



Luonnonvara- ja
biotalouden
tutkimus 17/2020

Nestemäisten kierrätysravinteiden käyttö maataloudessa

Glyfosaatin ja muiden rikkakasvien torjunta-aineiden käyttö
tankkiseoksena ammoniumsulfaatin kanssa –
Nesteravinne-hankkeen loppuraportti

Pentti Ruuttunen ja Petri Kapuinen

Nestemäisten kierrätysravinteiden käyttö maataloudessa

Glyfosaatin ja muiden rikkakasvien torjunta-aineiden käyttö
tankkiseoksena ammoniumsulfaatin kanssa – Nesteravinne -hankkeen
loppuraportti

Pentti Ruuttunen ja Petri Kapuinen

Viittausohje:

Ruuttunen, P. & Kapuinen, P. 2020. Nestemäisten kierrätysravinteiden käyttö maataloudessa : Glyfosaatin ja muiden rikkakasvien torjunta-aineiden käyttö tankkiseoksena ammoniumsulfaatin kanssa – Nesteravinne -hankkeen loppuraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 17/2020. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 28 s.



ISBN 978-952-326-929-3 (Painettu)

ISBN 978-952-326-930-9 (Verkkajulkaisu)

ISSN 2342-7647 (Painettu)

ISSN 2342-7639 (Verkkajulkaisu)

URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-930-9>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Pentti Ruuttunen ja Petri Kapuinen

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2020

Julkaisuvuosi: 2020

Kannen kuva: Pentti Ruuttunen

Painopaikka ja julkaisumyynti: PunaMusta Oy, <http://luke.juvenesprint.fi>

Tiivistelmä

Luonnonvarakeskuksessa (Luke) Jokioisissa tutkittiin vuosina 2017 ja 2018 yhteensä kuudessa kenttäkokeessa nestemäisen ammoniumsulfaatin (AMS) soveltuvuutta tankkiseoksiin viljoilla yleisesti käytettävien rikkakasvien torjunta-aineiden (herbisidien) kanssa. Kenttäkokeet toteutettiin osana Nesteväin -hanketta (2017–2019), jonka tavoitteina oli luoda ja saattaa käyttöön menetelmiä edistämään erityisesti kierrätystypen käyttöä maataloudessa. Nestemäisenä lannoitteena AMS:in voi levittää kasvinsuojeluruiskulla, ja rikkakasvien torjuntaan yhdistettynä lannoitus sillä ei lisää ajokertoja, mikä on sen käytön taloudellisuuden kannalta oleellinen asia. Lisäksi AMS:in on eräissä tutkimuksissa havaittu parantavan glyfosaatin tehoa. Nestemäistä ammoniumsulfaattia syntyy biolaitoksissa typpipoiston sivutuotteena. Tyypillisesti sitä syntyy muutamia tuhansia kuutiometrejä biolaitosta kohden vuodessa. Määrä riittää vain paikalliseen käyttöön ja sille on vaihtoehtoisia teollisia käyttömuotoja.

Keväällä 2017 tehtiin esitestit nestemäisen AMS:in (350 g kg^{-1}) teknisestä soveltuvuudesta tankkiseoksiin glyfosaattivalmiste Roundup Bion ja yhdeksän muun viljanviljelyssä yleisesti käytetyn herbisidivalmisteen sekä kahden kiinniteaineen kanssa. Roundup Bio, K-Trio-neste ja Ariane S soveltuivat sellaisenaan AMS-liuoksen kanssa sekoitettaviksi ja kasvinsuojeluruiskulla levitettäviksi. Pienannosvalmisteet Tooler, Logran 20 WG, Express 50 SX ja Biathlon 4D soveltuivat myös, mutta ennen AMS-liuokseen sekoittamista ne oli liuotettava pieneen määrään vettä. K-MCPA-neste, Primus ja Starane XL eivät lienneet AMS-liuokseen, kuten eivät myöskään kiinnitteet Sito Plus ja Dash. Roundup Bio valittiin valmisteeksi tankkiseos kokeeseen. Kauralla ja ohralla tehtäviin kenttäkokeisiin tankkiseoksilla ammoniumsulfaatin kanssa valittiin neljä herbisidivalmistetta: K-Trio-neste (dikloproppi-P + MCPA + mekopropi-P), Ariane S (MCPA + fluorksiipyyri + klopyralidi), Tooler (tritosulfuro-ni) ja Logran 20 WG (triasulfuro-ni).

Sekä 2017 että 2018 toteutettiin yksi ammoniumsulfaatin ja glyfosaatin tankkiseoskoe pelloilla, joilla esiintyi runsaasti juolavehnää ja leveälehtisiä rikkakasveja. Kokeissa testattiin ennen kevätvehnän suorakylvöä ruiskutettujen pienien Roundup Bio -annosten tehoa rikkakasveihin tankkiseoksissa AMS:in kanssa. Vuonna 2017 ennen glyfosaattikäsittelyitä ja sadonkorjuun jälkeen otetuista maanäytteistä analysoitiin glyfosaatin ja sen hajoamistuote AMPA:n pitoisuudet käsittelyistä syntyneiden jäämien määrittämiseksi.

Molempina vuosina glyfosaatin normaali käyttömäärä (Roundup Bio $3,0 \text{ l ha}^{-1}$) tehosi juolavehnään ja leveälehtisiin rikkakasveihin erittäin hyvin sekä vesiliuoksessa Sito Plussan kanssa että tankkiseoksena AMS:in kanssa. AMS:in väkevyyden useimmissa tankkiseoksissa oli Roundup Bion annoksen pienentäminen $2,0$ litraan ei juuri heikentänyt sen tehoa. Myös Roundup Bion pienin annos $1,0 \text{ l ha}^{-1}$ tehosi rikkakasveihin kohtalaisesti kosteana kesänä 2017, mutta heikosti kuivissa oloissa 2018. AMS:in ja Roundup Bion tankkiseokset tehosivat rikkakasveihin yhtä hyvin kuin normaali Roundup Bion vesiliuos Sito Plus -kiinnitteen kanssa. Molempina vuosina tiheä juolavehnekasvusto verotti ankarasti vehnäsatoa: käsittelemättömistä ruuduista satoa saatiin tuskin lainkaan, ja suurimmatkin sadot olivat vain $2\ 500 \text{ kg ha}^{-1}$ tasoa. Glyfosaattikäsittelyistä vehnäsato oli pienin $1,0 \text{ l ha}^{-1}$ Roundup Bio -käsittelyssä täyden AMS-annoksen kanssa.

Syksyllä vehnän puinnin jälkeen otettujen maanäytteiden jäämäanalyyysien perusteella vaikuttaa mahdolliselta, että AMS glyfosaatin kanssa käytettynä voi nopeuttaa glyfosaatin hajoamista maassa. Toisaalta AMS ei vaikuttanut maan AMPA-pitoisuuksiin. Keväällä ennen kylvöä levitetty glyfosaatti ja sen hajoamistuote AMPA ei kulkeutunut maassa $0\text{--}2,5 \text{ cm}$ pintakerrosta syvemmälle. Pienin glyfosaatin käyttömäärä eli Roundup Bio $1,0 \text{ l ha}^{-1}$ ei nostanut maan glyfosaatti ja AMPA -pitoisuuksia kevään taustapitoisuuksiin nähden eli ne näyttivät hajoavan kasvukauden aikana.

Molempina koevuosina toteutettiin yksi ammoniumsulfaatin ja herbisidien tankkiseoskoe kauralla ja toinen ohralla lohkoilla, joilla esiintyi monia kevätiljapelloille tyypillisiä siemenrikkakasveja. Kokeissa testattiin täysin kylläisen AMS-liuoksen (350 g kg^{-1}) soveltuvuutta sellaisenaan tankkiseoksiin. Sateisena kesänä 2017 rikkakasveja oli runsaammin kuin kuivana kesänä 2018. Molempina vuosina AMS aiheutti polttovioitusta kauran ja ohran lehdissä K-Trio -nesteen ja Ariane S:n kanssa mutta ei sato-tappioita. Kun AMS-liuosta käytettiin tankkiseoksena sulfonyyliureaalmisteiden Tooler ja Logran 20 WG kanssa, herbisidien kanssa suositeltu kiinnite Sito Plus jouduttiin jättämään pois, koska se ei liennut AMS-liuokseen. Erityisesti kuivissa olosuhteissa kesällä 2018 sulfonyyliureaalmisteiden teho lähes kaikkiin rikkakasveihin oli tankkiseoksina AMS:in kanssa ilman kiinnitettä heikompi kuin vesiliuoksissa Sito Plus -kiinnitteen kanssa. K-Trion rikkakasvitehoon AMS -lisäys ei vaikuttanut, mutta Ariane S:n tehoa se heikensi hiukan. Käsittelyt eivät vaikuttaneet ohran tai kauran satomääriin.

Asiasanat: AMS, ammoniumsulfaatti, herbisidi, glyfosaatti

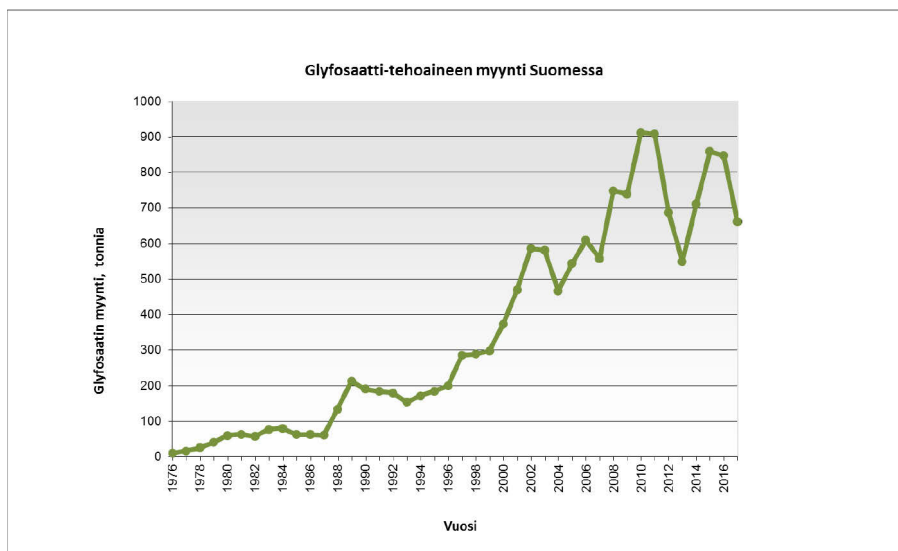
Sisällys

1. Johdanto	6
2. Testiaineet ja tekniset esitellit	8
2.1. Tankkiseos-esitestien tulokset	8
2.2. Testiaineiksi valittujen herbisidien vaikutustavat	9
3. Aineisto ja menetelmät	10
3.1. Ammoniumsulfaatin ja glyfosaatin tankkiseosten vaikutus glyfosaatin jäämiin vuonna 2017 sekä rikkakasvien torjuntatehoon ja vehnäsatoon vuosina 2017 ja 2018	10
3.1.1. Kevätvehnä 2017	10
3.1.2. Kevätvehnä 2018.....	11
3.2. Muiden herbisidien käyttö tankkiseoksena ammoniumsulfaatin kanssa kaurassa ja ohrossa 2017 ja 2018	12
3.2.1. Kaura ja ohra 2017	13
3.2.2. Kaura ja ohra 2018	13
4. Tulokset	15
4.1. Ammoniumsulfaatin ja glyfosaatin tankkiseosten vaikutus maan glyfosaatti- ja AMPA-jäämiin	15
4.2. Ammoniumsulfaatin ja glyfosaatin tankkiseosten vaikutus rikkakasvien torjuntatehoon ja vehnäsatoon	17
4.2.1. Kevätvehnä 2017	17
4.2.2. Kevätvehnä 2018.....	18
4.3. Ammoniumsulfaatin ja muiden herbisidien tankkiseosten vaikutus rikkakasvien torjuntatehoon ja kauran ja ohran kasvuun ja satoon	18
4.3.1. Kaura ja ohra 2017	18
4.3.2. Kaura ja ohra 2018	21
5. Tulosten tarkastelu	23
5.1. Ammoniumsulfaatin ja glyfosaatin tankkiseokset.....	23
5.2. Ammoniumsulfaatin ja muiden herbisidien tankkiseokset	25
6. Johtopäätökset	26
7. Viitteet	27

1. Johdanto

Ympäristöministeriön rahoittaman Nesteravinne -hankkeen (2017–2019) tavoitteina oli luoda ja saattaa käyttöön menetelmiä edistämään erityisesti kierrätystypen käyttöä maataloudessa. Hankkeen vahva paino oli ammoniumsulfaatissa (AMS), koska se tarjoaa laajimman realistisen kanavan typen kierrätykseen. Nestemäistä AMS:ia syntyy biolaitoksissa puhdistamolietteen käsittelyprosessin sivutuotteena. AMS antaa mahdollisuuden kierrättää tyyppiä maatalouteen niin, että sen lietetuotetausta samalla häviää. Lisäksi AMS:ia syntyy huomattava määrä kiteisenä nikkelinvalmistuksen sivutuotteena Harjavallassa. Myös kiteistä AMS:ia on mahdollista käyttää lannoitteena maataloudessa. Nesteravinne -hankkeessa keskityttiin kuitenkin biolaitoksista saatavan nestemäisen AMS:in käyttömahdollisuuksiin maataloudessa, koska lähes kaikilla tiloilla on nestemäisen AMS:in levitykseen soveltuva laite, kasvinsuojeluruisku. Tässä hankkeen osatutkimuksessa oli tavoitteena selvittää AMS:in käytön soveltuvuutta tankkiseoksiin glyfosaatin ja muiden rikkakasvien torjunta-aineiden kanssa. Rikkakasvien torjuntaan yhdistettynä AMS -lannoitus ei lisää ajokertoja, mikä on sen käytön taloudellisuuden kannalta oleellinen asia. Lisäksi AMS:in on eräissä tutkimuksissa havaittu parantavan glyfosaatin tehoa.

Glyfosaatti on maailman eniten käytetty rikkakasvien torjunta-aine (Valavanidis 2018). Suomessa glyfosaatti on kaikkein eniten käytetty kasvinsuojeluaine: vuonna 2018 sen käyttömäärä maataloudessa oli 542 tonnia, joka on 59 % kaikkien kasvinsuojeluaineiden (tehoaineiden) käyttömäärästä (Luken maataloustilasto). Glyfosaatin myyntimäärät Suomessa kasvoivat nopeasti Monsanto glyfosaattipatentin rauettua vuonna 2000 ja valmistajien kilpailun laskettua glyfosaatin hintaa merkittävästi (kuva 1). Samaan aikaan Suomessa yleistynyt suorakylvömenetelmä todennäköisesti myös lisäsi glyfosaatin käyttöä; glyfosaatilla voidaan tehokkaasti torjua rikkakasvit ennen suorakylvöä. Glyfosaatti on viime aikoina ollut paljon mukana keskusteluissa sen syöpävaaraepäilyjen vuoksi (Cressey 2015). EU-hyväksynnän ollessa umpeutumassa syksyllä 2017 glyfosaatin uudelleenhyväksyntä oli vakavasti vaakaaludalla. Euroopan kemikaalivirasto ECHA arvioi kuitenkin, ettei glyfosaatin syöpävaarallisuudesta ole riittävää tieteellistä näyttöä (ECHA 2017), ja lopulta EU-komissio päätti 27.11.2017 jatkaa glyfosaatin hyväksyntää viidellä vuodella eli 2022 joulukuulle saakka (European Commission 2017). Euroopan elintarviketurvallisuusviranomaisen EFSA totesi monissa glyfosaattivalmisteissa käytetyn POEA-apuaineen (polyetoksyloitu taliakyyliamiini) kuitenkin terveydelle haitalliseksi, ja sitä sisältävien valmisteiden käyttö kiellettiin EU-komission päätöksellä jo 1.8.2016 (EU:n virallinen lehti 2016).



Kuva 1. Glyfosaatin myyntimäärät Suomessa vuosina 1976–2017 (Lähde: Tukes).

Ammoniumsulfaatin käyttöä glyfosaatin vaikutuksen tehostamiseen tutkittiin 70 ja 80-luvuilla intensiivisesti, koska glyfosaatin hinta oli silloin huomattavasti nykyistä korkeampi (Suwunnamek ja Parker 1975, Turner ja Loader 1980, O'Sullivan 1981, Hallgren ja Nilsson 1989a, 1989b). Käyttömäärän pienentämisestä sen tehoa parantavilla aineilla oli merkittävää taloudellista hyötyä viljelijälle. Suomessa glyfosaatin maatalouskäyttö on keskittynyt viljapelloille, joilla siitä käytetään 70 % (Peltonen 2016). Nurmilla käytetään 12 % ja öljy- ja palkokasveilla 8 %. Muu käyttö on vähäistä, yhteensä 10 %. Ennen vuosituhannen vaihdetta glyfosaattia käytettiin pääasiassa syksyllä, yleensä juolavehnän torjuntaan viljojen puinnin jälkeen. Suorakylvön yleistyttyä glyfosaatin kevätkäyttö on lisääntynyt niin, että Pro-Agrian lohkotietopankin 2010–2014 tietojen mukaan kokonaiskäyttömäärästä käytetään huhtikesäkuussa jo yhtä paljon (36 %) kuin syys-lokakuussa (36 %) (Peltonen 2016). Nykyisin ainekustannus esimerkiksi ennen suorakylvöä tehtävässä juolavehnän torjunnasta suositelluilla varsin suurilla annoksilla on vain noin 18 € ha⁻¹ (Peltonen 2019), jolloin annoksen pienentämisestä saatava taloudellinen hyöty säästyneenä ainekustannuksena jää pieneksi. Viljakasvustosta juolavehneä voi torjua kemiallisesti vain vehnällä, ja torjunnan ainekustannus on valmisteesta riippuen 28–42 €. Glyfosaattianuksen pienentämisellä voitaisiin vähentää glyfosaatista ja sen hajoamistuotteista aiheutuvaa kuormitusta maassa. Hajoamistuotteista keskeisin on aminometyylifosforihappo (AMPA) (Laitinen 2009). Sen hajoamisnopeus on pienempi kuin glyfosaatin, joten sen pitoisuus maassa voi olla suurempi kuin glyfosaatin. Glyfosaattia ja sen hajoamistuotteita voi olla maassa, siinä kasvaneissa kasveissa ja vedessä. Glyfosaatti ja sen hajoamistuotteet ovat fosforyyhdisteitä, ja ne sitoutuvat tehokkaasti maassa samoille paikoille kuin fosfori. Jos maa sisältää runsaasti fosforia, glyfosaatille ja AMPA:lle on vähemmän sitoutumispaikkoja, jolloin niiden kulkeutuvuusriski kasvaa. Glyfosaatti ja AMPA ovat hyvin vesiliukoisia, mutta pohjavesistä niitä löytyy harvoin, esim. Lahden pohjavesiselivityksessä 2000–2013 ei lainkaan (Malin ym. 2014).

Suorakylvössä juolavehnän torjumisen on vaikeaa ilman kemiallista torjuntaa, joka käytännössä tarkoittaa glyfosaatin käyttöä ennen suorakylvöä. Palaaminen perinteiseen kylvötapaan lisäisi merkittävästi työnmenekkiä lisääntyneiden muokkaustoimien takia. Näin ollen siitä, että glyfosaatin käyttöä voitaisiin jatkaa vähentämällä hajoamistuotteiden kuormitusta, olisi merkittävää taloudellista hyötyä myös maataloudelle.

AMS:ia voitaisiin luontevasti käyttää myöhemminkin kasvukauden aikana eri kasvinsuojelutoimenpiteiden yhteydessä lisälannoitukseen. Kun lisälannoitus voidaan yhdistää johonkin kasvinsuojelutoimenpiteeseen, siitä ei aiheudu ylimääräistä työkustannusta. Osa typpilannoituksesta voidaan jättää keväällä antamatta ja sen taso voidaan säätää kohdalleen kasvin tarpeen mukaan kasvukauden mukaisesti. Tässä tutkimushankkeessa päätettiin tutkia, soveltuisiko AMS tankkiseoksiin viljoilla yleisesti käytettyjen rikkakasvien torjunta-aineiden eli herbisidien kanssa. Esimerkiksi Yhdysvalloissa on käytetty AMS:ia kiinnitteen korvikkeena erityisesti herbisidien kanssa, jotka ovat ns. heikkoja happoja (Pratt ym. 2003, Wosnica ym. 2003). Yleensä tarkoituksena on ollut kuitenkin herbisidin tehon parantaminen, ja ammoniumsulfaatin pitoisuus tankkiseoksissa on ollut melko pieni. Tässä hankkeessa oli kuitenkin ensisijaisesti tarkoitus selvittää, voitaisiinko lisälannoitteena käytettävää väkevää AMS-liuosta levittää herbisidien kanssa tankkiseoksena siten, että herbisidien teho säilyy normaalina eikä viljelykasveille aiheudu vioituksia.

2. Testiaineet ja tekniset esitestit

Keväällä 2017 tehtiin esitestit nestemäisen ammoniumsulfaatin teknisestä soveltuvuudesta tankkiseoksiin glyfosaattivalmiste Roundup Bion ja yhdeksän muun viljanviljelyssä yleisesti käytetyn herbisidivalmisteen sekä kahden kiinniteaineen kanssa.

Esitettiin valittiin yleinen glyfosaattivalmiste Roundup Bio ja yhdeksän muuta yleisintä (herbisidivalmisteiden myyntitilaston 2015 mukaan) herbisidivalmistetta Tooler, K-MPCA-neste, K-Trio-neste, Logran 20 WG, Express 50 SX, Ariane S, Oxitril, Primus ja Starane XL. Valmistettiin kiteisestä ammoniumsulfaatista 35 paino-% (350 g kg^{-1}) vesiliuos. Liuoksen ominaispaino oli $1,2 \text{ kg l}^{-1}$, jolloin AMS-pitoisuus liuostilavuutta kohti oli 420 g l^{-1} . Kunkin herbisidivalmisteen ja ammoniumsulfaatin (AMS) tankkiseosten toimivuus testattiin seuraavasti.

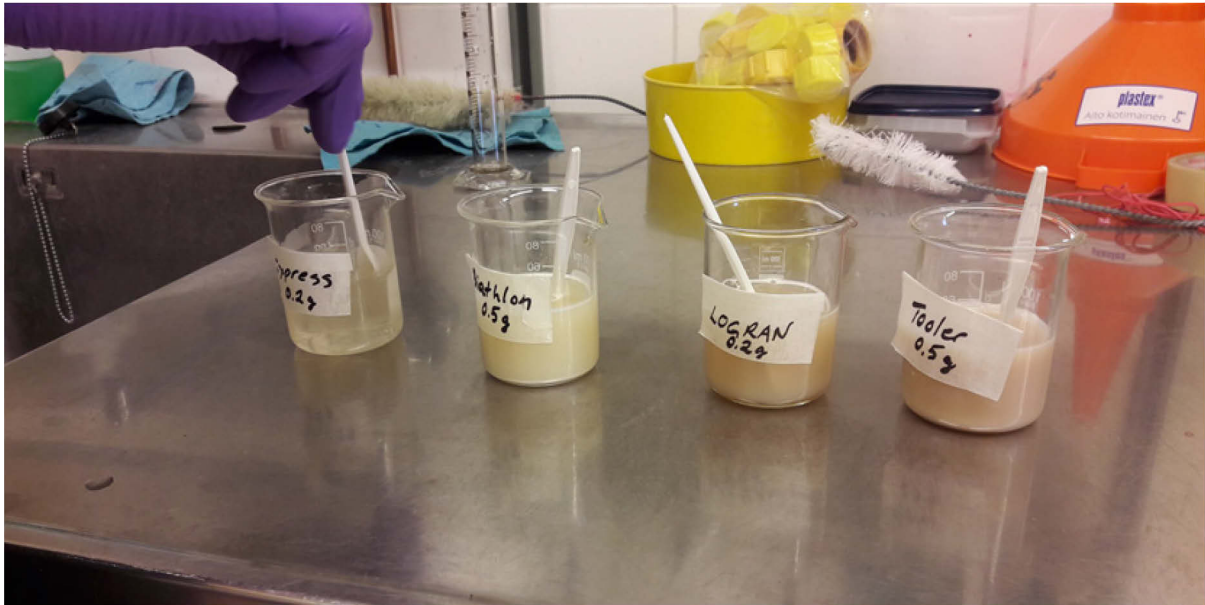
Herbisidivalmiste sekoitettiin ämpärissä 1,0 litraan 35 % AMS -liuosta ($20 \text{ }^\circ\text{C}$ neste). Sekoitussuhteena käytettiin herbisidin normaalia käyttömäärää kg ha^{-1} tai l ha^{-1} AMS -liuoksen käyttömäärässä 200 l ha^{-1} . Tutkittiin silmämääräisesti, liukeneeko valmiste AMS -liuokseen sekoitusämpärissä. Lisätettiin mahdollinen kiinnite ja tehtiin uudet havainnot sekoittumisesta. Liuos kaadettiin siivilällä varustetun suppilon läpi koeruuturuiskun tankkiin ja tutkittiin, jääkö siivilään jotain. Ruiskutettiin koeruuturuiskun läpi (Hardi 4110-12 -viuhkasuuttimet, 2.0 bar paine, ulkoilman lämpötila $7 \text{ }^\circ\text{C}$) ja kerättiin joka suuttimen tuotto ämpäreihin. Punnittiin ruiskutteen määrä ämpäreissä. Tutkittiin ja pestiin suuttimet ja suutinten suodattimet. Testattiin seuraava valmiste samalla tavoin.

Koska pienannosaineet Logran 20 WG ja Express 50 SX eivät lienneet suoraan AMS -liuokseen, niille tehtiin uusintatesti siten, että valmiste liuotettiin ensin 50 ml:aan puhdasta vettä ja sitten vasta AMS -liuokseen (2000 ml).

Valittiin kenttäkokeisiin sellaisia valmisteita, jotka liukenivat hyvin AMS -liuokseen (joko suoraan tai pieneen vesimäärään liuotettuna) ja jotka läpäisivät ruiskun siten, että suutinten tuotto oli tasainen eikä suutinten suodattimiin jäänyt epäpuhtautta.

2.1. Tankkiseos-estestien tulokset

Roundup Bio, K-Trio-neste ja Ariane S liukenivat hyvin 35 %:iseen AMS-liuokseen ja soveltuivat tankkiseoksena kasvinsuojeluruiskulla levitettäväksi. Pienannosaineet Tooler, Logran 20 WG, Express 50 SX ja Biathlon 4D liukenivat myös AMS-liuokseen, mutta vasta kun ne oli ensin liuotettu pieneen määrään puhdasta vettä (esim. $0,5 \text{ g}$ Tooleria liuotettiin ensin 50 ml:aan vettä ja vasta sen jälkeen 2 litraan AMS-liuosta). K-MCPA -neste muodosti AMS-liuoksessa suolamaista sakkaa, ja Primus ja Starane XL muodostivat liuokseen klimppejä. Kiinnitteet Sito Plus ja Dash eivät myöskään lienneet AMS-liuokseen, vaan ne nousivat öljymäisinä palloina ja lauttoina liuoksen pinnalle. Myöhemmin testattiin myös muiden saatavilla olleiden kiinnitteiden (Viljelyohjelma-kiinnite, Biopower, Mero, Renol ja PG26N) liukenevuutta AMS-liuokseen yhtä huonoin tuloksin. Biopower näytti aluksi liukenevan hiukan paremmin kuin muut, mutta sekin saostui ja saostunut aines nousi liuoksen pintaan. Muut kiinnitteet käyttäytyivät samoin kuin Sito Plus ja Dash.



Kuva 2. Esitestien toisessa vaiheessa pienannosaineet liuotettiin ensin 50 ml:aan puhdasta vettä ennen kuin ne sekoitettiin AMS-liuokseen.

Johtopäätökset teknisistä esitesteistä olivat seuraavat. Kenttäkokeet voidaan toteuttaa pääosin suunnitellulla tavalla ja soveltuvia valmisteita on riittävästi. Kiinnitteet on jätettävä pois AMS-käsittelyistä, koska ne eivät liukene vaan nousevat öljymäisinä AMS-liuoksen pinnalle eivätkä siten toimi ruiskutteessa tarkoitettulla tavalla. Glyfosaatti -kenttäkokeisiin hyväksytään testiaineeksi Roundup Bio (glyfosaatin isopropyylamiinisuola 360 g l^{-1}). Valikoivien herbisidien kenttäkokeisiin valitaan kaksi herbisidiä vaikutustaparyhmästä synteettiset auksiinit: K-Trio (diklorproppi-P + MCPA + mekopropi-P) ja Ariane S (MCPA + fluoksipyyri + klopyralidi) ja kaksi herbisidiä vaikutustaparyhmästä ALS-estäjät: Tooler (tritosulfuroni) ja Logran 20 WG (triasulfuroni).

2.2. Testiaineiksi valittujen herbisidien vaikutustavat

Glyfosaatin (Roundup Bio) vaikutustapa perustuu siihen, että se estää kasveissa ns. EPSPS -entsyymin toiminnan, jota tarvitaan kasvien proteiinisynteesille välttämättömien aminohappojen synteesissä (Duke & Powles 2008). Glyfosaatti on ns. valikoimaton herbisidi, joka tehoaa lähes kaikkiin kasvilajeihin.

Synteettiset auksiinit K-Trio -neste (dikloproppi-P + MCPA + mekopropi-P) ja Ariane S (MCPA + fluoksipyyri + klopyralidi) puolestaan vaikuttavat kasveissa hormonaalisesti siten, että mm. etyleeniä erittyy kasveissa poikkeuksellisen runsaasti, mikä johtaa epämuodostumiin ja johtojänteiden tukkeutumiseen (Grossman 2009). Synteettiset auksiinit ovat ns. valikoivia herbisidejä eli ne tehoavat useimpiin kaksisirkkaisuun (leveälehtisiin) kasveihin, mutta ovat turvallisia yksisirkkaisille kasveille kuten viljoille. Yksisirkkaisten kasvien kestävyys synteettisille auksiineille perustuu pääasiassa näiden kasvien kykyyn hajottaa tehoaine nopeasti kasveille vaarattomiksi molekyyleiksi.

ALS-estäjien Tooler (tritosulfuroni) ja Logran 20 WG (triasulfuroni) vaikutus kasveissa perustuu siihen että ne estävät kolmen aminohapon synteesissä tarvittavan asetolaktaasin syntaasiensyymien (ALS) toiminnan (Mukula & Salonen 1990). Synteettisten auksiinien tapaan ALS-estäjät ovat valikoivia eli ne tehoavat useimpiin kaksisirkkaisuun kasveihin mutta ovat viljoille melko turvallisia. Myös ALS-estäjien valikoivuus perustuu nopeaan hajoamiseen viljoilla ja muilla yksisirkkaisuun kasveilla, joilla kuitenkin nähdään usein tilapäistä vioitusta (esim. vaalenemista), koska ALS-estäjät hajoavat kasveissa hitaammin kuin esimerkiksi synteettiset auksiinit.

3. Aineisto ja menetelmät

Jokioisissa toteutettiin kolme kenttäkoetta kasvukaudella 2017 ja toiset kolme kasvukaudella 2018. Kaikki kenttäkokeet tehtiin GEP-laaturjestelmän mukaisesti, ja niissä noudatettiin pääpiirtein kasvinsuojeluainekokeiden Eppo PP1 -standardeja (<https://pp1.eppo.int/>). Kaikissa kenttäkokeissa oli neljä kerrannetta ja niiden koemalli oli satunnaistettujen lohkojen muotoinen. Ruiskutettujen koeruutujen koko oli 3 m x 8 m, puitavien nettoruutujen yleensä 2 m x 6,8 m. Koeruuturuiskutukset toteutettiin kannettavilla, 3 metrin mittaisilla ruiskupuomeilla varustetuilla paineilmakäyttöisillä koeruuturuiskuilla, joiden levitysmäärä ja -tasaisuus oli kalibroitu koevuosien keväällä. Glyfosaattikokeiden paikoiksi valittiin hyvin juolavehnaiset peltolohkot, joita ei ollut ruiskutettu glyfosaatilla eikä kynnety edellisyksynä. Neljä muuta kenttäkoetta (kaura ja ohra vuonna 2017 ja kaura ja ohra vuonna 2018) toteutettiin syyskynetyillä ja ennen kylvöä äkeellä kylvömuokatuilla lohkoilla, joille taimetui runsaasti eri siemenrikkakasvilajeja ennen ruiskutusta.

3.1. Ammoniumsulfaatin ja glyfosaatin tankkiseosten vaikutus glyfosaatin jäämiin vuonna 2017 sekä rikkakasvien torjuntatehoon ja vehnäsatoon vuosina 2017 ja 2018

Tutkimuskysymykset glyfosaattikokeissa olivat seuraavat. 1) Voidaanko glyfosaatin käyttömäärää pienentää rikkakasvitehon kärsimättä lisäämällä tankkiseokseen AMS:ia? Kokeeseen valittu Roundup Bio -glyfosaattivalmiste on Suomessa kauan käytetty glyfosaatin isopropyyliammoniumsulovalmiste, jonka käyttöohjeessa pienten käyttömäärien kanssa suositellaan käytettäväksi Sito Plus -kiinnitettä (etoksoloitu alkoholi). Kokeissa testattiin voisiko AMS korvata Sito Plus -kiinnitteen. 2) Miten käsitteilyt vaikuttavat maan ja vehnäsadon glyfosaattipitoisuuteen?

3.1.1. Kevätvehnä 2017

Koe sijoitettiin ja ruudutettiin juolavehnaiselle lohkolle Jokioisten Minkiöllä (60,864694 °N, 23,429803 °E) toukokuun alussa 2017. Maalaji koealueella oli multava hietasavi, pH 5,9. Käsitteilyt ruiskutettiin kannettavalla, 3 metrin mittaisella ruiskupuomilla varustetulla paineilmakäyttöisellä koeruuturuiskulla 16.5.2017. Tuolloin juolavehna oli jo hyvässä kasvussa 2–3 lehtiasteella, peittäen 21–25 % maan pinnasta. Muita rikkakasveja oli koetta ruiskutettaessa hyvin vähän ja epätasaisesti, eikä niiden peittävyttä havainnoitu. 10 päivää ruiskutuksen jälkeen 26.5.2017 kokeelle kylvettiin Wanamo -kevävehnä suorakylvömenetelmällä. Kylvölannoituksena vehnä sai BeFert NPK 27-3-5 -lannoitetta 222 kg ha⁻¹ (N 60 kg ha⁻¹).

Käsittelyt:

1. Käsittelemätön
2. 35 % AMS 57 l ha⁻¹
3. 35 % AMS 200 l ha⁻¹
4. Roundup Bio 3,0 l ha⁻¹ + Sito Plus 0,5 l ha⁻¹
5. 35 % AMS 57 l ha⁻¹ + Roundup Bio 1,0 l ha⁻¹
6. 35 % AMS 200 l ha⁻¹ + Roundup Bio 1,0 l ha⁻¹
7. 35 % AMS 57 l ha⁻¹ + Roundup Bio 2,0 l ha⁻¹
8. 35 % AMS 57 l ha⁻¹ + Roundup Bio 3,0 l ha⁻¹

Kaikissa ruiskutettavissa käsittelyissä (2-8) ruiskutteen määrä oli 200 l ha⁻¹. Nestemäisen AMS:in levitysmäärä ollessa 200 l ha⁻¹ ruiskutteeseen ei sen lisäksi käytetty vettä. Tällöin AMS:in lopullinen pitoisuus ruiskutteessa oli 84 kg 200 litrassa ruiskutetta, jolloin ruiskutteen typpilannoitusvaikutus oli 17,6

kg ha⁻¹. Käytettäessä AMS:ia 57 l ha⁻¹, ruiskutteeseen lisättiin vettä 143 l ha⁻¹, jotta nestemäärä olisi yhteensä 200 l ha⁻¹. Tällöin AMS:in lopullinen pitoisuus ruiskutteessa oli 24 kg 200 litrassa ruiskutetta, jolloin ruiskutteen typpilannoitusvaikutus oli noin 5,0 kg ha⁻¹.

Havainnot:

Visuaaliset tehokkuushavainnot tehtiin juolavehnästä, pelto-orvokista ja voikukasta kahdesti kasvukauden aikana. Viljasato korjattiin 23.10.2017 koeruutupuimurilla (satoruutu poikkeuksellisesti 2,3 m x 6,8 m), lajiteltiin, punnittiin, näytteiden kosteus ja hehtolitraino määritettiin Dickey-John-laitteella ja laskettiin kosteusvakioidut (14 %) ruutusadot kg ha⁻¹.

Jäämäanalyysit:

Koelohkolla oli käytetty glyfosaattia viimeksi 25.8.2015, jolloin monivuotinen rehunurmi oli lopetettu glyfosaatilla (Glyfonova Bio 3,0 l ha⁻¹, glyfosaattipitoisuus 360 g l⁻¹). Näytteet glyfosaatin taustapitoisuuksien määrittämiseksi otettiin maasta 5.5.2017 eli 11 päivää ennen ruiskutusta (16.5.2017) keranteittain 0–2,5 cm ja 2,5–25 cm kerroksista. Taustapitoisuudet analysoitiin touko-kesäkuussa 2017. Puinnin 23.10.2017 jälkeen 25.10.2017 otettiin maanäytteet käsittelyistä 1, 4, 5 ja 8 ruuduittain 0–2,5 cm ja 2,5–25 cm syvyyksistä. Näytteitä ei otettu kaikista käsittelyistä jäämäanalyysien kalleuden vuoksi. Katsottiin, että näytteet käsittelemättömästä (1), suuresta glyfosaattiannoksesta ilman AMS:ia (4) ja AMS:in kanssa (8) ja pienin glyfosaattiannos AMS:in kanssa (5) mahdollistivat riittävät vertailut käsittelyjen välillä. Näytteet homogenisoitiin ja pakastettiin 31.10.2017, ja glyfosaatti ja AMPA -pitoisuudet analysoitiin tammikuussa 2018. 23.10.2017 puidusta vehnäsadosta otettiin lajitelluista jyvänäytteistä käsittelyistä 1, 4, 5 ja 8 ruuduittain osanäytteet, jotka pakastettiin marraskuussa 2017, ja niistä analysoitiin glyfosaatti ja AMPA -pitoisuudet tammikuussa 2018.

3.1.2. Kevätvehnä 2018

Koe sijoitettiin runsaasti juolavehnää, voikukkaa, piharatamoa ja saunakukkaa sisältävälle lohkolle Jokioisten Kiipulla (60,825762 °N, 23,411884 °E), jonka maalaji oli multava hietasavi ja pH 6,0. Käsitteilyt ruiskutettiin 15.5.2018 ja Herttua -kevätsävyä suorakylvettiin 18.5.2018. Kylvön yhteydessä vehnä sai peruslannoitteen Befert NPK -lannoitetta 333 kg ha⁻¹ (N 90 kg ha⁻¹). Koetta ruiskutettaessa juolavehnä oli jo hyvässä kasvussa 2–3 lehtiasteella, peittäen 21–44 % maan pinnasta. Myös voikukan, saunakukan ja piharatamon kasvu oli alkanut, ja kunkin lajin peittävyys maan pinnasta vaihteli noin yhdestä neljään prosentiin. Edellisvuoden kokeen pelkkää AMS:ia sisältävät käsittelyt jätettiin pois ja korvattiin 1,0 l ha⁻¹ ja 2,0 l ha⁻¹ Roundup Bioa + kiinnitteen vesiliuoksessa sisältävillä käsittelyillä, jolloin saatiin verrannekäsittelyt AMS:ia sisältäville Roundup Bion pienille käyttömäärille.

Käsittelyt:

1. Käsittelemätön
2. Roundup Bio 1,0 l ha⁻¹ + Sito Plus 0,5 l ha⁻¹
3. Roundup Bio 2,0 l ha⁻¹ + Sito Plus 0,5 l ha⁻¹
4. Roundup Bio 3,0 l ha⁻¹ + Sito Plus 0,5 l ha⁻¹
5. 35 % AMS 200 l ha⁻¹ + Roundup Bio 1,0 l ha⁻¹
6. 35 % AMS 57 l ha⁻¹ + Roundup Bio 1,0 l ha⁻¹
7. 35 % AMS 57 l ha⁻¹ + Roundup Bio 2,0 l ha⁻¹
8. 35 % AMS 57 l ha⁻¹ + Roundup Bio 3,0 l ha⁻¹

käsittelyihin 2-4 AMS:ia levitettiin kiteisenä maan pinnalle juuri ennen ruiskutusta 17,5 kg ha⁻¹ typpimäärää vastaava määrä eli sama määrä, jonka käsittely 5 sai tankkiseoksessa. Tämä muutos edellisvuoteen tehtiin AMS:in lannoitusvaikutuksen eliminoimiseksi käsittelyjä vertailtaessa. Tässä tapahtui

kuitenkin pieni erehdys: olisi pitänyt levittää pienempi määrä eli 57 litraa nestemäistä AMS:ia vastaava määrä (5,0 kg ha⁻¹ typpeä), jotta kaikkia glyfosaattiannoksia olisi voitu vertailla. Kaikissa ruiskutettavissa käsittelyissä (2–8) ruiskutteen määrä oli 200 l ha⁻¹. Kun nestemäisen AMS:in määrä oli 200 l ha⁻¹, ruiskutteeseen ei sen lisäksi käytetty vettä. Kun AMS:ia käytettiin 57 l ha⁻¹, ruiskutteeseen lisättiin vettä 143 l ha⁻¹ (nestemäärä yhteensä 200 l ha⁻¹). Koska tällä kokeella oli hyvin runsaasti leveälehtisiä rikkakasveja, ne torjuttiin hyvän viljelykäytännön mukaisesti ruiskuttamalla Ariane S 2,0 l/ha koko kokeen yli 6.7.2019. Glyfosaattikäsittelyjen tehot rikkakasveihin ehdittiin havainnoimaan sitä ennen.

Kevät ja alkukesä 2018 olivat poikkeuksellisen kuivia, ja kuivaan maahan varsin myöhään kylvetyn kevätvehnän orastuminen viivästyi. Koetta kasteltiin levittämällä kokeelle vettä lietevaunulla 13–15.6. yhteensä noin 40 mm sadetta vastaava määrä. Pian sen jälkeen saatiin myös sadetta, vehnä orastui ja koe onnistui lopulta melko hyvin.



Kuva 3. Glyfosaattikoe suorakylvetyllä kevätvehnällä Jokioisissa 5.7.2018.

Havainnot:

Visuaaliset tehokkuushavainnot tehtiin juolavehnään, voikukkaan, piharatamoon ja saunakukkaan kahdesti kasvukauden aikana. Viljasato puitiin 19.9.2018 koeruu-putuimurilla joka punnitsi vehnäsaadon puinnin yhteydessä. Puimurin kosteusanturi mittasi myös ruutusatojen puintikosteuden, mutta pienimpien ruutusatojen kosteusmittaukset olivat selvästi virheellisiä, minkä vuoksi suurimpien ruutusatojen puintikosteutta (28 %) käytettiin ruutusatojen muuntamiseen 14 % kosteuteen vakioiduksi ruutusadoiksi kg ha⁻¹. Vuoden 2018 kokeesta ei tutkittu glyfosaatin ja AMPA:n jäämiä maassa.

3.2. Muiden herbisidien käyttö tankkiseoksena ammoniumsulfaatin kanssa kaurassa ja ohrassa 2017 ja 2018

Jokioisissa toteutettiin kaksi kenttäkoetta vuonna 2017 ja kaksi vuonna 2018 käytännössä samalla koesuunnitelmalla. Molempina vuosina koekasveina oli kaura ja ohra. Koesuunnitelma sisälsi neljä herbisidivalmistetta normaalisti vesiliuoksessa ja tankkiseoksena täysin kylläisen eli 35 % väkevyyden

(350 g kg⁻¹) AMS-liuoksen kanssa. Tankkiseoskäsittelyissä AMS:in lopullinen pitoisuus ruiskutteessa oli 84 kg 200 litrassa ruiskutetta, jolloin ruiskutteen typpilannoitusvaikutus oli 17,6 kg ha⁻¹. Käsittelyt kaikissa neljässä kenttäkokeessa olivat seuraavat:

1. Käsittelemätön
2. 35 % AMS 200 l ha⁻¹
3. K-Trio 1,5 l ha⁻¹ (pienin normaaliannos) (+ 200 l ha⁻¹ vettä)
4. 35 % AMS 200 l ha⁻¹ + K-Trio 1,5 l ha⁻¹
5. Ariane S 1,75 l ha⁻¹ (pienin normaaliannos) (+ 200 l ha⁻¹ vettä)
6. 35 % AMS 200 l ha⁻¹ + Ariane S 1,75 l ha⁻¹
7. Tooler 50 g ha⁻¹ (normaaliannos) (+ 200 l ha⁻¹ vettä) + Sito Plus 0,2 l ha⁻¹
8. 35 % AMS 200 l ha⁻¹ + Tooler 50 g ha⁻¹
9. Logran 20 WG 20 g ha⁻¹ (normaaliannos) (+ 200 l ha⁻¹ vettä) + Sito Plus 0,2 l ha⁻¹
10. 35 % AMS 200 l ha⁻¹ + Logran 20 WG 20 g ha⁻¹

Kaikki kokeet ruiskutettiin normaaliin rikkakasvien torjunnan aikaan juuri ennen viljojen korrenkasvun alkua kun rikkakasvit olivat hyvässä kasvussa. Kaikista kokeista tehtiin visuaaliset tehokkuushavainnot eri rikkakasvilajeihin kahdesti ja visuaaliset vioitushavainnot viljelykasveissa kahdesti kasvukauden aikana. Viljat puitiin koeruutupuimurilla, joka punnitsi ruutusadon ja määrittä sen puintikosteuden ja laskettiin kosteusvakioidut (14 %) ruutusadot kg ha⁻¹.

3.2.1. Kaura ja ohra 2017

Venla-kaura kylvettiin 13.5.2017 siemenmäärällä 197 kg ha⁻¹ ja kokeen sijainti oli 60,80348 °N, 23,45131 °E. Maalaji kaurakokeella oli runsasmultainen hietasavi, pH 6,0 ja kylvölannoitus Befert NPK 27-3-5 447 kg ha⁻¹ (N 120 kg ha⁻¹). Vipekka-ohra kylvettiin samoin 13.5.2017 siemenmäärällä 200 kg ha⁻¹ ja kokeen sijainti oli 60,81728 °N, 23,48286 °E. Maalaji kokeella oli multava hiuesavi, pH 6,0 ja kylvölannoitus Yara NPKS 27-3-3 350 kg ha⁻¹ (N 95 kg ha⁻¹). Ohra ruiskutettiin 14.6.2017 ja kaura 19.6.2017. Kaura puitiin 29.9.2017 ja ohra 7.9.2017, molemmat poikkeuksellisen myöhään viileän ja sateisen kasvukauden vuoksi.

Kaurassa ja ohrassa oli runsaasti kevätiljoille tyyppisiä siemenrikkakasveja. Käsittelemättömissä ruuduissa niitä oli eri lajeja yhteensä keskimäärin 273 kpl m⁻², runsaimpina lajeina jauhosavikka ja pihatähtimö. Torjunnan tehokkuushavainnot varten niissä oli riittävästi peltomataraa, peltoemäkkiä ja punapeippiä. Ohrakokeen rikkakasvitiheys oli huomattavasti suurempi: siemenrikkakasveja oli käsittelemättömissä ruuduissa keskimäärin yhteensä peräti 1886 kpl m⁻². Myös ohrakokeen runsaimmat rikkakasvilajit olivat jauhosavikka ja pihatähtimö, ja muut havainnoidut lajit olivat peltomatar, linnunkaali ja punapeippi.

3.2.2. Kaura ja ohra 2018

Alku-kaura kylvettiin 14.5.2018 siemenmäärällä 195 kg ha⁻¹ ja kokeen sijainti oli 60,81600 °N, 23,486662 °E. Maalaji kaurakokeella oli multava hiuesavi, pH 6,0 ja kylvölannoitus Befert Can 27 350 kg ha⁻¹ (N 95 kg ha⁻¹). Edvin-ohra kylvettiin 11.5.2018 siemenmäärällä 220 kg ha⁻¹ ja kokeen sijainti oli 60,80344 °N, 23,45406 °E. Maalaji ohrakokeella oli runsasmultainen hietasavi, pH 6,0 ja kylvölannoitus Befert NPK 27-3-5 296 kg ha⁻¹ (N 80 kg ha⁻¹). Ohra ruiskutettiin 11.6.2018 ja kaura 8.6.2018. Kuivana kesänä kokeet päästiin puimaan aikaisin: molemmat kokeet puitiin 22.8.2018.

Koesuunnitelma oli muutoin kuten vuonna 2017, mutta kasvukaudella 2018 AMS:in lannoitusvaikutus pyrittiin poistamaan käsittelyjen vertailusta. Siksi käsittelyihin 3, 5, 7 ja 9, joissa herbisidit ruisku-

tettiin normaaleissa vesiliuoksissa, AMS:ia levitettiin kiteisenä maan pinnalle juuri ennen ruiskutusta 17,6 kg ha⁻¹ typpimäärää vastaava määrä eli sama määrä, jonka käsittelyt 4, 6, 8 ja 10 saivat tankkiseoksissa.

Kaurassa ja ohrassa oli monia kevätiljoille tyypillisiä siemenrikkakasveja. Rikkakasvien tiheydet olivat kuitenkin selvästi pienempiä kuin edellisvuoden kokeissa, mikä todennäköisesti johtui kesän 2018 erittäin kuivista kasvuoloista. Kaurassa siemenrikkakasveja oli keskimäärin yhteensä 102 kpl m⁻², mutta lajisto oli melko suppea: vain peltomataraa, jauhosavikkaa ja punapeippiä oli riittävästi tehokkuushavaintoihin. Ohrakokeella siemenrikkakasveja oli käsittelemättömissä ruuduissa hiukan vähemmän, keskimäärin yhteensä 49 kpl m⁻². Lajisto oli kuitenkin monipuolisempi kuin kaurassa: punapeippi, jauhosavikka ja pillikkeet olivat runsaimmat lajit ja kokeella oli tehokkuushavaintoja varten juuri riittävästi myös pihatähtimöä, peltoemäkkiä ja peltomataraa.

4. Tulokset

4.1. Ammoniumsulfaatin ja glyfosaatin tankkiseosten vaikutus maan glyfosaatti- ja AMPA-jäämiin

Taustapitoisuudet

Ennen vuoden 2017 glyfosaattikokeen ruiskutusta maassa olleet glyfosaatin ja AMPA:n taustapitoisuudet esitetään taulukossa 1. Taustapitoisuudet olivat jakautuneet tasaisesti koko muokkauskerrokseen. Glyfosaattipitoisuus pintakerroksessa oli keskimäärin 0,08 mg ja syvemmissä kerroksissa 0,10 mg maan kuiva-ainekiloa kohti. AMPA:n pitoisuus pintakerroksessa oli keskimäärin 0,56 mg ja syvemmissä kerroksissa 0,59 maan kuiva-ainekiloa kohti. Glyfosaatin taustapitoisuuksia voidaan pitää normaaleina, mutta AMPA:n pitoisuuksia melko korkeina esimerkiksi Laitisen (2009) tutkimuksiin verraten. Samoista maanäytteistä analysoitiin myös viljavuus P, Ca, K, Mg (mg l^{-1}), maan hiilipitoisuus (%) ja pH (Taulukko 2). Näytteiden fosforipitoisuus oli vain välttävä, keskimäärin $4,6 \text{ mg l}^{-1}$. Glyfosaatin ja AMPA:n tiedetään sitoutuvan fosforiyhdisteinä tällaiseen maahan verrattain tiukasti (Laitinen 2009). Toisaalta viljavuusanalyysissä todettu maan melko korkea pH (keskimäärin 6,45) heikentää glyfosaatin sitoutumista maapartikkeleihin (Borggaard & Gimsing 2008). Koepaikan maan viljavuus (Ca, K, Mg) oli vähintään tyydyttävällä tasolla.

Taulukko 1. Glyfosaatin ja AMPA:n taustapitoisuudet sekä samoista näytteistä määritetty viljavuus (P, Ca, K, Mg), maan hiilipitoisuus ja pH 5.5.2017 otetuissa maanäytteissä.

	Jäämäanalyysit		Viljavuusanalyysit					pH
	Glyfosaatti	AMPA	P HAAC	Ca HAAC	K HAAC	Mg HAAC	Maan hiili	
	$\text{mg kg}^{-1} \text{ ka}$	$\text{mg kg}^{-1} \text{ ka}$	mg l^{-1}	mg l^{-1}	mg l^{-1}	mg l^{-1}	C -% (ilmakuiva maa)	pH H_2O 1:2.5
Maakerros								
0 - 2,5 cm, keskiarvo	0,08	0,56	4,8	3131	281,5	685,4	3,34	6,41
(vaihteluväli)	(0,06 - 0,10)	(0,48 - 0,66)	(4,4 - 5,6)	(3007 - 3255)	(270,5 - 295,6)	(609,5 - 761,0)	(3,10 - 3,73)	(6,35 - 6,51)
2,5 - 25 cm, keskiarvo	0,10	0,59	4,4	3318	236,7	652,2	3,41	6,48
(vaihteluväli)	(0,09 - 0,11)	(0,55 - 0,67)	(3,9 - 5,0)	(3195 - 3455)	(207,0 - 254,7)	(600,7 - 735,6)	(3,07 - 3,77)	(6,43 - 6,56)

Käsittelyjen vaikutus maan ja vehnäsadon glyfosaatti- ja AMPA-pitoisuuksiin

Kaksi päivää vehnän puinnin jälkeen 25.10.2017 (162 päivää glyfosaattiruiskutuksen jälkeen) käsitteilyistä 1, 4, 5 ja 8 otetuista maanäytteistä analysoidut glyfosaatin ja AMPA:n pitoisuudet on esitetty taulukossa 2. Taulukossa 3 ne on esitetty niin, että syksyn analyysituloksista on vähennetty kevään taustapitoisuudet eli muutoksena keväästä syksyyn. Käsittelemättömissä ruuduissa sekä glyfosaatin että AMPA:n pitoisuudet olivat aavistuksen pienemmät kuin kevään taustanäytteissä molemmissa syvyyksissä. 0–2,5 cm pintakerroksessa ("pintakerros") sekä glyfosaatin pitoisuus (Taulukko 2) että glyfosaatin pitoisuuden lisäys (Taulukko 3) olivat käsittelyssä 4 (Roundup Bio $3,0 \text{ l ha}^{-1}$ + Sito Plus $0,5 \text{ l ha}^{-1}$) tilastollisesti merkitsevästi suuremmat kuin käsittelemättömässä käsittelyssä. Käsittelyssä 4 glyfosaatin pitoisuus $0,82 \text{ mg kg}^{-1}$ oli noin 16-kertainen käsittelemättömän pitoisuuteen ($0,05 \text{ mg kg}^{-1}$) nähden. Käsittelyssä 8 (35 %:inen AMS 200 l ha^{-1} + Roundup Bio 3 l ha^{-1}) glyfosaatin pitoisuus $0,53 \text{ mg kg}^{-1}$ oli pienempi kuin käsittelyssä 4, mutta ei tilastollisesti merkitsevästi. Käsittelyssä 5 (35

%:inen AMS 57 l ha⁻¹ + Roundup Bio 1 l ha⁻¹) pintakerroksen glyfosaattipitoisuus oli hyvin pieni (0,13 mg kg⁻¹) ja varsinkin pitoisuuden lisäys (0,05 mg kg⁻¹) oli erittäin pieni, eivätkä pitoisuudet käytännössä eronneet käsittelemättömän pitoisuuksista. 2,5–25 cm kerroksessa (”muokkauskerros”) glyfosaatin pitoisuudet ja käsittelyjen väliset erot olivat huomattavasti pienemmät, mutta sielläkin käsittelyssä 4 mitattu glyfosaattipitoisuus 0,11 mg kg⁻¹ oli suurin ja tilastollisesti merkitsevästi suurempi kuin käsittelemättömässä käsittelyssä (0,06 mg kg⁻¹). AMPA:n pitoisuuksissa ei havaittu tilastollisesti merkitseviä eroja käsittelyjen välillä. Pintakerroksessa AMPA:n pitoisuudet olivat käsittelyissä 4 ja 8, joissa Roundup Bion käyttömäärä oli 3,0 l ha⁻¹, kuitenkin lähes kaksinkertaiset sekä käsittelemättömään että käsittelyyn 5 (35 %:inen AMS 57 l ha⁻¹ + Roundup Bio 1 l ha⁻¹) nähden. Muokkauskerroksessa AMPA:n pitoisuudet olivat eri käsittelyssä hyvin samansuuruiset, eivätkä juuri poikenneet kevään taustapitoisuuksista. Kevään käsittelyt vaikuttivat siis ainoastaan pintakerroksen glyfosaatti- ja AMPA-pitoisuuksiin.

Vehnän satonäytteistä glyfosaatin tai AMPA:n jäämät olivat alle määritysrajan, joka oli 0,02 mg kg⁻¹ kuiva-ainetta kohti, joten glyfosaatti- eikä AMPA-jäämiä ei sadossa ole ainakaan käytetyillä annoksilla ja käyttötavoilla.

Taulukko 2. Glyfosaatin ja AMPA:n pitoisuudet puinnin jälkeen 25.10.2017 (162 päivää ruiskutuksesta ja 154 päivää vehnän kylvöstä) otetuissa maanäytteissä.

Näytteenottoyvyys		0 - 2,5 cm pintakerros		2,5 - 25 cm muokkauskerros		0 - 2,5 cm pintakerros		2,5 - 25 cm muokkauskerros	
Analysoitava aine		glyfosaatti		glyfosaatti		AMPA		AMPA	
Yksikkö		mg kg ⁻¹ ka		mg kg ⁻¹ ka		mg kg ⁻¹ ka		mg kg ⁻¹ ka	
Käs. nro	Käsittely								
1	Käsittelemätön	0,05	b	0,06	bc	0,55	a	0,50	a
4	Roundup Bio 3 l ha ⁻¹ + Sito Plus 0,5 l ha ⁻¹	0,82	a	0,11	a	1,02	a	0,80	a
5	35 % AMS 57 l ha ⁻¹ + Roundup Bio 1 l ha ⁻¹	0,13	b	0,10	ab	0,55	a	0,69	a
8	35 % AMS 200 l ha ⁻¹ + Roundup Bio 3 l ha ⁻¹	0,53	ab	0,05	c	0,99	a	0,40	a
Tukeyn HSD P=0.05 (% mean diff)		0,603 (158%)		0,049 (60%)		0,729 (94%)		0,407 (69%)	

Samalla kirjaimella merkityt keskiarvot eivät eroa tilastollisesti (P=0,05, Tukey HSD)

Taulukko 3. Glyfosaatin ja AMPA:n pitoisuuksien muutos ennen käsittelyä vallinneesta puinnin jälkeiseen.

Näytteenottoyvyys		0 - 2,5 cm pintakerros		2,5 - 25 cm muokkauskerros		0 - 2,5 cm pintakerros		2,5 - 25 cm muokkauskerros	
Analysoitava aine		glyfosaatti		glyfosaatti		AMPA		AMPA	
Yksikkö		mg kg ⁻¹ ka		mg kg ⁻¹ ka		mg kg ⁻¹ ka		mg kg ⁻¹ ka	
Käs. nro	Käsittely								
1	Käsittelemätön	-0,04	b	-0,04	bc	-0,01	a	-0,10	a
4	Roundup Bio 3 l ha ⁻¹ + Sito Plus 0,5 l ha ⁻¹	0,74	a	0,01	a	0,46	a	0,21	a
5	35 % AMS 57 l ha ⁻¹ + Roundup Bio 1 l ha ⁻¹	0,05	b	0,00	ab	-0,01	a	0,10	a
8	35 % AMS 200 l ha ⁻¹ + Roundup Bio 3 l ha ⁻¹	0,45	ab	-0,05	c	0,43	a	-0,20	a
Tukeyn HSD P=0.05 (% mean diff)		0,603 (200%)		0,049 (<1%)		0,729 (335%)		0,407 (9300%)	

Samalla kirjaimella merkityt keskiarvot eivät eroa tilastollisesti (P=0.05, Tukey HSD)

4.2. Ammoniumsulfaatin ja glyfosaatin tankkiseosten vaikutus rikkakasvien torjuntatehoon ja vehnäsatoon

4.2.1. Kevätvehnä 2017

Tehokkuushavainnoissa 14.6.2017 29 vrk ruiskutuksesta glyfosaatin täysi teho juolavehnään ja harvalukuisina esiintyneisiin pelto-orvokkiin ja voikukkaan oli tullut esiin ja esitetään taulukossa 4.

Taulukko 4. Visuaaliset havainnot 29 vrk rikkakasviruiskutuksesta eri ammoniumsulfaatin ja glyfosaatin tankkiseoksilla käsitellyissä suorakylvetyissä kevätsäätökasvustoissa Jokioisissa vuonna 2017 sekä saadut sadot.

Käs. nro	Käsittely	Juolavehnä, teho %		Pelto-orvokki, teho %		Voikukka, teho %		Kevätvehnäsato, kg ha ⁻¹	
		14.6.2017		14.6.2017		14.6.2017		23.10.2017	
1	Käsittelemätön	0	b	0	c	0	b	150	c
2	AMS 57 l ha ⁻¹	0	b	0	c	0	b	205	c
3	AMS 200 l ha ⁻¹	0	b	0	c	0	b	205	c
4	Roundup Bio 3 l ha ⁻¹ + Sito Plus 0.5 l ha ⁻¹	98	a	99	a	98	a	2196	a
5	Roundup Bio 1 l ha ⁻¹ + AMS 57 l ha ⁻¹	90	a	90	b	95	a	1890	ab
6	Roundup Bio 1 l ha ⁻¹ + AMS 200 l ha ⁻¹	89	a	90	b	94	a	1453	b
7	Roundup Bio 2 l ha ⁻¹ + AMS 57 l ha ⁻¹	96	a	99	a	97	a	2077	a
8	Roundup Bio 3 l ha ⁻¹ + AMS 57 l ha ⁻¹	98	a	99	a	98	a	1968	a

Ruiskutteen kokonaismäärä aina 200 l ha⁻¹

Samalla kirjaimella merkityt keskiarvot eivät eroa tilastollisesti (P=0.05, Tukey HSD)

Myös pienimmät glyfosaatin käyttömäärät tehosivat juolavehnään, pelto-orvokkiin ja voikukkaan hyvin (yli 90 % 29 vrk ruiskutuksesta), ja tehoerot olivat pienet. Roundup Bion normaali käyttömäärä 3,0 l ha⁻¹ torjui kaikki rikkakasvit lähes täydellisesti (98–99 % teho) riippumatta siitä, ruiskutettiin se normaalisti vesiliuoksessa tai AMS-liuoksessa. 1,0 l ha⁻¹ Roundup Bio-annoksella AMS:in kanssa saatiin myös melko hyvä teho kaikkiin rikkakasveihin (89–95 %). Koe ei kuitenkaan sisältänyt glyfosaatin pieniä käyttömääriä vesiliuoksessa, joten ei voida tietää, olisiko yhtä hyvä teho rikkakasveihin saavutettu pienillä käyttömäärillä myös ilman AMS:ia. Tiheä juolavehnä tukahdutti vehnän täysin käsitellyissä ilman glyfosaattia eikä satoa saatu juuri lainkaan (Taulukko 4). Vehnäsato jäi kuitenkin varsin heikoksi (1453–2196 kg ha⁻¹) glyfosaattikäsitelyissäkin. Vehnäsato oli pienin 1.0 l ha⁻¹ Roundup Bio -käsitelyssä täyden AMS-annoksen kanssa.

4.2.2. Kevätvehnä 2018

29 päivää ruiskutuksesta 13.6.2018 tehdyissä tehokkuushavainnoissa glyfosaattikäsittelyjen teho rikkakasveihin oli jo täysin kehittynyt, ja tulokset esitetään taulukossa 5.

Taulukko 5. Glyfosaatti + AMS, suorakylvetty Herttua -keväthehnä, Jokioinen 2018. Visuaalisesti havainnoitu teho rikkakasveihin 29 vrk ruiskutuksesta ja vehnäsato 19.9.2018.

Käs. nro	Käsittely	Juolavehnä teho %		Voikukka teho %		Piharatamo teho %		Saunakukka teho %		Kevätvehnä-sato kg/ha	
		13.6.2018		13.6.2018		13.6.2018		13.6.2018		19.9.2018	
1	Käsitlemätön	0	c	0	c	0	c	0	d	266	c
2	Roundup Bio 1 l ha ⁻¹ + Sito Plus 0.5 l ha ⁻¹	50	b	62	b	52	b	80	c	1368	b
3	Roundup Bio 2 l ha ⁻¹ + Sito Plus 0.5 l ha ⁻¹	91	a	81	ab	68	ab	91	ab	2542	a
4	Roundup Bio 3 l ha ⁻¹ + Sito Plus 0.5 l ha ⁻¹	97	a	91	a	79	a	100	a	2392	a
5	Roundup Bio 1 l ha ⁻¹ + AMS 200 l ha ⁻¹	48	b	60	b	55	b	85	bc	713	c
6	Roundup Bio 1 l ha ⁻¹ + AMS 57 l ha ⁻¹	53	b	60	b	53	b	85	bc	1619	b
7	Roundup Bio 2 l ha ⁻¹ + AMS 57 l ha ⁻¹	92	a	76	ab	80	a	98	a	2304	a
8	Roundup Bio 3 l ha ⁻¹ + AMS 57 l ha ⁻¹	100	a	91	a	85	a	98	a	2335	a

Ruiskutteen kokonaismäärä aina 200 l/ha

Samalla kirjaimella merkityt keskiarvot eivät eroa tilastollisesti (P=0.05, Tukey HSD)

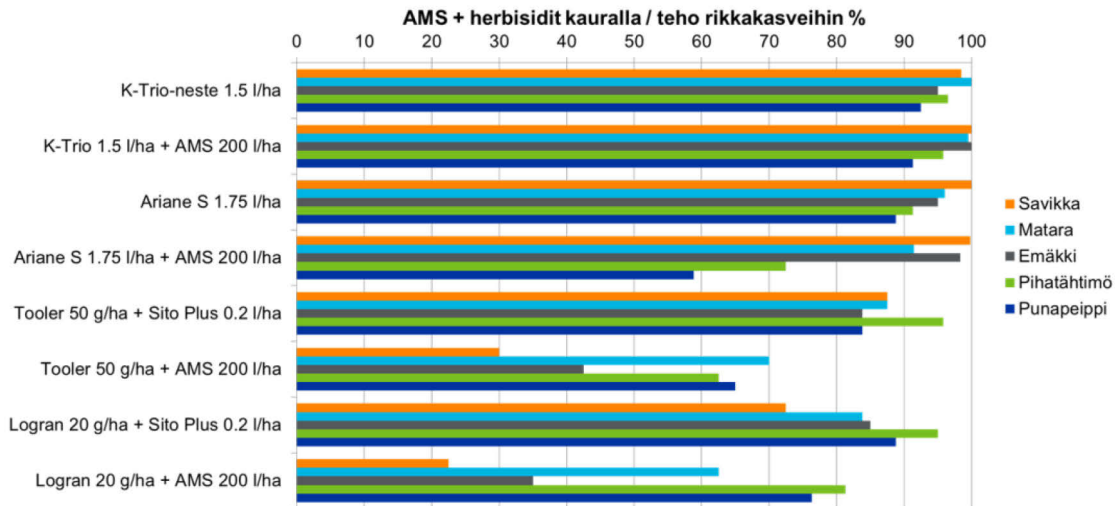
Roundup Bio tehosi 2.0 ja 3.0 l ha⁻¹ käyttömäärillä erittäin hyvin juolavehnään ja saunakukkaan (91–100 %), hyvin voikukkaan (76–91 %) ja kohtalaisesti piharatamoon (68–85 %) sekä Sito Plussan että AMS:in kanssa. Roundup Bion 1.0 l ha⁻¹ -käsittelyt tehosivat selvästi heikommin varsinkin juolavehnään (48–53 %) ja voikukkaan (60–62 %). Vesiliuoskäsittelyjen ja AMS-tankkiseoskäsittelyjen rikkakasvitehot olivat lähellä toisiaan vastaavilla Roundup Bion käyttömäärillä. Kuten edellisvuonna, juolavehnä kasvoi myös vuonna 2018 hyvin rehevästi, ja käsitlemättömän käsittelyn vehnäsato oli vain 266 kg ha⁻¹ (Taulukko 5). Parhaimmillaankin vehnäsato jäi vain noin 2500 kg ha⁻¹:aan. Tiheässä juolavehnäkasvustossa 1.0 l ha⁻¹ Roundup Bio -annosten heikko rikkakasviteho heijastui myös merkitsevästi heikompina vehnäsatoina (713–1619 kg/ha) kuin suurempien Roundup Bio -annosten (2304–2542 kg ha⁻¹). Roundup Bio 1.0 l ha⁻¹ täydellä AMS-annoksella tuotti erityisen heikon sadon (713 kg ha⁻¹). Tulosta selittää, että siinä käsittelyssä juolavehnän peittävyys oli jo ennen ruiskutusta suurempi kuin muissa käsittelyissä. Muiden herbisidien käyttö tankkiseoksena ammoniumsulfaatin kanssa kaurassa ja ohrassa 2017 ja 2018

4.3. Ammoniumsulfaatin ja muiden herbisidien tankkiseosten vaikutus rikkakasvien torjuntatehoon ja kauran ja ohran kasvuun ja satoon

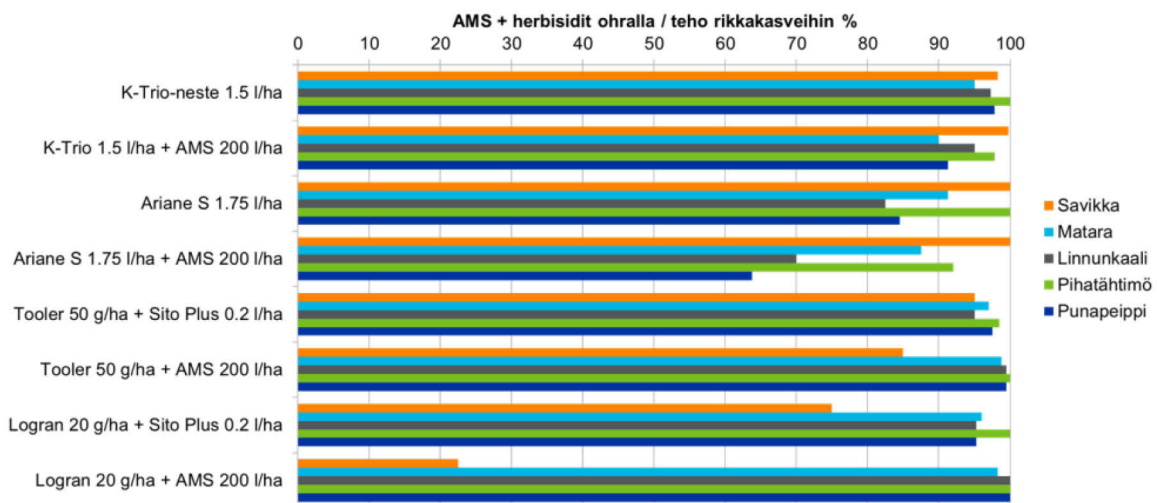
4.3.1. Kaura ja ohra 2017

Kaura- ja ohrakokeilta noin noin 1 kk ruiskutuksesta tehdyt tehokkuushavainnot kuvaavat käsittelyjen tehoa luotettavasti (kuvat 4 ja 5). Mm. jauhosavikkaan ja peltoemäkkiin sulfonyyliurea-almisteiden Tooler ja Logran 20 WG teho oli AMS:in kanssa ilman kiinnitettä heikompi kuin vesiliuoskassa Sito

Plus -kiinnitteen kanssa. Myös Ariane S:n teho näytti hiukan heikommalta AMS:in kanssa kuin vesiliuoksessa. Sen sijaan K-Trio -neste tehosi rikkakasveihin yhtä hyvin AMS -liuoksessa kuin vesiliuoksessa.



Kuva 4. Herbisidien torjuntateho ammoniumsulfatiliuoksessa ja vesiliuoksessa kaurakoikkeella Jokioissa havainnoituna visuaalisesti 29 vrk ruiskutuksesta (18.7.2017)



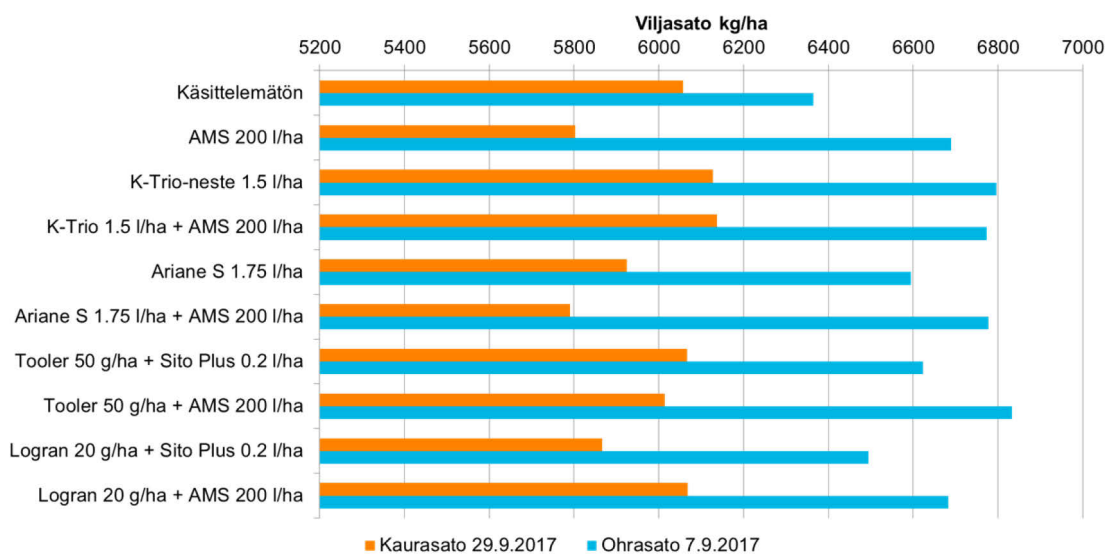
Kuva 5. Herbisidien torjuntateho ammoniumsulfatiliuoksessa ja vesiliuoksessa ohrakoikkeella Jokioissa havainnoituna visuaalisesti 30 vrk ruiskutuksesta (14.7.2017)

K-Trio -neste ja Ariane S aiheuttivat tankkiseoksessa AMS:in kanssa sekä kaurassa että ohrassa selvää viotusta, joka ilmeni pääasiassa kloroosina ja nekroosina viljojen lehdistä. Vioitusta edelsi havainto, että ruiskutuksen jälkeen kasvien lehtien pinnalle ilmestyi valkeita, suolamaista kiteitä (kuvat 6 ja 7). Vioitus oli pahimmillaan noin viikko ruiskutuksesta, mutta 2 viikkoa ruiskutuksesta viotusta oli enää vaikea havaita. Kesällä havaitut lehtivioitukset K-Trion - ja Ariane S:n tankkiseoksissa AMS:in kanssa eivät alentaneet kummankaan viljalajin satoa tilastollisesti merkitsevästi (kuva 8).



Kuva 6. (vasemmalla) Suolamaisia kiteitä lehtiä pinoilla Ariane S + AMS -koeruudusta Vipekka-ohralla 14.6.2017 heti ruiskutuksen jälkeen ruiskutteen kuivuttua.

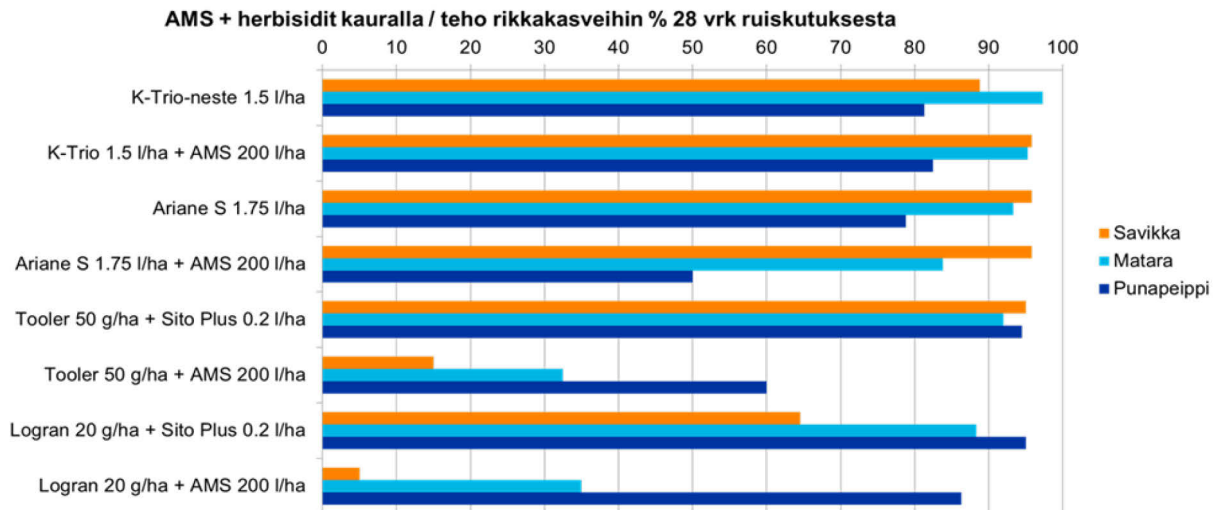
Kuva 7. (oikealla) Viljojen lehtiin ilmestyi tämän jälkeen selviä mutta parissa viikossa ohimeneviä polttovioituksia. Kuva 7 on samasta ohruudusta kuin kuva 6 viikko ruiskutuksesta 21.6.2017, jolloin vioitus oli pahimmillaan.



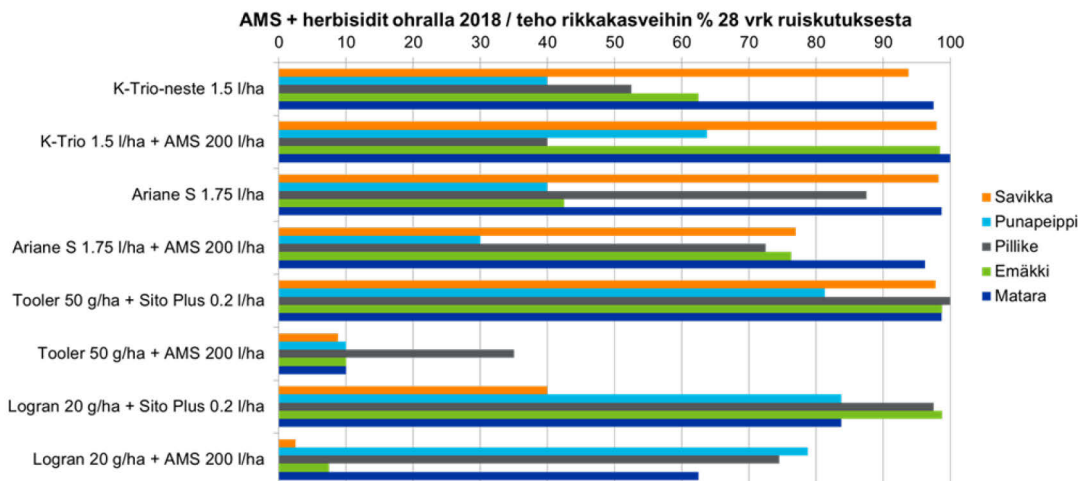
Kuva 8. Venla-kauran ja Vipekka-ohran sadot

4.3.2. Kaura ja ohra 2018

Molemmissa kokeissa pienannosvalmisteiden Tooler ja Logran 20 WG teho rikkakasveihin AMS:in kanssa ilman kiinnitettä oli selvästi heikompi kuin vesiliuoksessa kiinnitteen kanssa (kuvat 9 ja 10). Varsinkin Toolerilla tehoero oli dramaattinen. Ohrassa Tooler vesiliuoksessa Sito Plus -kiinnitteen kanssa torjui esimerkiksi jauhosavikasta 98 % mutta AMS-tankkiseoksessa ilman kiinnitettä vain 9 %. Kesän 2018 kuivissa oloissa kiinnitteen puuttuminen pienannosvalmisteiden ruiskuteliuoksesta oli ilmeisen kohtalokasta.



Kuva 9. AMS + herbisidit kauralla, Jokioinen 2018. Käsittelyjen visuaalisesti havainnoitu teho rikkakasveihin 6.7.2018 (28 vrk ruiskutuksesta)

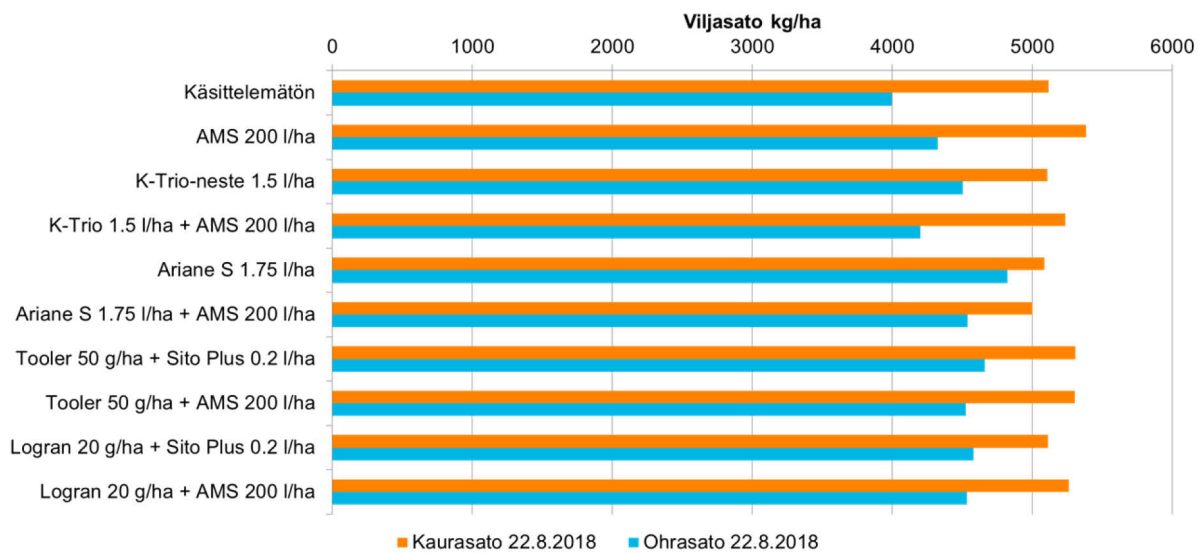


Kuva 10. AMS + herbisidit ohralla, Jokioinen 2018. Käsittelyjen visuaalisesti havainnoitu teho rikkakasveihin 9.7.2018 (28 vrk ruiskutuksesta)

AMS aiheutti myös viljelykasvivoituksia edellisen vuoden tapaan. AMS -tankkiseoskäsittelyssä K-Trio-nesteen ja Ariane S:n kanssa havaittiin ensin suolamaisia kiteitä kasvien lehdillä, minkä jälkeen ilmeni polttovioitusta kauran ja ohran lehdistä (kuva 11). Viljat toipuivat vooituksesta kuitenkin hyvin. Kesällä havaitut lehtivioitukset K-Trio + AMS - ja Ariane S + AMS - käsittelyissä eivät alentaneet kummankaan viljan satoa (kuva 12). Rikkakasvien määrä oli niin pieni, että myöskään tehoerot eivät heijastuneet viljasatoihin tilastollisesti merkitsevästi.



Kuva 11. AMS + K-Trio -tankkiseoksen vioitusta Alku-kauran lehdistä 14.6.2018, 6 päivää ruiskutuksesta. Hyvin samanlaista vioitusta havaittiin AMS + Ariane S -käsittelyssä, ja molemmissa käsittelyissä myös Edvin-ohralla.



Kuva 12. Alku -kauran ja Edvin -ohran sadot

5. Tulosten tarkastelu

5.1. Ammoniumsulfaatin ja glyfosaatin tankkiseokset

Vuonna 2017 glyfosaattikokeessa oli erittäin runsaasti ja tasaisesti juolavehnää, minkä ansiosta tehokkuushavainnot juolavehnästä ovat hyvin luotettavat. Pelto-orvokkia ja voikukkaa esiintyi melko harvalukuisina, mutta niistäkin pystyttiin tekemään melko luotettavat tehokkuushavainnot. Tehoerot ruiskutettujen käsittelyjen välillä olivat yllättävän pieniä: 29 päivää ruiskutuksesta havaitut tehot vaihtelivat välillä 89–99 %. Ainoastaan tehokkuudessa pelto-orvokkiin oli tilastollisesti merkitseviä eroja. Pienimmät Roundup Bio -annokset AMS:in kanssa tehosivat orvokkiin heikommin kuin muut Roundup Bio -käsittelyt. Vaikka pienilläkin $1,0 \text{ l ha}^{-1}$ Roundup Bio -käyttömäärillä AMS:in kanssa saatiin melko hyvät rikkakasvitehot, AMS:in mahdollinen glyfosaatin tehoa parantava vaikutus jäi osoittamatta, koska vuonna 2017 kokeesta puuttui Roundup Bion pieni annos vesiliuoksessa. Rehevän juolavehnäkasvuston vuoksi käsittelemättömistä ruuduista ei saatu käytännössä lainkaan vehnäsaatoa. Kaikissa ruiskutetuissa käsittelyissä vehnäsadot olivat tilastollisesti merkitsevästi suuremmat kuin käsittelemättömissä ja satomäärät kasvoivat melko loogisesti Roundup Bion käyttömäärän kasvaessa. Vehnäsato jäi kuitenkin heikoksi myös glyfosaattia saaneissa käsittelyissä, mikä johtui harvasta vehnästä ja mahdollisesti juolavehnan juurakoiden allelopaattisista vaikutuksista.

Vuoden 2017 glyfosaattikokeesta tehdyt glyfosaatin jäämäanalyysit osoittivat kokeelle keväällä 2017 levitetyn glyfosaatin pidättävän kasvukauden aikana pääasiassa maan pintakerrokseen (0–2,5 cm). 162 päivää ruiskutuksesta (25.10.2017) otetuista maanäytteistä tehtyjen analyysien mukaan Roundup Bio $3,0 \text{ l ha}^{-1}$ + Sito Plus nosti maan pintakerroksen glyfosaattipitoisuutta tilastollisesti merkitsevästi. Kun sama Roundup Bio -annos $3,0 \text{ l ha}^{-1}$ levitettiin täysin kylläisessä (35 paino-%) AMS-liuoksessa, maan pintakerroksen glyfosaattipitoisuus nousi myös, mutta ei tilastollisesti merkitsevästi. Tästä voisi päätellä, että AMS jollakin tavalla edistäisi glyfosaatin hajoamista maassa. AMS tankkiseoksessa ei kuitenkaan lisännyt glyfosaatin hajoamistuote AMPA:n pitoisuutta maan pintakerroksessa, mikä seikka on ristiriidassa edellisen johtopäätöksen kanssa. Pieni Roundup Bio -annos 1 l ha^{-1} pienen AMS-määrän kanssa ei nostanut maan pintakerroksen glyfosaatti- eikä AMPA-pitoisuutta käytännössä lainkaan. Näytti siis siltä, että niin pieni glyfosaattimäärä hajosi yhden kasvukauden aikana. Mikään käsittelyistä ei vaikuttanut syvemmän maakerroksen 2,5–25 cm glyfosaatti- tai AMPA-pitoisuuteen, vaan ne pysyivät ennen kevään ruiskutusta mitattujen taustapitoisuuksien tasolla.

Vuonna 2018 glyfosaattikokeella oli hyvin runsaasti ja tasaisesti juolavehnää kuten edellisvuoden kokeellakin. Vuoden 2018 kokeella oli lisäksi edellisvuoden koetta runsaammin ja monipuolisemmin leveälehtisiä rikkakasveja: käsittelyjen vaikutukset pystyttiin havainnoimaan varsin luotettavasti myös voikukasta, piharatamosta ja saunakukasta. Valitettavasti edellisvuoden tapaan myös 2018 kevätvehnä orastui heikosti ja hitaasti kuivan alkukesän vuoksi, ja sen kasvuun lähtö varmistui vasta kesäkuun puolivälin kastelun ja sen jälkeisten sateiden jälkeen. Jo ennen kokeen ruiskutusta ja ruiskutuspäivänä 15.5.2018 oli kuumaa ja kuivaa, mikä selittänee sitä, että kaikki kolme käsittelyä Roundup Bion pienimmällä annoksella $1,0 \text{ l ha}^{-1}$ tehosivat kaikkiin rikkakasveihin selvästi heikommin kuin suuremmat Roundup Bion käyttömäärät. Vuoden 2017 koetta ruiskutettaessa olot olivat selvästi viileämmät ja kosteammät, jolloin myös $1,0 \text{ l ha}^{-1}$ Roundup Bio-annos tehoi rikkakasveihin melko hyvin. Vuonna 2018 Roundup Bion ja AMS:in tankkiseokset tehosivat rikkakasveihin kaikilla Roundup Bion käyttömäärillä yhtä hyvin kuin vastaavat Roundup Bio -annokset vesiliuoksessa Sito Plussan kanssa. Kuivan alkukesän ja vehnän myöhäisen kasvuun lähdön vuoksi vehnän kasvu aika jäi lyhyeksi ja satotaso heikoksi. Käsittelyjen tehoerot rikkakasveihin heijastuivat loogisesti kevätvehnän satotuloksiin: suurimmat ja keskenään lähes samansuuruiset sadot ($2300\text{--}2500 \text{ kg ha}^{-1}$) saatiin Roundup Bion $2,0$ ja $3,0 \text{ l ha}^{-1}$ käyttömäärillä sekä vesiliuoksessa että AMS-tankkiseoksissa. Hieman yllättävää oli, että Roundup Bio $1,0 \text{ l ha}^{-1}$ täyden AMS-annoksen kanssa tuotti selvästi heikomman vehnäsadon

kuin muut kaksi käsittelyä samalla Roundup Bion käyttömäärällä. Ainakin osaksi tämä johtunee siitä, että juolavehnan peittävyys oli tuossa käsittelyssä jo ruiskutushetkellä suurempi (44 %) kuin muissa käsittelyissä (21–34 %). Siten vaikka kolmen Roundup Bio 1.0 l ha⁻¹-käsittelyjen tehokkuudet olivat keskenään samalla tasolla, rikkakasvien kilpailuvaikutus jäi lopulta suurimmaksi käsittelyssä, jossa rikkakasvien runsaus oli alun perin suurin.

Glyfosaattikokeiden yhtenä tavoitteena oli tutkia, voiko AMS:in käyttö tankkiseoksessa jopa parantaa pienten glyfosaattiannosten tehoa, kuten jo 1970–80 -luvuilla havaittiin (Suwunnamek & Parker 1975, Turner & Loader 1980, O’Sullivan ym. 1981). Jo tuolloin kuitenkin nähtiin, että suuret AMS-konsentraatiot (AMS yli 10 % w/v eli yli 100 g l⁻¹) voivat toimia antagonistisesti eli haitata glyfosaatin tehoa rikkakasveihin. Siksi Nesteravinne-hankeessakin suurin osa glyfosaattikokeiden tankkiseokäsittelyistä sisälsi maltillisesti eli noin 12 % w/v AMS:ia (57 litraa 35 % w/w AMS-liuosta 200 litrassa ruiskutetta). Tosin tankkiseoksessa testattiin myös täysin kylläistä AMS-liuosta (35 %), mikä tarkoittaa 42 % w/v eli 420 g l⁻¹. AMS:in käyttö ruiskutteessa ei näyttänyt vaikuttavan Roundup Bio -valmisteen tehoon kumpanakaan koevuonna. Roundup Bio tehosi molempina vuosina kaikilla testatuilla käyttömäärillä vesiliuoksessa Sito Plus -kiinnitteen kanssa kaikkiin kokeissa esiintyneisiin rikkakasveihin yhtä hyvin kuin AMS-tankkiseoksissa vastaavilla Roundup Bion käyttömäärillä. Täydet vertailusarjat Roundup Bion kaikilla käyttömäärillä 3,0, 2,0 ja 1,0 l ha⁻¹ tosin toteutettiin vain 2018. Sen kokeen tulosten perusteella AMS toimi Roundup Bion kanssa siis yhtä hyvin kuin Sito Plus. Molempina vuosina kokeista tosin valitettavasti puuttui Roundup Bio vesiliuoksessa ilman kiinnitettä, joten emme voi tietää, oliko Sito Plus -kiinnitteellä tai AMS:illa yleensä vaikutusta Roundup Bion tehoon. Edellämmainituissa 1970–80 -lukujen tutkimuksissa AMS:in todettiin parantavan glyfosaattivalmisteiden tehoa, kun seoksen tehoa verrattiin glyfosaattivalmisteen tehoon ilman kiinnitettä. Sekä vuonna 2017 että vuonna 2018 suuri AMS -määrä 1,0 l ha⁻¹ Roundup Bio -annoksen kanssa tuotti selvästi heikommän vehnäsadon, vaikka teho rikkakasveihin ei näyttänyt sen heikommalta kuin sama Roundup Bio -annos pienemmällä AMS -määrällä. Vuoden 2018 kokeessa kyseisen käsittelyn heikko vehnäsato selittyy ainakin osin sillä, että juolavehnan peittävyys oli siinä käsittelyssä muita suurempi.

Yhteenvetona glyfosaattikokeista voidaan todeta, että kun AMS:ia käytettiin Roundup Bion kanssa Sito Plus -kiinnitteen sijasta tankkiseoksessa 12 % w/v väkevyytenä, se ei heikentänyt rikkakasvien torjuntatulosta eikä suorakylvetyn vehnän kasvua. Näiden kokeiden perusteella voidaan siis todeta, että kyseinen AMS -väkevyyden toimi Roundup Bion kanssa yhtä hyvin kuin Sito Plus. Vuoden 2017 jäämätulosten perusteella näyttää siltä, että kun kevään Roundup Bio -annos rajoitetaan 1.0 l ha⁻¹:aan, keväällä levitetty glyfosaatin määrä voi hajota syksyyn mennessä. Näin pienellä käyttömäärällä on kuitenkin riskinä, että teho rikkakasveihin jää heikommaksi kuin suuremmilla, yli 2,0 l ha⁻¹ käyttömäärillä. Riski on suurin jos joudutaan ruiskuttamaan epäedullisissa olosuhteissa kuten vuoden 2018 kuivuudessa. Vuoden 2017 kokeessa osoitettiin myös selvästi, että glyfosaatti- tai AMPA-jäämiä ei ole löydettävissä vehnän jyväsadosta, kun glyfosaattia käytetään keväällä ennen kylvöä.

On kuitenkin huomattava, että näissä kokeissa AMS:ia käytettiin tankkiseoksissa varsin suurina pitoisuuksina, koska tavoiteltiin myös lannoitusvaikutusta. Jo 1970–80 -luvuilla todettiin että jos AMS-pitoisuus on yli 10 % ruiskutteen tilavuudesta, se voi haitata glyfosaatin tehoa (Suwunnamek & Parker 1975, Turner & Loader 1980, O’Sullivan ym. 1981). AMS:in käyttöä suositellaan maailmalla edelleen glyfosaatin ja eräiden muiden herbisidien tehon parantamiseen erityisesti jos ruiskutteessa käytetty vesi on ”kovaa” eli sisältää paljon kationeja (mm. alumiini, kalsium, rauta, magnesium, kalium, sinkki) (Manucheri ym. 2018). Maailmalla on markkinoilla erityisesti herbisidien kanssa käytettäväksi tarkoitettuja ammoniumsulfaattivalmisteita, esimerkiksi Kanadassa (Ammonium Sulphate Utility Modifier) ja Australiassa (Agsure Ammonium Sulphate Adjuvant), joiden käyttöohjeissa ammoniumsulfaatin käyttömääräksi suositellaan yleensä alle 1 kg 100 litrassa ruiskutetta. Se on alle kymmenesosa tässä hankkeessa glyfosaatin kanssa testatusta ”pienestä” käyttömäärästä noin 12 kg 100 litrassa ruiskutetta.

5.2. Ammoniumsulfaatin ja muiden herbisidien tankkiseokset

Ohra- ja kaurakokeet 2017 ja 2018 paljastivat selvästi pari hankalaa ongelmaa AMS:in käytöstä tankkiseoksissa viljojen herbisidien kanssa. Ensinnäkin jo esitesteissä havaittu ongelma pienannosherbisidien huonosta liukenevuudesta väkevään AMS-liuokseen pakotti liuottamaan Toolerin ja Logranin pieneen määrään puhdasta vettä ennen AMS-liuokseen sekoittamista. Toiseksi, koska myöskään kiinnite Sito Plus ei liuennut AMS-liuokseen, sitä ei voinut käyttää pienannosherbisidien kanssa, vaikka niiden käyttöohjeet edellyttävät kiinnitteen käyttöä tehon varmistamiseksi. Ilmeisesti kiinnitteen puuttuminen oli tärkein syy siihen, että AMS:in ja pienannosvalmisteiden tankkiseosten teho rikkakasveihin jäi heikoksi erityisesti kuivissa olosuhteissa vuonna 2018. K-Trio ja Ariane S -valmisteiden ja AMS:in tankkiseosten käytössä ilmeni toisenlainen ongelma. Kaikissa neljässä kenttäkokeessa AMS-tankkiseokset K-Trion ja Ariane S:n kanssa aiheuttivat suolamaisia kiteitä kasvien lehtien pinnalle ja ilmeisesti niiden seurauksena melko vakavia lehtivioituksia viljoille. Vioitukset olivat varsin selviä sekä Vipekka- että Edvin- ohrilla kuten myös Venla- ja Alku-kauralla.

Hieman yllättävää oli, että vaikka AMS-tankkiseokset herbisidien kanssa aiheuttivat ongelmia sekä herbisidien tehokkuuden että valikoivuuden kannalta, käsittelyjen satovaikutukset olivat vähäisiä. Toisaalta sekä vioitusoireet viljoissa että rikkakasvitehon heikkeneminen olivat pahimmillaan niin huomiota herättäviä, että viljelijä tuskin voisi sellaisia hyväksyä, herbisidien valmistajista ja jakelijoista puhumattakaan. On kuitenkin huomattava, että hankkeen ohra- ja kaurakokeissa AMS:ia käytettiin tankkiseoksissa mahdollisimman suurina pitoisuuksina, koska tavoiteltiin pääasiassa lannoitusvaikutusta. Tavoitteenahan oli tutkia, voisiko AMS:ia levittää lannoitustarkoituksessa kasvinsuojeluruiskulla yhdistäen sen levityksen rikkakasviruiskutukseen. Maailmalla kiteistä ammoniumsulfaattia suositellaan glyfosaatin ja joidenkin muiden herbisidien tehon parantamiseen, mutta huomattavasti pienempinä pitoisuuksina kuin tässä projektissa testattiin eli yleensä alle 1 kg 100 litrassa ruiskutetta (Agsure Ammonium Sulphate Adjuvant, Ammonium Sulphate Utility Modifier).

Alun perin hankkeessa oli tarkoitus toistaa kenttäkokeet vielä kolmantena vuonna 2019. Koetulokset vuosilta 2017 ja 2018 olivat kuitenkin niin yksiselitteiset, ettei kolmannen vuoden kokeille ollut tarvetta. Koevuosien keskenään erilaiset sääolosuhteet (viileä ja sateinen 2017 ja kuiva ja kuuma 2018) takasivat myös riittävän olosuhdevaihtelun luotettavien johtopäätösten pohjaksi.

6. Johtopäätökset

Tulosten perusteella voidaan päätellä, että ammoniumsulfaattia ei kannata lisätä herbisidien kanssa tankkiseokseen sellaisia määriä, joilla olisi merkittävää lannoitusvaikutusta. Keskeisin ongelma on se, että ammoniumsulfaatti ei ole yhteensopiva yleisesti käytettyjen kiinnitteiden kanssa, joiden käyttö on olennaista erityisesti pienannosherbisidien kanssa. Ongelma koskee kaikkia niitä valmisteita, joiden tehon kannalta kyseiset kiinnitteet ovat välttämättömiä. Tutkimuksen tulosten perusteella ei voida ottaa kantaa ammoniumsulfaatin käyttöön tankkiseoksena esimerkiksi sellaisten glyfosaattituotteiden kanssa, joiden teho ei edellytä kyseisten kiinnitteiden käyttöä.

Erityisesti viljakasvustoon ruiskutettujen herbisidien K-Trio, Ariane S, Tooler ja Logran sekoittamisesta AMS:in kanssa ilman kiinnitettä saatiin huonoja kokemuksia: teho rikkakasveihin heikkeni tai viljoihin aiheutui lehtivioituksia. Roundup Bio:n ja AMS:in tankkiseokset toimivat paremmin, mutta eivät sen paremmin kuin Roundup Bio vesiliuoksessa Sito Plus -kiinnitteen kanssa.

Vuoden 2017 glyfosaattikokeen tuloksista voidaan päätellä, että pienentämällä glyfosaattiannos ohjeen mukaisesta kolmannekseen voidaan maan pintakerroksen glyfosaattijäämiä pienentää radikaalisti. AMS ei näytä parantavan glyfosaatin tehoa, jos valmisteen käyttöohjeen mukainen kiinnite joudutaan samalla jättämään pois. Toisaalta AMS näyttää toimivan Roundup Bion kanssa yhtä hyvin kuin Sito Plus -kiinnite. Hyvissä olosuhteissa glyfosaatin teho rikkakasveihin voi olla riittävä myös pienellä annoksella (Roundup Bio 1,0 l ha⁻¹) sekä Sito Plus-kiinnitteen että AMS:in kanssa, jolloin tehoaine näyttää voivan hajota kasvukauden aikana ja sen huuhtoutumisriski pienenee. Glyfosaatin käyttömäärän pienentäminen voi johtaa kuitenkin riittämättömään tehoon rikkakasveihin epäedullisissa olosuhteissa, kuten vuoden 2018 kuivuudessa nähtiin. Vuoden 2017 kokeen perusteella glyfosaattitai AMPA -jäämiä ei ole löydettävissä vehnän jyväsadosta, kun glyfosaattia käytetään keväällä ennen kylvöä.

7. Viitteet

- Agsure Ammonium Sulphate Adjuvant. Australian label text. Saantitapa:
https://eldersrural.com.au/wp-content/uploads/sites/3/2017/09/Ammonium-Sulphate-reistered-elabel-84443_110423-170817.pdf
- Ammonium Sulphate Utility Modifier. Canadian label text. Saantitapa:
<https://www.cropscience.bayer.ca/-/media/Bayer-CropScience/Country-Canada-Internet/Products/Ammonium-Sulphate/Ammonium-Sulphate-Label.ashx?la=en&hash=6F8F4309E9DB44CF3DDA69D95405161792166570>
- Borggaard, O. K. & Gimsing, A. L. 2008. Fate of glyphosate in soil and the possibility of leaching to ground and surface waters: a review. *Pest Management Sciences* 64: 441–549.
- Cressey, D. 2015. Widely used herbicide linked to cancer. *Nature*. doi:10.1038/nature.2015.17181.
- Duke, S. O. & Powles, S. B. 2008. Glyphosate: a once-in-a-century herbicide. *Pest Manag. Sci.* 64, 319–325.
- ECHA 2017. Glyphosate not classified as a carcinogen by ECHA. Saantitapa:
<https://echa.europa.eu/fi/-/glyphosate-not-classified-as-a-carcinogen-by-echa>
- EU:n virallinen lehti 2016. Komission täytäntöönpanoasetus (EU) 2016/1313, annettu 1 päivänä elokuuta 2016, täytäntöönpanoasetuksen (EU) N:o 540/2011 muuttamisesta tehoaineen glyfosaatti hyväksymisedellytysten osalta. Euroopan unionin virallinen lehti. L 208. 59. vuosikerta, 2. elokuuta 2016.
- European Commission 2017. Renewing the approval of the active substance glyphosate in accordance with Regulation (EC) No 1107/2009. Saantitapa:
https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/plant/docs/pesticides_glyphosate_commission_proposal_final_version.pdf
- Hallgren, E. & Nilsson, J. 1989a. Bekämpning av kvickrot (*Elymus repens*) med Roundup (Glyfosat) och tillsatsmedel. Resultat från ett växthusförsök och ett fältförsök. Sveriges lantbruksuniversitet. 30:e svenska växtskyddskonferensen, Uppsala 1-2 februari 1989, Ogräs och ogräsbekämpning. Vol 1. Rapport. Uppsala. 248–255.
- Hallgren, E. & Nilsson, J. 1989b. Inverkan av Roundup (Glyfosat) med och utan tillstasmedel på effekten mot kvickrot (*Elymus repens*) vid olika temperaturer. Ett klimatkammerförsök. Resultat från ett växthusförsök och ett fältförsök. Sveriges lantbruksuniversitet. 30:e svenska växtskyddskonferensen, Uppsala 1-2 februari 1989, Ogräs och ogräsbekämpning. Vol 1. Rapport. Uppsala. 257–265.
- Juvonen, J. & Gustavsson, J. 2015. Suomen ympäristökeskus ja Ympäristöministeriö . Ohje pohjaveden määrällisen ja kemiallisen tilan luokitteluun — päivitetty arviointiperusteet. 19 s.
- Laitinen, P. 2009. Fate of the organophosphate herbicide glyphosate in arable soils and its relation to soil phosphorus status. Doctoral Dissertation. MTT Science 3. 140 s. Saantitapa:
http://www.lemn.org/ResearchNeedsWorkshop44/Laitinen_Dissertation_Glyphosate.pdf
- Luken maataloustilasto [verkkajulkaisu]. Helsinki: Luonnonvarakeskus [viitattu: 29.10.2019].
 Saantitapa: <https://statdb.luke.fi>
- Malin, I. ym. 2014. Torjunta-aineet Lahden pohjavesissä 2000–2013. Lahden seudun ympäristöpalvelut. 25 s.
- Manuchehri, M. R., Dotray, P. A., Keeling, J. W., Morris, T. S., Morgan, G. D. & Woodward, J. E. 2018. Influence of Water Quality and Ammonium Sulfate on Glyphosate Efficacy. *Journal of Experimental Agriculture International* 23(5): 1-7.
- Mukula, J. & Salonen, J. 1990. Rikkakasvien kemiallinen torjunta. Herbisidit ja niiden käyttö. Kasvinsuojeluseuran julkaisu N:o 81. Vammalan Kirjapaino Oy. 79 s.
- O’Sullivan, P. A., O’Donovani, J. T. & Hamman, W. M. 1981. Influence of non-ionic surfactants, ammonium sulphate, water quality and spray volume on the phytotoxicity of glufosate. *Can. J. Plant Sci.* 61: 391–400.

- Peltonen, S. 2016. Glyfosaatin käyttö maataloudessa. Glyfosaatin ympäristökuormituksen vähentäminen (GlyFos II) -hankkeen aloitusseminaari, Ruissalo, Turku 1. syyskuuta 2016. Saantitapa: <https://www.luke.fi/projektit/glyfos-ii/>
- Peltonen, S. (toim.) 2019. Peltokasvien kasvinsuojelu 2019. ProAgria Keskusten Liiton julkaisuja 1160. Grano Oy, Vaasa 2019. 71 s.
- Pratt, D., Kells, J. J. & Penner, D. 2003. Substitutes for Ammonium Sulfate as Additives with Glyphosate and Glufosinate. *Weed Technology* 17: 576–581.
- Siimes, K. 2016. Glyfosaatin hajoaminen suomalaisessa peltomaassa. Glyfosaatin ympäristökuormituksen vähentäminen (GlyFos II) -hankkeen aloitusseminaari, Ruissalo, Turku 1. syyskuuta 2016. Saantitapa: [https://www.luke.fi/projektit/glyfos-ii.](https://www.luke.fi/projektit/glyfos-ii/)
- Suwunnamek, U. & Parker, C. 1975. Control of *Cyperus rotundus* with glyphosate: the influence of ammonium sulphate and other additives. *Weed Research* 15: 13–19.
- Turner, D. J. & Loader, M. P. C. 1980. Effect of ammonium sulphate and other additives upon the phyto-toxicity of glyphosate to *Agropyron repens* (L.) Beauv. *Weed Research* 20: 139–146.
- Valavanidis, A. 2018. Glyphosate, the Most Widely Used Herbicide. Health and safety issues. Why scientists differ in their evaluation of its adverse health effects. www.chem-tox-ecotox.org/ScientificReviews
- Woznica, Z., J. D. Nalewaja, C. G. Messersmith, and P. Milkowski. 2003. Quinclorac efficacy as affected by adjuvants and spray carrier water. *Weed Technology* 17: 582–588.



luke.fi

Luonnonvarakeskus
Latokartanonkaari 9
00790 Helsinki
puh. 029 532 6000