

GolfY

Golfkenttien rakentamisen ja hoidon ympäristövaikutusten vähentäminen

Vesi- ja typpitaseen mallintaminen GolfY-hankkeessa
Osahankkeen loppuraportti



Sisällysluettelo

- 1 Johdanto
 - 2 Tavoitteet
 - 3 Aineisto ja menetelmät
 - 3.1 Koealueet
 - 3.2 Meteorologinen data
 - 3.3 Vedenpidätyskäyrä ja vedenjohtavuus
 - 3.4 Käsittelyt
 - 3.5 Lysimetrimitaukset
 - 3.6. Mikrobiologiset analyysit
 - 4 Mallin sovellutus koealueille
 - 4.1 Mallien kalibrointi ja testaus
 - 4.2 Vesi- ja ravinnetaseiden laskennan tulokset
 5. Tulosten tarkastelu
 6. Johtopäätökset ja toimenpidesuosituksset
 7. Yhteenveto
- Liite 1: Mallin kalibroinnin ja testauksen tulokset
- Liite 2: CROPWATN-mallin prosessit

1 Johdanto

Näkyvimpänä ongelmana golfkenttien rakentamisessa ja hoidossa tällä hetkellä on käsitys niiden haitallisista ympäristövaikutuksista. Suurimpana syynä on tutkimustiedon puuttuminen niiden ympäristövaikutuksista ja siitä kuinka niiden rakentamisessa ja hoidossa voidaan ympäristövaikutuksia vähentää. Golfkenttien kohdalla ongelmat ovat kärjistyneet viimeisten vuosien aikana näkyen uusien kenttähankkeiden vaikeuksina saada toimenpidelupia rakennustyöhön. Suurimpana kiistakysymyksenä ovat olleet golfkenttien ympäristövaikutukset. Golfkentillä ongelma korostuu, koska maa-alat ja maamassat, joita käsitellään ovat suuria.

Golfkentän ravinnehuuhtoumia voidaan oleellisesti vähentää oikeilla materiaalivalinnoilla sekä asianmukaisilla rakennus- ja hoitotavoilla. Lannoituksen ja kastelun määrillä ja ajoituksella on suuri vaikutus huuhtoutumiseen. Suurimmat huuhtoumat syntyvät keväällä ja uuden nurmikon perustamisvaiheessa, eli silloin kun nurmikon kasvu on heikointa. Toisaalta, jos kasvu on kunnollista, suurelta ravinne määrät (300 kg typpeä hehtaarille vuodessa) eivät aiheuta huuhtoutumisriskiä. Eloperäisen aineksen kertymisen on osoitettu olevan tärkeä lannoitetyypelle, ja mikrobiologiset prosessit typen kierrossa voivat olla merkittäviä pintakerroksen eloperäisen typen mineralisaatiossa ja immobilisaatiossa.

2 Tavoitteet

Tämä osaraportti liittyy Finnish Golf Consulting Oy:n projektiin, jossa tavoitteena on vähentää golfkenttien rakentamisen ja hoidon aiheuttamia ympäristövaikutuksia kentänhoitokonsultointia kehittämällä. Tässä osaprojektissa mallinnetaan veden ja typen kierto viheriöiden kasvualustassa. Huuhtoumien määrässä pelkästään maan fysikaaliset ominaisuudet eivät osoita ravinteiden huuhtoutumisalttiutta. Mikrobiologisten prosessien merkitys ravinteiden kierrossa ja huuhtoutumisessa on hyvin tärkeä prosessi. Siitä syystä olisikin tärkeää mallintaa mikrobiologiset prosessit ja näin saada enemmän tietoa niiden vaikutuksesta. Mallintamisella voidaan määritellä tärkeimmät prosessit ja se auttaa arvioitaessa golfkenttien hoidon aiheuttamia ympäristövaikutuksia. Suomessa kehitetty CropWatN (Karvonen ja Kleemola 1995) on dynaaminen simulaatiomalli, joka sisältää kaikki ilmastomme relevantit prosessit. CropWatN-malli integroi kasvin typenottoon, mikrobiologisiin prosesseihin ja maan fysikaalisiin ominaisuuksiin liittyvät toiminnot.

Osaprojektin tavoite on kalibroida CropWatN-malli seitsemältä tutkimusviheriöltä mitatun datan avulla, ja testata mallinnusta osalla mittaustuloksia. Tuusulan ja Lepaan lysimetrimitaukset sisälsivät niin paljon epävarmuustekijöitä, ettei niitä otettu mukaan mallin kalibrointiin ja testaukseen.

CropWatN-mallin avulla voidaan paikantaa golfviheriön keskeiset typen kiertoon liittyvät prosessit ja poimia nämä yksinkertaistetun neuvonnallisen mallin lähtökohdiksi. Mallia voidaan myöhemmin käyttää myös simuloimaan golfviheriöitä ja niiden ympäristövaikutuksia käytettäessä erilaisia kasvualustoja ja lannoitusohjelmia. Hankkeessa käytettävän mallin prosessit on esitelty liitteessä 2. Mallin osaprosessit ovat hyvin samantyyppiset kuin Ruotsissa kehitetyssä Coup-mallissa.

Osaprojektin tärkeimmät tavoitteet mallintamisen osalta ovat:

- arvioida mittausten ja mallin avulla lysimetrin läpi kulkeutunut vesimäärä
- arvioida mallin avulla sellainen kertasadetuksen määrä, jolla lannoitteiden huuhtoutumisriski pintavalunnan mukana minimoidaan

- laskea mallilla viheriön nurmikon ottama typpi- ja fosforimäärä ja verrata sitä annettuun lannoitusmäärään (kasvukauden tyypitase)
- laskea mallilla arvio viheriön lysimetrin läpi huuhtoutuvan typen ja fosforin määrästä
- laatia mallin avulla suositus lannoitusmääristä kokeissa käytettyihin määriin verrattuna

3 Aineisto ja menetelmät

3.1 Koealueet

GolfY-hankkeessa mitattiin meteorologisia muuttujia ja lysimetreistä purkautuneen veden määrää ja laatua kahdeksalla eri koealueella yhteensä yhdessätoista lysimetrissä. Koealueet on esitetty taulukossa 3.1. Useimmilta alueilta oli käytettävissä kahden vuoden aineisto (2005 ja 2006). Malli kalibroitiin kaikille lysimetreille lukuunottamatta Tuusulan ja Lepaan koealueita. Osalle alueista jomman kumman vuoden tiedot olivat niin puutteelliset, että laskenta tehtiin toiselle mittausvuodelle. Taulukkoon 3.1 on koottu mallinnuksessa mukana olleet lysimetrit ja koevuodet.

Taulukko 3.1 Koealueet ja lysimetrit ja mallinnusvuodet

Alue	Mallinnusvuodet
Keimola 13	2005
Keimola 9	2005 ja 2006
Messila	2005 ja 2006
Sarfvik	2005
Tuusula	ei mallinnettu
Peuramaa	2006
Kalajoki	2005 ja 2006
Lepaa_1	ei mallinnettu
Lepaa_8	ei mallinnettu
Lepaa_9	ei mallinnettu
Uusikaupunki	2006

3.2 Meteorologinen data

CropWatN-malli tarvitsee lähtötietoina sadannan, sadetuksen, ilman lämpötilan, ja potentiaalisen haihdunnan. Jos nurmikon biomassan kasavu halutaan mallintaa, niin käytettävissä on vielä oltava mitattu kokonaissäteily tai fotosynteettisesti aktiivinen säteily (PAR).

Sadanta, sadetus ja ilman lämpötila mitattiin jokaisella koealueella paikan päällä ja nämä tiedot annettiin mallille lähtötietoina.

Potentiaalisen haihdunnan mittaus oli järjestetty vain Lepaalla (v. 2005) ja Messilässä. Lepaalla mitattu touko-syyskuun haihdunta oli 466 mm, mikä sopii hyvin kirjallisuudessa esitettyyn potentiaalisen haihdunnan vaihteluväliin Suomen olosuhteissa (350-500 mm/kasvukausi). Messilässä mitattu haihdunta oli vain 58 mm, mikä on niin pieni, että tätä arvoa ei käytetty laskelmissa.

Muille alueilla kuin Lepaa (v. 2005) potentiaalinen haihdunta jouduttiin arvioimaan laskennallisesti. Hyvä arvio potentiaaliselle haihdunnalle saadaan, jos käytettävissä on ilman lämpötilan lisäksi paikan päällä mitatut tuulen nopeudet, suhteelliset kosteudet, sekä kokonais- tai nettosäteilyn arvot. Näitä tietoja ei ollut käytettävissä, joten potentiaalisen haihdunnan arvio otettiin Suomen Ympäristökeskuksen julkaisemista Class-A astiahavainnoista, joita korjattiin Vakkilaisen (1982) esittämällä tavalla.

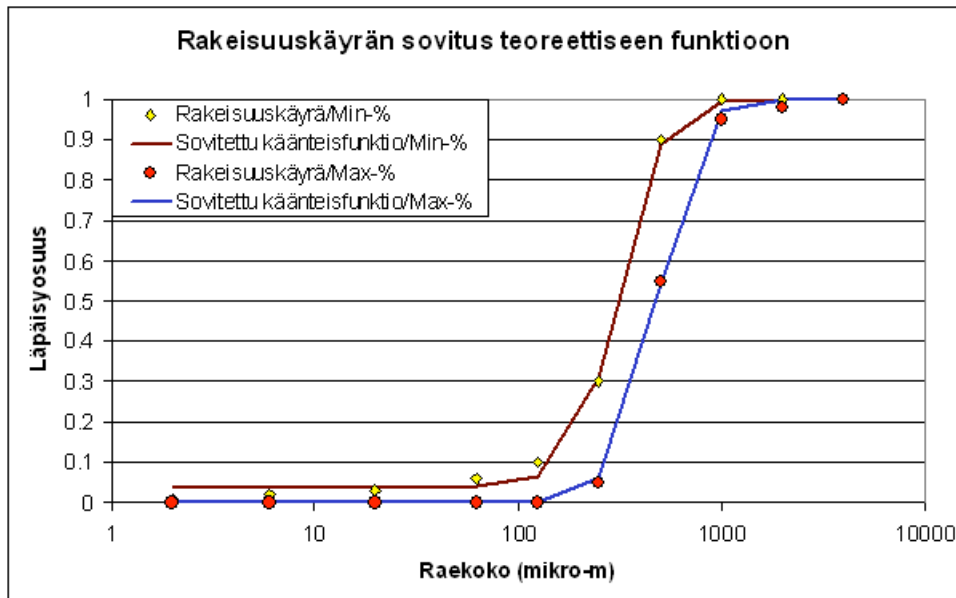
3.3 Vedenpidätyskäyrä ja vedenjohtavuus

CropWatN-mallissa oleva maankosteusmalli vaatii lähtötietoina maalajin vedenpidätyskäyrän, sekä vedellä kyllästyneen, että kyllästymättömän maan vedenjohtavuudet. Näistä arvoista ainoastaan vedellä kyllästyneen maan johtavuus mitattiin koealueilla. Vedenpidätyskäyrä ja kyllästymättömän maan vedenläpäisevyys arvioitiin kentällä mitattujen rakeisuuskäyrien avulla käyttäen Jauhiaisen (2004) esittämää menetelmää.

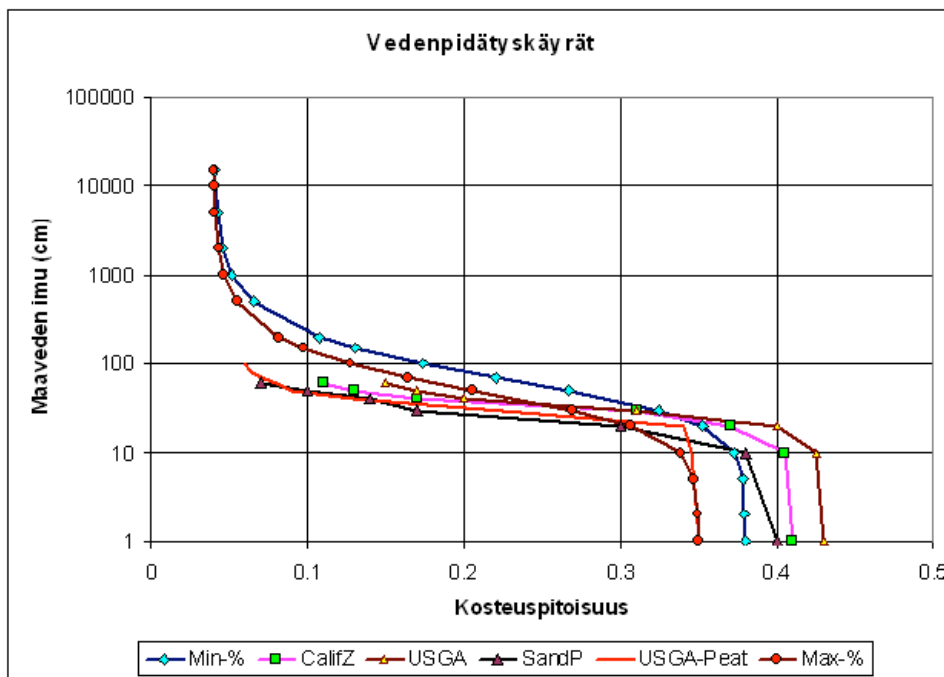
Maalajin vedenpidätyskäyrä kuvataan useimmissa malleissa ns. van Genuchtenin mallin avulla. Mallin hyvä puoli on se, että on vedenpidätyskäyrän lisäksi kaavoista saadaan myös kyllästymättömän maan suhteellinen vedenjohtavuus. Normaalisti van Genuchtenin mallin parametrit saadaan sovittamalla mitattuun käyrään mallin tarvitsemat parametrit. Jauhiaisen (2004) esittämässä menetelmässä rakeisuuskäyrään sovitetaan teoreettinen malli ja sen perusteella pystytään arvioimaan vedenpidätyskäyrän parametrit.

Golfkenttien rakentamisoppaassa (Suomen Golfliitto, s. 22) on esitetty viheriön kasvualustahiekan rakeisuuden ohjearvot (läpäisyn min- ja max-%). Kaikkien

koalueiden mitatut rakeisuuskäyrät osuivat ohjearvojen väliin. Ensimmäisessä vaiheessa sovitettiin van Genuchtenin käänteisfunktio rakeisuuden ohjearvoihin (kuva 3-1) ja käänteissovituksen perusteella arvioitiin vedenpidätyskäyrät (kuva 3-2), joita verrattiin USA:ssa mitattuihin golfkenttien vedenpidätyskäyriin. Teoreettisella menetelmällä sovitetut käyrät olivat hyvin lähellä USA:ssa mitattuja käyriä.



Kuva 3-1. Viheriön kasvualustahiekan rakeisuuden ohjearvot (läpäisyn min- ja max-%) ja rakeisuuskäyriin sovitetut van Genuchtenin käänteisfunktiot.



Kuva 3-2. Viheriön kasvualustahiekan rakeisuuden perusteella laaditut vedenpidätyskäyrät (läpäisyn min- ja max-%) ja käyrien vertailu USA:ssa mitattuihin vedenpidätyskäyriin.

Kaikille koealueille laadittiin oma vedenpidätyskäyrä käyttäen projektissa mitattuja rakeisuuskäyriä. Vedenpidätyskäyrien parametrit eri koealueille on annettu taulukossa 3-2. Ko. taulukossa on esitetty myös kentillä mitatut vedenläpäisevyyden arvot.

Taulukko 3-2. Koealueiden vedenpidätyskäyrien parametrit ja mitatut kyllästyneen maan vedenläpäisevyydet.

	1/m	-	mm/h	m/d
Kenttä	α	β	K _s	K _s
Keimola 9	3.24	1.75	226	5.42
Keimola 13	3.5	1.77	382	9.17
Sarfvik 12	2.93	1.66	175	4.20
Messilä 5	2.53	1.92	116	2.78
Peuramaa	2.88	1.68	83	1.99
Tuusula	2.68	1.75	60	1.44
Kalajoki	2.45	1.92	165	3.96
Lepaa 1	3.51	1.71	153	3.67
Lepaa 8	3.4	1.74	57	1.37
Lepaa 9	3.35	1.72	349	8.38
Uusikaupunki	2.03	1.93	32	0.77

3.4 Käsittelyt

CropWatN-mallissa pystytään antamaan lähtötietoina sadetukset ja lannoitukset. Sadetus annetaan samassa yksikössä kuin sadanta eli mm/d. Lannoitukset annetaan yksikössä kg/ha/käsittely. Mallille voidaan antaa lannoitustietona liukoinen nitraatti ja ammonium, ureana annettava lannoite, hidasliukoinen typpilannoite, ja orgaaninen typpilannoite. Fosforille annetaan kokonaismäärän lisäksi erikseen fosfaattina annettava lannoite. Samalle päivälle voidaan kohdistaa useita käsittelyjä. Taulukossa 3-3 on esitetty esimerkkinä Keimolan lannoituskäsittely vuoden 2005 aikana.

Taulukko 3-3. Esimerkki mallin lannoitusdatan lähtötiedoista. N(ni)=liukoinen nitraatti, N(amm)= liukoinen ammonium, N(ur)=ureana annettava lannoite, N(pit)=hidasliukoinen typpilannoite, N(org)=orgaaninen typpilannoite, ja P(ve) on fosfaattina annettava lannoite (Keimola 2005).

Päivä	kuuk	Vuosi	N yht	N(ni)	N(amm)	N(ur)	N(pit)	N(org)	P yht	P(ve)
11	5	2005	11.73	0.00	2.29	0.00	0.00	9.43	1.23	1.23
11	5	2005	11.13	0.00	11.13	0.00	0.00	0.00	15.00	15.00
11	5	2005	2.30	0.00	0.00	0.00	0.00	2.30	0.00	0.00
19	5	2005	15.08	0.00	2.95	0.00	0.00	12.13	1.58	1.58
19	5	2005	11.13	0.00	11.13	0.00	0.00	0.00	15.00	15.00
19	5	2005	2.30	0.00	0.00	0.00	0.00	2.30	0.00	0.00
3	6	2005	2.13	0.00	0.00	0.00	0.00	2.13	0.00	0.00
3	6	2005	16.75	0.00	3.28	0.00	0.00	13.48	1.75	1.75
3	6	2005	2.30	0.00	0.00	0.00	0.00	2.30	0.00	0.00
7	6	2005	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	6	2005	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16	6	2005	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22	6	2005	1.70	0.00	0.00	0.00	0.00	1.70	0.00	0.00
22	6	2005	14.74	0.00	2.88	0.00	0.00	11.86	1.54	1.54
29	6	2005	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29	6	2005	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00
5	7	2005	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	7	2005	13.40	0.00	2.62	0.00	0.00	10.78	1.40	1.40
8	7	2005	1.70	0.00	0.00	0.00	0.00	1.70	0.00	0.00
9	7	2005	2.30	0.00	0.00	0.00	0.00	2.30	0.00	0.00
9	7	2005	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	7	2005	13.40	0.00	2.62	0.00	0.00	10.78	1.40	1.40
20	7	2005	1.70	0.00	0.00	0.00	0.00	1.70	0.00	0.00
21	7	2005	2.30	0.00	0.00	0.00	0.00	2.30	0.00	0.00
4	8	2005	2.13	0.00	0.00	0.00	0.00	2.13	0.00	0.00
4	8	2005	14.07	0.00	2.75	0.00	0.00	11.32	1.47	1.47
5	8	2005	2.30	0.00	0.00	0.00	0.00	2.30	0.00	0.00
5	8	2005	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17	8	2005	2.13	0.00	0.00	0.00	0.00	2.13	0.00	0.00
17	8	2005	16.75	0.00	3.28	0.00	0.00	13.48	1.75	1.75
23	8	2005	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	9	2005	5.00	0.00	4.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	9	2005	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00
6	9	2005	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	9	2005	1.30	0.00	0.00	0.00	0.00	1.30	0.40	0.00
12	9	2005	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21	9	2005	5.00	0.00	4.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21	9	2005	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00

3.5 Lysimetrimitaukset

Kaikki käytävissä olleet pitoisuusmittaukset on esitetty taulukoissa 3-4.

Mittausten tiheys ei ole riittävä, jotta niiden perusteella pystyttäisiin arvioimaan kokonaiskuormitus (valunta*pitoisuus, yksikkö kg/ha). Malli pyritään kalibroimaan mahdollisimman hyvin vastaamaan mitattuja pitoisuuksia ja valuntoja, jolloin on perusteltua käyttää mallia kokonaiskuormituksen arvioinnissa.

Käytävissä oli lisäksi mm. kasvualustan viljavuusanalyysit, kasvustonanalyysit ja suotautumisnopeus juuristokerroksen läpi (percolation rate). Nämä tulokset on esitetty muissa projektin raporteissa, joten niitä ei referoida tässä. Ko. tuloksia on kuitenkin hyödynnetty mallinnuksessa, tulosten tarkastelussa ja johtopäätösten laadinnassa.

Maaperässä olevien luontaisten typpivarojen mineralisaatiopotentiaalia voidaan arvioida analysoimalla maanäytteistä hiili-typpisuhde. Kaikilta kentiltä tehtiin ko. analyysit ja niiden tulokset on esitetty taulukossa 3-5. Tulosten tulkinta on käsitelty luvussa 5.

Taulukko 3-5. Maanäytteiden hiili-typpisuhteet eri koealueilla.

Alue	kok N	C	C:N-suhde
Keimola 13	347	10103	29.1
Keimola 9	409	12617	30.8
Messila	673	18283	27.2
Sarvik	608	17740	29.2
Tuusula	384	11700	30.5
Peuramaa	860	16667	19.4
Kalajoki	741	14914	20.1
Lepaa_1	317	13825	43.7
Lepaa_8	509	30500	59.9
Lepaa_9	303	15633	51.5
Uusikaupunki	393	14200	36.2

Taulukko 3-4. Koealueilla mitatut typen, fosforin ja kiintoaineen mittaukset.

Koealue	Päivä	Kuuk.	Vuosi	N-tot	N-liukoinen	P-tot	P-liukoinen	Kiintoaine
Sarfvik	26	4	2005	4.40	1.40	2.10	2.00	85.00
Sarfvik	16	5	2005	5.40	5.40	0.80	0.80	588.00
Sarfvik	1	6	2005	4.00	4.00	0.40	0.40	0.33
Sarfvik	27	5	2006	66.00	14.00	5.30	5.30	0.70
Kalajoki	11	5	2005	0.10	0.10	0.15	0.15	705.00
Kalajoki	25	7	2005	6.60	6.60	0.15	0.15	353.00
Kalajoki	27	9	2005	1.00	0.30	0.15	0.15	455.00
Kalajoki	13	5	2006	1.70	1.70	0.15	0.15	670.00
Kalajoki	18	5	2006	8.10	8.10	0.15	0.15	470.00
Kalajoki	27	5	2006	9.10	9.10	0.15	0.15	310.00
Kalajoki	1	6	2006	6.30	6.10	2.30	2.30	310.00
Kalajoki	18	7	2006	6.20	1.50	2.30	2.30	373.00
Kalajoki	18	8	2006	2.50	1.50	0.30	0.30	458.00
Kalajoki	23	8	2006	1.50	1.50	0.19	0.19	-999.00
Kalajoki	1	9	2006	3.40	0.40	0.60	0.60	509.00
Kalajoki	26	9	2006	2.30	1.30	0.30	0.30	905.00
Kalajoki	4	10	2006	1.40	0.10	0.15	0.15	793.00
Kalajoki	23	11	2006	3.50	0.20	0.15	0.15	663.00
Kalajoki	11	12	2006	2.40	0.70	0.15	0.15	640.00
Kalajoki	5	1	2007	1.50	0.10	0.15	0.15	181.00
Peuramaa	25	5	2006	2.80	2.80	0.15	0.15	10.00
Peuramaa	23	7	2006	3.80	3.80	0.15	0.15	305.00
Peuramaa	15	8	2006	9.80	9.80	0.15	0.15	300.00
Peuramaa	22	8	2006	13.80	13.80	0.15	0.15	710.00
Peuramaa	29	8	2006	2.20	2.20	0.15	0.15	539.00
Peuramaa	6	9	2006	1.50	0.84	0.15	0.15	628.00
Peuramaa	14	9	2006	2.70	0.35	0.15	0.15	855.00
Peuramaa	11	12	2006	1.20	0.20	0.15	0.15	180.00
Peuramaa	19	1	2007	2.30	0.50	0.10	0.10	170.00
Tuusula	28	4	2005	6.30	0.84	1.20	1.20	153.00
Tuusula	19	5	2005	4.50	0.90	2.20	2.20	110.00
Tuusula	8	8	2005	9.10	0.15	3.30	3.30	250.00
Tuusula	2	11	2005	6.30	1.70	2.20	2.20	303.00
Keimola_13	19	5	2005	14.20	14.20	0.15	0.15	330.00
Keimola_13	10	8	2005	3.60	3.60	0.15	0.15	430.00
Keimola_13	25	10	2005	33.00	33.00	0.15	0.10	2340.00
Keimola_9	25	4	2005	8.60	0.10	0.15	0.05	183.00
Keimola_9	24	5	2005	13.70	13.70	0.30	0.30	290.00
Keimola_9	4	8	2005	15.00	15.00	0.15	0.15	980.00
Keimola_9	25	10	2005	5.40	4.60	0.50	0.50	400.00
Keimola_9	24	4	2006	9.40	9.40	0.50	0.50	240.00
Keimola_9	18	8	2006	5.10	5.10	0.15	0.15	1820.00
Keimola_9	1	9	2006	20.00	20.00	0.20	0.20	466.00
Keimola_9	5	10	2006	2.40	1.90	0.15	0.15	980.00
Keimola_9	27	11	2006	4.20	0.88	3.80	3.80	108.00
Keimola_9	13	12	2006	2.50	0.77	3.60	3.00	140.00
Messila	28	4	2005	7.70	0.27	0.15	0.10	808.00
Messila	6	6	2005	21.00	21.00	0.15	0.15	570.00
Messila	16	8	2005	7.60	0.92	0.80	0.80	210.00
Messila	30	9	2005	4.50	4.50	0.15	0.15	290.00
Messila	29	5	2006	12.00	9.20	0.15	0.15	0.60
Messila	27	6	2006	10.00	8.00	0.15	0.15	0.80
Messila	31	7	2006	2.20	2.20	0.15	0.15	270.00
Messila	11	8	2006	3.30	3.30	0.15	0.15	292.00
Messila	16	8	2006	3.20	3.20	0.15	0.15	288.00
Messila	17	11	2006	1.60	1.60	0.10	0.10	190.00
Koski	22	6	2005	13.50	13.50	0.15	0.15	475.00
Koski	15	8	2005	3.30	3.30	0.40	0.40	213.00
Koski	30	9	2005	3.70	2.60	0.30	0.30	260.00
Lepaa_1	3	10	2005	3.10	0.02	0.40	0.40	418.00
Lepaa_1	24	4	2006	0.60	0.60	2.30	2.30	100.00
Lepaa_9	10	11	2005	4.20	4.20	0.20	0.20	395.00
Uusikaupunki	28	6	2006	5.00	2.00	0.20	0.20	0.30
Uusikaupunki	4	10	2006	4.20	4.20	0.20	0.20	190.00
Uusikaupunki	23	10	2006	1.40	1.40	0.15	0.15	35.00

3.6 Mikrobiologiset analyysit

Alkuperäisen tutkimussuunnitelman mukaisia mikrobiologisia analyysejä ei tehty, sillä niihin sisältyy toistaiseksi niin suuri epävarmuus, että tulosten käyttökelpoisuus jää vähäiseksi. Mallilla pystytään laskemaan typen kierron komponentit, ja mallin tuloksia voi verrata mitattuihin kasvustoanalyyseihin, joten mikrobiologisten prosessien merkitys tarkistetaan epäsuorasti muiden mittausten avulla.

4 Mallin sovellutus koealueille

4.1 Mallien kalibrointi ja testaus

GolfY-hankkeessa mitattiin viheriölle sijoitetun lysimetrin läpi suotautuneita vesimääriä ja suotoveden typpi- ja fosforikonsentraatioita. Nämä mittaukset olivat tärkein mallien kalibroinnissa käytetty vertailuaineisto. Edellisten lisäksi verrattiin mitattuja ja mallilla laskettuja kasvuston ottaman typen ja fosforin pitoisuuksia ja kasvuston ottaman typen ja fosforin suhdetta vastaaviin mitattuihin arvoihin. Mallit kalibroitiin ensin yritys- ja -erehdys menetelmällä niin, että laskettujen muuttujien suuruusluokka oli oikea. Sen jälkeen käytettiin automaattista kalibrointimenetelmää, jolle annetaan lähtötietoina kaikki mittaukset.

Mallissa tarkasteltava profiili jaettiin 20 kerrokseen, jotka kaikki olivat 0.02 m paksuja. Koko profiilin paksuus oli siis 0.4 m. Pinnalla oletettiin olevan kaksi enemmän orgaanista juurimassaa sisältävää kerrosta, ja sen alapuolella kasvukerros 0.3 m:n syvyyteen saakka. Sen alapuolella oli viisi kerrosta karkeampaa soraa, jonka alapinnalta veden oletettiin poistuvan mittausastioihin. Malli laskee kaikki muuttujat – vesi, typpi ja fosfori – jokaiselle kerrokselle erikseen. Lysimetristä poistuvan veden määrä on alimmasta kerroksesta alaspäin virtaava vesimäärä ja mallilla laskettu valumaveden pitoisuus on siis käytännössä sama kuin laskentamallin alimman kerroksen pitoisuus.

Vesimallin osalta tärkeimmät kalibroittavat parametrit liittyivät tässä vaiheessa mallin ylä- ja alapuoliseen reunaehtoon, sekä orgaanisen pintakerroksen ja alhaalla olevan sorakerroksen vedenpidätys- ja veden läpäisyominaisuuksiin.

Typsimallin osalta kalibroitiin nettomineralisaation (kokonaismineralisaation ja immobilisaation erotus) ja nitrifikaation nopeuskertoimia, ammoniumin adsorptiota, sekä kasvien typen oton tehokkuutta. Fosforin osalta kalibroitiin adsorptiokertoimia, ja kemiallisen immobilisaation nopeusvakioita, sekä kasvien fosforin oton tehokkuutta.

4.2 Vesi- ja ravinnetaseiden laskennan tulokset

Lysimetrin läpi suotautunut vesimäärä

Mitatut ja mallin laskemat vesi- ja ravinnetaseen komponentit (kumulatiiviset arvot) on esitetty taulukossa 4.1 ja kuvassa 4-1.

Taulukko 4.1 Mitatut ja mallin laskemat vesi- ja ravinnetaseen komponentit eri koaelueilla.

Alue	Vuosi	mm	mm	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha/pelikausi	kg/ha/pelikausi
		Valunta Mitattu	Valunta Laskettu	Lannoitus Typpi	Otto Typpi	Lannoitus Fosfori	Otto Fosfori	Huuhtouma Typpi	Huuhtouma Fosfori
Keimola 13	2005	78	88	215	201	64	21	3.2	0.17
Keimola 9	2005	79	76	184	185	48	22	3	0.13
	2006	48	58	210	184	44	22	3.5	0.09
Messila	2005	100	86	249	221	55	22	3.3	0.11
	2006	66	85	187	169	77	23	1.6	0.6
Peuramaa	2006	33	44	194	194	65	24	1.9	0.1
Kalajoki	2005	88	96	233	214	76	22	1.14	0.54
	2006	37	30	218	192	54	21	0.8	0.28
Sarfvik	2005	10	10	90	85	31	11	0.3	0.07
Uusikaupunki	2006	0.5	1.1	212	179	90	23	0.1	0.01
Keskiaarvo		54	57	199	182	60	21	1.9	0.21

Valunta on viheriöllä olevan lysimetrin läpi tullut valunta (mitattu ja mallilla laskettu)

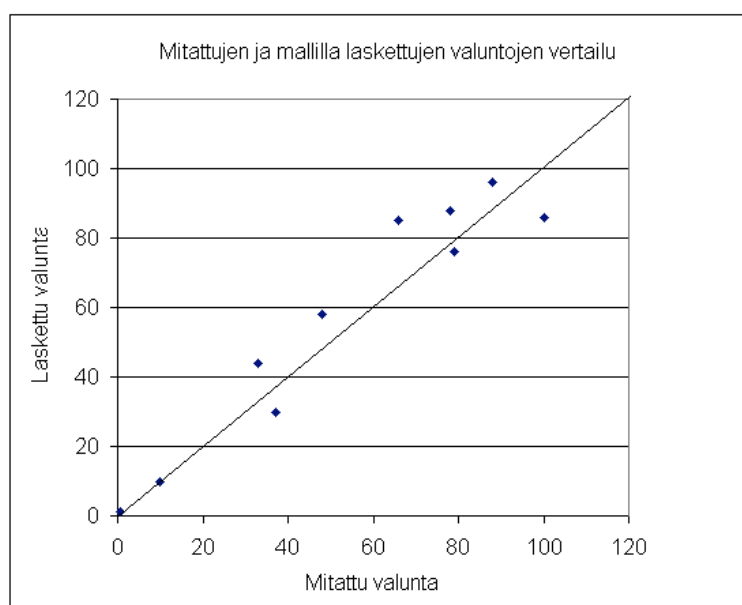
Lannoitus on viheriölle annettu typpi- ja fosforilannoitus (kg/ha).

Otto on mallilla laskettu arvio ruohon ottamalle typelle ja fosforille.

Huuhtouma on mallin laskema arvio viheriöllä olevan lysimetrin läpi suotautuneen typen ja fosforin määrästä (kg/ha/pelikausi)

Kaikkien kalibroittujen alueiden mitatut ja mallilla lasketut arvot on esitetty kuvina liitteessä 1. Jos käytettävissä oli kahden vuoden aineisto, niin ensimmäinen vuosi toimi kalibrointijaksona ja toinen vuosi riippumattomana testiaineistona.

Eri alueilla mitattujen kumulatiivisten valuntojen (lysimetrin läpi suotautunut vesimäärä) keskiarvo oli 54 mm ja mallilla laskettu vastaava arvo oli 57 mm. Kyseessä on pelikauden aikana lysimetrin läpi suotautunut vesimäärä. Suurin poikkeama mitattujen ja laskettujen valuntojen välillä oli 19 mm (Messilä 2006). Mitattujen ja laskettujen kumulatiivisten valuntojen välinen korrelaatiokerroin oli n. 0.93 (kts. kuva 4-1). Mallin kalibroinnin voi vesimäärien osalta katsoa onnistuneen niin hyvin, että mallia voi käyttää arvioitaessa lysimetrin läpi suotautuvan veden määrää ja kastelun intensiteetin vaikutusta lysimetrin läpi suotautuvaan veden määrään.



Kuva 4.1. Mitattujen ja mallilla laskettujen kumulatiivisten valuntojen vertailu. Mukana kaikki alueet (korrelaatiokerroin n. 0.93).

Kasvuston ottama typpi ja fosfori

Käytettävissä oli lannoitustietojen lisäksi useita kasvustoanalyyskejä, joissa oli mitattu leikatun ruohon typpi- ja fosforipitoisuudet (g/kg). Kunkin koealueen mittauksista laskettiin keskiarvot, jotka on esitetty taulukossa 4.2. Mallissa on mukana ns. satomalli, joka laskee ruohon ottaman typpi- ja fosforimäärän, sekä kasvuston tryppi- ja fosforikonsentraatiot, joita on verrattiin mitattuihin arvoihin (taulukko 4.2)

Taulukko 4.2 Mitatut ja mallilla lasketut kasvuston typpipitoisuuden arvot ja kasvuston ottaman typen ja fosforin suhde (Redfield ratio).

Alue	mg/g		mg/g		mg/g	
	Mitattu	Laskettu	Mitattu	Laskettu	Mitattu	Laskettu
	Typpi	Typpi	Fosfori	Fosfori	N/P-suhde	N/P-suhde
Keimola 13	36.9	40.2	4.3	4.2	8.7	9.6
Keimola 9	46.9	41.1	5.0	4.9	9.4	8.4
Messila	40.2	43.3	5.1	4.9	7.9	8.7
Sarvik	40.9	38.6	5.3	5.0	7.7	7.7
Tuusula	22.3	-	2.7	-	8.2	-
Peuramaa	39.7	43.1	6.1	5.3	6.6	8.1
Kalajoki	32.5	40.8	4.9	4.3	6.7	9.3
Lepaa 1	42.0	-	5.1	-	8.2	-
Lepaa 8	33.3	-	3.4	-	9.7	-
Lepaa 9	46.3	-	5.4	-	8.6	-
Uusikaupunki	55.7	39.8	6.5	5.1	8.6	7.8
Keskiarvo	39.7	41.0	4.9	4.8	8.2	8.5

Mitattujen typpikonsentraatioiden keskiarvo oli 39.7 g/kg ja vastaava laskettu arvo oli 41 g/kg. Mitattujen fosforikonsentraatioiden keskiarvo oli 4.9 g/kg ja mallin laskema vastaava arvo oli lähes sama eli 4.8 g/kg. Taulukossa 4.2 on esitetty myös mitatut ja lasketut typpi-fosforisuhteet, eli N:P-suhteet (Redfield ratio). Mitattu N:P-suhde oli 8.2 ja vastaava laskettu arvo oli 8.5.

Kasvuston ottaman typen ja fosforin vertailu lannoitusmääriin

Taulukossa 4.1 on esitetty kenttien kumulatiiviset lannoitusmäärät ja mallilla laskettu typen ja fosforin otto. Tulosten mukaan kasvusto pystyy ottamaan annetun typpilannoituksen melko tarkkaan. Lannoitusten keskiarvo oli 199 kg/ha/pelikausi ja mallin laskema typen otto keskimäärin 182 kg/ha/pelikausi. Fosforin osalta tulokset eivät osoita läheskään yhtä hyvää lannoitteiden käytön tehokkuutta. Annettu fosforilannoitus oli keskimäärin 60 kg/ha/pelikausi ja mallin mukaan fosforin otto oli vain 21 kg/ha/pelikausi.

Typen ja fosforin huuhtouma

Lysimetrin läpi suotautuneen veden typpi- ja fosforikonsentraatioista oli käytettävissä muutamia toimintakauden aikana tehtyjä mittauksia. Mallin laskemia pitoisuuksia verrattiin mitattuihin ja tulokset on esitetty kunkin alueen osalta liitteen 1 kuvissa. Kaikkein suurimpia mitattuja arvoja malli ei pystynyt toistamaan. Yksittäiset korkeat pitoisuudet voivat johtua ohivirtauksista tai liittyä kentän hoitotoimenpiteisiin (leikkaus,

ilmastus). Mallilla lasketut keskimääräiset typen ja fosforin pitoisuudet olivat kuitenkin samaa suuruusluokkaa kuin mitatut arvot, joten mallia voidaan käyttää arvioitaessa lysimetrin läpi huuhtoutuneen typen ja fosforin määriä (laskettu valunta kerrottuna lasketulla pitoisuudella).

Mallilla lasketut huuhtoumat on esitetty taulukossa 4.1. Typen huuhtouma oli mallin mukaan keskimäärin n. 1.9 kg/ha/pelikausi ja fosforin huuhtouma 0.21 kg/ha/pelikausi.

5. Tulosten tarkastelu

Lysimetrin läpi suotautunut valunta

Taulukon 4.1 tulosten mukaan lysimetrien läpi suotautuneen valunnan keskiarvo oli 54 mm/pelikausi. Vastaava laskettu arvo oli 57 mm. Kyseessä on toukokuun alusta kertynyt kumulatiivinen valunta (30.09 tai 31.10 saakka). Lumen sulannasta aiheutuvaa valuntaa ei mitattu eikä myöskään pelikauden jälkeen tapahtunutta valuntaa (marras- ja joulukuu). Tarkasteltu ajanjakso on kuitenkin keskeisin kentänhoidon kannalta, joten tuloksia voi pitää siltä osin edustavina. Kumulatiivinen valunta oli suurimmillaan 100 mm (Messilä 2005) ja pienimmillään vähemmän kuin 1 mm (Uusikaupunki 2006). Uudenkaupungin kentällä mitattu pieni valunta selittyy pääasiassa sillä, että juuristokerroksen mitattu suotautumisnopeus (percolation rate) oli vain 1.8 mm/h. Vastaava luku oli Messilässä selvästi suurempi, eli 58 mm/h.

Maatalouskäytössä olevan peltoalueen valunta on vuositasolla 200-400 mm, josta kesäajan valunta saattaa jäädä yhtä pieneksi kuin GolfY-hankkeessa mitattu lysimetrivalunta. Tässäkin suhteessa mitta-arvoja voi siis pitää edustavina, kun tehdään ehdotuksia kastelusuosituksista. Vielä edustavampi mittaus saataisiin kuitenkin tarkastelemalla kokonaisen viheriön vesitasetta ja mittaamalla erikseen pintavalunta ja salaojien kautta purkautuvat vesimäärät.

Liitteen 1 kuvissa L1-1 ja L1-3 on esitetty kalibroinnin tulokset Keimolan koealueilta 13 ja 9. Elokuussa 2005 oli erittäin voimakas sadekuuro ja sen vaikutus näkyy kumulatiivisissa valunnoissa hyvin selvästi. Kyseisen sadetapahtuman aiheuttama valunta muodostaa ison osan koko kesän valunnasta. Sadannan mittaustarkkuus ei ole hyvä näin rankan kuuron yhteydessä, joten malli saattaa yliarvioida valunnan pelkästään sadannan mittauksen virheen takia.

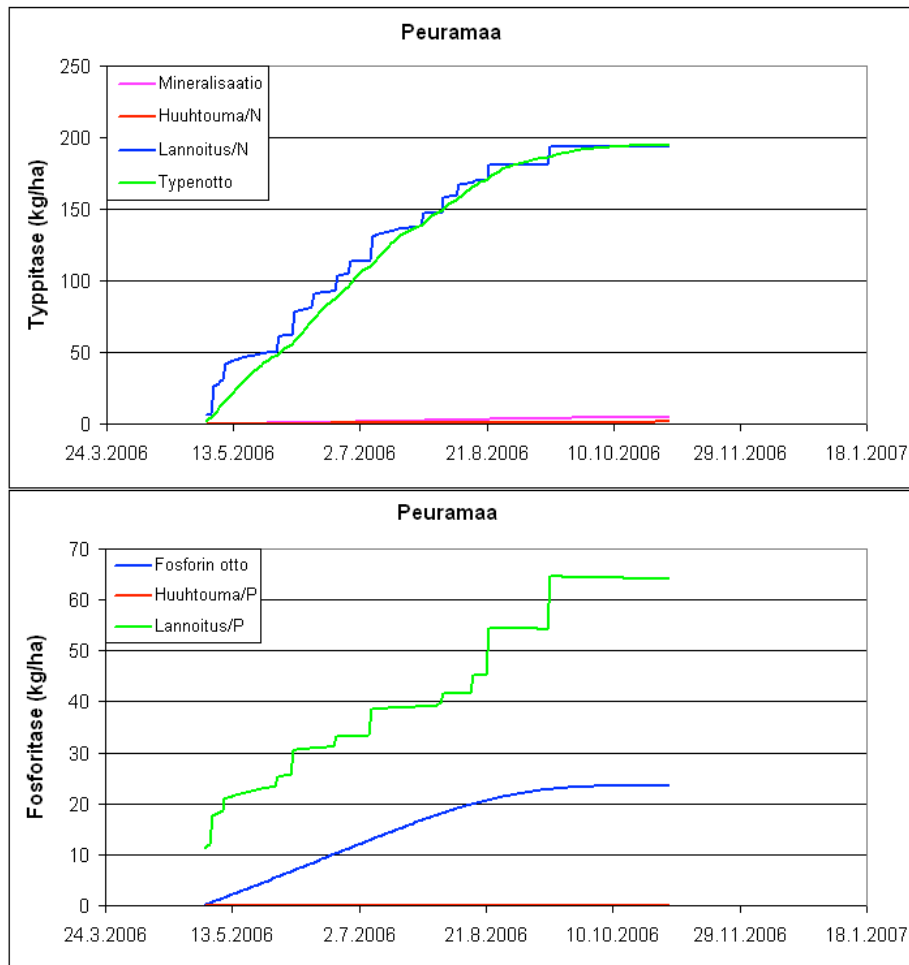
Typpitase

Koealueiden typpilannoitustaso oli v. 2005 ja 2006 aikana keskimäärin n. 200 kg/ha pelikauden aikana. Mallilaskelmien mukaan kasvusto pystyi ottamaan tästä keskimäärin n. 180 kg/ha, eli laskennallinen typen käytön tehokkuus oli 90 %. Osa kasvuston ottamasta tyypestä palautuu kuitenkin leikatun ruohon myötä takaisin kiertoon, joten todellinen typen käytön tehokkuus jää yllä mainittua lukua pienemmäksi.

Käytettävissä ei ollut suoria mittauksia kasvuston ottamasta typen määrästä, vaan mallin kalibrointiin käytettiin lysimetrin läpi suotautuneen veden konsentraatiomittauksen lisäksi leikatun ruohon typpikonsentraatiomittauksia. Kasvuston ottama konaistypen määrä on siis mallin laskema arvio, jonka luotettavuutta voidaan arvioida sen perusteella kuinka hyvin malli laskee mitattujen konsentraatioiden arvot. Mallin laskemat kasvuston typpi-ottoisuuden arvot olivat hyvin lähellä mitattuja arvoja (kts. taulukko 4.2). Kasvuston ottama typi muodostaa valtaosan koko typpitaseesta, joten mallin hyvä tarkkuus tältä osin puoltaa sitä, että mallia voidaan käyttää lannoitussuosittelun laadinnan apuvälineenä.

Kasvuston ottamaa typpimäärää voidaan verrata maatalouskasvien typen ottoon, joka on n. 100-150 kg/ha/vuosi. Laskelmien mukaan koeviheriöt pystyivät ottamaan selvästi enemmän typpeä, mikä perustuu siihen, että vesi- ja ravinnetasetta pystytään säätelemään golfkentillä paremmin kuin peltoviljelyssä. Mallilaskelmien mukaan mineralisaatio on golfkentillä selvästi pienempi kuin peltoviljelyssä, mikä selittyy pääosin erilaisilla hoito/muokkaustekniikoilla. Golfkenttien typen saanti näyttää siis olevan enemmän riippuvainen kasvukauden aikaisesta lannoituksesta kuin peltoviljelyssä, jossa luontainen mineralisaatio voi olla suotuisissa olosuhteissa n. 50 % koko käytettävissä olevasta typpimäärästä (50-70 hg/ha/vuosi).

Lysimetrin kautta huuhtoutuneet typpimäärät olivat keskimäärin 1.9 kg/ha/pelikausi (vaihteluväli 0.1-3.6 kg/ha) eli keskimäärin vain n. 1 % kasvukauden aikana annetusta typpilannoituksesta. Tuloksia tarkastellessa on muistettava, että käytettävissä ei ollut säätietoja, jotta mallilla olisi voitu laskea koko vuoden huuhtouma. Peltoalueilla vuotuinen kokonaishuuhtouma on n. 10-15 kg/ha, mutta siitä arviolta 10-20 % ajoittuu kasvukaudelle, eli karkean arvion mukaan peltoviljelystä huuhtoutuu kasvukauden aikana suunnilleen sama määrä typpeä kuin tämän tutkimushankkeen koelysimetreistä. Golfkentillä voi pintavalunnan mukana huuhtoutua myös kasvulauden aikana jonkin verran typpeä. Tarkkoja mittauksia pintavalunnan konsentraatioista ei ollut käytettävissä, mutta muutamien hajamittausten perusteella voidaan arvioida, että pintavalunnan mukana koeviheriöiltä huuhtoutui typpeä n. 0.5-2 kg/ha/pelikausi. Kuvassa 5-1. on esitetty Peuramaan kentällä v. 2006 kasvukauden aikana annettu kumulatiivinen typpilannoitus ja mallilla tehdyt arviot taseen muista komponenteista. Hyvin kiinnostava tulos on se, että mallin mukaan kasvusto pystyy hyödyntämään annetun typpilannoitteen melkein välittömästi. Vastaavat kuvat on esitetty kaikille koekentille liitteessä 1.



Kuva 5-1. Kumulatiivinen typpi- ja fosforilannoitus ja mallilla tehty arvio kasvuston ottamasta typpi- ja fosforimäärästä (Peuramaa 2006).

Maaperässä olevien luontaisten typpivarojen mineralisaatiopotentiaalia voidaan arvioida analysoimalla maanäytteistä hiili-typin suhde. Tulokset on esitetty taulukossa 3-5. Kirjallisuudessa esitettyjen arvioiden mukaan mineralisaatiopotentiaali laskee, jos C:N-suhde on suurempi kuin 15. Kaikilla koalueilla mitatut C:N-suhteet olivat tätä lukua suuremmat, eli maanäytteissä oli hiiltä ylenmäärin suhteessa typpeen. Käytännössä se tarkoittaa sitä, että maaperän luontainen mineralisaatio jää vähäiseksi ja kasvu on annetun typpilannoituksen varassa. C:N-mittaukset tukevat myös mallin antamia tuloksia, joiden mukaan mineralisaation osuus taseesta jää pieneksi.

Fosforitase

Koealueiden fosforilannoitustaso oli v. 2005 ja 2006 aikana keskimäärin n. 60 kg/ha kasvukauden aikana. Mallilaskelmien mukaan kasvusto pystyi ottamaan tästä keskimäärin vain n. 21 kg/ha, eli annetusta fosforilannoitteesta suuri osa on kasvatti maaperän fosforivarastoja. Tämä tulos nähdään myös kuvasta 5-1 (alaosa), jossa on esitetty kumulatiivinen lannoitus ja kasvuston ottaman fosforin määrä. Kasvusto ei laskelmien mukaan ota annetusta fosforimäärästä kuin noin kolmanneksen ja loput varastoituvat maaperään ja ovat alttiina huuhtoutumiselle. Pitkään jatkuva ylilannoitus voi kasvattaa reservin määrän niin suureksi, että osa siitä saattaa huuhtoutua salaojiin. Maatalousalueilla on todettu, että salaojien kautta tulee merkittäviä määriä kiintoaineeseen pidättynyttä fosforia. Golfkentillä vastaavia mittauksia ei ole tehty, mutta tämänkin projektin koekentillä lysimetrien läpi suotautuneen veden fosforipitoisuus oli joissakin tapauksissa erittäin korkea (mm. Keimola 9 v. 2006 ja Kalajoki v. 2006).

Mallin laskemaa arviota kasvuston ottamalle fosforimäärälle voi pitää hyvin realistisena lukuna kahdesta syystä: 1) mallin laskemat leikatun ruohon fosforipitoisuudet ovat hyvin lähellä mitattuja arvoja (taulukko 4.2), 2) kasvuston ottama fosforimäärä on oikeassa suhteessa kasvuston ottaman typpimäärän kanssa (Redfield ratio). Suhteen pitäisi olla suuruusluokkaa 7-9. Tässä tapauksessa mitattu suhde on 8.2 ja ,mallin laskema N:P-suhde on 8.5 (taulukko 4.2). Maatalousalueilla kasvuston ottama fosforimäärä on keskimäärin 15 kg/ha/vuosi, eli pienempi kuin viheriöiltä arvioitu fosforin otto. Mallin antamia tuloksia voidaan siis fosforin oton osalta pitää riittävän luotettavina, jotta mallia voidaan käyttää apuna lannoitussuosituksen laadinnassa.

Koelysimetrin kautta huuhtoutuneet fosforimäärät olivat keskimäärin 0.21 kg/ha/pelikausi (vaihteluväli 0.01-0.54 kg/ha) eli keskimäärin vain n. 0.3 % kasvukauden aikana annetusta P-lannoituksesta. Peltoalueilla vuotuinen fosforin kokonaishuuhtouma on keskimäärin n. 0.5-1.0 kg/ha, mutta siitä valtaosa tulee joko kevätkorjuun aikana tai syysateiden yhteydessä. Golfkentillä voi pintavalunnan

mukana myös huuhtoutua jonkin verran fosforia, mutta sen suhteellinen merkitys on käytettävissä olleiden pintavesinäytteiden perusteella hyvin pieni.

6 Johtopäätökset ja toimenpidesuosituks

Mittausten ja mallilaskelmien avulla laadittiin toimenpidesuosituksia kenttien kastelun ja lannoituksen osalta. Kyseessä on pääasiassa mallilaskelmiin perustuvat suositukset ja kenttien hoitajien kannattaa kokeilla niiden soveltamista asteittain, jos suositukset poikkeavat hyvin paljon nykykäytännöstä.

Kastelu

Koealueilla v. 2005 ja 2006 aikana toteutetut kastelut eivät näytä aiheuttaneen merkittävää suotautumista lysimetrien läpi eli kastelut on pystytty hoitamaan niin, että riski lannoitteiden huuhtoutumiselle salaojien kautta on ollut hyvin pieni. Mallilaskelmien mukaan erityinen huomio kannattaa kiinnittää siihen, ettei kastelun kertannos ole liian suuri, jolloin riski pintavalunnan muodostumiselle kasvaa. Kastelusta aiheutuva pintavalunta lisää ravinteiden huuhtoutumista ja pienentää lannoitteiden käytön tehokkuutta erityisesti silloin, jos lannoitteet annetaan liukoisessa muodossa. Tämän tutkimuksen koealueista Peuramaan, Sarfvikin ja Uudenkaupungin koeviheriöiden juuristokerroksen suotaumiskapasiteetti näyttää olevan niin pieni, että kertakastelun määrän tarkkailu on tarpeen. Sopiva kertakastelun annos on käytännössä pakko etsiä kokeilemalla, sillä mallin tulokset tai fysikaaliset mittaukset eivät todennäköisesti ole riittävän tarkkoja.

Typpilannoituksen suositukset

Koealueiden typpilannoitustaso oli v. 2005 ja 2006 aikana keskimäärin n 200 kg/ha pelikauden aikana. Mallilaskelmien mukaan kasvusto pystyi ottamaan tästä keskimäärin n. 180 kg/ha, eli laskennallinen typen käytön tehokkuus oli 90 %. Osa kasvuston ottamasta tpeestä palautuu kuitenkin leikatun ruohon myötä takaisin kiertoon, joten todellinen typen käytön tehokkuus jää yllä mainittua lukua pienemmäksi. Lannoitusmääriä kannattanee asteittain pienentää, jotta löydetään raja, jossa kasvu on vielä riittävän hyvä. Mallilla tehtyjen arvioiden mukaan lannoitustasoa voitaisiin pienentää n. 20-50 kg/ha/kasvukausi niin, että kasvusto saisi vielä riittävästi tpeä.

Optimaalisen lannoitustason etsintä on todennäköisesti tehtävä kenttä- tai jopa viheriökohtaisesti.

Fosforilannoituksen suositukset

Koealueiden fosforilannoitustaso oli v. 2005 ja 2006 aikana keskimäärin n. 60 kg/ha pelikauden aikana. Mallilaskelmien mukaan kasvusto pystyi ottamaan tästä keskimäärin vain n. 21 kg/ha, eli annetusta fosforilannoituksesta suuri osa on kasvatti maaperän fosforivarastoja. Fosforilannoitus on selvästi vaikeampaa optimoida kuin typpilannoitus, sillä osa annetusta fosforista sitoutuu lähes välittömästi lannoituksen jälkeen maaraikoiden pinnoille. Alkuvaiheessa liukoinen fosfaatti sitoutuu maaraikoiden pinnoille löyhemmin sidoksin, mutta muutamien viikkojen tai kuukausien aikana osa fosforista sitoutuu maahiukkasten pinnoille kemiallisin sidoksin, jotka ovat hyvin niukkaliukoisia.

Mallilaskelmien mukaan koealueiden lannoitustasoa voitaisiin fosforin osalta vähentää asteittain jopa 20 kg/ha nykyisestä tasostaan. Mallin mukaan alkukevällä annetusta isosta lannoitemäärästä suuri osa jää hyödyntämättä. Sopiva kevätlannoituksen taso on selvästi nykyistä arvoa alhaisempi. Kasvukauden lopulla annettu liiallinen fosforilannoitus lisää huuhtoutumisriskiä, joten syksyn lannoitusmääriä on myös syytä vähentää.

7. Yhteenveto

Tämä osaraportti liittyy Finnish Golf Consulting Oy:n projektiin, jossa tavoitteena on vähentää golfkenttien rakentamisen ja hoidon aiheuttamia ympäristövaikutuksia kentänhoitokonsultointia kehittämällä. Tässä osaprojektissa mallinnettiin veden ja typen kierto viheriöiden kasvualustassa. Mallintamisella voidaan laskea suuruusluokka tärkeimmille prosesseille ja se auttaa arvioitaessa golfkenttien hoidon aiheuttamia ympäristövaikutuksia. Tässä projektissa käytetty malli Suomessa kehitetty dynaaminen simulointimalli CropWatN, joka sisältää kaikki ilmastomme relevantit prosessit. CropWatN-malli integroi kasvin typen ja fosforin ottoon, mikrobiologisiin prosesseihin ja maan fysikaalisiin ominaisuuksiin liittyvät toiminnot.

Osaprojektissa kalibroitiin CropWatN-malli seitsemältä tutkimusviheriöltä mitatun datan avulla. CropWatN-mallin avulla laskettiin golfviheriön keskeiset typen kiertoon liittyvät prosessit ja mallin tulosten avulla laadittiin kastelun ja lannoituksen toimenpidesuosituksia tavoitteena pienetää ympäristökuormituksen määrää.

Koealueilla tehtyjen mittausten mukaan lysimetrien läpi suotautuneen valunnan keskiarvo oli 54 mm/pelikausi (touko-lokakuu). Vastaava laskettu arvo oli 57 mm. Kumulatiivinen valunta oli suurimmillaan 100 mm (Messilä 2005) ja pienimmillään vähemmän kuin 1 mm (Uusikaupunki 2006).

Koealueiden typpilannoitustaso oli v. 2005 ja 2006 aikana keskimäärin n. 200 kg/ha pelikauden aikana. Mallilaskelmien mukaan kasvusto pystyi ottamaan tästä keskimäärin n. 180 kg/ha, eli laskennallinen typen käytön tehokkuus oli 90. Lysimetrin kautta huuhtoutuneet typpimäärät olivat keskimäärin 1.9 kg/ha/pelikausi (vaihteluväli 0.1-3.6 kg/ha) eli keskimäärin vain n. 1 % kasvukauden aikana annetusta typpilannoituksesta.

Koealueiden fosforilannoitustaso oli v. 2005 ja 2006 aikana keskimäärin n. 60 kg/ha kasvukauden aikana. Mallilaskelmien mukaan kasvusto pystyi ottamaan tästä keskimäärin vain n. 21 kg/ha, eli annetusta fosforilannoitteesta suuri osa kasvatti maaperän fosforivarastoja. Koelysimetrin kautta huuhtoutuneet fosforimäärät olivat

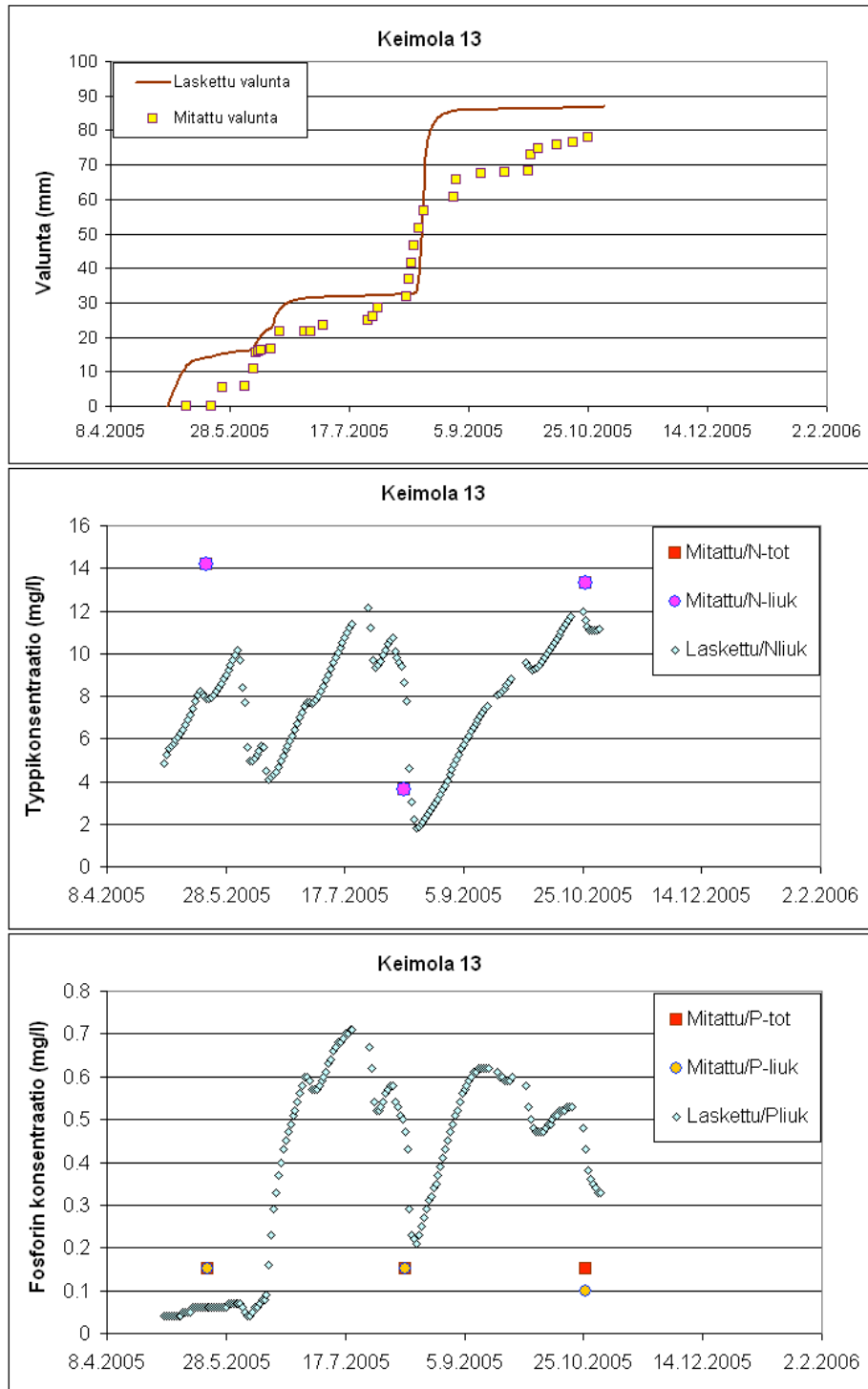
keskimäärin 0.21 kg/ha/pelikausi (vaihteluväli 0.01-0.54 kg/ha) eli keskimäärin vain n. 0.3 % kasvukauden aikana annetusta P-lannoituksesta.

Mittausten ja mallilaskelmien avulla laadittiin toimenpidesuosituksia kenttien kastelun ja lannoituksen osalta. Malli-laskelmien mukaan erityinen huomio kannattaa kiinnittää siihen, ettei kastelun kerta-annos ole liian suuri, jolloin riski pintavalunnan muodostumiselle kasvaa. Kastelusta aiheutuva pintavalunta lisää ravinteiden huuhtoutumista ja pienentää lannoitteiden käytön tehokkuutta erityisesti silloin, jos lannoitteet annetaan liukoisessa muodossa. Sopiva kertakastelun annos on käytännössä pakko etsiä kokeilemalla, sillä mallin tulokset tai fysikaaliset mittaukset eivät todennäköisesti ole riittävän tarkkoja.

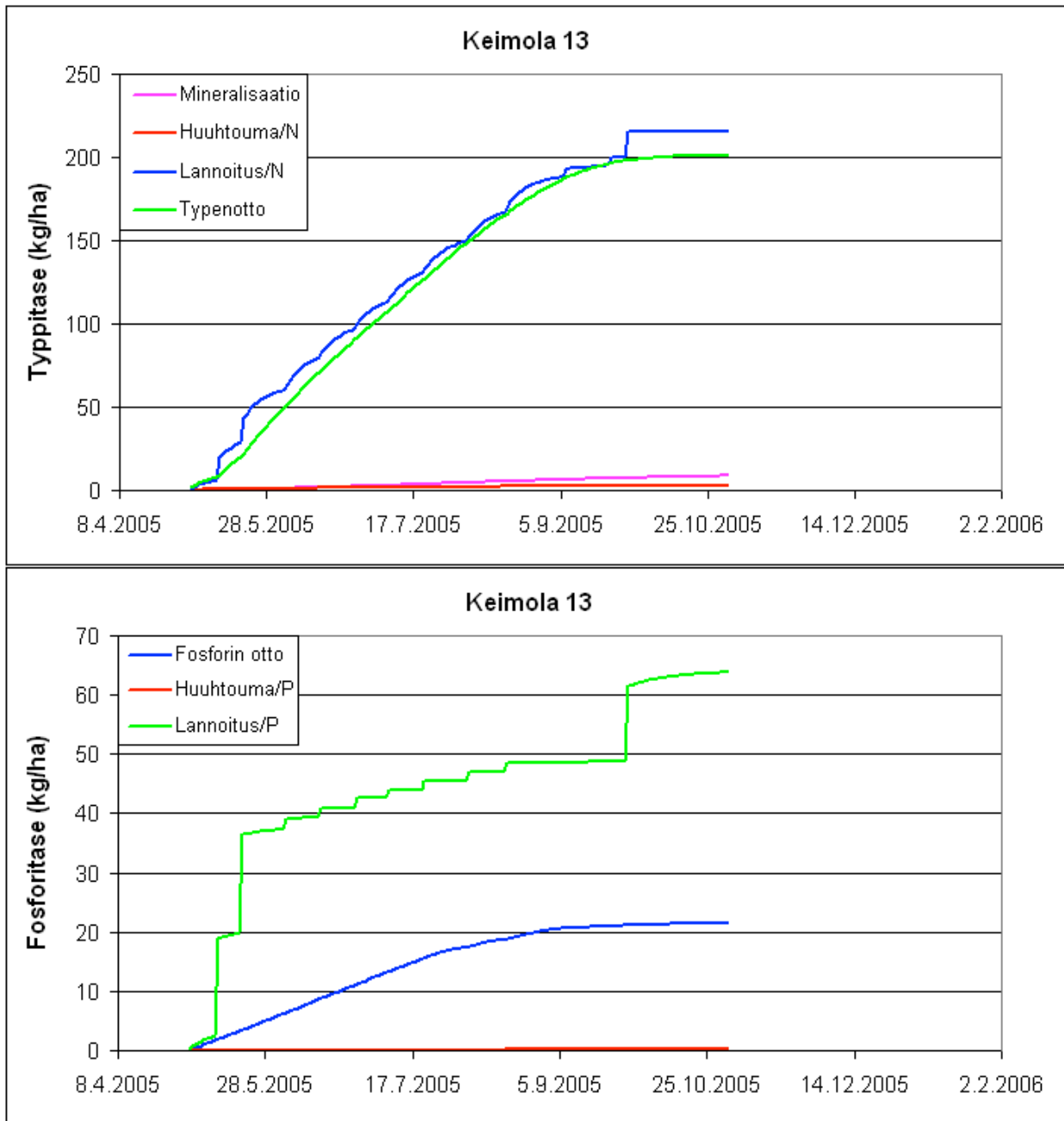
Koealueiden typpilannoitustasoa kannattanee asteittain pienentää, jotta löydetään raja, jossa kasvu on vielä riittävän hyvä. Mallilla tehtyjen arvioiden mukaan lannoitustasoa voitaisiin pienentää n. 20-50 kg/ha/kasvukausi niin, että kasvusto saisi vielä riittävästi typpeä. Optimaalisen lannoitustason etsintä on todennäköisesti tehtävä kenttä- tai jopa viheriökohtaisesti.

Fosforilannoitus on selvästi vaikeampaa optimoida kuin typpilannoitus, sillä osa annetusta fosforista sitoutuu lähes välittömästi lannoituksen jälkeen maarakeiden pinnoille. Mallilaskelmien mukaan koealueiden lannoitustasoa voitaisiin fosforin osalta vähentää asteittain jopa 20 kg/ha nykyisestä tasostaan. Mallin mukaan alkukevällä annetusta isosta lannoitemäärästä suuri osa jää hyödyntämättä. Erityisesti kasvukauden lopulla annettu liiallinen fosforilannoitus lisää huuhtoutumisriskiä, joten syksyn lannoitusmääriä on myös syytä vähentää.

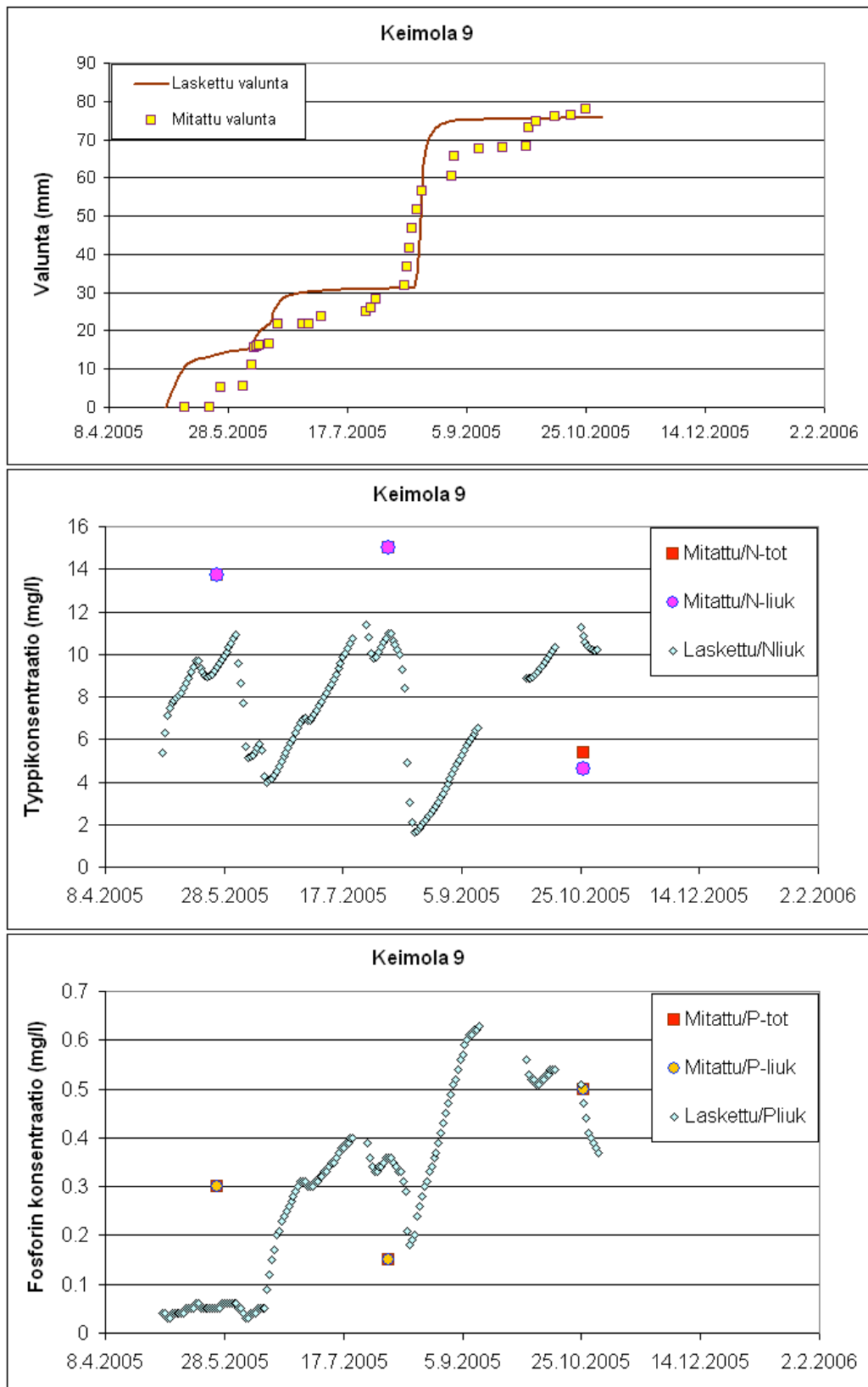
Mallin kalibroinnin tulokset



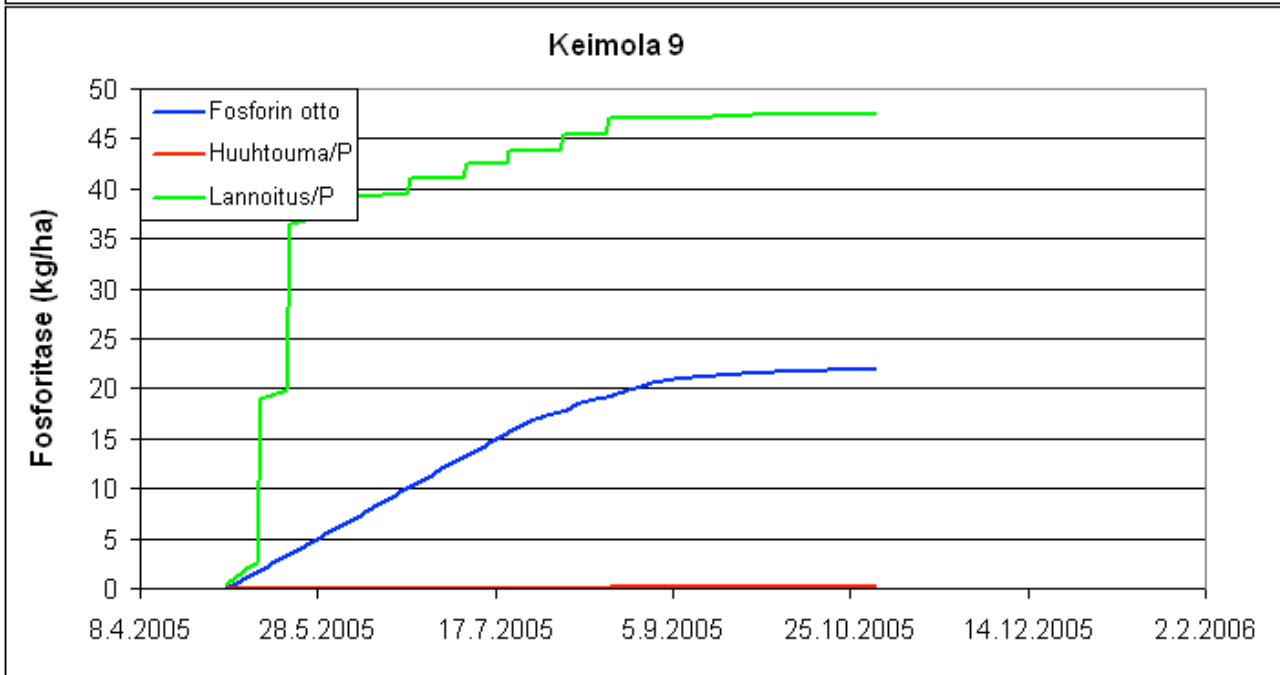
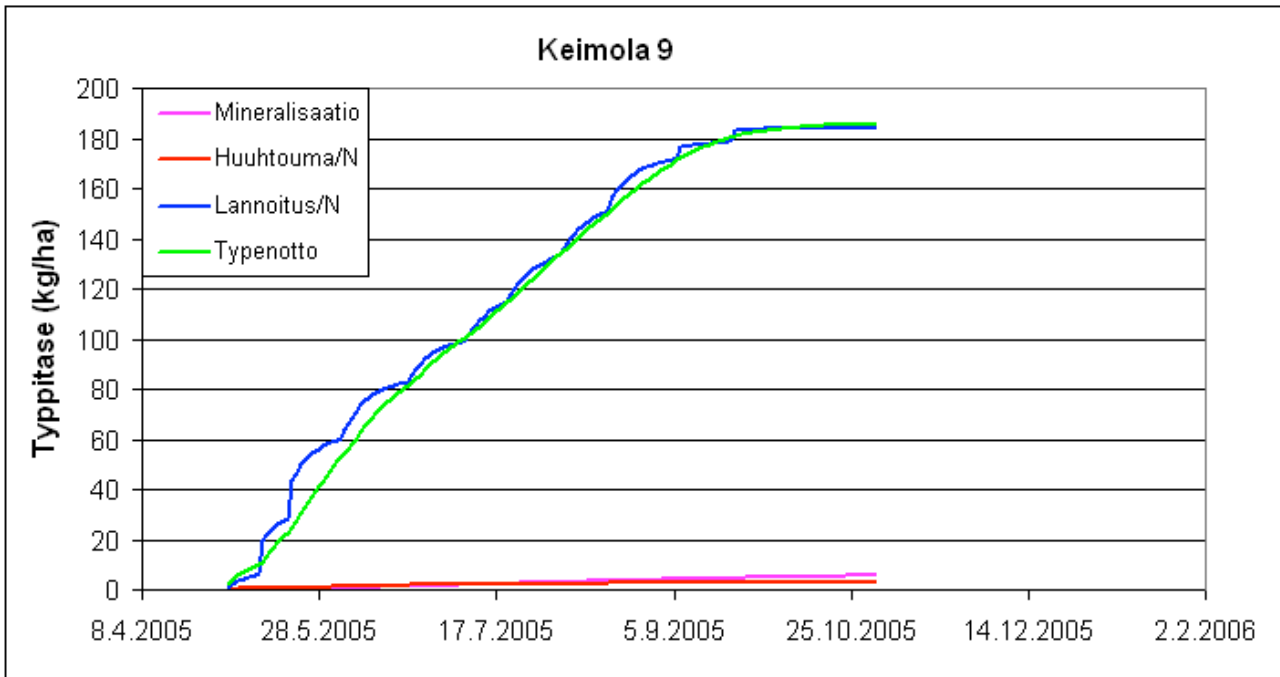
Kuva L1-1. Mitatut ja mallilla lasketut tulokset. a) Valunta (mm), b) Typpikonsentraatio (mg/l) ja c) Fosforin konsentraatio (mg/l) (Keimola 13, 2005).



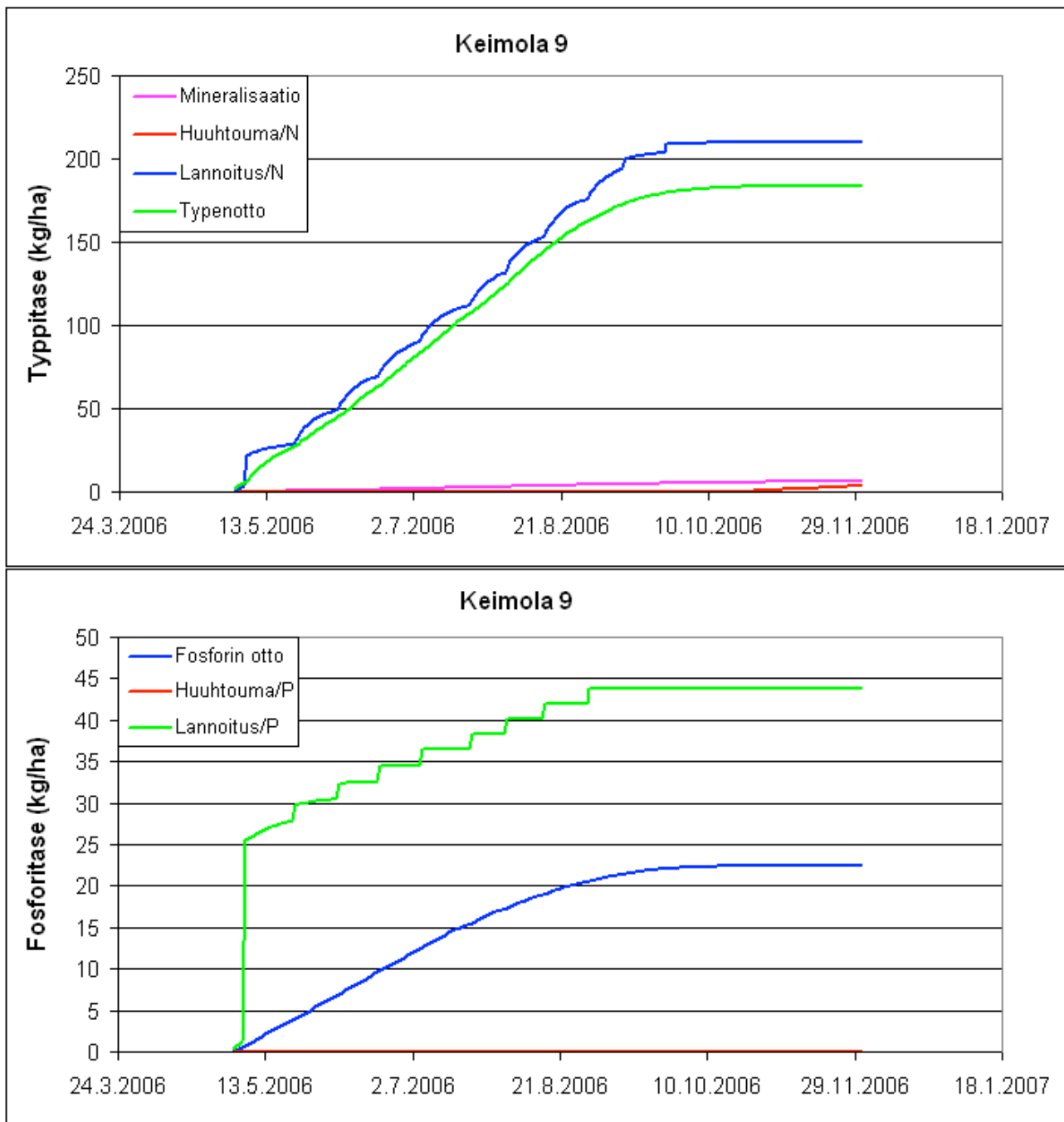
Kuva L1-2. Mallilla lasketut ravinnetaseiden komponentit. a) Typpitaseen komponentit (kg/ha), b) Fosforitaseen komponentit (kg/ha) (Keimola 13, 2005).



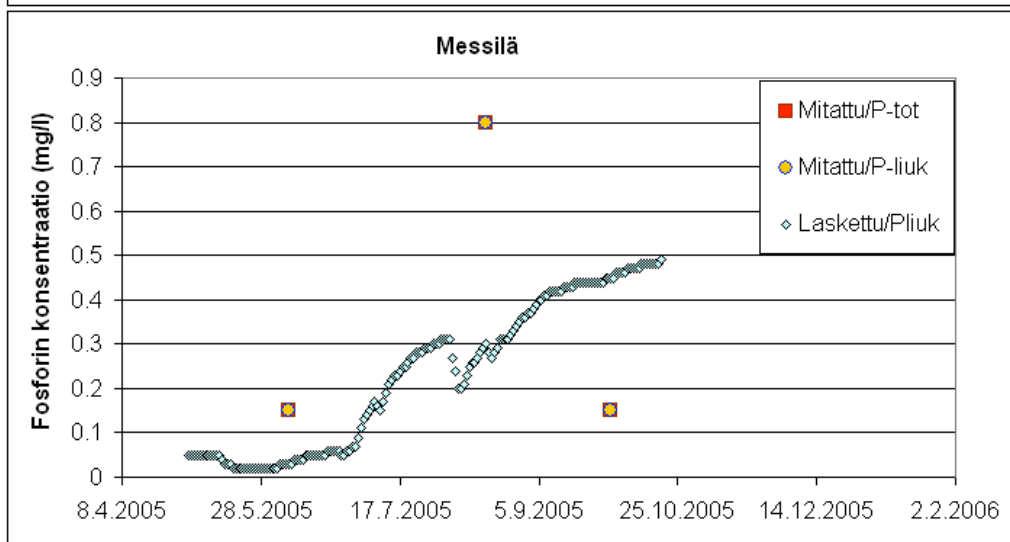
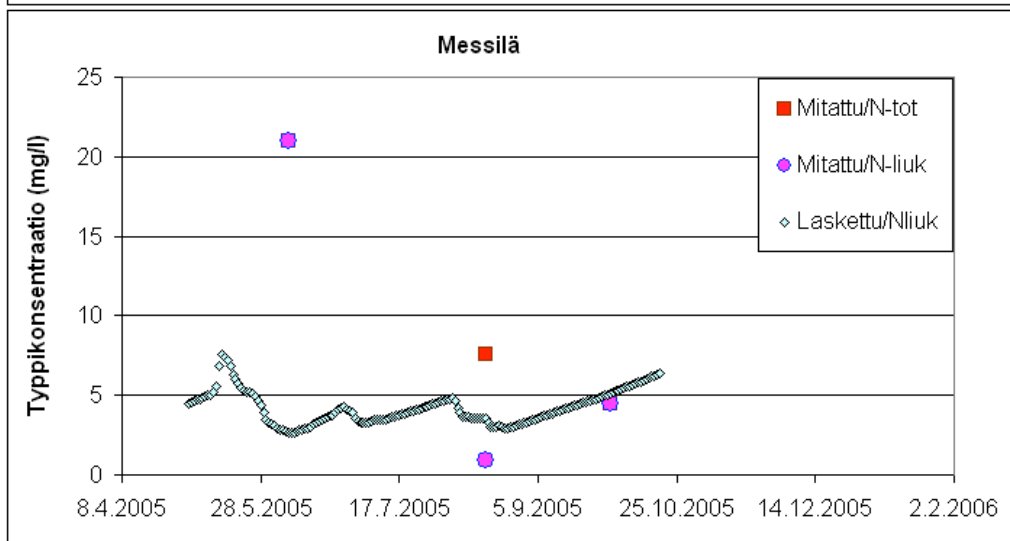
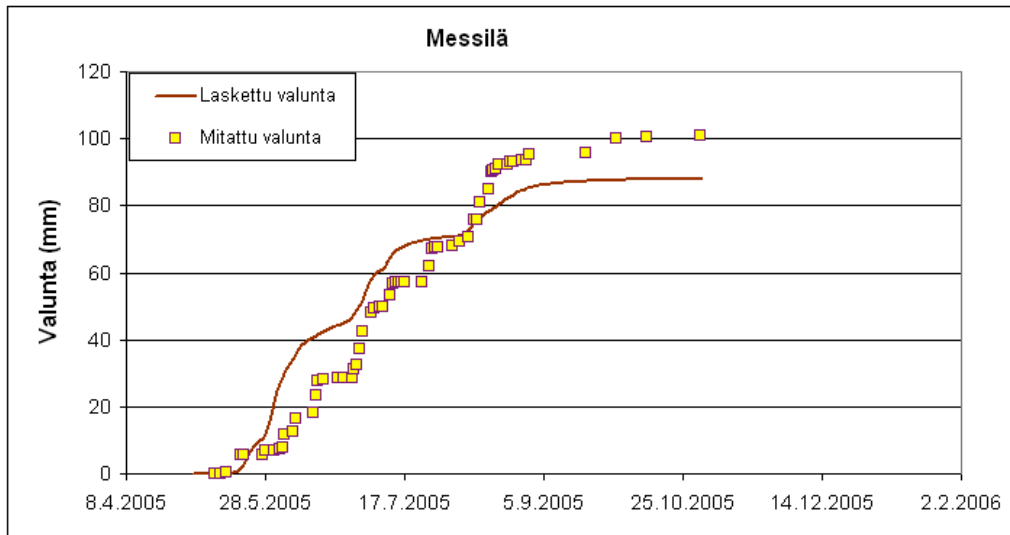
Kuva L1-3. Mitatut ja mallilla lasketut tulokset. a) Valunta (mm), b) Typpinkonsentraatio (mg/l) ja c) Fosforin konsentraatio (mg/l) (Keimola 9, 2005).



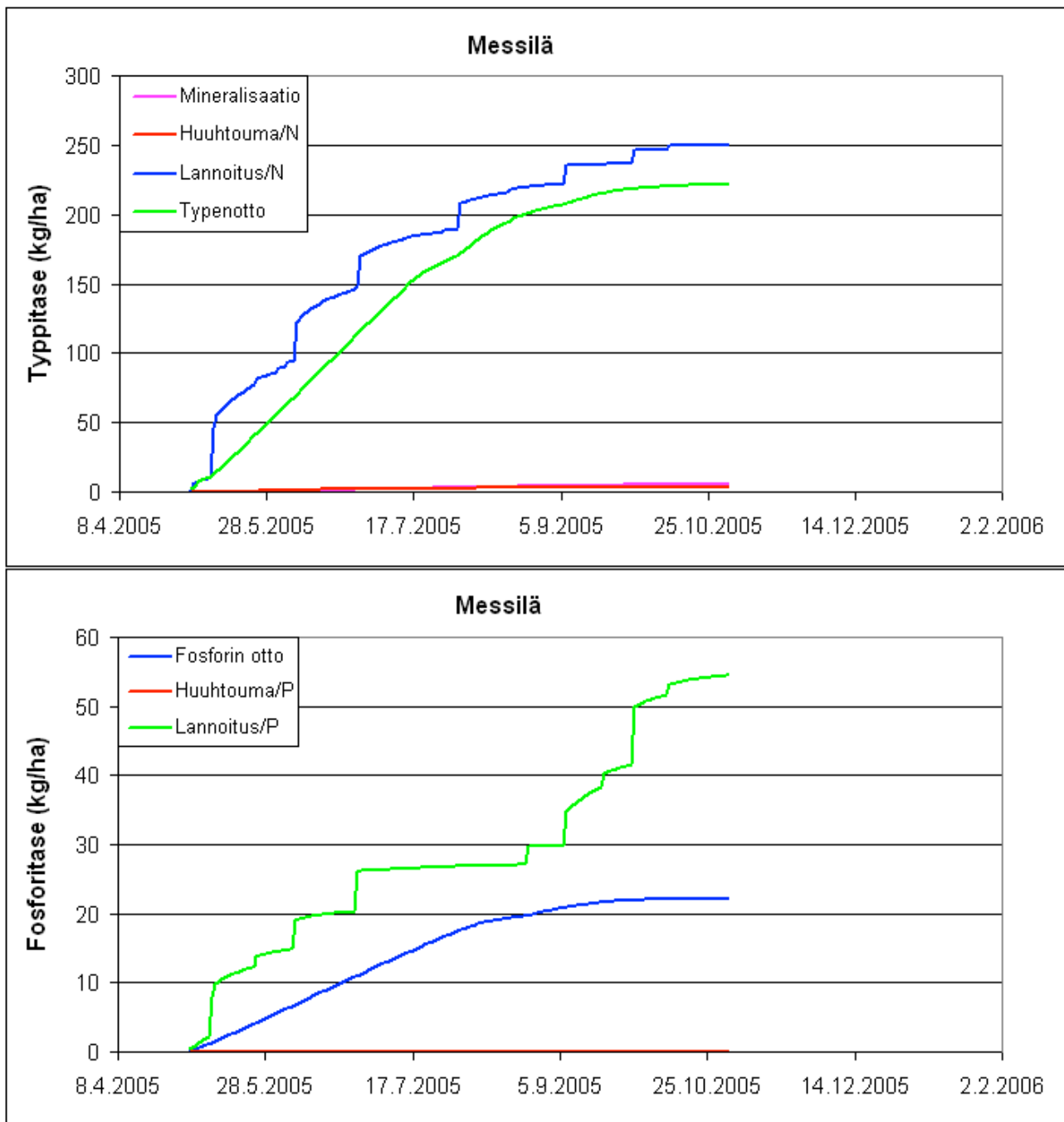
Kuva L1-4 Mallilla lasketut ravinnetaseiden komponentit. a) Typpitaseen komponentit (kg/ha), b) Fosforitaseen komponentit (kg/ha) (Keimola 9, 2005).



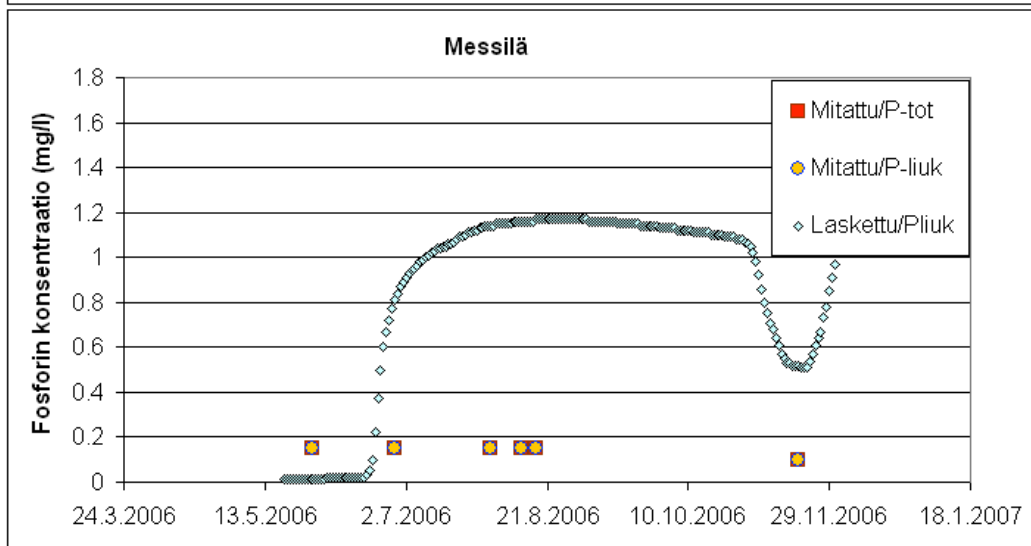
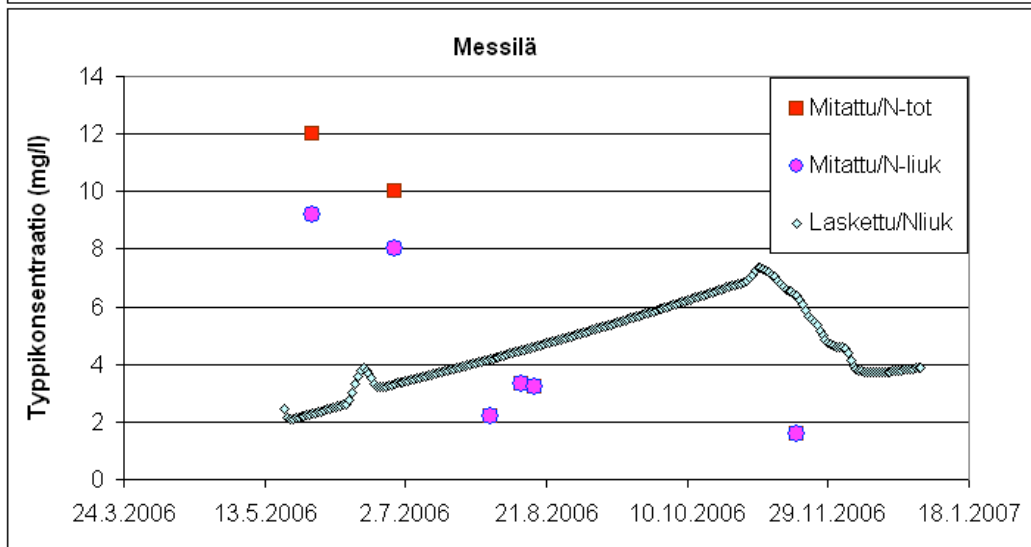
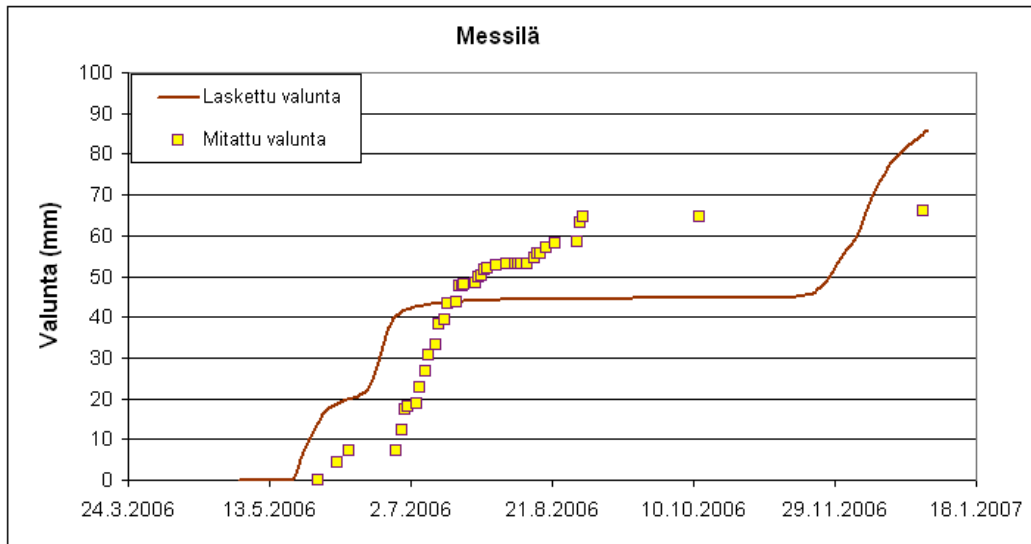
Kuva L1-6 Mallilla lasketut ravinnetaseiden komponentit. a) Typpitaseen komponentit (kg/ha), b) Fosforitaseen komponentit (kg/ha) (Keimola 9, 2006).



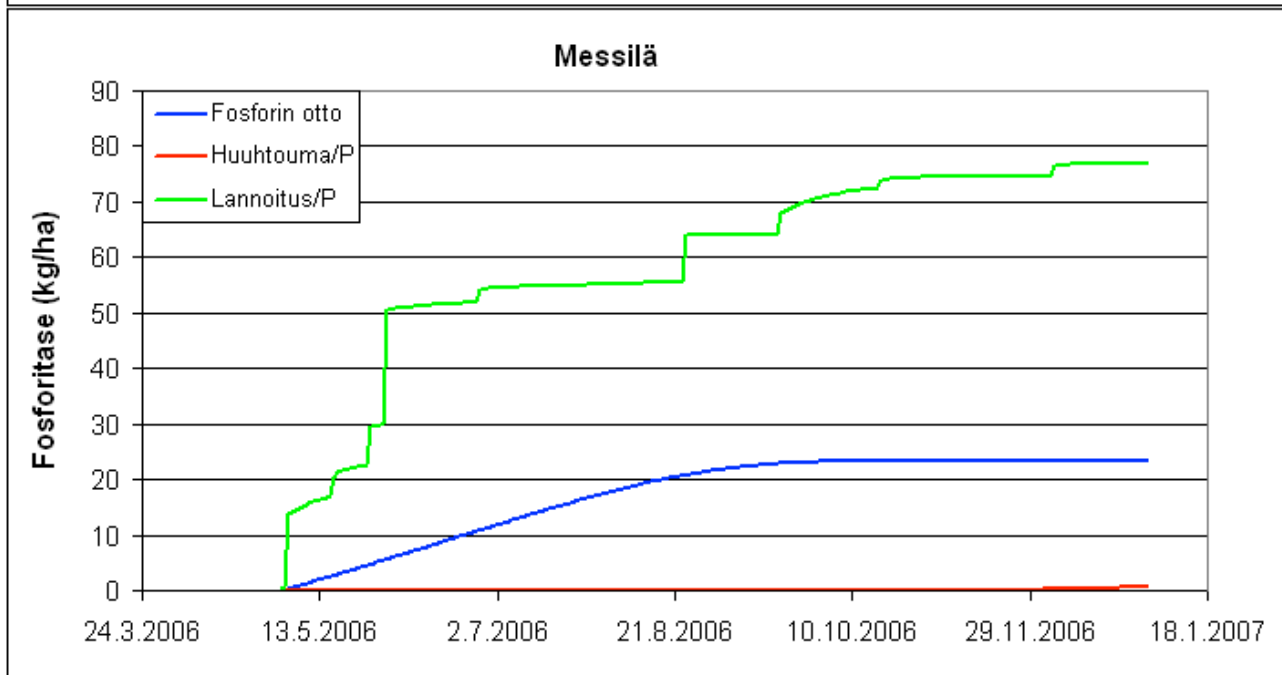
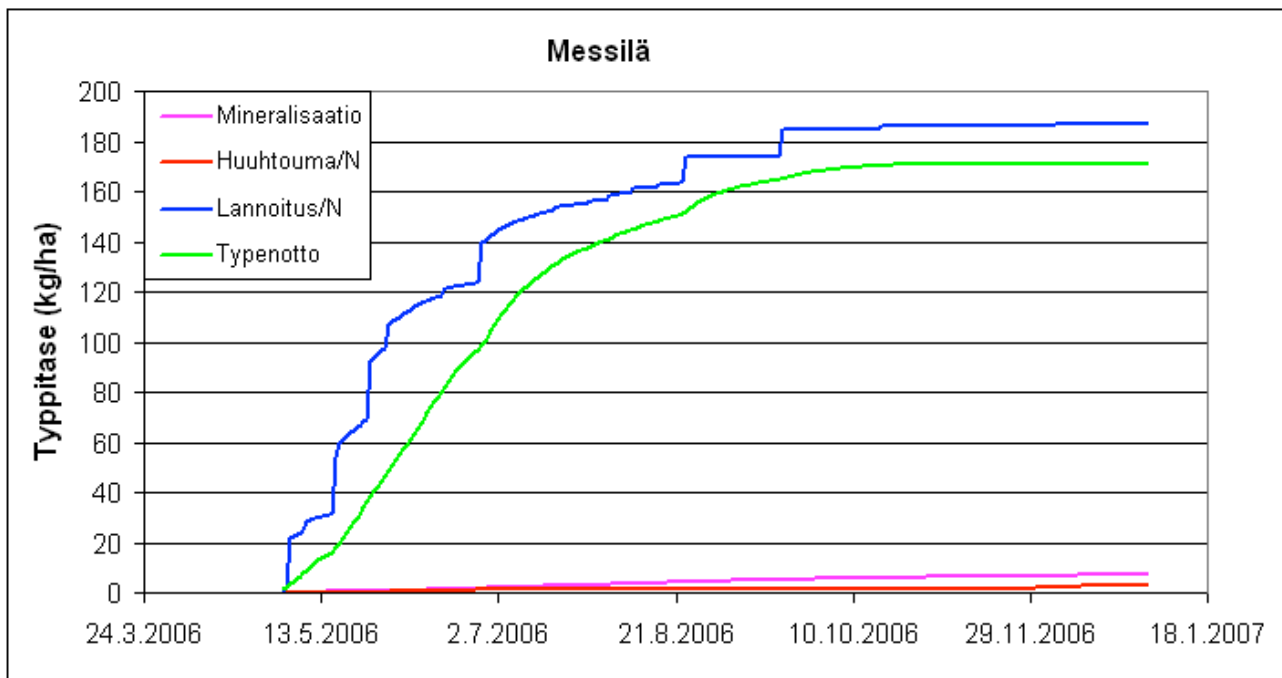
Kuva L1-7. Mitatut ja mallilla lasketut tulokset. a) Valunta (mm), b) Typpikonsentraatio (mg/l) ja c) Fosforin konsentraatio (mg/l) (Messila, 2005).



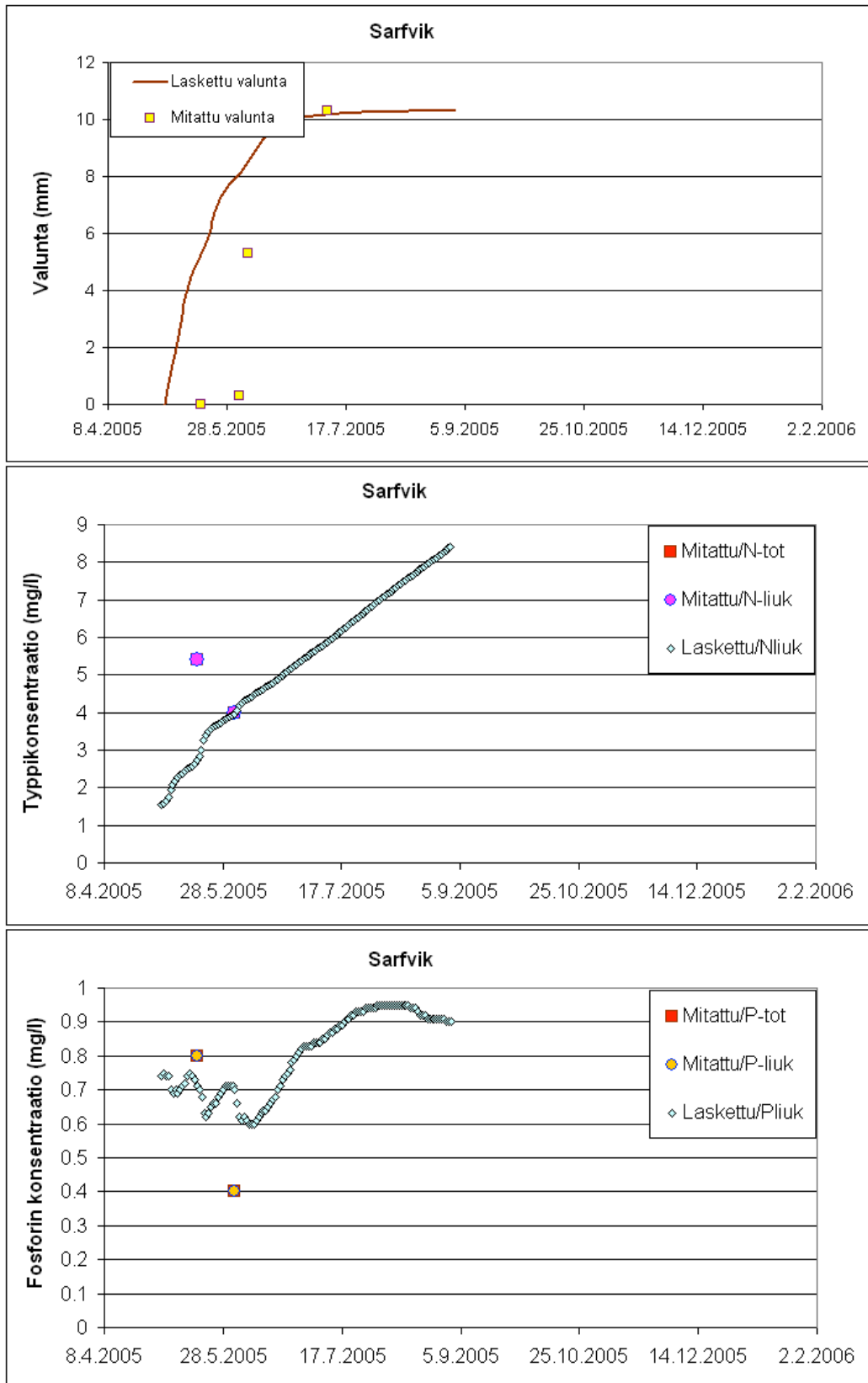
Kuva L1-8 Mallilla lasketut ravinnetaseiden komponentit. a) Typpitaseen komponentit (kg/ha), b) Fosforitaseen komponentit (kg/ha) (Messila, 2005).



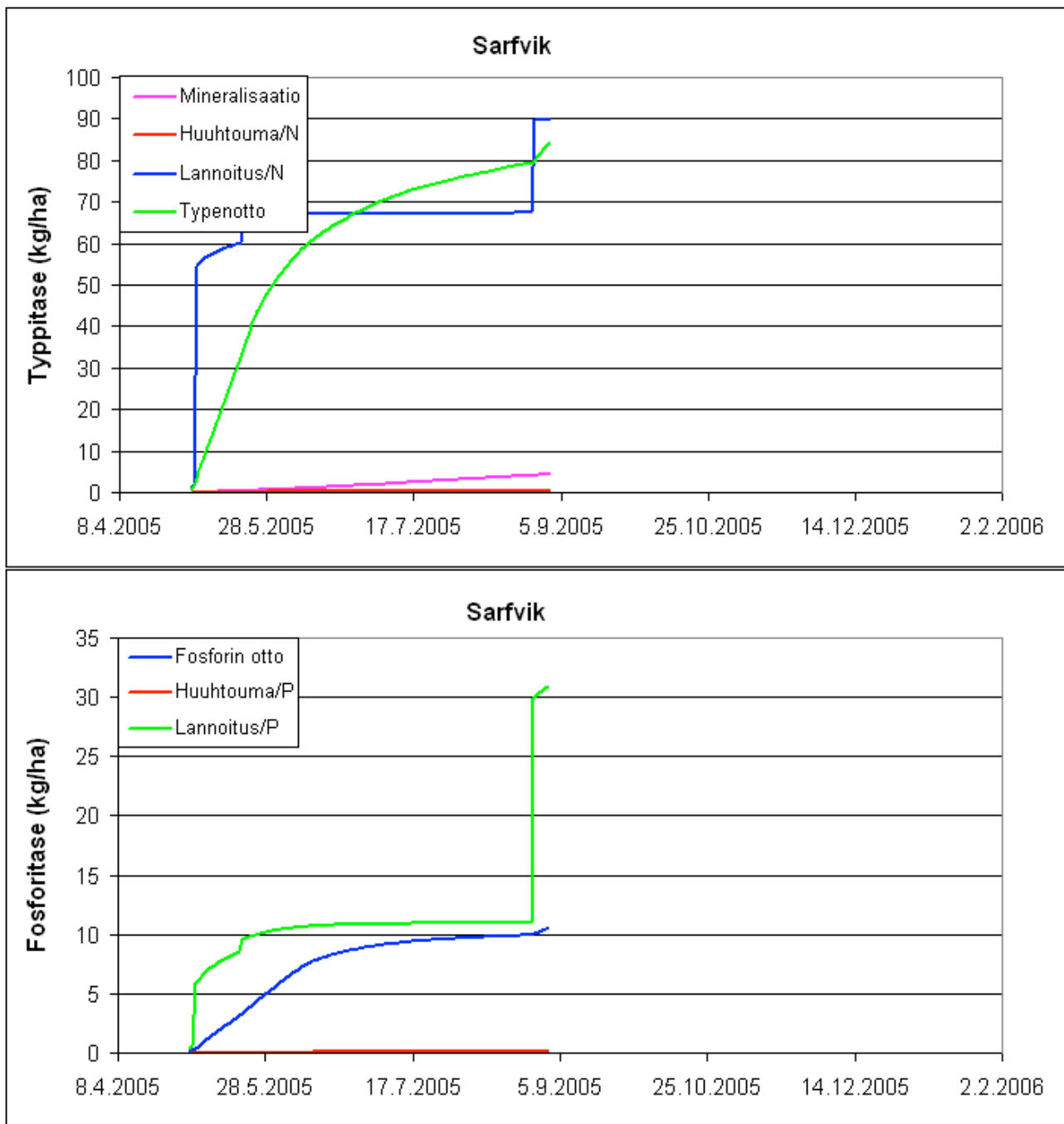
Kuva L1-9. Mitatut ja mallilla lasketut tulokset. a) Valunta (mm), b) Typpikonsentraatio (mg/l) ja c) Fosforin konsentraatio (mg/l) (Messilä, 2006).



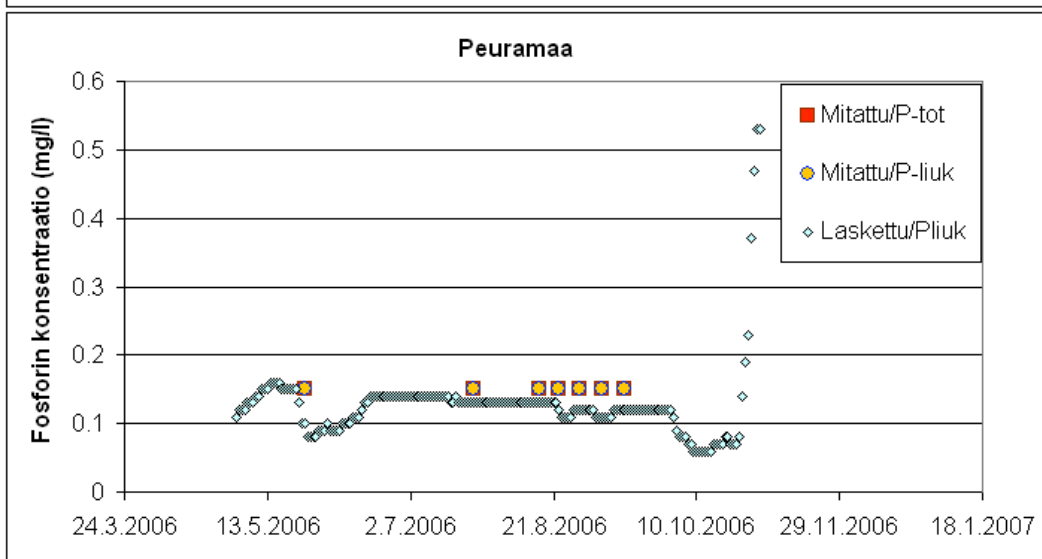
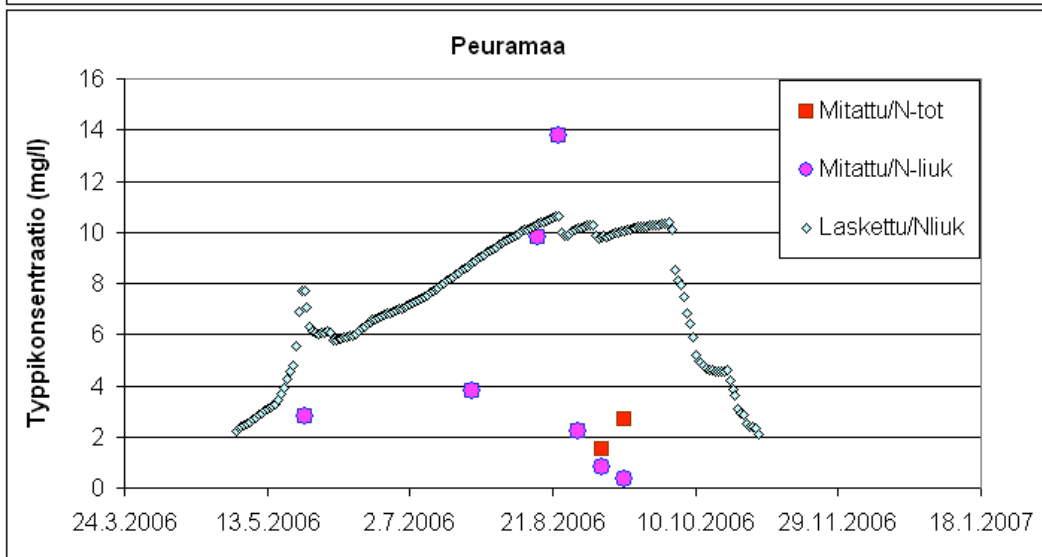
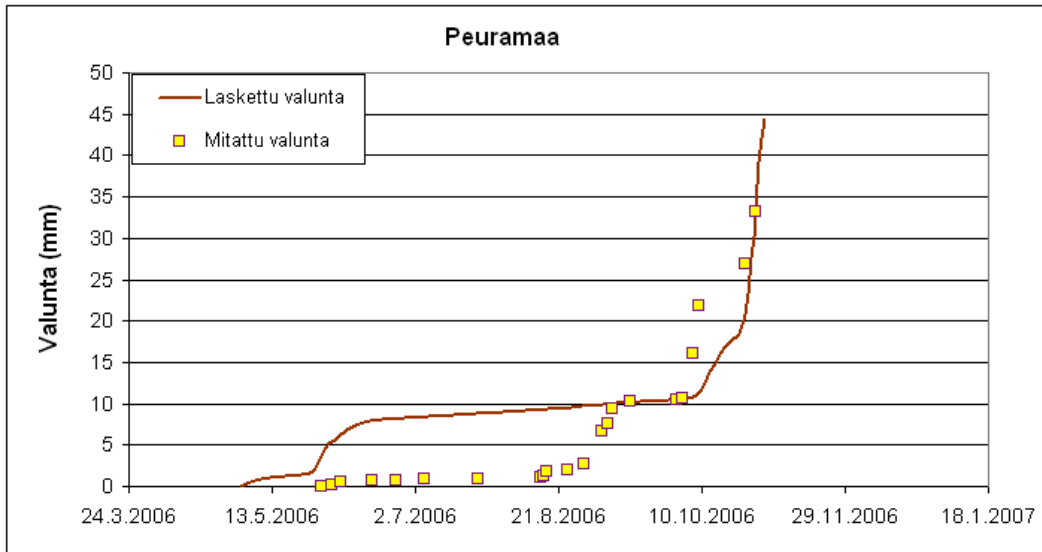
Kuva L1-10 Mallilla lasketut ravinnetaseiden komponentit. a) Typpitaseen komponentit (kg/ha), b) Fosforitaseen komponentit (kg/ha) (Messila, 2006).



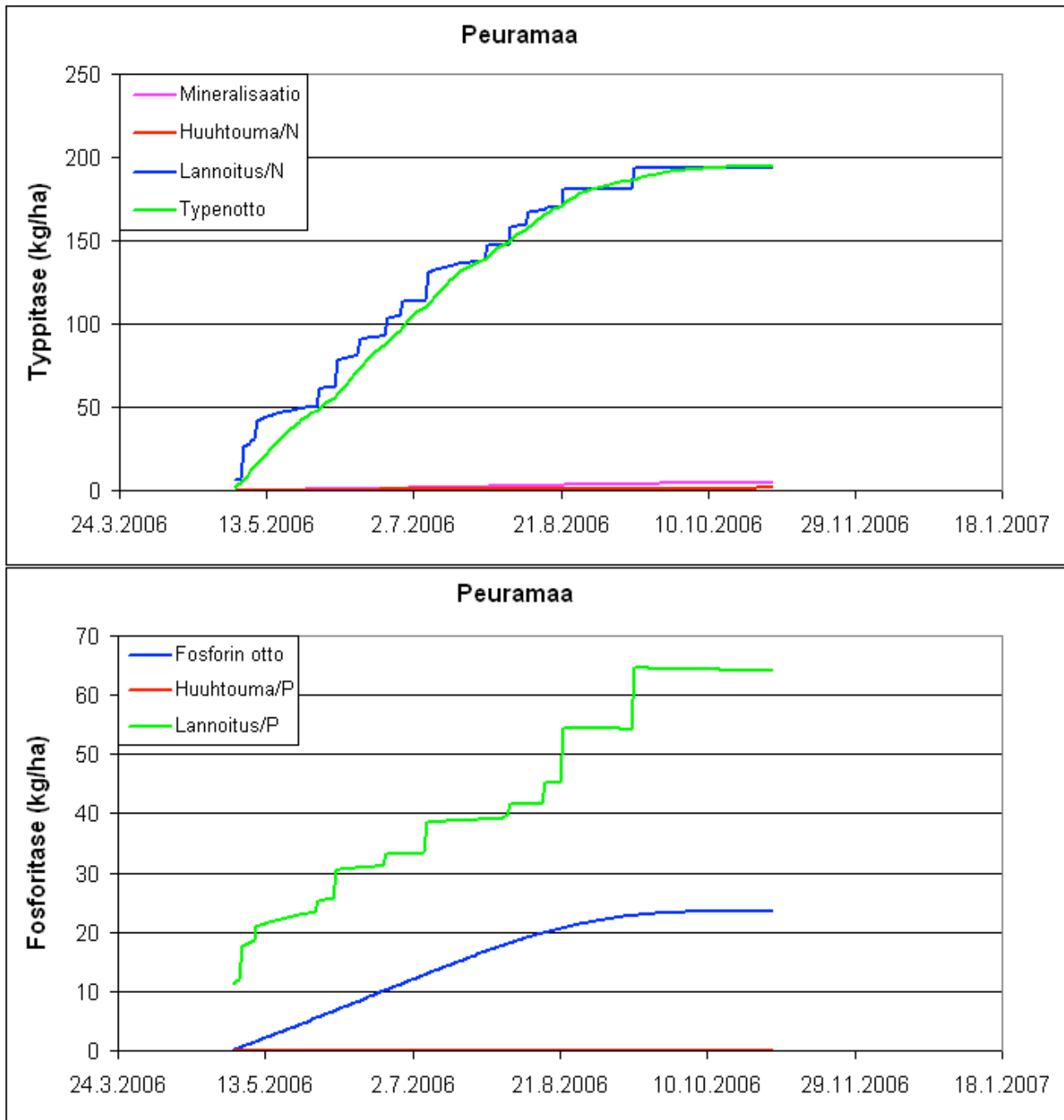
Kuva L1-11. Mitatut ja mallilla lasketut tulokset. a) Valunta (mm), b) Typpikonsentraatio (mg/l) ja c) Fosforin konsentraatio (mg/l) (Sarfvik, 2005).



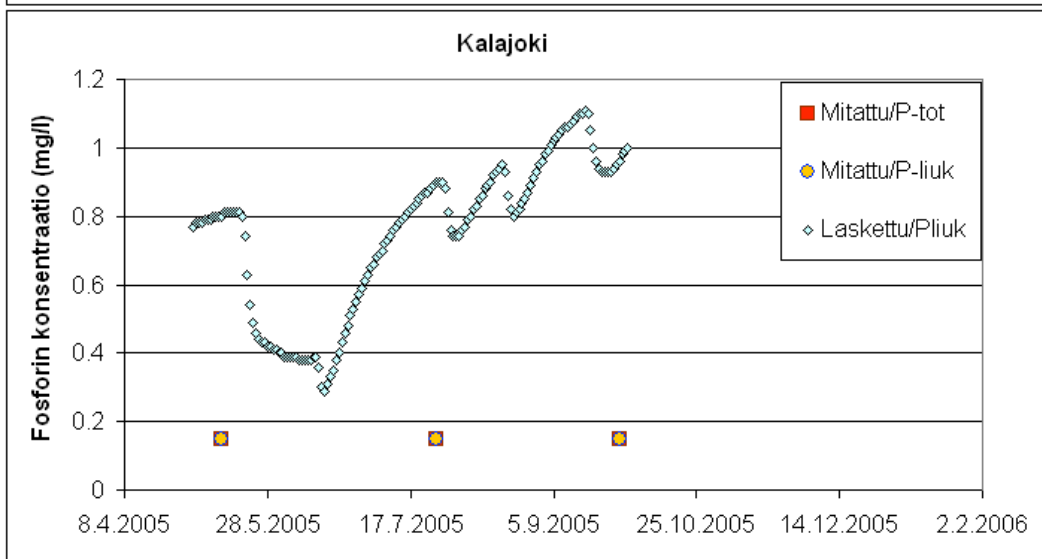
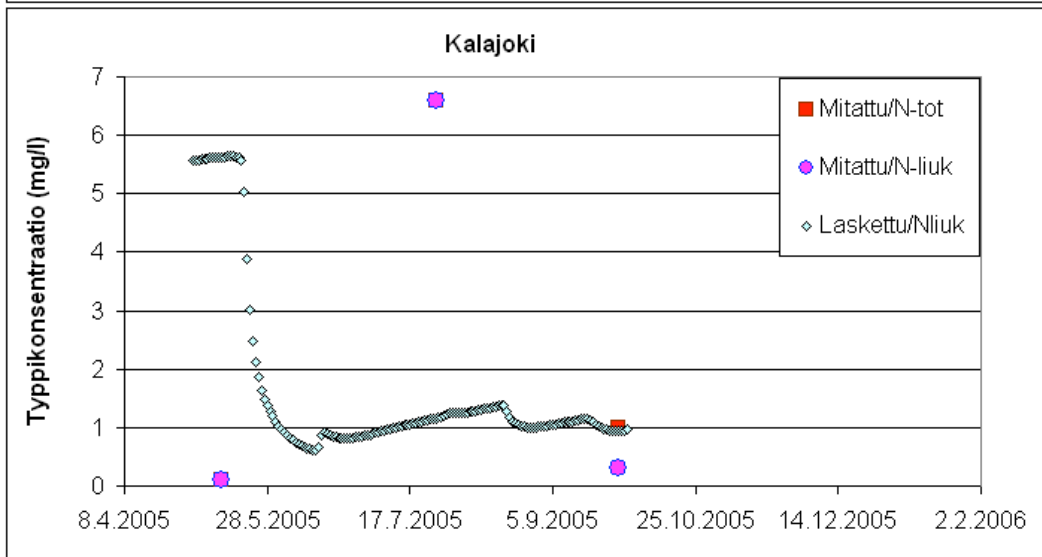
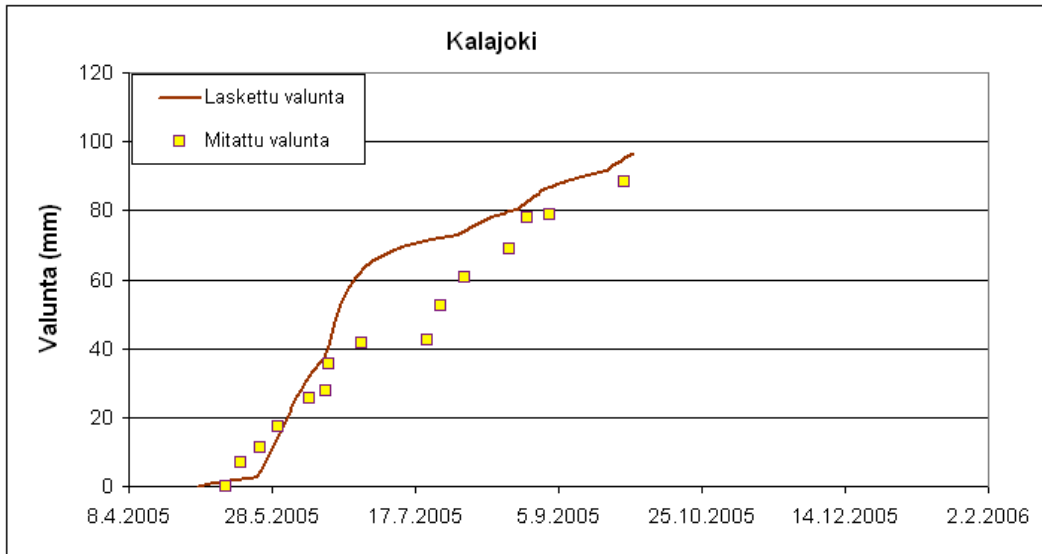
Kuva L1-12 Mallilla lasketut ravinnetaseiden komponentit. a) Typpitaseen komponentit (kg/ha), b) Fosforitaseen komponentit (kg/ha) (Sarfvik, 2005).



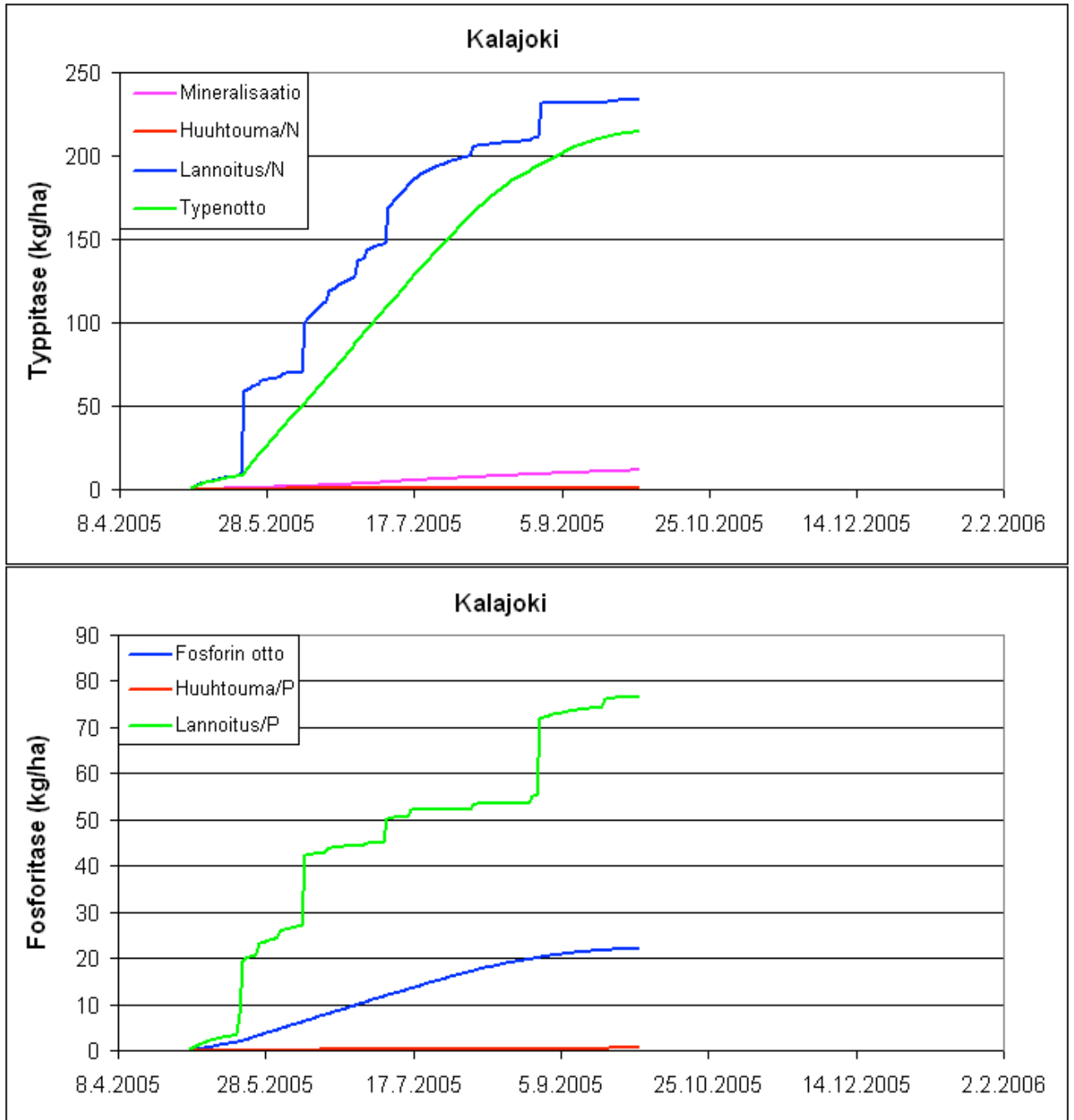
Kuva L1-13. Mitatut ja mallilla lasketut tulokset. a) Valunta (mm), b) Typpikonsentraatio (mg/l) ja c) Fosforin konsentraatio (mg/l) (Peuramaa, 2006).



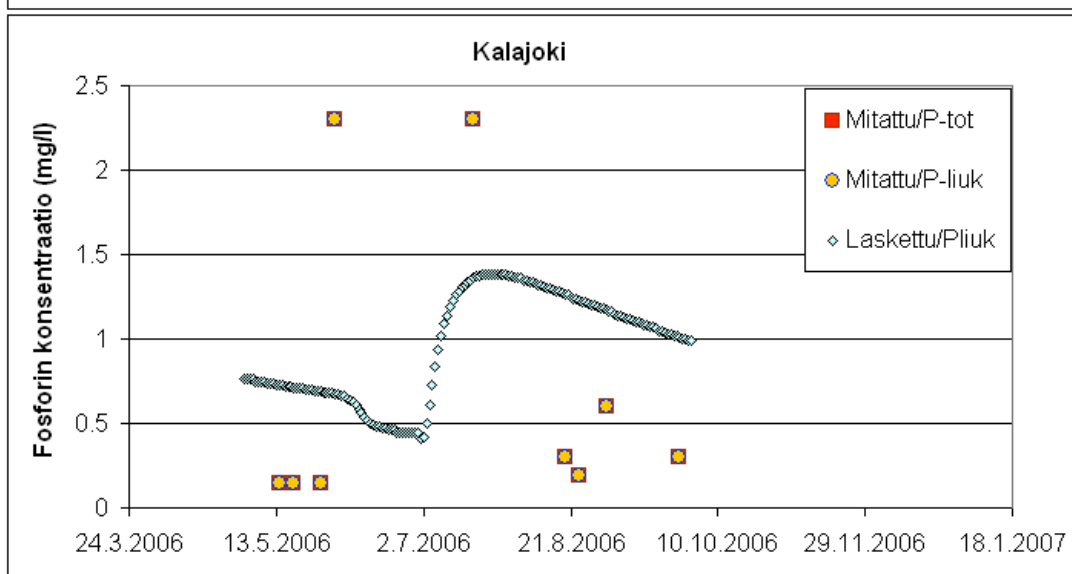
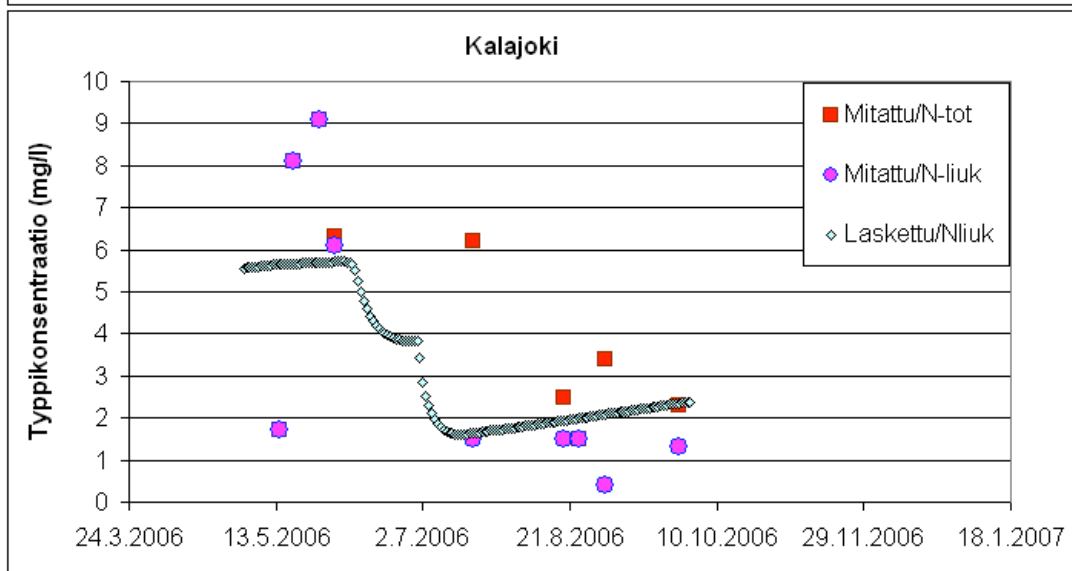
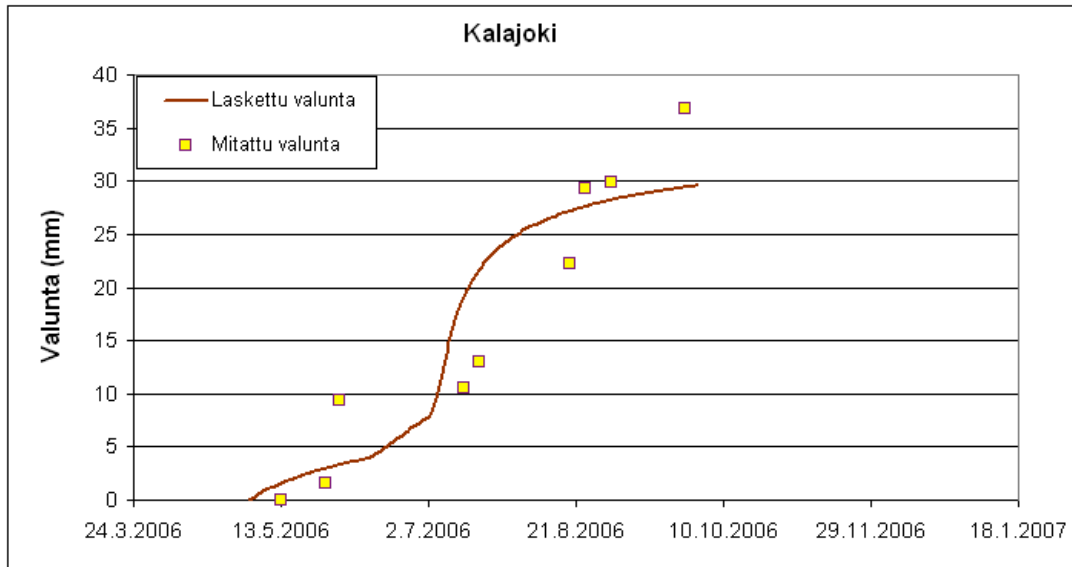
Kuva L1-14 Mallilla lasketut ravinnetaseiden komponentit. a) Tyypitaseen komponentit (kg/ha), b) Fosforitaseen komponentit (kg/ha) (Peuramaa, 2006).



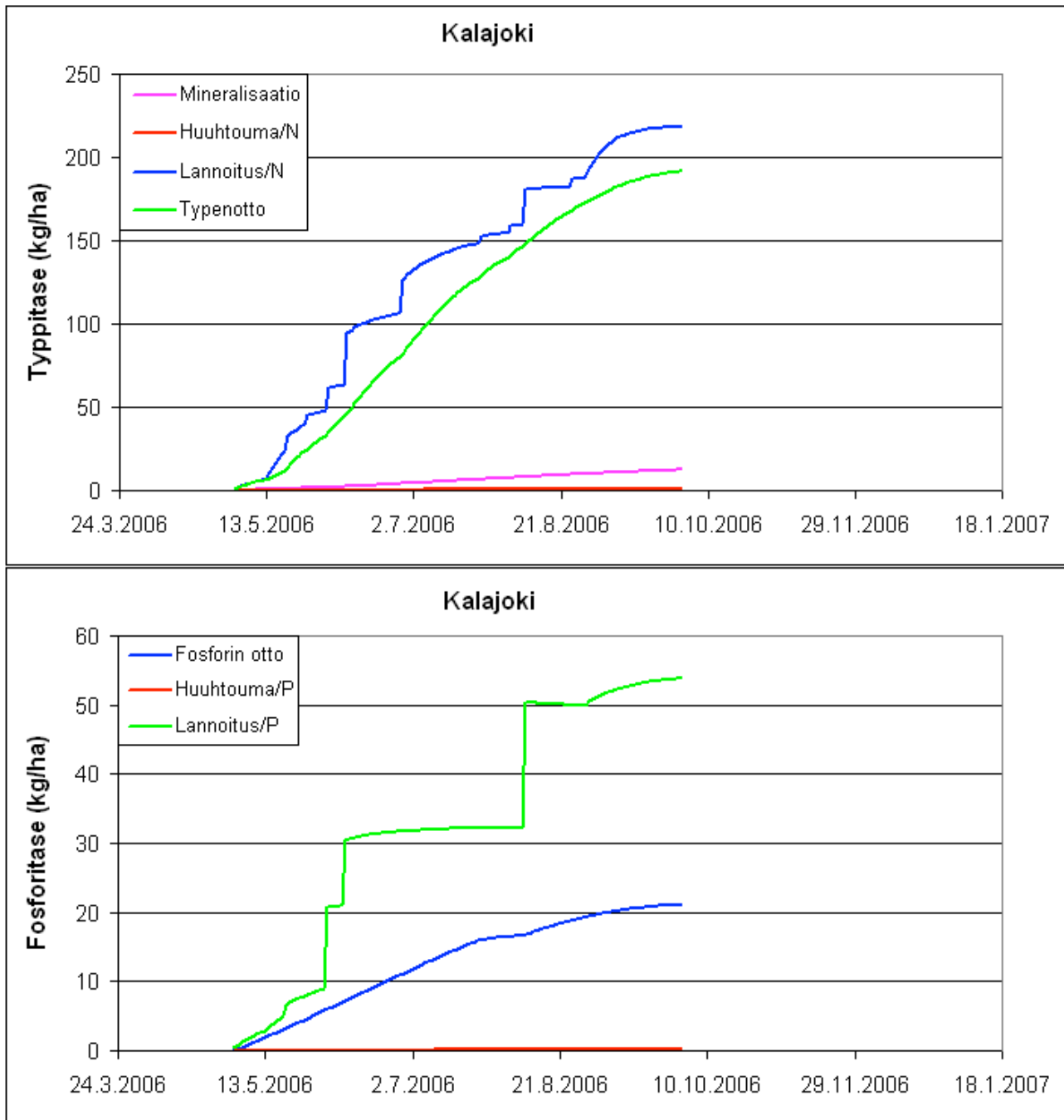
Kuva L1-15. Mitatut ja mallilla lasketut tulokset. a) Valunta (mm), b) Typpikonsentraatio (mg/l) ja c) Fosforin konsentraatio (mg/l) (Kalajoki, 2005).



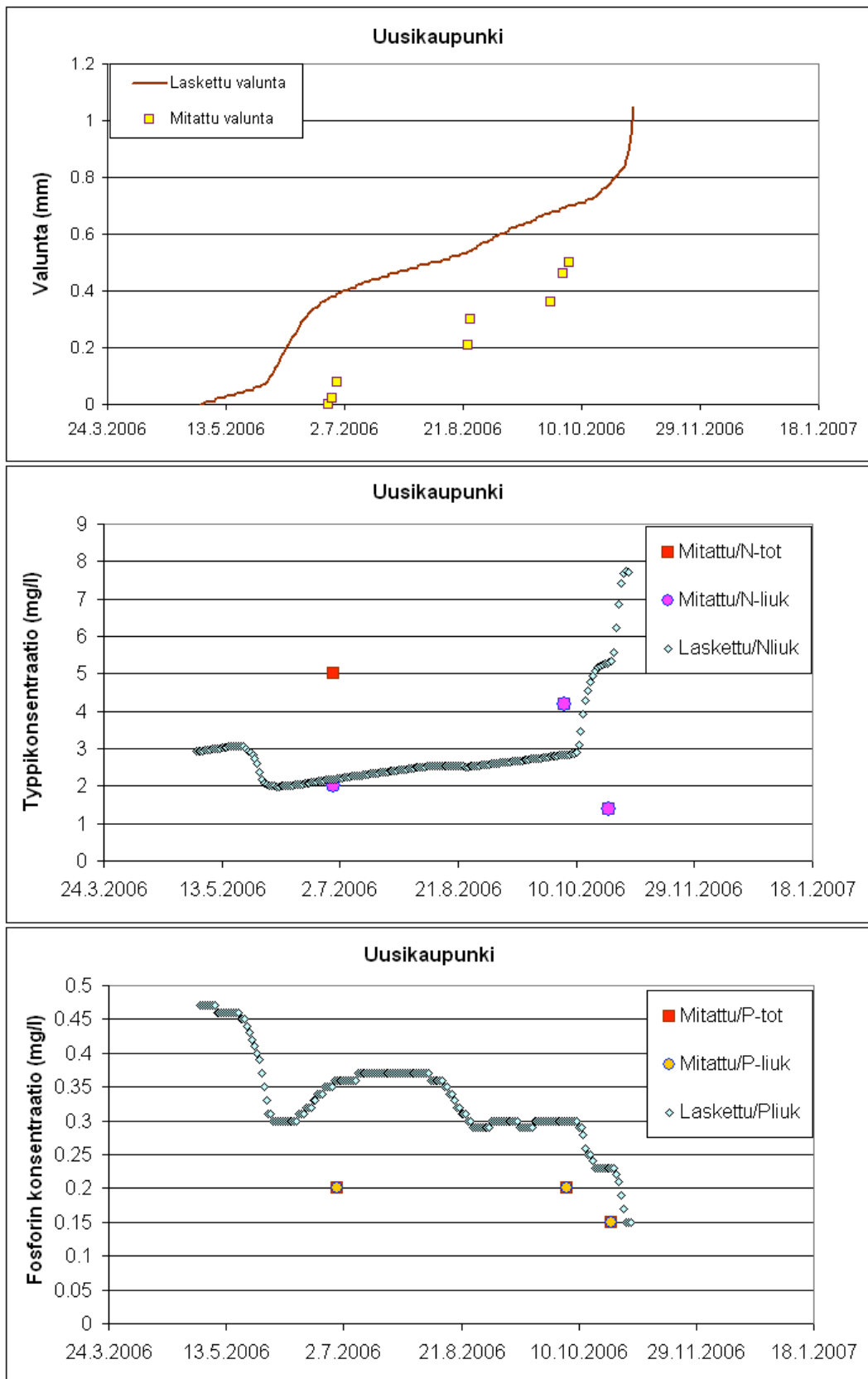
Kuva L1-16 Mallilla lasketut ravinnetaseiden komponentit. a) Typpitaseen komponentit (kg/ha), b) Fosforitaseen komponentit (kg/ha) (Kalajoki, 2005).



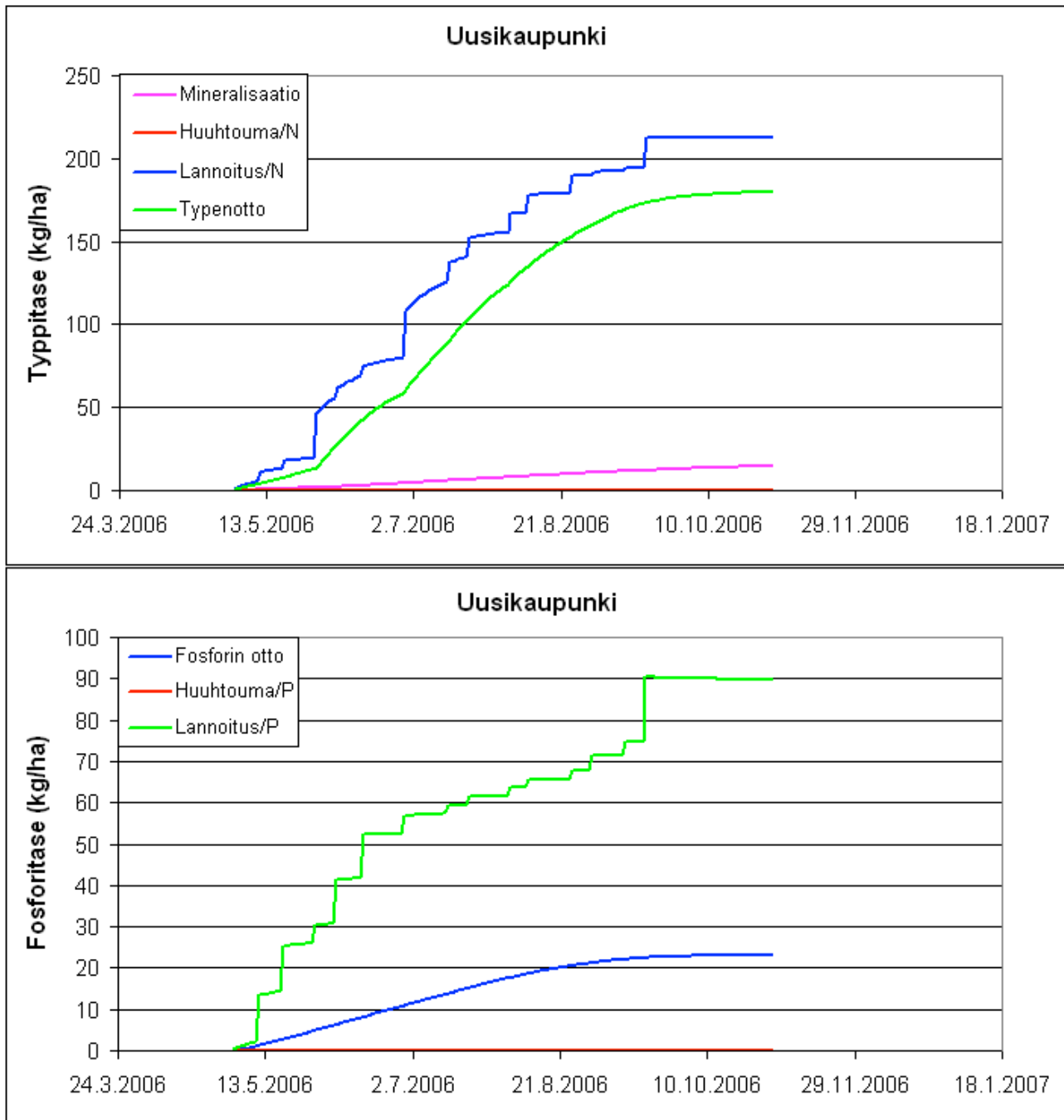
Kuva L1-17. Mitatut ja mallilla lasketut tulokset. a) Valunta (mm), b) Typpikonsentraatio (mg/l) ja c) Fosforin konsentraatio (mg/l) (Kalajoki, 2006).



Kuva L1-18 Mallilla lasketut ravinnetaseiden komponentit. a) Tyypitaseen komponentit (kg/ha), b) Fosforitaseen komponentit (kg/ha) (Kalajoki, 2006).



Kuva L1-19. Mitatut ja mallilla lasketut tulokset. a) Valunta (mm), b) Typpikonsentraatio (mg/l) ja c) Fosforin konsentraatio (mg/l) (Uusikaupunki, 2005).



Kuva L1-20 Mallilla lasketut ravinnetaseiden komponentit. a) Typpitaseen komponentit (kg/ha), b) Fosforitaseen komponentit (kg/ha) (Uusikaupunki, 2005).

CROPWATN-mallin prosessit

Käytettävä malli on Suomen olosuhteisiin kehitetty CropWatN-malli, jonka kehitystyö aloitettiin v. 1987 (Karvonen 1988) ja malliin on sen jälkeen lisätty koko ajan uusia ominaisuuksia. Mallin ensimmäisellä versiolla pystyttiin laskemaan maaperän vesi- ja lämpötase, sekä lumen kertyminen ja sulaminen. Seuraavassa vaiheessa malliin liitettiin mukaan sekä maaperän, että kasvuston typpitaseen laskenta (Karvonen ja Kleemola 1995). Tätä versiota testattiin kansainvälisessä mallivertailussa Hollannissa, johon osallistui 9 malliryhmää eri puolilta maailmaa. Viljakasvina oli peruna ja käsittelyinä sadetus ja typpilannoitus. CropWatN oli ainoa mukana ollut pohjoismainen malli. Vertailussa mallit kalibroitiin annetulla aineistolla ja kukin ryhmä ennusti sokkona toisen vuoden tulokset niin, että lähtötietona annettiin ainoastaan sadanta, sadetus, ilman lämpötila, haihdunta, sekä lannoitusmäärät ja ajankohdat. Vertailun tulokset julkistettiin v. 1995 (Kabat et al.). CropWatN-mallilla tehdyt ennusteet osuivat mitattuihin arvoihin (sato, sadon ottama typpimäärä, maankosteus) keskimäärin paremmin kuin minkään muun ryhmän malleilla tehdyt ennusteet.

Mallia on sen jälkeen testattu mm TKK:n vesitalouden laboratoriossa tehdyissä väitöskirjoissa (Tamm 2002 ja Jauhainen 2004), tutkimushankkeissa ja muissa opinnäytteissä (mm. Paasonen-Kivekäs ja Karvonen 1988; Paasonen-Kivekäs et al. 1999, 2003a ja b; Friman 2003). Mallin käyttöliittymä on siirretty 1990-lopun lopulta alkaen Excel:iin ja mallista on laadittu sovellutuksia eri viljakasveille, sekä nurmikoille. Pesticidien ja fosforin huuhtoumismalli on myös liitetty mukaan 2000-luvun aikana.

GolfY-hankkeessa mallin käyttöliittymä on kirjoitettu kokonaan uudestaan niin, että malli pystyy mahdollisimman helposti hyödyntämään Golf-hankkeessa mitattuja lähtötietoja, lysimetrin läpi suotauneen veden määriä ja ravinnepitoisuuksien mitattuja arvoja. GolfY-hankkeessa malliin on lisätty mahdollisuus syöttää lannoitusmäärät useana eränä yhden päivän osalle ja useassa eri muodossa (hidasliukoinen rae, liuos, orgaaninen lannoite). Mallin typpi- ja fosforiosat jouduttiin myös ohjelmoimaan uudelleen em. lannoitusvaihtoehtojen takia.

CropWatN-mallin prosessit ja tulostusmuuttujat

CropWatN-mallin osamallit ovat:

- maaperän vesitase
- maaperän ravinnetase (typpi ja fosfori)
- maan lämpötase
- lumen kertyminen ja sulaminen
- kasvustomalli (kasvien kasvu ja ravinteiden otto)
- vesi- ja ravinnetalouden säätö (kastelu ja kuivatus, lannoitus)

CropWatN-mallissa maaprofiili jaetaan useaan kerroksen (max. 60) ja jokaiselle kerrokselle voidaan antaa omat maalajiominaisuudet. Tarvittavia tietoja ovat mm. pF-käyrä, vedenläpäisevyys, kuivatilavuuspaino, orgaanisen aineen määrä, ominaislämpökapasiteetti, lämmönjohtavuus, typen ja fosforin kiertoon liittyvät parametrit.

Malli laskee kaikkien muuttujien arvot jokaiselle kerrokselle: maankosteus, veden virtaus kerrosten välillä, maan lämpötila, ammonium- ja nitraattitypen pitoisuus, mineralisaatio, nitrifikaatio, denitrifikaatio, liukoisen fosforin pitoisuus, sekä maan lämpötila.

Lisäksi mallin tulostuksena saadaan systeemistä poistuvan veden määrä ja sen typpi- ja fosforipitoisuudet (=ravinteiden huuhtoutuminen), kasvuston ottaman kokonaistypen määrä, koko jakson nettomineralisaatio (mineralisaation ja immobilisaation ero), kumulatiivinen nitrifikaatio ja denitrifikaatio.

Kasvumalli laskee kuiva-aineen määrän, typen oton ja typen määrän kuiva-aineessa. Kasvumallin käyttäminen edellyttää, että auringon säteily annetaan mallille lähtötietona.

Mallin eri prosessien yksityiskohtainen kuvaus on esitetty seuraavissa liitteissä: Karvonen, 1988; Karvonen ja Kleemola 1995; Friman, 2003; Jauhiainen, 2004.

Viitteet

Friman, H. 2003. Maaperän vesitalouden säädön vaikutus ravinteiden huuhtoutumiseen ja satoon peltoalueilla. 79 p. Diplomityö, TKK, Vesitalous ja vesirakennus.

Jauhiainen, M. 2004. Relationships of particle size distribution curve, soil water retention curve and unsaturated hydraulic conductivity and their implications on water balance of forested and agricultural hillslopes TKK-VTR-12

Kabat, P., Marshall, B., van den Broek, B.J. (1995). Comparison and analysis of results. Modelling and Parameterization of the Soil-Plant-Atmosphere System: A Comparison of Potato Growth Models (Eds. Kabat, P., Marshall, B., van den Broek, B.J., Vos., J. and van Keulen, H.). Wageningen Pers, Wageningen, The Netherlands. p. 439-498.

Karvonen, T. (1988). A model for predicting the effect of drainage on soil moisture, soil temperature and crop yield. Doctoral thesis, Helsinki University of Technology, Laboratory of Water Resources, Otaniemi. 215 p.

Karvonen, T. and Kleemola, J. (1995). CROPWATN: Prediction of water and nitrogen limited crop production. Modelling and Parameterization of the Soil-Plant-Atmosphere System: A Comparison of Potato Growth Models (Eds. Kabat, P., Marshall, B., van den Broek, B.J., Vos., J. and van Keulen, H.). Wageningen Pers, Wageningen, The Netherlands. p. 335-369.

Paasonen-Kivekäs, M., Koivusalo, H., Karvonen, T., Vakkilainen, P. and Virtanen, J. (1999). Nitrogen transport via surface and subsurface flow in an agricultural field, In: Heathwaite, L. (Ed) Impact of Land-Use Change on Nutrient Loads from Diffuse Sources, IAHS publication no. 257, 163-169.

Paasonen-Kivekäs, M. and Karvonen, T. (1988). The effects of gravel resources exploitation on the quantity and quality of groundwater in glacial esker area. 1. Development of mathematical simulation model. Nordiskt Hydrologiskt Program, NHP-Rapport Del 2, 312-323.

Paasonen-Kivekäs, M., Koivusalo, H., Karvonen, T., Vakkilainen, P., Uusitalo, R., Alakukku, L., Nuutinen, V., Hintikka, S. 2003a. Contribution of subsurface drainage and surface runoff on nutrient losses in a clay soil. 9th Int. Drainage Workshop, Utrecht, The Netherlands, September 10-13, 2003. Proceedings of 9th Int. Drainage Workshop "Drainage for a Secure Environment and Food Supply" . International Institute for Land Reclamation and Improvement/ILRI.

Paasonen-Kivekäs, M., Koivusalo, H., Karvonen, T., Hintikka, S., Vakkilainen, P., Alakukku, L., Nuutinen, V., Uusitalo, R. 2003b. Implications of macropores on nutrient transport to subsurface drains in a Finnish clayey field. NJF's 22nd Congress "Nordic Agriculture in Global Perspective", Turku, Finland, July 1-4, 2003. In: Niemeläinen, O. , Topi-Hulmi, M. Proceedings of NJF's 22nd Congress "Nordic Agriculture in Global Perspective". Nordic Association of Agricultural Scientists (NJF).

Tamm, T. 2002. Effects of meteorological conditions and water management on hydrological processes in agricultural fields. TKK-VTR-5

Vakkilainen, P. 1982. Maa-alueelta tapahtuvan haihdunnan arvioinnista. Acta Universitatis Ouluensis. Väitöskirja.