastate vahelised erinevused – juhuslik, kui huvitab vastus küsimusele, kas aastad üldiselt omavahel erinevad. Kui mudelis on nii fikseeritud kui ka juhuslikke faktoreid, nimetatakse seda segatüüpi dispersioonanalüüsiks.

Variantide vahelist erinevust katseperioodil uurisime fikseeritud faktoritega dispersioonanalüüsi abil Kuna aastaid oli rohkem kui mõni, siis võimalikult ülevaatliku tulemuse saamiseks jaotatakse saagid enne kolmefaktorilise dispersioonanalüüsi rakendamist klasteranalüüsi abil suu-

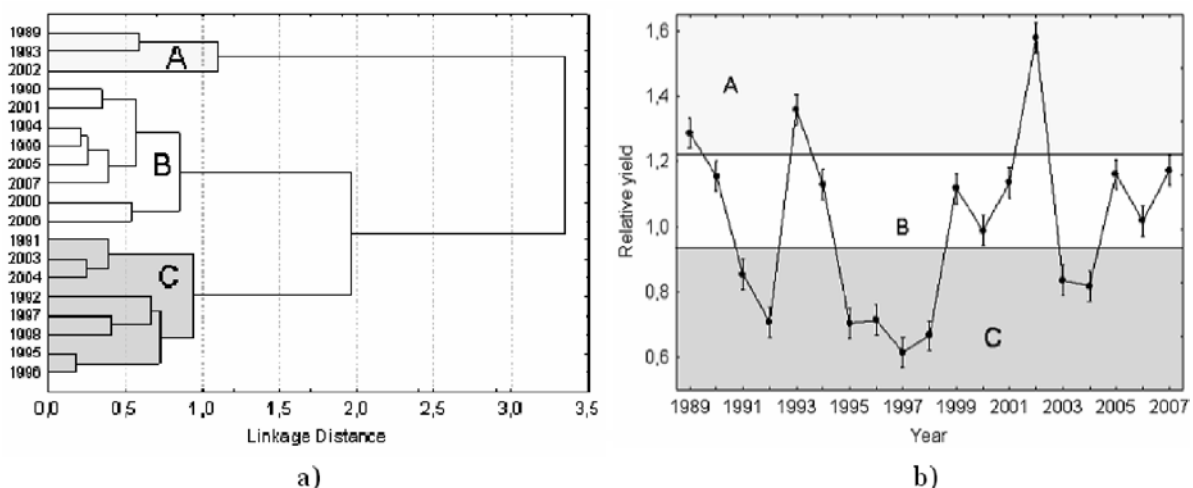
rematesse gruppidesse. Laias laastus eristasime lähtuvalt analüüsi tulemustest madala, keskmise ja kõrge saagikusega aastad. Klasteranalüüsi meetoditest kasutasime hierarhilist liigitusmeetodit, mis annab tulemusena liigituspuidu e. dendrogrammi. Objektide (antud juhul aastate) jaotamine klasteritesse põhineb selle meetodi korral nende vahelise kauguse hindamisel sarnasuse määrdel. Sarnasuse määrduna kasutasime koos 12 erineva harimise/väetamise kombinatsiooni kartuli saake, konkreetse arvutusmeetodina sealjuures Eukleidilise kauguse meetodit, mis võtab arvesse saakide aastate vahelised ruutkeskmised erinevused.

Saakide ja ilmastikutingimuste vaheliste seoste analüüs toimus lineaarse regressiooni meetodil, milleks kasutasime MS-Excel vastavaid funktsioone.

Tulemused ja arutelu

Ühefaktoriline dispersioonanalüüs, mille korral vaadeldakse iga faktori mõju uuritavale tunnusele ükshaaval, näitas aasta tugevat mõju normeeritud kartulisaagile ($F_{18, 209} = 80,6; p < 0,0001$), samas puudus see mõju väetamisel ja harimisviisil.

Aastate jaotamine klasteranalüüsi meetodil suurematesse gruppidesse tõi välja kolm gruppi, madalate, keskmiste ja kõrgete saakidega aastad (joonis 1). Sealjuures eristusid teistest kõige tugevamalt kõrge saagiga aastad.



Joonis 1. Aastate dendrogramm (a) ja normeeritud saakide aegrida (b). A, B ja C tähistavad aastaid vastavalt kõrgete, keskmiste ja madalate saakidega.

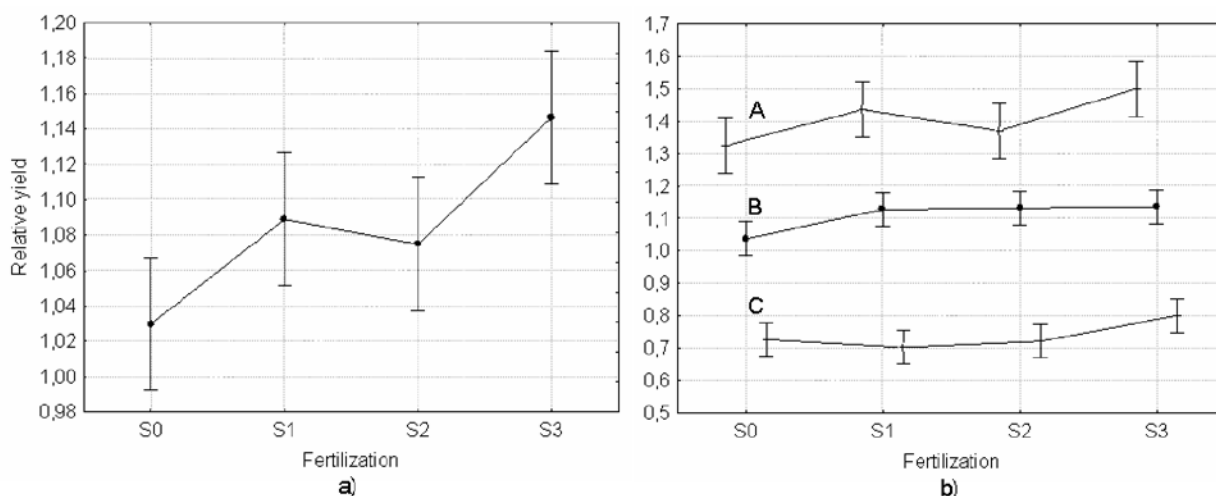
Edasi vaatleme tulemusi, mis saadi mitmefaktorilise dispersioonanalüüsi (meie töös on rakendatud kolmefaktorilist) kasutamisel, mis uurib ühe faktori mõju olukorras, kus teiste faktorite mõju on juba arvesse võetud. Harimis- ja väetusvariandi ning aastarühmade mõjud ja koosmõjud normeeritud kartulisaagile antud valimi (s.t. vaatlusalused katseaastad) raames on toodud tabeli 2 vasakus pooles. Harimisviisi mõju puudumine ($p > 0,05$) ühtib varasemate tulemustega (Viil & Vösa, 2006), mille kohaselt külvikorra saak on harimise intensiivsusest väga nõrgalt või üldse mitte mõjutatud. Väetamine ja aastarühm osutusid mõlemad olulisteks. Samas puudusid nimetatud muutujate vahel olulised vastasmõjud, s.t. faktorite mõjud on aditiivsed ehk liituvad. Tukey *post hoc* test näitas, et kõik kolm aastate rühma olid omavahel oluliselt erinevad ($p = 0,00002$), kuid väetusvariantidest eristusid oluliselt vaid kontrollvariant S0 ja kõige tugevamalt väetatud S3 ($p = 0,0019$; joonis 2a). Kui kolm aastate rühma võtta vaatluse alla eraldi, ilmneb, et S0 ja S3 vaheline erinevus

on põhjustatud kõrge saagikusega aastatest (klaster A), mis kinnitab tugevama väetamise efekti eelkõige just soodsa ilmastiku korral. Mingil määral on tugevama väetamise efekt avaldunud ka madalamate saakide rühmas (klaster C). Madalaima väetustaseme negatiivne mõju avaldus mõningal määral nii kõrgete kui ka keskmiste saakide korral.

Tabel 2. Harimisviisi, väetamise ja katseaasta mõju kartulisaagile arvatuna kolmefaktorilise dispersioonanalüüsi abil. Katseaastat on valimi korral (vasakul) vaadeldud fikseeritud rühmitatud muutujana ja populatsiooni korral (paremal) juhusliku muutujana (üksikute aastatena).

Faktor	Mõju valimile				Mõju populatsioonile					
	df	MS	F	p	Mõju		Viga		F	p
					df	MS	df	MS		
Harimisviis	2	0,0085	0,53	0,6	2	0,009	36	0,02	449	0,64
Väetamine	3	0,11	4,5	0,0004	3	0,98	54	0,017	5,65	0,002
Aastarühm/aasta	2	6,85	216	<0,0001	18	0,85	74,3	0,035	23,94	<0,0001
Harimine/väetamine	6	0,0015	0,05	0,99	6	0,0017	108	0,002	0,83	0,55
Harimisviis/aastarühm/aasta	4	0,013	0,36	0,54	36	0,02	108	0,002	9,94	<0,0001
Väetamine/aastarühm/aasta	6	0,028	1,3	0,13	54	0,017	108	0,002	8,5	<0,0001
Viga	192	0,017								

df – vabadusaste; MS – keskmine ruutväärtus; F – keskruutude suhe; p – olulisuse nivoo



Joonis 2. Väetusvariantide keskmised saagid (a) ja samad saagid eraldi kolme aastate klasteri (A – kõrged, B – keskmised ja C – madalad saagid) kohta (b). Vertikaalsed vuntsid näitavad 95% usaldatavuse vahemikku.

Tuleb märkida, et katseaastat on seni vaadeldud kui fikseeritud faktorit, seega kehtib tulemus ainult vaatluse all olevate katseaastate raames. Et üldistada tulemusi väljapoole vaatlusaluse valimi piiri (statistiliselt – populatsiooni ulatuses), on tabeli 2 paremas pooles toodud segatüüpi dispersioonanalüüsi tulemused, kus harimis- ja väetusvariandid on fikseeritud faktoriteks ja aasta juhuslik suurus. Ka väljaspool katseperioodi ulatust jääb katseaasta mõju väga oluliseks, kirjeldades üle 80% saagi varieeruvusest. Harimismeetod ei mängi ka sel juhul rolli, väetamise mõju nõr-

geneb veidi, kuid interaktsioonid katseaastate ja nii väetus- kui ka harimisviiside vahel muutuvad olulisteks. Seega võib öelda, et "reaalsetes oludes" sõltub nii harimisviiside kui ka väetamise mõju konkreetse aasta ilmastikutingimustest. Nende seoste paremaks mõistmiseks on konkreetsete aastate ilmastikutingimuse korreleeritud saagikustega (tabel 3).

Tabel 3. Seitsme erinevalt leitud saagivariandi (M1, M2, M3 – keskmised üle väetusvariantide; S0, S1, S2, S3 – keskmised üle harimisvariantide) korrelatsioonikordajad erinevate perioodide meteoroloogiliste näitajatega. Poolpaks kiri näitab olulisust nivool $p < 0,05$.

Periood	Element	Variant						
		M1	M2	M3	S0	S1	S2	S3
Jaanuar	Keskmine temperatuur	0,38	0,33	0,46	0,35	0,37	0,36	0,47
Aprill	Keskmine temperatuur	0,61	0,54	0,51	0,58	0,53	0,54	0,54
Mai	Keskmine temperatuur	0,38	0,44	0,54	0,41	0,43	0,45	0,53
Aprill – Mai	Keskmine temperatuur	0,71	0,71	0,76	0,71	0,69	0,71	0,77
	Temperatuurisumma (>0 °C)	0,68	0,68	0,73	0,69	0,66	0,68	0,74
	Sademete summa	-0,44	-0,48	-0,46	-0,54	-0,42	-0,44	-0,44
Mahapanek – öitsemine	Temperatuurisumma	-0,49	-0,57	-0,53	-0,65	-0,48	-0,49	-0,50
	Sademete summa	-0,31	-0,27	-0,45	-0,31	-0,40	-0,36	-0,30
Öitsemine – koristus	Sademete summa	0,57	0,57	0,63	0,60	0,55	0,59	0,62

Regressioonanalüüs näitab kartuli saakide tugevat positiivset seost kevadiste keskmiste õhu-temperatuuridega. Perioodi aprill-mai korral on korrelatsioonikoefitsient üle 0,7. Positiivsete temperatuuride summa, mis ei kaasa aprillikuu negatiivseid temperatuure, oli saagikusega mõnevõrra nõrgemas korrelatsioonis. Seos temperatuuriga osutus tugevamaks sügavkünni ja rohkem väetatud variantide korral, seda peamiselt maikuu arvel. Positiivsed korrelatsioonid saagi ja jaanuari temperatuuri vahel on tõenäoliselt seotud jaanuari temperatuuride mõjuga kevadistele ilmastikutingimustele läbi lumikatte ja Balti mere jääolude (Tooming & Kadaja, 2006). Ka need korrelatsioonid on tugevamad ja ületavad olulisuse nivood sügavkünni ja tugevama väetatuse korral. Siit võib järeldada, et ilmastikust sõltuvus on tugevam intensiivsemalt majandatud variantide korral. Kuna kartuli mahapanek toimus mais, on varasema kevade mõju avalduv läbi mulla soojenemise ja tahtenemise. Mahapanekust kuni öitsemiseni kogunenud temperatuurisummad osutusid olevat saagikusega negatiivses korrelatsioonis. Võib oletada, et põhjuseks on siin jahedad kevaded, mil taimede tärkamise aeg venis pikaks ja esines tõusmepõletiku kahjustusi. Ka selle faasidevahelise perioodi pikkus on saagikusega negatiivses korrelatsioonis. Üldiselt viitavad korrelatsioonanalüüsi tulemused sellele, et mahapaneku eelse ja aegse perioodi ning varase kasvuperioodi kõrgemad temperatuurid soodustavad hea saagi kujunemist. Samasuunalisi viiteid võib leida ka kirjandusest (Haberle & Iviic, 2006).

Saagikuse korrelatsioonid sademetega jäid nõrgemaks kui temperatuuriga. Siiski ilmsid aprilli ja mai sademete summaga olulised negatiivsed ($p < 0,05$) korrelatsioonid kõigi variantide korral. Suurema panuse andsid nendesse seostesse maikuu sademed. Tugevam oli see seos saagi-

rikkamatel aastatel, samuti ka vähem väetatud variantide korral. Üheks põhjuseks, miks sademed ei oma saagikusele positiivset mõju, on negatiivne korrelatsioon sademete ja temperatuuri vahel: vihmastel perioodidel on temperatuur madalam (Feddes, 1987), samuti soojeneb märg muld aeglasemalt. Seega võib öelda, et soojad ja kuivad kevaded on kartulile soodsamad kui jahedad ja märjad. Samuti on kartul küllalt tundlik mulla halva õhustatuse suhtes. Kartuli suhe sademetesse muutub mugulate moodustumise ja kasvu perioodil. Vahemikus öitsemisest kuni koristuseni kogunenud sademete summaga on kartuli saagikus oluliselt positiivses korrelatsioonis.

Järeldused

- Kartuli saagikuse kõikumised on põhiliselt määratud ilmastikutingimustega, vähemal määral avaldab mõju ka väetamine, kuid vaatluse all olnud harimisviisid ei omanud olulist efekti.
- Pikemas perspektiivis võib statistiliselt eeldada, et nii väetamine kui ka harimisviisi mõju saagikusele sõltub ilmastikust, mis aga olemasoleva aastate valimi korral ei avaldu.
- Väetamise erisustest tingitud saagikuse erinevused olid suuremad soodsamate kasvutingimuste korral.
- Ilmastikutingimustest osutus kartul kõige tundlikumaks kevadise temperatuuri suhtes (aprill-mai), andes suuremaid saake soojade kevadete korral; sademetega oli sel perioodil seos negatiivne.
- Sademete positiivne mõju kartuli saagikusele ilmnes alates öitsemisest.

Kirjandus

- Carter, T. R. (ed) 1996. Global climate change and agriculture in the North. *Agric Food Sci Finland* **5**, 222–385.
- Feddes, R.A. 1987. Agrometeorological aspects of emergence, water use, growth and dry matter yield of potatoes. *Acta Horticulturae* **214**, 45–52.
- Haberle, J. & Iviic, P. 2006. The effect of climatic parameters and organic-mineral fertilization on potato yields in a long-term field experiment. *Archives of Agronomy and Soil Science* **52:5**, 525–533.
- Jaagus, J. & Truu, J. 2004. Climatic regionalisation of Estonia based on multivariate exploratory techniques. *Estonia Geographical studies* **9**, 41–55.
- Karing, P., Kallis, A. & Tooming, H. 1999. Adaptation principles of agriculture to climate change. *Clim Res* **12**, 175–183.
- Meuwissen, M. P. M., van Asseldonk, M. A. P. M. & Huirne, R. B. M. 2000. The feasibility of a derivative for the potato processing industry in the Netherlands. Guaranteedweather 2000. [http://www.guaranteedweather.com/documents/potato_processing.pdf].
- Saue, T., Viil, P., Kadaja, J. 2010. Do different tillage and fertilization methods influence weather risk on potato yield? *Agronomy Research*, **8**, 427–432.
- Tooming, H. & Kadaja, J. 2006. Lumikatte seosed Eesti kliimas – seosed talvest kevadesse. Raamatus: Tooming, H., Kadaja, J. (koostajad), *Eesti lumikatte kliima*, EMHI ja EMVI, Saku-Tallinn, lk. 41–61.
- Viil, P. & Nugis, E. 2002. Some aspects of differentiation of soil tillage. In: *Proceedings of the 3rd Scientific and Practical Conference on Ecology and Agricultural Machinery*. Vol. 2 N-WRIAEE, St-Petersburg, pp. 66–72.
- Viil, P. & Vösa, T. 2006. Diferentseeritud põhimullaharimise mõju põllukultuuride saagile. Kogumikus: Kadaja, J.; Siim, J.; Tamm, U.; Jõgeva, H. (Eds.). *EMVI teadustööde kogumik LXXI (71)*, Saku, pp 315–326.

MULD, VESI JA ELEKTER

Mulla niiskus- ja toitainete režiim on taimekasvatuse seisukohalt olulised tegurid. Nende otsene määramine mullaproovide võtmise ja hilisema laboratoorse analüüsi teel on töömahukas ja kallis. Kaasaegse mõõtetehnika areng on turule toonud hulga erinevaid elektrilisi mõõteriistu mulla omaduste mõõtmiseks, samuti on laialt kasutusel maapinna kaugseire kosmosest ning lennuparaatidelt. Suures osas on tegu elektriliste niiskusemõõtjatega kuid kasutusel on ka seadmed mulla kaardistamiseks elektrijuhtivuse järgi ning mulla soolsuse mõõteriistad. Etteruttavalt olgu öeldud, et vähesoolaste eesti muldade juures iseloomustab mulla soolsus otseselt mullalahuse toitainete sisaldust. Näiteks toome lühikese, kaugeltki mitte täieliku loetelu saada olevatest mulla mõõteriistadest: Acclima, Aquaflex, Theta Probe, Hydra Probe, TDR100, Textronix TDR, CS-616, ECH20, EC20, 5TE, Enviroscan, GPR solutions, Moisture Point, Watermark, Thermal Conductivity Sensor, Percometer, TDR Field Scout, Aqua Boy, WET probe, Tramex, Testo, TDR Trase, EM38 (Induction), Veris 3100 System (contact) Wiener array system, remote sensing active and passive radiometry. Mõned neist on pildil:



Joonis 1. Mõned mulla andurid:(A) TDR *Time Domain Reflectometer*, (B) ECH20 EC-20 andur, (C) Hydra probe,(D) Acclima TDT andur, (E) ThetaProbe, (F) CS-616. Keskmisel pildil on kärule monteeritud maaradar (GPR); parempoolsel pildil on kraanale monteeritud passiivne radiomeeter (Robinson et al., 2008)

Joonisel 2 on autori poolt välja arendatud ja väikeseerias toodetav mõõteriist percomeeter, mida kasutatakse paljudes riikides mulla elektrofüüsikaliste parameetrite mõõtmiseks nii alusuuringutes kui praktilistel eesmärkidel.



Joonis 2. Percomeeter koos toruanduriga ja pinnaanduriga

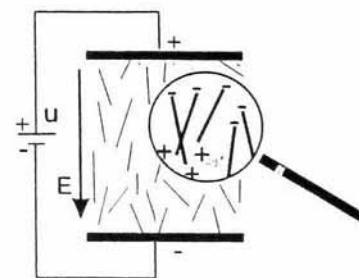
1. Muldade elektrilised omadused

Kuidas ülaltoodud mõõteriistad töötavad? Kõik mõõteriistad ja mõõtemetodid põhinevad mulla ning elektrivoolu, täpsemalt erineva sagedusega elektromagnetvälja ja mulla vastastikkusel mõjul; mis on määratud elektriliste omadustega. Viimasteks on dielektriline läbitavus (elektrimahtuvus ehk füüsikas tuntud kondensaator) ja elektrijuhtivus (takisti) ning magnetiline läbitavus. Muldade suhteline magnetiline läbitavus (kui ei ole just tegemist rauamaagiga e. ferromagnetilise materjaliga) on väga lähedane ühele ning teda me ei vaatle.

Oluline on märkida, et ainete elektrilised omadused ei ole konstantsed ning sõltuvad mõõtesagedusest, temperatuurist, tihedusest, materjali koostisest ja homogeensusest, osakeste orientatsioonist jms.

1.1. Dielektriline läbitavus

Elektromagnetismi teoorias määratakse dielektriline läbitavus kui kompleksarv $\varepsilon = \varepsilon' - j\varepsilon''$ kus ε' on dielektrilise läbitavuse reaalosa ja ε'' imaginaarosa ning j on imaginaarühik. ε' iseloomustab aine võimet salvestada välise elektrivälja energiat aine polariseerumisel tema dipoolstruktuuri tõttu; ε'' on dielektrilise läbitavuse imaginaarosa ning ta iseloomustab aine elektrilisi kadusid (Agilent 2006, von Hippel 1954). Otstarbekas on aine dielektrilist läbitavust esitada suhtarvuga vaakumi (õhu) suhtes. Aine suhteline dielektriline läbitavus $\varepsilon_r = \varepsilon_a / \varepsilon_0$ ning ta näitab, mitu korda elektrivälja energiat salvestatakse ainesse rohkem võrreldes vaakumiga. Lihtsuse huvides tähistame edaspidi tekstis aine suhtelise dielektrilise läbitavuse ε_r . Polaarsed molekulid joonduvad välises elektriväljas, materjal polariseerub ja salvestab seeläbi energiat (joonis 3). Mida vabamalt saavad polaarsed molekulid ehk dipoolid välise elektrivälja mõjul ümber orienteeruda, seda rohkem salvestavad nad energiat ja seda kõrgem on nende dielektriline läbitavus. Tänu dipoolsele struktuurile ning nende vabale orienteerumisele elektriväljas on veel suur dielektriline läbitavus. Kui aga vee polaarsed molekulidel enam vabalt liikuda ei saa, näiteks külumise tõttu, väheneb järsult ka tema dielektriline läbitavus. Selle nähtuse heaks näiteks on vee $\varepsilon_r = 87$ (vedel vesi temperatuuril $+0^\circ\text{C}$) järsk vähenemine kuni $\varepsilon_r = 3$ jäätumisel. Elektrilise kondensaatori plaatide vahele asetatud aine suurendab kondensaatori elektrimahtuvust ε_r korda, mis annabki ühe võimaluse ainete dielektrilise läbitavuse mõõtmiseks.

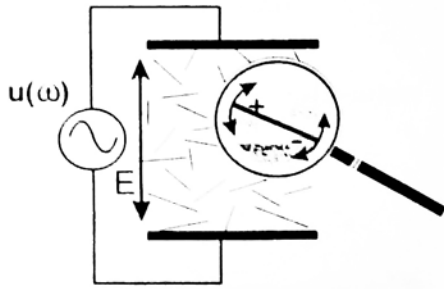


Joonis 3. Energia salvestamine dipoolide orienteerumise tõttu välises elektriväljas

Ainete dielektriline läbitavus muutub oluliselt sagedusdiapasoonis 0-st (alalisvool) kuni kümnete gigahertsideni. Tulenevalt elektriahelate teooriast on mulla ε_r võimalik mõistliku täpsusega mõõta alates sagedustest 10 MHz ülespoole. Praktikas kasutatakse dielektrilistes mõõteriistades mõõtesagedusi 20 – 100 MHz, maaradarites (GPR) 50 MHz – 2 GHz ning kaugseires kosmosest ja lennukitelt 1 –10 GHz.

1.2. Elektrijuhtivus

Komplekse dielektrilise läbitavuse imaginaarosa ε'' iseloomustab energia neeldumist aines. Kuigi energia kadudeks on erinevaid dielektrilisi mehhanisme (joonis 4), on näidatud, et sagedustel nullist kuni sadade megahertsideni on paljudes looduslikes materjalides prevaleerivaks



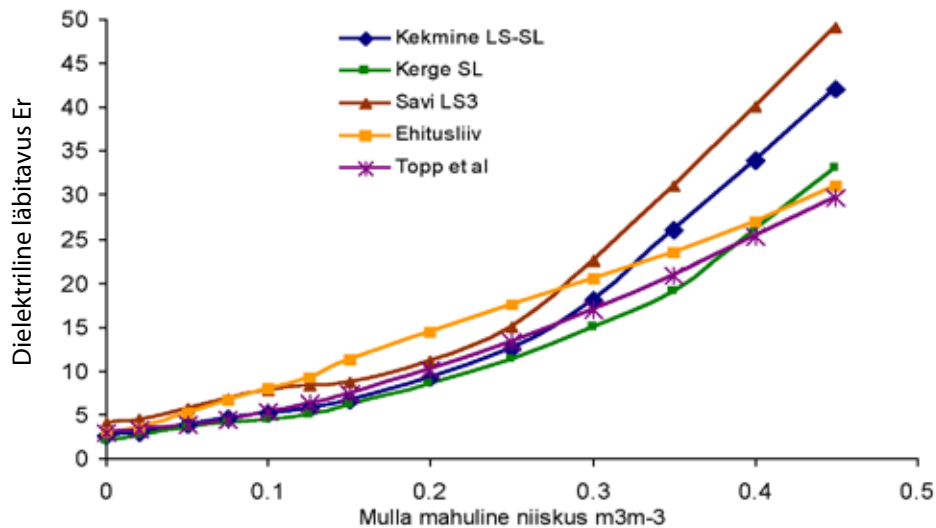
Joonis 4. Kaod dielektrikus kõrge sageduse tõttu, kui polaarsed molekulid ei jõua järgi elektrivälja muutustele

ioonilisest juhtivusest põhjustatud kaod vastavalt Ohmi seadusele (von Hippel 1954). Elektri juhtivus on aine võime juhtida elektrivoolu ning ta iseloomustab vabade laengukandjate liikuvust elektrivälja mõjul (juhtivusvool). Elektri juhtivus on elektritakistuse pöördväärtus ning teda mõõdetakse siemensites, $1 S = \text{Ohm}^{-1}$. Aine iseloomustamiseks kasutatakse elektrierijuhtivust, mis on kindla ainemahu elektri juhtivus ning teda mõõdetakse $S m^{-1}$. Kuna viimane on suur ühik kasutatakse muldade elektri juhtivusest rääkides väiksemaid ühikuid, $dS m^{-1}$ kohta või $\mu S cm^{-1}$ ning kehtib seos $1 S m^{-1} = 10000 \mu S cm^{-1}$. Viimastes ühikutes on kalibreeritud ka percomeeter. Deioniseeritud vee juhtivus on alla 1, destilleeritud veel alla 5 – 10, joogiveel 100 – 500, märgadel muldadel Eestis 50 – 1000 $\mu S cm^{-1}$. Iooniline juhtivus on määratud vabade laengukandjate ning nende liikuvusega aines. Vesilahustes, sh. muldades on laengukandjateks dissotseerunud ioonid ning nende liikuvus, seega ka materjalide juhtivus sõltub olulisel määral temperatuurist. Seetõttu tuleb võrreldavate andmete saamiseks taandada juhtivuse mõõtetulemused kindlale temperatuurile, tavaliselt 20 või 25 °C. Muldade erijuhtivust mõõdetakse madalsagedusliku vahelduvvooluga (ca 1 kHz). Muldade elektri juhtivust saab mõõta nii kontaktmeetodil (percomeeter, Veris 3100 System jt.) otsese juhtivusvoolu mõõtmise teel kui ka kontaktivabalt elektromagnetilise induktsiooni kaudu (EM38 tüüpi seadmed). (Corwin, Lesch 2005). Mullateaduses tähistatakse elektri juhtivust lühendiga EC (*Electrical Conductivity*) koos selgitavate allindeksitega.

2. Elektriliste omaduste seosed mulla parameetritega

2.1 Mulla niiskuse dielektriline mõõtmine

Elektrofüüsika seisukohast kujutab muld endast kolmefaasilist segu tahketest osakestest, õhust ja veest. Dielektrilise niiskusemõõtmise põhimõtte aluseks on asjaolu, et õhu ϵ_r on 1, kuival mullal 2,5 – 4, mulla mineraalsetel osadel 5 – 10, vabal veel 80, seotud veel esimestes molekulaa-rsetes kihtides aga 3 – 10. Seetõttu on paljudes kaasaegsetes teoreetilistes mudelites mullale kui dielektrilisele segule lisatud neljas, tugevalt seotud vee komponent. Õigesti mõõdetuna sõltub mulla keskmine dielektriline läbitavus esimeses lähenduses ainult mahulisest vee sisaldusest Wv , seetõttu on mulla ϵ_r mõõtmise teel võimalik määrata mulla niiskus Wv . Niiskuse mõõtmisel on kõige tähtsam teada sõltuvust $\epsilon_r(Wv)$. Hoolimata suure hulga teoreetiliselt tuletatud seguvalemite olemasolust kirjanduses (otsing internetis „soil dielectric mixture formula“, annab üle 5700 tule-muse) on praktikas lihtsam ja täpsem lähtuda katseliselt leitud kalibreerimisgraafikutest. Siinkohal olgu näiteks toodud paljude mõõteriista tootjate poolt kasutatav poolempiiriline nn. Toppi va-lem $\epsilon_r = 3.03 + 9.3Wv + 146Wv^2 - 76.7Wv^3$ (Topp et al. 1980). Oluline on, et eri mullatüüpide graafikud $\epsilon_r(Wv)$ on erinevad ning seda eelkõige sõltuvalt savi sisaldusest (eripinnast), vähemal määral ka orgaanilise aine sisaldusest. Mõnede mullatüüpide ϵ_r ja Wv sõltuvused autori poolt mõõdetuna (sagedustel 30-50 MHz) on toodud joonisel 5.



Joonis 5. Eri mullatüüpide percomeetriga mõõdetud sõltuvused $Er=f(Wv)$ võrdluses Topp'i valemiga (Topp et al. 1980)

Tänapäeval on mulla niiskuse dielektriline mõõtmine kõige levinum ja täpsem kaudse mõõtmise meetod jättes kõrvale neutronmeetodi tema radioaktiivsuse tõttu. Kõik sissejuhatuses loetud mõõteriistad ja meetodid kasutavad mulla dielektrilise läbitavuse mõõtmist ühel või teisel moel. Mõõtmine võib toimuda: 1) kõrgsagedusliku signaali mullas levimise aja järgi: TDR, TDT (*Time Domain Reflectometer, Time Domain Transmission*) ning radarseadmed ja kaugseire meetodid; 2) mullaga kokku puutuvate elektrihaelate parameetrite muutuse järgi FD (*Frequency Domain*) ehk sageduspõhised mõõteriistad. Sisuliselt mõõdavad nii TD kui FD seadmed ühte ja sama füüsikalist parameetrit – dielektrilist läbitavust (Heimovaara et al. 1966) ning eelprogrammeeritud seoste põhjal arvutavad mõõte-tulemustest mulla niiskuse. EMVIs kasutatav percomeeter kuulub FD mõõteriistade hulka.

2.2. Mulla Er ja mullavee kättesaadavuse seos.

Vesi on mullas mitmel erineval kujul – vaba vesi, kapillaarne vesi (maksimaalne väliveemahutavus), hügrokoopne vesi, keemiliselt seotud vesi. Vee olek mullas ja taimedele kättesaadavus sõltub vee seose tugevusest mulla osakestega (mullavee potentsiaal), mis omakorda piirab vee molekulide vaba liikumist. Taimedele kättesaadavat osa mulla niiskusest käsitletakse tavaliselt kui mulla niiskust väliveemahutavuse (vee potentsiaal pF ca -33 kPa) ja närbumisniiskuse (-1.5 MPa) vahel. Neile potentsiaalidele vastav mulla niiskus on aga oluliselt erinev erinevatel mullatüüpidel. Näiteks liival on närbumisniiskuse umbes $0.1 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, keskmise löimisega muldadel aga ca 0.15 m^3 kuupmeetris. Graafikust joonisel 5 selgub, et mõlemal juhul vastab sellele niiskusele dielektriline läbitavus $Er \approx 8$. Kuna mullavee Er on määratud samuti vee ja tahkete osakeste seose tugevusega, võib püstitada hüpoteesi, et mulla Er on lisaks niiskusele ka mullavee taimedele kättesaadavuse mõõduks. Erineva mullavee olekute sideme tugevus mulla tahkete osakeste ja vee vahel kajastub märja mulla elektrilistes omadustes, kuna seotud vee Er on oluliselt väiksem kui vabal veel. Hinnanguliselt on tugevalt seotud veel (1 - 5 molekulaarset kihti) Er 3-20 (vabal veel 80); seotud vee osakaal sama niiskuse protsendi juures sõltub aga eeskätt mullalöimisest ehk eripinnast. Autori poolt koos E. Reppoga EMVIs (Plakk 1989) tehtud katsed näitavad, et tüüpilise saviliiv-liivsavi löimisega mulla korral Er alla 5 tähendab mullapõuda, Er vahemikus 8-10 vastab närbumisniiskusele, Er 12-18 on optimaalne ja rohke veesisaldus ning Er üle 20 puhul on tegemist liigniiskusega. Need

tulemused annavad võimaluse hinnata mullavee seisundit ja kättesaadavust taimedele otseselt mõõdetud E_r põhjal ilma üleminekuta mullaniiskuse väärtustele. Elektriliste mõõtmiste põhjal on võimalik näidata, et mullavesi optimaalse kättesaadavuse juures on mulla tahke osisega nõrgalt seotud ehk struktureeritud ning seetõttu erinevad tema elektrilised parameetrid vaba vee omast ning mullavee E_r jääb piiridesse 40-70. (Plakk 1989)

2.3. Mulla soolsuse ja väetiste sisalduse määramine mulla elektrijuhtivusest.

Mulla liigne soolsus, eelkõige NaCl tingituna on oluline probleem intensiivse niisutus põllundusega maades. Mulla soolsus on defineeritud kui mullas sisalduvate lahustuvate soolade kogus (*Total Dissolved Salts, TDS*) mg l^{-1} kohta. Viimase otsene laboratoorne määramine on keeruline ja töömahukas. Seetõttu võeti 1954. a. USA-s *USDA Salinity* laboratooriumis kasutusele standardmeetodina veega küllastunud mullapasta ekstrakti elektrijuhtivuse mõõtmise meetod. Mullapasta ekstrakti elektrijuhtivust tähistatakse *ECe* (*Extract Electrical Conductivity*) ning 1954.a toodi ka esimene klassifikatsioon: mullad, mille *ECe* on alla $4000 \mu\text{S cm}^{-1}$, on mitteroolased, üle selle aga liigsoolased ning esineb olulisi taimekasvu piiranguid eri kultuuride lõikes. On selge, et mida rohkem on lahuses (ka mullavees) lahustunud soolade ioone, seda suurem on lahuse (mulla) elektrijuhtivus. Vesilahuste kohta on leitud üsna täpselt kehtiv empiiriline seos *TDS* ja elektrijuhtivuse vahel kujul: $TDS(\text{mg l}^{-1}) \approx 0,64 EC(\mu\text{S cm}^{-1})$ ja samuti ka lahustunud elektrolüütide sisalduse kohta millimoolides liitri kohta: $\text{mmol l}^{-1} \approx 0,01 EC(\mu\text{S cm}^{-1})$. Esimeses lähenduses pole oluline ioonide sisaldusega on tegemist.

Eestis ei ole põllumuldade liigsoolsus probleemiks, NaCl sisaldus on väike ning muldade elektrijuhtivus on tingitud olulisel määral taimede toiteelementidest mullalahuses (NH_4^+ , NO_3^- , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , K^+ , Ca^{2+} jt.). See asjaolu annab võimaluse toitainete sisalduse määramisele mulla elektrijuhtivuse teel.

Mullas *in situ* mõõdetud elektrijuhtivus *ECa* (*Apparent Electrical Conductivity*, ka *Soil bulk Conductivity*) erineb mullavee ekstrakti elektrijuhtivusest (soolsusest) *ECe*. Otseselt mõõteriistadega põllul on võimalik mõõta ainult *ECa*, mille väärtus sõltub olulisel määral lisaks soolade sisaldusele ka mulla niiskusest. *ECa* väärtustest mulda üldiselt iseloomustava suuruse *ECe* arvutamine lähtudes mulla struktuurist on keeruline ülesanne (Rhoades et al 1999, Corwin ja Lesch 2005). Kuna mulla dielektriline läbitavus sõltub ainult mulla niiskusest *Wv*, mulla *ECa* aga nii niiskusest kui ka soolade sisaldusest, siis on võimalik kahe elektrilise suuruse üheaegse mõõtmise kaudu leida *ECe* väärtus ilma vaevanõudva pasta valmistamise ning vee vaakumekstraheerimiseta. Percomeetriga mõõtmine põllul on kiire ja lihtne, korraga mõõdetakse nii E_r , *ECa* kui ka temperatuur, mis võimaldab nende mõõtmiste alusel saada ülevaade mulla toitainete sisaldusest.

Kuigi ajalooliselt ja tingituna intensiivpõllumajanduse probleemidest nimetatakse väärtust *ECe* mulla soolsuseks (*salinity*), võib eesti ja ka põhjamaade tingimustes *ECe* pidada mulla toitainete sisalduse mõõduks (Plakk 2005, Kadaja et al. 2009). EMVIs tehtud katsete alusel võib esitada Eesti muldade kohta järgmise klassifikatsiooni *ECe* järgi:

ECe 150...300 looduslik, kurnatud, toitainetevaene muld

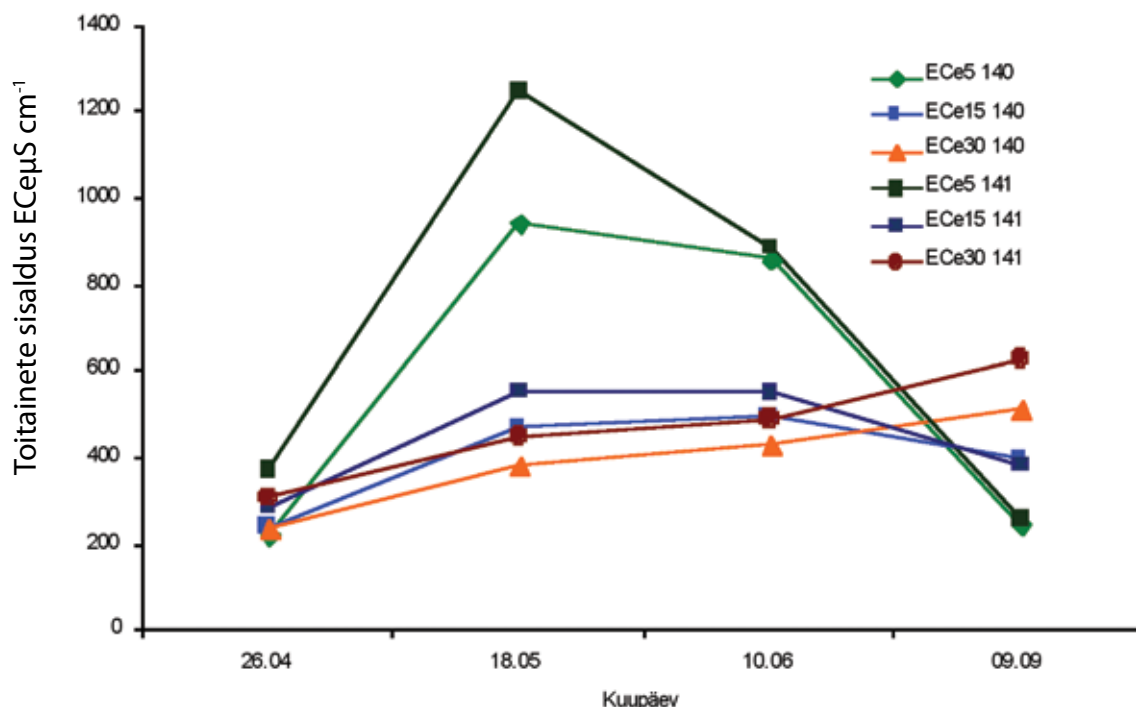
ECe 300...500 nõrk kuni keskmine toitainete sisaldus

ECe 500...800 toitainete rikas muld

ECe 800...1200 hästiväetatud muld koheselt peale väetiste mullas lahustumist, maksimaalsed mõõtetulemused eesti muldade korral kuuluvad siia piirkonda

Praktilised mõõtmised näitavad, et väetistega mulda viidud toitained jagunevad ebaühtlaselt, isegi 5-10 cm ulatuses võib *ECe* erineda 2-3 korda ning seetõttu on oluline teha põllust ülevaate saamiseks piisav arv mõõtmisi ning kasutada statistilist analüüsi.

Näitena on joonisel 6 toodud Kuusiku katses 25-2 2010. a mõõdetud toitainete sisalduse jaotus mulla kihtides sügavustel 5 cm, 15 cm ja 30 cm kasvuperioodi vältel.



Joonis 6. Suvirapsi lappidel 140 (mineraalväetis) ja 141 (mineraalväetis + vedelsõnnik) mõõdetud toitainete sisaldused eri kuupäevadel 2010. a. *ECe* 5 140 näitab toitainete sisaldust 5 cm paksuses kihis lapil 140. Toitainete sisaldused $\mu S cm^{-1}$ on taandatud 20 °C juurde. Katse Peeter Viil, 25-2, 2010. a Kuusikul.

Mõõtmised on teostatud 26.04, 18.05, 10.06 ja 09.09.2010. a katselappidel 140 ja 141. Lappidel on suviraps sügava maaharimise tehnoloogiaga, mõlemad on saanud mineraalväetist ning lapile 141 on antud vedelsõnnikut vahetult enne esimest mõõtmist. Tulemustest on näha, et 26.04 pole väetised veel mullas lahustunud, muld on üldiselt toitainetevaene kuid vedelsõnnikuga väetatud lapil 141 on 5 cm kihis näha *ECe* väikest tõusu. Perioodil kuni 18.05 toimub intensiivne väetiste lahustumine ning toitained muutuvad taimedele kättesaadavaks. Enamus toitaineid on koondunud mulla ülemisse kihti 0-5 cm ning selgelt on näha vedelsõnnikut saanud lapi suurem *ECe*, mõningal määral suureneb ka alumiste kihtide *ECe*. Intensiivse kasvu perioodil kuni 10.06 väheneb kiiresti toitainete sisaldus, seejuures on *ECe* perioodi lõpuks peaaegu võrdsustunud vedelsõnnikuga ja ilma lappide vahel. Peale saagi koristust (mõõtmised 09.09.2010) on mulla ülemine kiht toitaine- test vaene (vastab loomulikule ilma väetamata mullale) ning tõusnud on alumiste kihtide *ECe*. Seejuures on selge vahe vedelsõnnikuga ja ilma katselappide vahel ning toitainete kogust mulla- kihis 20-30 cm ($450-600 \mu S cm^{-1}$) võrrelduna kevadise väärtusega kogu mullakihi ulatuses ($220-300 \mu S cm^{-1}$) võib vaadelda keskkonda leostunud toitaine- tena. Mõõtmised näitavad, et kasvuperioodil kasutatakse ära kogu toitainete varu mulla ülemises kihis 0...15 cm ning vaid väike osa liigub mulla sügavamasse kihti ning jääb taimede poolt kasutamata.

3. Kuusiku katsel 25-2 2011. a toimunud mõõtmiste tulemused ja analüüs.

3.1 Mõõtemetoodika.

Analoogiliselt eelnevate aastatega mõõdeti katselappidel percomeetriga elektrijuhtivus ECa , dielektriline läbitavus Er ning mulla temperatuur. Mõõtmine toimus igal lapol 6-es august 1,5 m tagant 1-3 kihis sõltuvalt mulla kõvadusest. Kõva mulla korral mõõdeti elektrilised väärtused umbes sügavusel 5 cm; kolmes kihis mõõtmisel oli mõõtmis sügavus 1. kihis 3-10 cm; 2. kihis 10-20 cm ning 3. kihis 25-30 cm.

Mõõtetulemustest on kalibreerimisgraafikute järgi arvatud mulla mahuline niiskus mahuprotsentides Wv , millest saab vajadusel umbkaudselt teadaoleva kuiva mahukaalu ($\rho \approx 1.3$) järgi ümber arvutada kaalulise niiskuse Wm valemi: $Wm = Wv/\rho$ alusel. Mulla elektrijuhtivusest ECa , dielektrilise läbitavuse Er ja temperatuuri alusel arvutati soolsus $ECe20 \mu S cm^{-1}$.

3.2 Mõõtmiste ruumiline varieeruvus.

Andur mõõdab mulda mõõteelektroodi läheduses, suurim mõju on mulla ruumalal ca 5 cm otse ümber. Seega tuleb usaldatava keskmise saamiseks teha mitmeid mõõtmisi. Katsed näitavad, et väetatud muldadel võib ECe näiteks väetise ebaühtlase jaotuse tõttu erineda 10-20 cm distant-sil 3-5 korda ning üksikutes punktides on saadud ka Kuusikul $ECe20$ näite üle 2000. Mulla dielektriline läbitavus Er (mahulise niiskuse Wv mõõt) on tunduvalt ühtlasemalt jaotunud kui soolsus, mis näitab, et tähelepanu tuleb pöörata väetiste võimalikult ühtlasemale laotamisele.

3.3 Tulemused Kuusikul katses 25-2 2011. a

Mõõtmised toimusid kuupäevadel 20.04, 25.05 ja 23.07. lappidel 12-285. Kahjuks ei võimaldanud kuiv periood läbi viia mõõtmisi juunis, kuna muld oli liiga kõva anduri mulda surumiseks ilma augu mullapuuriga ette tegemata. Mõõtetulemused ning neist arvatud väärtused on toodud tabelites 1-4. Tähtsised tabelites tähendavad:

$ECe avg$ ja $Wv avg$ lapi kõigi mõõtmiste keskmised ECe (toitained) ja mahulised niiskused Wv protsentides. Indeksid 5, 15 ja 30 on vastavad näitajad eri sügavustel cm-tes, seal kus oli võimalik mõõta. Värvid tabelites: roheline – minimaalne harimine, kollane – keskmine ja pruun sügav maaharimine. Paaritud numbrid vastavad katselappidele, kus taimi on väetatud mineraalväetistega, paaritud lisaks veel vedelsõnnikuga.

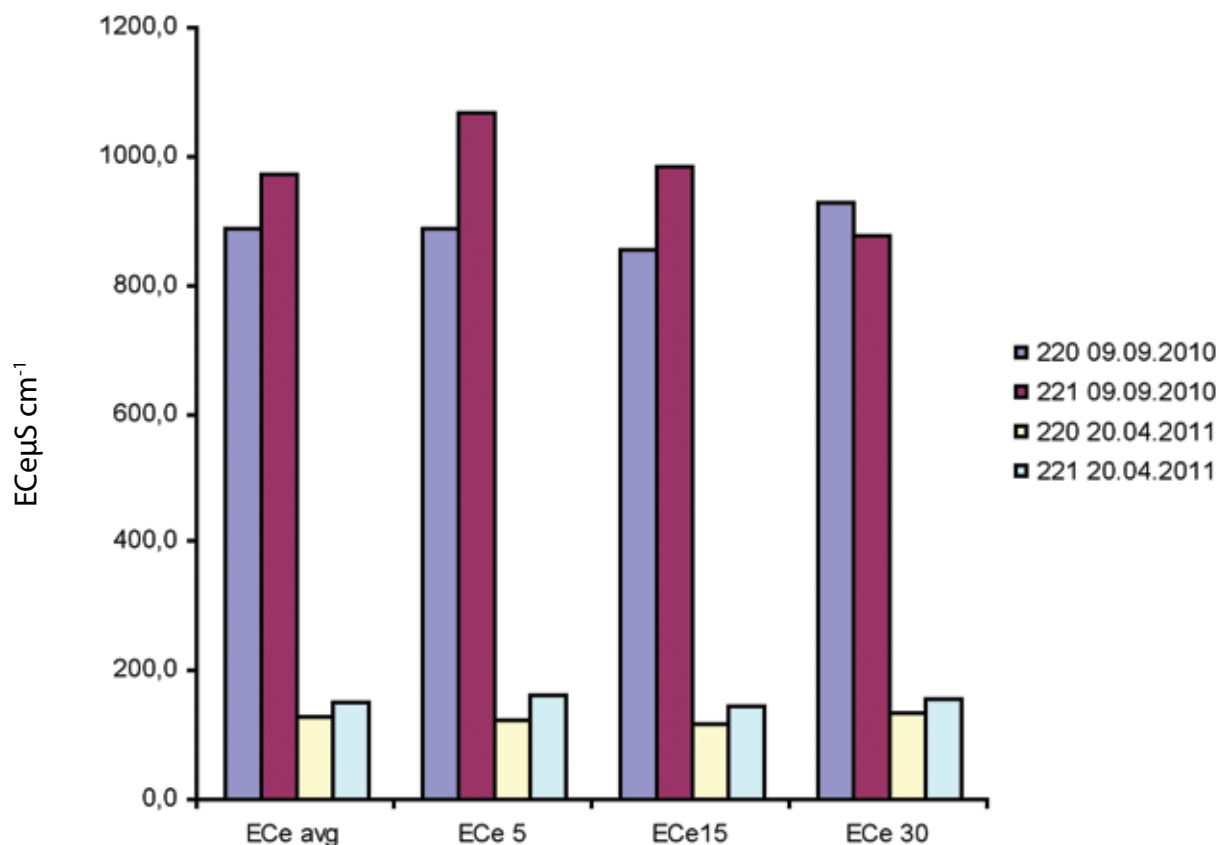
Mõõtmised 20.04.2011. a

Mulla niiskused kõigil lappidel olid Wv 33-35 %, mis on sarnane eelmisel kevadel mõõdetule ja vastab Kuusiku mulla veemahutavusele. Mõõdetud dielektriline läbitavus Er jääb vahemikku 20-27, mis suuremate väärtuste osas tähendab liigniiskust (Plakk 1990), mõõdetud juhtivus ECa 20-150 $\mu S cm^{-1}$. Mullatemperatuur mõõtmise ajal oli 5-7 °C. Katselappide mõõtetulemused on tabelis 1. Üldiselt kogu uuritud põllu kohta võib öelda, et ECe väärtused on väikesed olles enamuses alla 200 ning esineb ka väärtusi 100 ümber. Seega on muld toiatinetest praktiliselt tühi. Kõikide ainult mineraalväetistega väetatud lappide keskmine ECe oli 165, vedelsõnnikut saanud lappide keskmine 203. Võrreldes 2010 a 26.04. tehtud mõõtmistega on vastavad näidud selgelt madalamad; 2010 a. olid nad vastavalt 239 ja 313. Olulist vahet mullaharimisviiside vahel ei ole; sügavuste osas on näha ECe väike suurenemine sügavuse kasvamisel 5 cm kuni 30 cm-ni.

Tabel 1. Katselappide niiskused ja toitainete sisaldused 20.04.2011. a

	Lapi Nr	ECe avg	Wv avg	ECe 5	Wv 5	ECe15	Wv 15	ECe 30	Wv 30
Pöldhein I	12	188	35,1	154	34,2	163	34,8	248	36,4
	13	219	35,0	211	34,7	200	34,6	247	35,7
	28	132	34,2	119	32,9	128	34,0	148	35,7
	29	197	34,0	185	33,2	196	33,7	210	35,1
	44	164	33,9	156	32,4	165	34,0	170	35,4
	45	223	34,1	223	33,5	229	34,0	219	34,7
Oder II	60	148	35,5	120	34,5	154	35,7	169	36,4
Allakülv	61	253	35,4	188	34,2	192	34,8	379	37,0
	76	220	32,9	137	28,1	139	33,6	383	37,1
	77	217	30,9	180	26,5	210	31,0	261	35,3
	92	157	29,7	145	25,1	157	29,9	170	34,2
	93	214	29,9	203	25,2	214	29,3	226	35,2
Oder	108	133	34,6	146	33,2	141	34,7	111	35,8
	109	209	34,9	204	34,1	196	34,5	227	36,2
	124	120	30,5	108	26,9	117	30,3	136	34,3
	125	173	30,7	162	26,7	179	30,4	176	34,9
	140	134	30,1	126	25,5	136	29,7	140	35,1
	141	182	30,2	169	26,8	182	28,8	196	35,1
Suviraps	156	140	33,9	133	32,0	135	34,3	153	35,3
	157	158	34,3	156	33,3	168	34,3	149	35,3
	172	103	31,0	105	27,0	106	30,7	96	35,3
	173	125	30,8	118	27,5	124	30,2	132	34,6
	188	99	30,5	93	27,3	98	29,6	106	34,6
	189	122	29,6	97	26,2	122	29,2	148	33,4
Suvinisu	204	144	33,3						
	205	150	34,0	162	32,9	161	34,0	128	35,2
	220	128	33,5	127	32,4	120	33,5	137	34,6
	221	155	31,9	162	29,0	144	31,5	158	35,0
	236	147	32,7	146	31,2	142	32,0	153	34,8
	237	205	32,5	208	31,3	201	31,7	206	34,6
Pöldhein II	252	157	32,4						
	253	228	33,4	222	32,7	216	33,5	247	33,8
	268	281	33,1	242	31,7	235	32,8	366	34,7
	269	297	33,9	271	33,1	260	33,7	361	35,0
	284	381	32,1	358	32,2	379	31,7	407	32,5
	285	326	32,5	304	32,4	325	32,2	349	32,9
Vedelsönnikuta		165	32,7	150	30,4	157	32,6	193	35
Vedelsönnikuga		203	32,7	190	30,7	195	32,3	223	34,9

Eelmisel sügisel peale vilja koristamist 09.09.2010. a viidi läbi samuti elektrilised mõõtmised. Lapid 220 ja 221 on korralikult küntud ja väetatud, muld pehme ja sobiv percomeetriga mõõtmiseks. Mõõtetulemused näitasid kõrget toitainete taset kõigis kihtides vahemikus ca 850... 1100. **Võrreldes mõõtetulemusi kevadel 20.04.2011. a tehtud mõõtmistega selgub, et sügisel mulda viidud toitaned on täielikult kadunud ning lappide 220 ja 221 ECe on naabritega võrreldes pigem väiksem kui suurem.** Toitainete sisalduse muutus lappidel talve jooksul on toodud joonisel 7.



Joonis 7. Toitainete vähenemine talve jooksul katselappidel 220 ja 221.

Mainitud mõõtmised näitavad, et sügisel mulda viidud ja taimede poolt kasutamata väetis leostub mullast välja.

Mõõtmised 25.05.2011. a

Taimed on aktiivses kasvufaasis; põllu üldine niiskus W_v 30-32% on veidi väiksem, kuid ikkagi maksimaalsele lähedane. Põllud on värskest väetatud, mille tõttu on juhtivuse EC_a mõõtetulemuste hajuvus oluliselt suurem eelmistest mõõtmistest. Mullatemperatuur mõõtmise ajal oli 13-14 C.

Põldhein I, lapid 12 – 45. Dielektriline läbitavus Er 17-20, W_v ca 30%, EC_e alla 300, seejuures vedelsõnnikut saanud lappidel veidi suurem. Taimik on võimas ja tihe ning mõõtmiste järgi on kogu lisatud väetis selleks ajaks juba ära kasutatud; EC_e on 2-3 korda väiksem teistest kultuuridest. Analoomiline on olukord ka põldhein II katsete lappidel 252 – 285, kus taimik on veelgi võimsam (kuni 40 cm), maapind on tihe ja kõva ning ei võimalda 3-s kihis mõõtmist, EC_e jääb piiridesse 200-360 (toitainete vaene muld).

Tabel 2. Mõõtetulemused 25.05.2011. a

	Lapi Nr	ECe avg	Wv avg	ECe 5	Wv 5	ECe15	Wv 15	ECe 30	Wv 30
Pöldhein I	12	205	30,9	174	31,2	203,7	30,6	238	31,0
Taimik 30cm	13	222	31,8						
	28	183	30,6	168	31,2	192,5	30,8	189	29,8
	29	215	31,3	208	31,8	214,8	31,0	222	31,0
	44	180	31,9	163	31,8	180,5	31,8	198	32,0
	45	268	31,0	225	31,3	294,0	31,5	286	30,2
Oder II	60	666	32,9	1135	32,7	570,0	32,0	293	33,9
Allakülv	61	205	30,9	174	31,2	203,7	30,6	238	31,0
Taimik 20cm	76	609	32,7	1037	32,9	417,2	32,3	373	33,0
	77	777	33,2	1380	33,5	480,0	32,1	470	33,8
	92	690	32,3	1227	32,8	476,0	31,6	366	32,5
	92 taimereas	322	32,8	287	33,1	340,2	32,3	339	32,9
	93	717	32,3	1136	31,9	552,7	31,6	461	33,4
Oder	108	643	33,7	1376	33,7	330,3	33,2	223	34,2
Taimik 10cm	109	740	33,8	1390	34,3	470,8	32,9	361	34,3
	124	586	32,0	1095	31,6	378,8	32,0	285	32,5
	125	724	32,6	1291	33,0	507,2	32,0	374	32,9
	140	703	32,9	1312	33,1	474,8	32,7	323	33,0
	141	642	32,8	1063	32,7	442,5	32,1	421	33,8
Suviraps	156	631	33,5	1228	33,7	428,8	33,1	236	33,7
Tärkamata	157	649	33,5	1188	33,6	529,2	32,7	231	34,3
	172	635	33,2	1195	32,6	488,5	33,1	223	33,8
	173	559	32,7	1024	32,7	396,5	32,1	256	33,4
	188	611	32,7	1235	33,3	347,0	31,8	251	33,0
	189	576	31,5	1010	31,6	417,7	31,2	299	31,8
Suvinisu	204	491	32,8	884	31,9	395,5	32,7	194	33,8
Taimik 15cm	205	1111	32,2						
	220	484	31,2	874	30,6	305,5	30,7	273	32,2
	221	596	32,5	1082	32,0	390,2	32,2	317	33,2
	236	547	30,9	1008	30,1	352,2	30,5	282	32,0
	237	561	31,5	926	30,5	422,2	30,9	335	32,9
Pöldhein II	252	202	30,8						
Taimik 40cm	253	223	30,2						
	268	259	29,4						
	269	313	29,4						
	284	363	29,3						
	285	284	28,9						
Vedelsõnnikuta	Avg	483	31,9	941	32,2	369,4	31,9	263	32,7
Vedelsõnnikuga	Avg	521	31,8	931	32,3	409,3	31,8	328	32,8

Kõikide teiste kultuuride ja katselappide korral olid tulemused sarnased erinedes oluliselt põldheinaga lappidest: keskmine ECe oli 600-700; seejuures oli ilmne toitainete asumine 5 cm pinnakihis, kus ECe väärtused ulatusid kuni 1200; 15 cm sügavusel oli ECe 400...500 ja 30 cm sügavusel 200...400. Seega võib öelda, et suurem osa mulda viidud toitainetest asub mulla ülemises kihis, nad kasutatakse ära taimede poolt ning nende välja leostumist ka suurte vihmadega ei toimu. Väetis ei ole veel jõudnud mullas ühtlaselt lahustuda ning seetõttu on ECa standardhälve suur – näiteks võib ECa ja sellest arvatud ECe erineda üksteisest 10 cm kaugustel asuvates mõõtepunktidest 2 ja enam korda. Selle näiteks on lapil 92 saadud tulemused, kus mõõtmised taimeridade vahel andsid suhteliselt kõrge ja ootuspärase mõõtetulemuse: keskmine ECe 690 ning ECe 5 cm 1227. Mõõtes aga samal lapil taimerea sees taimede vahel (tabel 2 rida „92 taimereas“) on samad numbrid 322 ja 287.

Veel väärrib ära märkimist lapi 61 oluliselt väiksemad mõõtetulemused naabritega võrreldes. Kas tegu on mõõteveaga või statistilise hälbega (väga ebatõenäoline) ei ole selge.

Mõõtmised 23.07.2011. a

Kogu suvi oli Kuusikul väga kuiv, muld üsnagi kuiv ning kõva. Seetõttu oli isegi peale sade-meid mõõtmine oluliselt raskendatud, enamikel lappidel õnnestus mõõta vaid mõni cm pinnakihti. Mulla Er oli 8-10 mis on minimaalne taimekasvuks vajalik, mulla mahuline niiskus ca 15-20 % ning väikese niiskuse tõttu ka mulla elektrijuhtivus ECa väike, enamasti vahemikus 0 – 30 $\mu S cm^{-1}$ (maksimaalselt kuni 100), mis teeb soolsuse ECe arvutamise ebatäpsemaks. Mõnel lapil õnnestus teha vaid mõni mõõtmine; seega ei saa ECe absoluutväärtusi pidada väga usaldusväärseteks ja pigem testiks mõõtemetodi osas. Sellest hoolimata klapiivad tulemused hästi oodatavaga isegi väga väikeste mõõdetud ECa -de korral. Mulla temperatuur mõõtmiste ajal oli 28...30 C. Kasvavate taimede korral (põldhein I, oder, suviraps, suvinisu) oli mulla niiskus Wv väiksem (15-16 %), kui koristatud ja küntud osal (18-20%). Toitainete vertikaalsest jaotumisest annab ettekujutise lapil 77 mõõdetud sügavusprofiil 5, 10, 15 ja 20 cm sügavusel (tabel 3).

Tabel 3. Toitainete jaotus eri sügavustel lapil 77

Sügavus, cm	Er	ECa	ECe	Wv
5	8,72	20	256	19,1
10	10,5	48	438	22
15	10,8	56	495	22,5
20	10,3	55	538	21,7

Umbes samasugune pilt toitainete jaotuse osas on ka küntud lappidel 269 – 285.

Võrreldes lappide 92 ja 93 mõõtetulemusi 25.05 mõõdetuga torkab silma, et ECe on järsult vähenenud just pinnakihis (umbes 1200-lt 400-ni), 15 ja eriti 30 cm sügavusel on muutused väikesed. See tähendab, et tänu kuivadele ilmadele toitained ei jõudnud oluliselt kaugemale pinnakihist ning samuti ei saanud taimed hästi kätte sügavamal asuvaid toitaineid. Sarnane toitainete dünaamika on iseloomulik ka eelnevatele aastatele.

Tabeli 4. Mõõtetulemused 23.07.2011. a

	Lapi Nr	ECe avg	Wv avg	ECe 5	Wv 5	ECe15	Wv 15	ECe 30	Wv 30
Pöldhein I	12	303	20,2						
	13	x	18,1						
	28	x	15,2						
	29	x	15,5						
	44	x	x						
	45	241	15,8						
Oder II	60	208	19,5						
Allakülv	61	297	21,0						
	76	341	20,6						
Koristatud	77	339	22,1						
	92	468	19,6	387	18,9	518,2	20,4	500	19,6
	93	522	20,8	407	20,2	566,2	21,6	593	20,7
Oder	108	x	15,5						
	109	x	14,7						
	124	310	15,4						
	125	417	17,0	347	17,0	464,2	16,9		
	140	356	17,3	412	16,6	305,6	17,2	351	18,1
	141	450	16,4						
Suviraps	156								
	157								
	172	x	x						
	173	x	x						
	188	x	x						
	189	x	x						
Suvinisu	204	515	21,5						
	205	x	x						
	220	x	x						
	221	x	x						
	236	x	x						
	237	x	x						
Pöldhein II	252	x	x						
	253	x	x						
Küntud	268	447	19,5	382	18,7	480,8	19,6	479	20,2
Küntud	269	524	17,5	362	16,4	676,3	16,6	481	19,6
Küntud	284	506	19,6	376	18,9	572,0	20,6	568	19,3
Küntud	285	530	17,8	393	17,2	577,3	18,9	574	17,4
Vedelsõnnikuta	avg	384	18,5	389	18,3	469,2	19,4	474	19,3
Vedelsõnnikuga	avg	415	17,9	377	17,7	571,0	18,5	549	19,2

Kokkuvõte

Mulla elektriliste omaduste mõõtmise teel on võimalik hinnata mulla seisundit: niiskust, vee kättesaadavust taimedele ja mulla soolsust, mis mittesoolaste muldade korral iseloomustab toitainete sisaldust. Korduvalt läbi viidud mõõtmised (või ka pidev jälgimine automaatsete percojamaadega) võimaldab hinnata toitainete liikumise, kasutamise ning leostumise dünaamikat maaviljeluses.

EMVIs läbi viidud katsete põhjal võib Eesti mullad toitainete sisalduse järgi elektriliste mõõtmiste põhjal jagada:

toitainetevased mullad E_{Ce} alla 200,
vähene ja keskmine toitainete sisaldus 300-600,
rikkalik tase 700-1200 $\mu S\ cm^{-1}$.

Väärtused üle 1500 viitavad juba liigsele väetise või soolade sisaldusele.

Kasutatud kirjandus

- Agilent 2006. Basics of Measuring the Dielectric Properties of Materials. Application Note. cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5989-2589EN.pdf.
- Corwin, D.L., Lesch, S.M., 2005. Apparent soil electrical conductivity measurements in agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture* 46 p. 11–43.
- Heimovaara, T.J., de Winter, E.J.G, van Loon W.K.P, Esveld, D.C., 1996. Frequency-dependency dielectric permittivity from 0 to 1 GHz: Time domain reflectometry measurements compared with frequency domain network analyzer measurements, *Water Resour. Res.*, 32, 3603 – 3610.
- Kadaja, J. Plakk, T., Saue, T., Nugis, E., Viil, P., Särekanno, M., 2009. Measurement of soil water and nutrients by its electrical properties. *Acta Agriculturae Scandinavica: Section B, Soil and Plant Science*, 59, 447 - 455.
- Plakk, T. Meetod mulla soolsuse määramiseks elektrilise mõõtmise teel. Kasuliku mudeli tunnistus nr 00518, EV Patendiamet 2005.
- Plakk, T., 1990. Correlation Between Availability of Moisture to Plants and dielectric constant of soil. – *Sov. Soil Sci.* 22/ 21, pp 98–105, Washington, Scripta Publications.
- Rhoades, J.D., Chanduvi, F., Lesch, S., 1999. Soil Salinity Assessment: Methods and interpretation of electrical conductivity measurements. *FAO Irrigation and Drainage paper 57*, Rome, Italy. ISSN 0254–5284.
- Robinson, D.A., Campbell, C.S., Hopmans, J.W., Hornbuckle, B.K., Jones, S.B., Knight R., Ogden F., Selker J., Wendroth O., 2008. Soil Moisture Measurement for Ecological and Hydrological Watershed-Scale Observatories: A Review. *Vadose Zone J.* 7:358–389 Vol. 7.
- Topp, G.C., Davis J.L., Annan A.P., 1980. Electromagnetic determination of soil-water content measurements in coaxial transmission-lines. *Water Resour. Res.* 16:574–582.
- von Hippel, A. R., 1954. *Dielectric Materials and Applications*. John Wiley & Sons, Inc., New York.

PROJEKTI JUHT



Peeter Viil

Põllumajanduskandidaat - PhD, vanemteadur
Valgetähe neljanda klassi ordeni (2004) kavaler
Tel: 486 9259; 52 06 309
peeter.viil@eria.ee



Kalvi Tamm

PhD, teadur
Tel: 322 38 86; 55 435 55
E-post: kalvi.tamm@eria.ee



Raivo Vettik

PhD, vanemteadur
Tel.: 51 91 59 47
E-post: raivo.vettik@eria.ee



Taavi Vösa

Tehnikamagister, osakonna
juhataja kt
Tel: 671 15 57; 53 30 65 70;
E-post: taavi.vosa@eria.ee



Enno Koik
Põllumajanduskandidaat -
PhD, teadur
Tel: 671 15 48
E-post: enno.koik@eria.ee



Jüri Kadaja
Bioloogiakandidaat - PhD,
vanemteadur
Tel: 671 15 54; 53 00 23 13
E-post: jyri.kadaja@eria.ee



Triin Saue
PhD, teadur
Tel: 671 15 54
E-post: triin.saue@eria.ee



Tiit Plakk
TTÜ doktorant,
vaneminsener
Tel: 55 11 051
E-post: tiit.plakk@eria.ee



Jaanus Siim
Põllumajanduskandidaat - PhD,
vaneminsener
Tel: 671 15 53; 50 64 197
E-post: jaanus.siiim@eria.ee