

Mistä fosforia nurmelle?

Suomalainen, suhteellisen nuori maaperä sisältää runsaasti fosforia, joka kuitenkin on enimmäkseen niukkaliukoista. Myös maan kyky pidättää lannoitefosforia vaikealiukoiseen muotoon on suuri, jolloin helppoliukoisen fosforin pitoisuuden nostamiseen kivennäismailla on tarvittu runsaasti fosforilannoitusta. Vuosina 1960–1990 fosforia ja myös muita kasviravinteita käytettiinkin paljon, jotta saatiin suurempia satoja. Perintönä maahan pidättyneen fosforivaraston arvellaan olevan noin tuhat kiloa hehtaarilla, mutta sen käyttökelpoisuudesta nurmilla tiedetään vain vähän.

■ Teksti: Arja Mustonen, Perttu Virkajärvi, Markku Yli-Halla

■ Kuvat: Sanna Kykkänen, Pirjo Mälkiä



Vuosien varrella noin 90 prosenttia suomalaisista maataloista on ollut maatalouden ympäristöohjelman piirissä. Samalla tilojen typen ja fosforin käyttö on vähentynyt.

Ympäristöohjelman vaikuttavuutta raportoidaan esimerkiksi peltojen fosforitaseena. Vuosina 1960–1990 fosforitase oli noin +25 kg hehtaarille, mutta 2010–2020 tase oli enää +4,4 ki-
loa hehtaarille.

Samaan aikaan maan helpoliukoisen fosforin määrä on

Maaninka	Kokovilja			Nurmi		
	N	P	K	N	P	K
	Kg/ha/v			Kg/ha/v		
Fosforiton lannoitus	90	0	48	208	0	34
Superfosfaattilannoitus	90	25	48	208	14	34
Lietelanta	90/144*	18	115	177/205*	13	73
Ruukki	Kokovilja			Nurmi		
	N	P	K	N	P	K
	Kg/ha/v			Kg/ha/v		
Fosforiton lannoitus	84	0	69	202	0	125
Superfosfaattilannoitus	84	25	69	202	14	125
Lietelanta	69/122*	16	114	188/202*	11	126

*) liukoinen typpi/kokonaistyyppi

Luonnonvarakeskuksella tutkitaan, millaisessa muodossa olevaa fosforia nurmi käyttää sadonmuodostukseen. Kuva neljännen nurmikierron lopusta Maaningalta, vuodelta 2020 ennen ensimmäistä niittoa. Suoraan edessä näkyy fosforittoman lannoituksen koejäsen.



yleisesti kääntynyt laskuun ja viljelijöiden huoli fosforin riittävydestä sadonmuodostukseen ja eläinravitsemuksen tarpeisiin on kasvanut.

Viime aikoina huolta ovat lisänneet myös fosforilannoituksen sääntelyn muutos vapaaehtoisesta lakisääteiseksi sekä lannoitteiden korkeat hinnat.

Satoa olisi kuitenkin saatava, samalla kun paineet kulujen vähentämiseksi ovat melkoiset. Typpilannoituksesta tinkiminen heijastuu helposti satoon, mutta voisiko fosforilannoituksesta tilapäisesti tinkiä?

Poikkeuksellisen pitkä fosforiseuranta

Luonnonvarakeskuksen Maaningan ja Ruukin toimipaikoilla nurmen fosforilannoitusta on tutkittu kenttäkokeessa, joka on jatkunut jo 20 vuotta.

Nurmea on lannoitettu maatalouden ympäristöohjelman sallimien ravinnerajojen puitteissa ja erilaisia nurmen fosforilannoituskäytäntöjä soveltaen. Koe alkoi vuonna 2003 ja se jatkuu edelleen.

Kokeessa käytetään erilaisia fosforilannoitteita sekä lannoituskäytäntöjä. Maalaji Maaningalla on vähämultainen karkea hieta ja Ruukissa multava karkea hieta.

Maaningalla pH on vaihdellut välillä 6,0–6,5 ja Ruukissa välillä 6,2–6,6. Täysiä nurmikiertoja on ollut neljä, ja perustamisessa on käytetty kokoviljaohraa vuosina 2003, 2007, 2012 ja 2017.

Viljavuusfosforin pitoisuus maassa syksyllä 2003 oli Maaningalla 16,6 mg/l ja Ruukissa 15,7 mg/l, eli viljavuusluokan tyydyttävän ylälaidassa.

Tässä artikkelissa esitellään kolmen tärkeimmän koejäsenen tulokset. Valitut koejäsenet ovat fosforiton lannoitus (P0), superfosfaattilannoitus (Psf) ja lietelantafosfori (P-Liete).

Näiden koejäsenten ruuduita on tehty kattava maan fosforianalyysi, josta tutkittiin fosforivarojen muutosta aloitusvuonna 2003 ja neljännen nurmikierron viimeisenä vuotena, 2020.

Tarkoitus on selvittää, mistä maan fosforijakeesta nurmi on ottanut fosforia kokeen aikana, lannoitteena annettun fosforin lisäksi. Annetut ravinteet näkyvät yllä olevassa taulukossa.

Fosforivarasto on erilaisissa jakeissa

Fosfori annettiin superfosfaattilannoituksena keväällä pintaan ja lietelantafosfori perustamisen yhteydessä lannassa sekä toisesta nurmikerrosta alkaen ensimmäisen niiton jälkeen, letkulevitystä mukaillen. Neljännen nurmikierron alkaen lietelantakoejäsen sai toiselle sadolle myös lisätyypeä väkilannoitteena.

Nurmisato korjattiin kaksi tai kolme kertaa. Sadon määrä laskettiin vuosien 2003–2020 kokoviljan ja nurmen kumulatiivisena kuiva-ainesatona.

Kullekin nurmikierrolle laskettiin ensimmäisen sadon



Helppoliukoisien fosforin saatavuuserot näkyivät sadon fosforipitoisuuksissa. Ruokinnassa rypsi tai kivennäiset täydentävät nautojen fosforitarvetta.

keskimääräinen nurmen fosforipitoisuus. Maan viljavuusfosfori määritettiin happamalla ammoniumasetattiutolla, jota Suomessa käytetään lannoitus-suositusten pohjana.

Tarkempi maan fosforivarojen erittely tehtiin Hedleyn peräkäisten uuttojen menetelmällä. Siinä ensin kahdella vesiuutolla (H₂O) ja sitten natriumbikarbonaatilla (NaHCO₃) uutetaan helpoliukoista fosforia.

Sitten natriumhydroksidilla (NaOH) uutetaan raudan (Fe) ja alumiinin (Al) oksideihin sitoutunut fosfori. Lopuksi jäännösfosfori uutetaan suolahapolla (HCl).

Vesiuuttojen summa vastaa karkeasti viljavuustutkimuksen helpoliukoista fosforia.

Toisin kuin monissa muissa uuttomenetelmissä, Hedleymenetelmällä voidaan laskea myös eri jakeisiin uuttuneet

epäorgaaninen fosfori (Pe) ja orgaanin fosfori (Po), jolloin tuloksista voidaan tarkastella epäorgaanisen ja orgaanisen fosforin suhteita.

Fosforin luonnollisessa kierrossa orgaanisella fosforilla on suuri merkitys, sillä se on osa orgaanisen aineksen kiertoa.

Lannoitus lisäsi nurmen fosforipitoisuutta

Keskimääräiset nurmisadot olivat lähes 10 tonnia kuiva-ainetta hehtaaria kohti vuodessa, kokoviljalla vähemmän.

Neljän nurmikierron kumulatiivinen nurmi- ja kokoviljasato oli Maaningalla yhteensä keskimäärin 144 tonnia kuiva-ainetta hehtaarilta ja Ruukissa 154 tonnia kuiva-ainetta hehtaarilta.

Lannoitusten välillä ei juurikaan ollut satoeroja; ainoastaan Maaningalla lietelantafosfori tuotti noin 15–20 tonnia pie-

nemmän kumulatiivisen sadon kuin fosforiton lannoitus ja lannoitus superfosfaatilla, mikä johtui todennäköisesti matalammaksi jääneestä liukoisien typen määrästä sekä typen haihtumisesta pintalevityksessä.

Vaikka lannoitus ei lisännyt rehusatota, molemmat lannoitukset lisäsivät nurmen fosforipitoisuutta. Helppoliukoisien fosforin saatavuuserot näkyivät puolestaan nurmen matalampaan fosforipitoisuuteen.

Ensimmäisellä nurmikierrolla fosforipitoisuudet vaihtelivat Maaningalla välillä 3,1–3,3 grammaa kuiva-ainekilossa ja Ruukissa välillä 2,7–2,9 grammaa kuiva-ainekilossa.

Neljännessä kierrossa nurmen fosforipitoisuus laski Maaningalla selvästi, välille 2,1–2,3 grammaa kuiva-ainekiloa kohti. Maaningalla lasku oli samanlaisia kaikilla lannoituksilla (-30 %).

Ruukissa neljännen nurmikierron fosforipitoisuus laski merkittävästi vain fosforittomalla lannoituksella ollen keskimäärin 2,4 grammaa kuiva-ainekiloa kohti.

Molemmilla koepaikoilla nurmen fosforipitoisuus oli matalampi fosforittomalla lannoituksella kuin lannoitettaessa superfosfaatilla tai lietteellä, joilla nurmen fosforipitoisuudet eivät eronneet toisistaan.

Nurmirehun fosforipitoisuudet ovat kuitenkin edelleen tasolla, jolla lypsykarja saa riittävästi fosforia, jos ruokinnassa käytetään rypsiä. Lihakarjalla täydennys voidaan tehdä kivennäisillä.

Viljavuusfosfori laski välttävälle tasolle

Runsaat sadot johtivat suureen fosforin ottoon ja negatiiviseen fosforitaseeseen (ks. oheinen taulukko). Fosforitase oli merkittävästi negatiivisempi fosforittomalla lannoituksella kuin fosforilannoitusta saaneilla koejäsenillä.

Vuosittainen alijäämä oli fosforittomalla lannoituksella 19–23 kg/ha negatiivinen. Fosforilannoitus lisäsi fosforinottoa ja pienensi tasealijäämää noin puoleen tai enemmän.

Silti myös fosforilannoitetuilla koejäsenillä tase oli vuositasolla huomattavan negatiivinen, Maaningalla reilu 6 kg ja Ruukissa 9–11 kg negatiivinen.

Tasealijäämän seurauksena maan viljavuusfosfori laski kokeen aikana. Lannoitetuilla koejäsenillä lasku tapahtui viljavuusluokan tyydyttävä sisällä.

Maaningalla viljavuusfosfori oli lopussa 13,0 milligrammaa litrassa, eli -23 % syksy 2003 matalampi, mutta fosforilietteellä havaittu lasku (-9 %) ei ollut merkittävä.

Ruukissa sen sijaan sekä superfosfaatilannoitus että liete-lannoitus johtivat viljavuusfosforin pitoisuuden laskuun 13,5 milligrammaan litralta (-34 %).

Molemmilla paikkakunnilla fosforittomalla lannoituksella viljavuusfosfori laski syksyn 2003 tyydyttävästä luokasta välttä-

	Maaninka 2003–2020			Ruukki 2003–2020		
	P-anto	P-otto	P-tase	P-anto	P-otto	P-tase
Fosforiton lannoitus	0	346	-344	0	412	-412
Superfosfaatilannoitus	282	384	-101	282	439	-157
Lietelanta	230	347	-117	198	414	-198

vään: Maaningalla pitoisuus oli lopussa 9,3 ja Ruukissa 8,4 mg/l.

Vähennys oli suuri, -43 ja 45 %, ja pitoisuus alitti vanhan satovasterajan 10 mg/l. Välttävää luokkaa luonnehditaankin viljavuustutkimuksessa punaisella korostamaan vanhaa satovasterajaa.

Fosforivarannot koelohkoilla

Koska viljavuusfosforin määrä ei selittänyt satovastetta, tarvittiin tietoa vähemmän liukoisista fosforijakeista ja varaston koosta maassa.

Hedley-uuton mukaan kokeen alussa kyntökerroksen (0–20 cm) fosforikokonaisvarastot olivat suuret, mutta eivät poikkeukselliset; Maaningalla hieman yli 4200 kiloa ja Ruukissa 2700 kiloa hehtaarilla. Ruukissa määrä on lähellä kivennäismaiden keskitasoa, kun taas Maaningalla ollaan selvästi ylärajalla.

Orgaanista fosforia (Po) oli Maaningalla 500 kiloa ja Ruukissa enemmän, 690 kiloa hehtaarilla. Kokonaisfosforista orgaanisen fosforin osuus oli Maaningalla 12 prosenttia ja Ruukissa 25 prosenttia. Orgaanisen fosforin osuus oli pienempi kuin aikaisemmissa tutkimuksissa.

Maaningan suuri kokonaisfosforin määrä oli valtaosin (58 %) niukkaliukoisessa HCl-uuttoisessa epäorgaanisessa (Pe) muodossa ja peräisin todennäköisesti luonnollisista fosforivaroista.

Ruukissa HCl-uuttoinen jae oli melko tavanomainen, 22 prosenttia. Muissa jakeissa paikkakuntaerot olivat pieniä.

Helpommin liukenevissa epäorgaanisissa NaOH- ja NaHCO₃-jakeissa oli Maaningalla 950 ja 290 kiloa eli yhteensä 1240 kiloa fosforia hehtaarilla.

Ruukissa näissä jakeissa oli 1020 ja 360 kiloa eli yhteensä 1380 kiloa fosforia hehtaarille. Yhdessä nämä jakeet muodostivat merkittävän ja potentiaalisesti käyttökelpoisen fosforivaraston.

Edellisiin jakeisiin verrattuna helpoliukoisimman vesiliukoisien jakeen koko ja osuus maan fosforivarastosta oli hyvin pieni

(1%): Maaningalla 50 kiloa ja Ruukissa 40 kiloa hehtaarilla.

Fosfori nurmien sadonmuodostuksessa

Mistä satojen fosfori sitten saatiin? Tarkastellaan aluksi kasveille itsessään käyttökeltottoman orgaanisen fosforin määrää. Aiemmissa suomalaisissa tutkimuksissa sen on havaittu pysyvän melko vakaana, ja näin odotettiin käyvän myös nyt.

Maaningalla orgaanisen fosforin muutos (-30 kg) olikin melko pieni (kaaviot seuraavalla sivulla). Myös Ruukissa orgaaninen fosforijae käyttäytyi fosforittomilla lannoituksilla Maaningan tapaan.

Sen sijaan superfosfaattilannoituksella orgaanisen fosforin määrä väheni alkutilanteesta 90 kiloon hehtaarilla, mutta lietalannoituksella muutos ei ollut tilastollisesti merkitsevä.

Vaikka orgaaninen fosfori ei itsessään ole kasveille käyttökelpoista, voi se mineralisoitua kasveille käyttökelpoiseen muotoon.

On myös mahdollista, että juuristoon otettua fosforia kulkeutuu fosforipitoisissa juuritähteissä kyntökerroksen alapuolelle. Samalla fosforia siirtyy epäorgaanisesta muodosta orgaaniseen.

Näin orgaaninen fosfori voi toimia lyhytaikaisena varastona sekä fosforin liikkuvuutta edistävänä tekijänä.

Vaikka orgaanisen fosforin muutokset olivatkin tässä kokeessa pääosin pieniä, antaa erityisesti Ruukin lannoitettujen koejäsenten orgaanisen fosforin muutos aiheuttaa tutkia verson ja juuriston fosforipitoisuuden keskinäistä yhteyttä ja kykyä toimia orgaanisen ja epäorgaanisen fosforin välisenä linkkinä.

Epäorgaaninen fosfori on kasveille käyttökelpoista, mutta sen saatavuus maasta vaihtelee suuresti.

Mineraalien sisällä oleva, apatiittinen fosfori on erittäin heikkoliukoista. Niinpä HCl-jakeessa näkyvät positiiviset ja negatiiviset muutokset eivät tässä kokeessa olleet merkittä-

Luokkansa paras

Massey Ferguson 5S

AGCO POWER 4-sylint. moottorit 105 – 145 hv



Kampanjatarjous MF 5S.145 Efficient FL.4121 etukuormaimella

92 900,- alv 0 %

- Maks. teho 145 hv, maks. vääntö 550 Nm (1500 rpm)
- 4-portainen Dyna-4 -pikavaihte, 16x16 vaihteisto
- 110 LS hydrauliiikka 2x sähkö ja 2x mekaanisella loholla
- MF FL.4121-tehdas etukuormain +sähköinen monitoimi-joystick
- Multipad-ajohallintakyynnäröja
- Etuakselin jousitus
- Ohjaamon jousitus
- Ilmaistuin
- Ilmastointi



BORN TO **FARM**



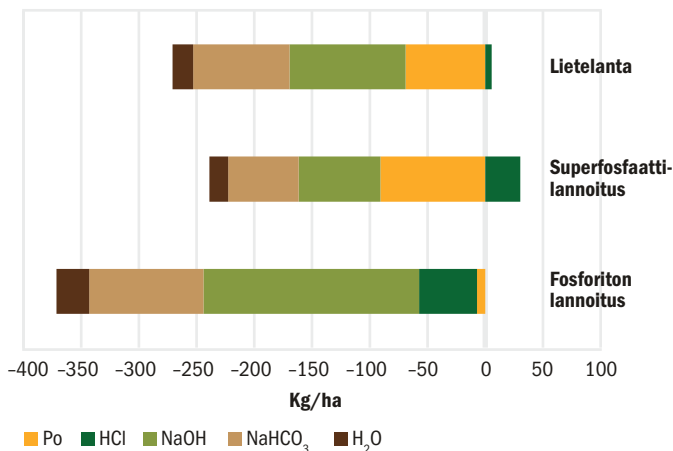
MASSEY FERGUSON

TURUN
KONEKESKUS

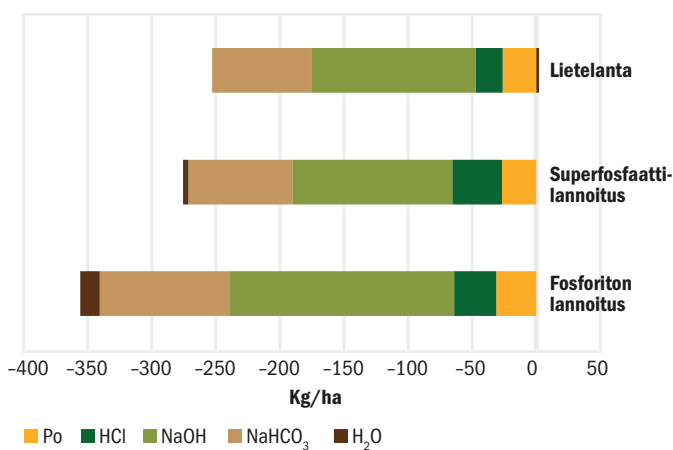
Konemyynti puh. 020 7459 700
masseyferguson.fi

Kampanjakoneita rajoitettu erä.
Hintoihin lisätään toimituskulut.

Ruukki 0–20 cm



Maaninka 0–20 cm



Maan fosforivaraston muutos (kg/ha) kyntökerroksessa (0–20 cm) orgaanisen fosforin (Po) sekä epäorgaanisen fosforin suolahappo- (HCl), natriumhydroksidi- (NaOH), natriumbikarbonaatti- (NaHCO₃) ja vesiuuttosessa (H₂O) jakeessa.

viä. Apatiittisen fosforin käyttökelpoisuus myös nurmiheinille on siis heikko.

Näin Maaningan koepaikan sijainti muutaman kymmenen kilometrin päässä Siilinjärven fosforikaivoksesta ei selitä satoasteen puuttumista.

Suurin potentiaalinen fosforin luovuttaja molemmilla paikkakunnilla oli NaOH-uuttoinen jae, jonka koko alkutilanteessa oli merkittävä.

Lannoitushistoriasta perittyä fosforia päätyy huomattavasti juuri NaOH-jakeeseen, joka tyypillisesti koostuu rauta- ja alumiinioksidien sitomasta fosforista.

NaOH-jakeesta poistuikin Maaningalla kaikilla lannoit-

uksilla keskimäärin 150 kiloa fosforia hehtaarilla ja Ruukissa 90–190 fosforikiloa hehtaarilta.

Fosforittomalla lannoituksella muutos vastasi molemmissa paikoissa noin puolta tasealijäämästä.

Sen sijaan superfosfaatti- ja lietelannoituksella NaOH-fosforin alenema oli kilomääräisesti suuri, muttei tilastollisesti merkitsevä.

Koska NaOH-uuttoisen varaston koko oli suuri, oli varastossa tapahtuva muutos fosforittomallakin lannoituksella vielä kohutuullinen, 15–18 prosenttia.

NaOH-jakeen fosforia on pidetty kasveille vähemmän käyttökelpoisena kuin NaHCO₃-jaetta tai H₂O-jaetta. Monivuotisella

nurmella se näyttäisi kuitenkin olevan huomattava fosforin lähde.

Seuraavaksi eniten fosforia satoi otettiin NaHCO₃-jakeesta, joka sisältää löyhästi alumiini- ja rautaoksideihin kiinnittynyttä fosforia.

Maaningalla NaHCO₃-uuttoisen fosforin määrä väheni 80–90 kiloa hehtaaria kohti ja Ruukissa 70–100 fosforikiloa hehtaaria kohti.

Fosforittomalla lannoituksella NaHCO₃-muutos vastasi Maaningalla noin kolmannesta ja Ruukissa noin neljänestä fosforivaraston kokonaismuutoksesta kyntökerroksessa.

Pienin osuus kokonaismuutoksesta tapahtui H₂O-jakeessa: Maaningalla fosforin määrä väheni vain 15 kiloa ja Ruukissa 28 kiloa hehtaaria kohti.

Maaningalla lannoitettujen ruutujen vesiuuttoisen fosforin vähentyminen ei ollut merkittävä, mutta Ruukissa oli, vaikkakin kilomääräisesti vain noin 17 fosforikiloa hehtaarille ja siksi fosforivaraston kokonaismuutos oli suurimmillaankin vain 5–6 prosenttia.

Sen sijaan muutokset H₂O-jakeen sisällä olivat merkittäviä ja vastasivat kohtuullisesti viljavuusfosforin pitoisuusmuutoksia maassa: Maaningalla fosforittomalla lannoituksella muutos oli 29 prosenttia ja Ruukissa 49 prosenttia.

Miten huolehtia sadontuottokyvystä?

Kivennäismaalla, jolla viljavuusfosfori on lähtökohtaisesti luokassa tyydyttävä tai parempi, ei fosforilannoituksen poistamisesta tai keventämisestä ole keskipitkällä tähtäimellä vaikutusta sadon määrään, vaikkakin sadon fosforipitoisuus ja maan fosforivarasto alenevat.

Toistaiseksi myös välttävissä viljavuusluokassa maan fosforivarasto on jaksanut kannatella satoa kohtuullisen pitkään.

Lisäksi jopa matalammilla maan fosforipitoisuuksilla on uudemmissa kokeissa vanha satovasteraja alitettu ilman että on saatu systemaattista vastetta

satoon. Kuinka pitkään varastoa riittää, on kuitenkin vielä selvittämättä.

Karjanlannalla ja välilannoituksella helppoliukaisen fosforipitoisuuden laskua maassa on voitu hidastaa, ja myös fosforivaraston muutos on pienempi.

Alijäämäisellä taseella fosforivaraston väheneminen on suurinta helppoliukoisimmissa H₂O- ja NaHCO₃-uuttoisen varaston sisällä, mikä on ympäristön kannalta hyvä.

Määrällisesti suurin osa nurmen tarvitsemasta fosforista otettiin kuitenkin niukkaliukoisempina pidetystä NaOH-uuttoisesta varastosta.

Nurmilla itsessään on siis tärkeä rooli fosforiperinnön louhimisessa ja ehkä orgaanisen fosforikierron kautta myös sen pitämässä kasveille käyttökelpoisessa muodossa.

Toisaalta vasta ylijäämäisillä taseilla helppoliukaisen fosforin määrä maassa kasvaa. Kasvattaminen ei kuitenkaan ole järkevää, jos helppoliukoista fosforia on muutenkin tarpeeksi.

Kasvien tarpeeseen nähden ylimääräinen fosfori pyrkii joka tapauksessa tavalla tai toisella pakenemaan kasveille heikommien käyttökelpoisiin muotoihin.

Tämä ilmiö vaikeuttaa myös helppoliukaisen fosforipitoisuuden nostamista alemmista luokasta.

Pitkäaikaiskokeen rinnalla Maaningalla tutkitaankin fosforilannoituksen vaikutusta erilaisilla maan fosforiluokan ja fosforilannoitustason yhdistelillä.

Tutkimuksessa on mukana myös rehuohra, jolla on tärkeä rooli karjatalouden rehuna. Uuden kokeen ensimmäisen nurmierron tulokset valmistuvat talvella 2024.

Tutkimusta ovat rahoittaneet vuosien varrella lukuisat tahot kuten Luke, Mäkelä ja Yara Suomi Oy. □

Kirjoittajista Mustonen on tutkijana ja Virkajärvi johtavana tutkijana Luke Maaningalla, Yli-Halla on jäänyt eläkkeelle Helsingin yliopiston professorin tehtävästä.