

## Nurmiheinien ensimmäisen sadon sulavuuden ja sadon määrän mallit nurmirehuntuotannon hallintaan

Marketta Rinne<sup>1)</sup>, Timo Pitkänen<sup>1)</sup>, Laura Nyholm<sup>2)</sup>, Juha Nousiainen<sup>2)</sup> ja Pekka Huhtanen<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> MTT (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus), 31600 Jokioinen, [etunimi.sukunimi@mtt.fi](mailto:etunimi.sukunimi@mtt.fi)

<sup>2)</sup> Valio Oy, Alkutuotanto, PL 10, 00039 Valio, [etunimi.sukunimi@valio.fi](mailto:etunimi.sukunimi@valio.fi)

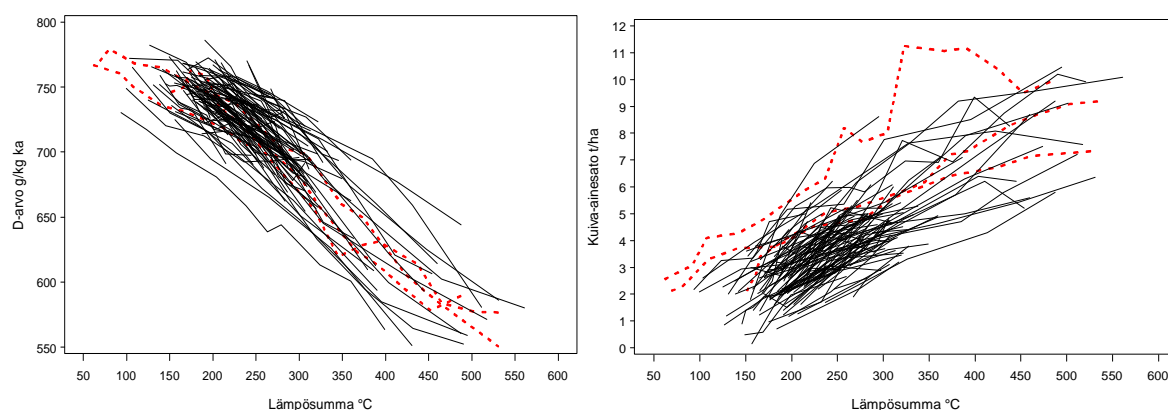
<sup>3)</sup> Ruotsin Maatalousyliopisto (SLU), S-901 83 Uumaja, Ruotsi, [etunimi.sukunimi@nrv.slu.se](mailto:etunimi.sukunimi@nrv.slu.se)

### Tiivistelmä

Suomen olosuhteissa nurmikasvien kehitys alkukesällä on erittäin nopeaa. Korjuun ajoitus on rehuntuotannon taloudelliseen tulokseen merkittävästi vaikuttava päätös, sillä kasvun edetessä rehun sulavuus laskee, mutta sadon määrä kasvaa. Sulavuuden arviointi kasvustosta ei ole kovin helppoa ja vuosittaiset vaihtelut sopivan korjuuajan saavuttamisessa ovat suuria alkukesän vaihtelevista sääoloista johtuen. Esittämällä D-arvon muutos suhteessa lämpösummaan on pystytty avustamaan viljelijöitä korjuuaikapäätöksen tekemisessä. Ennusteet on esitetty MTT:n ja Valio Oy:n yhteisessä ARTTURI®-verkkopalvelussa ([www.mtt.fi/artturi](http://www.mtt.fi/artturi)). Tämän työn tarkoituksena on tarkentaa alkukesän nurmikasvien D-arvoennustetta kehittämällä taustalla käytettävää mallia. Lisäksi tarkasteltiin, mitkä säatekijät vaikuttavat nurmien kuiva-ainesadon kehittymiseen.

D-arvoa mallitettiin yleisillä lineaarisilla sekamalleilla käyttäen perustana Gompertzin käyrää muistuttavaa yhtälöä ja kuiva-ainesatoa mallitettiin lineaarisilla sekamalleilla. Sarjakohtaisia selittäjiä aineistossa olivat mm. maalaji, sijainti, kasvukautta edeltäneet lämpösumma ja sadesumma sekä niiden johdannaiset. Havaintokohtaisina selittäjinä lämpösumman lisäksi käytettiin eri sääsuureita ja kasvun pituutta kasvukauden alusta. D-arvot vaihtelivat sarjoissa kasvukauden aikana välillä 510 – 786 g/kg ka keskiarvon ollessa 710 g/kg ka. D-arvon ennustamisessa päädyttiin seuraavaan malliin:  $D\text{-arvo (g/kg ka)} = 769.5 - \exp(5.61 \times (1 - \exp(-0.07 \times (LS + 0.016 \times \text{PreLS28} - 7.58)))$ , missä LS on kasvukauden lämpösummakertymä aste päivinä (°C vrk) ja PreLS28 on kasvukautta edeltävän 28 päivän keskilämpötilojen summa ( $R^2=0.82$ ). Kuiva-ainesadot hehtaaria kohden vaihtelivat välillä 500 kg – 11 000 kg keskiarvon ollessa 4 200 kg/. Kuiva-aineen hehtaarisato lisääntyi keskimäärin 191 kg/pv kasvun edetessä alkukesällä.

Nurmisadon D-arvon lasku alkukesällä on hyvin nopeaa ja varsin johdonmukaista. D-arvon muutos on käyräviivaista, mutta säilörehun korjuuajanaan sen on varsin lineaarista ja keskimäärin 5 g/kg ka päivässä. Lämpösummaa käyttäen D-arvon kehityksestä voidaan antaa kohtuullisia yleisiä ennusteita. Lämpö-olot vaikuttivat merkittävästi myös kuiva-ainesadon kertymiseen, mutta sadesumma ei. Kasvustokohtaiset erot olivat erittäin suuria joten kuiva-ainesatoennusteet voivat olla ainoastaan suuntaa-antavia.



**Kuva.** Korjuu aika-aineiston nurmikasvustojen D-arvon lasku (g/kg ka; vas.) ja sadon (kg ka/ha, oik.) kasvu lämpösumman kertyessä alkukesällä siten, että saman kasvuston havainnot on yhdistetty toisiinsa viivalla (näytteitä 430 ja sarjoja 101). Jokioisten ns. pitkät sarjat on merkitty kuvaan katkoviivalla.

**Asiasanat:** nurmi, sulavuus, D-arvo, sato, säilörehu, korjuu aika, kehitysvaihe, lämpösumma, mallinus, kasvumalli

## Johdanto

Nurmirehut muodostavat keskimäärin 54 % lypsylehmien rehuannoksen energiasta (ProAgria 2009). Suomen olosuhteissa nurmikasvien kehitys alkukesällä on erittäin nopeaa. Korjuun ajoitus on rehuntuotannon taloudelliseen tulokseen merkittävästi vaikuttava päätös, sillä kasvun edetessä rehun sulavuus laskee, mutta sadon määrä kasvaa. Sulavuus vaikuttaa rehun energia- ja valkuaisarvoihin ja syötipotentiaaliin (Rinne ym. 2008a) eli rehun tuotantovaikutukseen. Esimerkiksi lypsylehmien maitotuotos pienenee keskimäärin 0.5 kg päivässä, kun rehun D-arvona ilmaistu sulavuus laskee 1 %-yksikön (Rinne 2000). Alkukesällä tämä tapahtuu tyypillisesti kahdessa päivässä. Sadon määrällä puolestaan on merkittävä vaikutus rehun hintaan ja rehujen riittävyyteen karjan ruokinnassa tai toisaalta tarvittavaan rehuntuotantopinta-alaan.

Sulavuuden arviointi kasvustosta ei ole kovin helppoa ja vuosittaiset vaihtelut sopivan korjuuajan saavuttamisessa ovat suuria alkukesän vaihtelevista sääoloista johtuen. Esittämällä D-arvon muutos suhteessa lämpösummaan on pystytty avustamaan viljelijöitä korjuuaikapäätöksen tekemisessä. Ennusteet on esitetty MTT:n ja Valio Oy:n yhteisessä ARTTURI®-verkkopalvelussa ([www.mtt.fi/artturi](http://www.mtt.fi/artturi)).

Tämän työn tarkoituksena on tarkentaa alkukesän nurmikasvien D-arvoennustetta kehittämällä taustalla käytettävää mallia. Lisäksi tarkasteltiin, mitkä säätökijät vaikuttavat nurmien kuiva-ainesadon kehittymiseen.

## Aineisto ja menetelmät

Nurmikasvustojen kehityksestä alkukesällä kerättiin ns. korjuuaikanäytteet (101 sarjaa 61 eri paikkakunnalta, yhteensä 430 näytettä vuosilta 1996-2006). Lisäksi MTT Jokioisilta kerättiin ns. pitkät nurminäytesarjat (17 näytettä v.1996, 13 näytettä v. 1997 ja 16 näytettä v. 1998). Valtaosan korjuuaikanäytteistä muodostavat Valio Oy:n keräämät näytteet, joiden tulokset on julkaistu ensimmäisen säilörehusadon korjuun alla osana ARTTURI®-verkkopalvelun Korjuuaikatiedotusta. Lisäksi mukana on MTT:n koepaikoilta kerättyjä näytesarjoja. Kultakin paikkakunnalta otettiin mukaan vain yksi näytesarja. Kasvupaikan maalaji rekisteröitiin karkealla jaolla lämpimiin (hiekkia ja hietamaat) tai kylmiin maihin (multa- ja turvemaat). Näytteenottoaikat ovat valtakunnallisesti jakautuneet suhteellisen tasaisesti noin Oulun korkeudelle asti, mutta Lapista on vain vähän näytteitä (kuva 1).

Kasvustot olivat pääsääntöisesti 2. satovuoden timotei-nurminataseoksia, jotka olivat saaneet lannoitetyypeä noin 100 kg/ha keväällä. Näytteet kerättiin 1-2 kertaa viikossa kehikkomenetelmällä (vähintään 4 osanäytettä kasvustosta, joista jokainen 0,25 m<sup>2</sup>) pääasiassa ennen varsinaista korjuuaikaa. Kuiva-ainesato määritettiin kerätyn näytteen painon perusteella. MTT:n Jokioisten Lintupajun tilalta kerättiin kehikkomenetelmällä pitempiä sarjoja vastaavien nurmikasvustojen kehityksestä, jotta myös hyvin varhaisesta ja myöhäisestä kasvuvaiheesta saatiin aineistoa. Sää tiedot perustuvat Ilmatieteen laitoksen mittauksiin ja kerättiin näytteenottoaikkaa lähimmältä sääasemalta, jonka sää tiedot olivat MTT:n käytettävissä. Yleisesti käytettyjen lämpösumman (LS, raja-arvona +5 °C) ja sadesumman lisäksi laskettiin lämpösumma 14 tai 28 vrk ajalta ennen kasvukauden alkua (PreLS14 ja PreLS28). Molemmat näyteaineistot on kuvailtu taulukossa 1.

Näytteiden sulavuus analysoitiin pepsiini-sellulaasimenetelmällä (Nousiainen ym. 2003) Valion tai MTT:n laboratoriossa. Näytteen D-arvo laskettiin kertomalla näytteen orgaanisen aineen (OA) pitoisuus (1000 – tuhkapitoisuus, g/kg ka) OA:n sulavuudella (OAS). Näytteet analysoitiin pääasiassa Valion laboratoriossa mutta MTT:n näytteet MTT:llä. Valiolla määritetyt sellulaasiliukoisuudet korjattiin vastaamaan MTT:n määrittämiä kaavalla:

$$\text{Liukoisuus}_{\text{MTT}} = 29.9 + (0.989 \times \text{Liukoisuus}_{\text{Valio}}, \text{ g/kg OA}).$$

Sellulaasiliukoisuus (OMS) täytyy muuttaa vastaamaan näytteen *in vivo* –sulavuutta käyttäen empiiristä korjausyhtälöä sellulaasiliukoisuuden ja *in vivo* –sulavuuden välisestä yhteydestä. Tätä tarkastelua varten laskettiin käyräviivainen yhteys ruohonäytteiden sellulaasiliukoisuuden (HOMS, g/kg OA) ja säilörehun päseillä määritetyn *in vivo* -sulavuuden (aineisto kuvailtu Huhtasen ym. (2005) artikkelissa) välille:

$$\text{Säilörehun OAS (g/kg OA)} = -721.33 + 2.8034 \times \text{HOMS} - 0.00120 \times \text{HOMS}^2$$

Kuvassa 2 on havainnollistettu lineaarisia säilörehun ja raaka-aineen korjausyhtälöiden ja käyräviivaisen raaka-aineen korjausyhtälön vaikutusta säilörehun D-arvoon. Raaka-aineen kaava antaa kautta linjan matalampia sulavuusarvoja, mikä perustuu siihen, että säilönnän aikana tapahtuu väistämättä sulavien ravintoaineiden tappioita, jolloin sulavuus hieman heikkenee (Huhtanen ym. 2005). Kaavan

käyräviivaisuus antaa hyvin sulaville näytteille hieman lineaarista yhtälöä matalampia arvoja, jotka ovat biologisesti uskottavampia. Kun rehunäytteen OMS on hyvin korkea, sen nousu parantaa *in vivo* -sulavuutta vähenevästi.

Säilörehun D-arvo ei voi teoriassakaan olla juuri yli 760 g/kg ka. Taulukkoon 2 on laskettu esimerkki D-arvon muodostumisesta käyttäen lähtöarvoina suomalaisista nurmiheinäkasvustoista erittäin varhaisessa ja myöhäisessä kehitysvaiheessa havaittuja arvoja (Huhtanen ym. 2006, Rinne ym. 2008b). Nurmen sulavuuteen vaikuttavat kuidun ja sulamattoman kuidun pitoisuudet ja potentiaalisesti sulavan kuidun sulavuus. Näiden lähtötietojen perusteella voidaan laskea D-arvo.

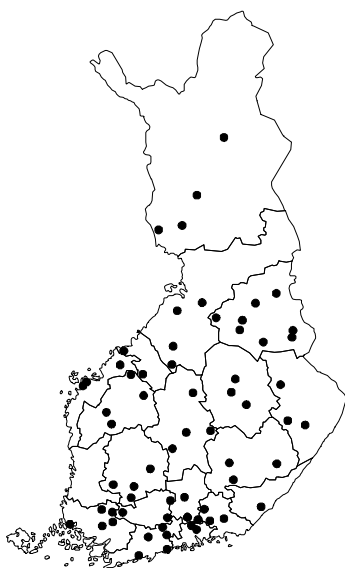
Päädyimme käyttämään näytteiden sulavuuden laskennassa käyräviivaista ruohon sellulaasiliukoisuudesta säilörehun sulavuuden ennustavaa yhtälöä. Se antoi vähemmän epärealistisen korkeita D-arvoja kuin muut yhtälöt. Korjuuaikapäättöstä tehtäessä kiinnostavaa on nimenomaan se, mikä on korjatun rehun D-arvo eikä niinkään pellolla kasvavan nurmen.

D-arvoa mallitettiin yleisillä lineaarisilla sekamalleilla käyttäen perustana Gompertzin käyrää muistuttavaa yhtälöä (Thornley & France 2007), jonka perusmuoto sarjan  $i$  havainnolle  $j$  on:

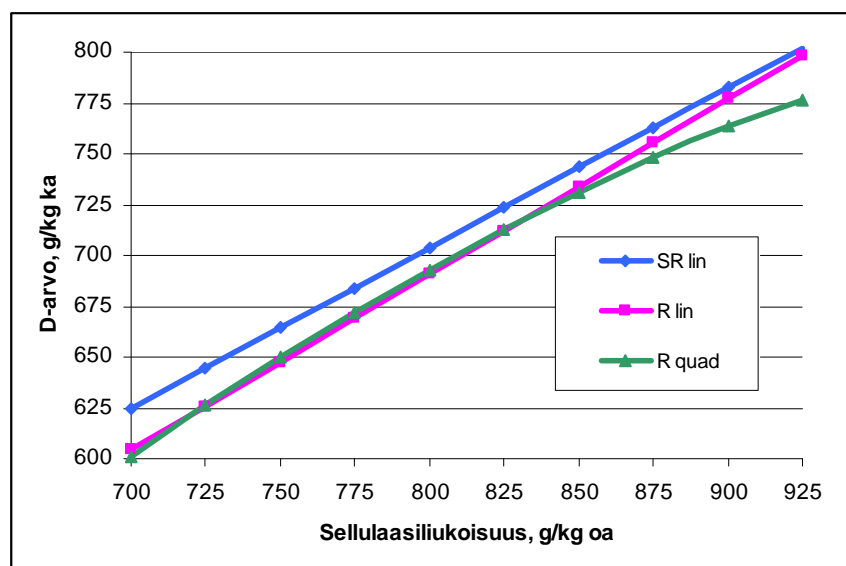
D-arvo, g/kg  $ka_{ij} = a - \exp(b_i \times (1 - \exp(c_i \times (LS + d_{ij})))) + e_{ij}$ ,  
missä  $a$ ,  $b$ ,  $c$  ja  $d$  ovat mallin parametreja,  $LS$  on lämpösomma ja  $e_{ij}$  virhetermi. Parametri  $a$  kuvaa D-arvon ylärajaa,  $\exp(b)$  on ylärajan ja alarajan välinen ero,  $c$  on lämpösomman vaikutuksen kulmakerroin ja  $d$  lämpösomman siirtoparametri. Kutakin parametria mallitettiin joko sarjoittain tai havainnoittain vaihtelevilla selittäjillä. Mallituksessa alarajaa  $b$  ja kulmakerrointa  $c$  mallitettiin sarjakohtaisilla selittäjillä ja lämpösomman siirtoa sarja- ja havaintokohtaisilla selittäjillä. Parametrien  $a$ ,  $b$  ja  $d$  sallittiin vaihdella myös satunnaisesti sarjoittain. Sarjakohtaisia selittäjiä aineistossa olivat mm. maalaji, sijainti, kasvukautta edeltäneet lämpösomma ja sadesomma sekä niiden johdannaiset. Havaintokohtaisina selittäjinä lämpösomman lisäksi käytettiin eri sääsuureita ja kasvuajan pituutta kasvukauden alusta.

Kuiva-ainesatoa mallitettiin lineaarisilla sekamalleilla pääsääntöisesti samoja selittäjiä käyttäen kuin D-arvon kohdalla. Mallissa oli kiinteiden vaikutuksen lisäksi sarjakohtainen satunnainen lämpösomman tai kasvukauden pituuden kulmakerroin sekä satunnainen sarjakohtainen vakiotermi.

Mallitusten aikana eri selittäjiä ja niiden yhdysvaikutuksia mallissa jo olevien selittäjien kanssa lisättiin malliin yksi kerrallaan ja kunkin selittäjän tarpeellisuutta tarkasteltiin selittäjien  $p$ -arvojen avulla. Molempien vasteiden mallituksen aikana mallin oletuksien voimassaoloa tarkasteltiin erilaisten jäännöskuvien ja tunnuslukujen avulla. Mallien parametrit estimoitiin käyttäen suurimman uskottavuuden menetelmää. Mallien selittämää vaihtelua kuvattiin keskimääräisen sarjan selitysasteella (Vonesh ym. 1997), joka samalla kuvaa mallin käyttökelpoisuutta ennustetarkoitukseen. Lisäksi eri mallien paremmuutta vertailtiin käyttäen mm. Akaiken informaatiokriteeriä (AIC) ja jäännösvirheen hajontaa.



**Kuva 1.** Nurminäytteiden näytteenottoaikoja on melko tasaisesti Oulun korkeudelle asti.



**Kuva 2.** Sellulaasiliukoisuudesta eri kaavoilla laskettu D-arvo. Kaavoilla lasketaan ensin orgaanisen aineen sulavuus ja D-arvot kaavioon on laskettu käyttäen vakiotuhtapitoisuutta 80 g/kg kuiva-ainetta. Käytetyt kaavat ovat säilörehun sellulaasiliukoisuudesta lineaarisella yhtälöllä laskettu säilörehun D-arvo (SR lin, Huhtanen ym. 2006), ruohonäytteen sellulaasiliukoisuudesta lineaarisella yhtälöllä laskettu säilörehun sulavuus (R lin, Huhtanen ym. 2005) ja ruohonäytteen sellulaasiliukoisuudesta toisen asteen käyräviivaisella yhtälöllä laskettu säilörehun sulavuus (R quad, julkaisematon perustuen Huhtanen ym. (2005) artikkelissa kuvaamaan aineistoon).

**Taulukko 1.** Nurminäyteaineistojen kuvailu.

	Koko nurminäyteaineisto <sup>1)</sup>				Jokioisten pitkät sarjat <sup>2)</sup>			
	Keski-arvo	Keskihajonta	Minimi	Maksimi	Keski-arvo	Keskihajonta	Minimi	Maksimi
Kasvu aika, pv	47.5	12.2	9.0	81.0	45.5	17.5	9.0	81.0
Lämpösumma, °C vrk	254	87.7	49	561	278	139.0	49	539
Keskilämpötila, °C	10.1	1.1	6.5	13.4	10.6	1.2	8.2	13.4
Sadesumma, mm	70	40.7	0.0	218	91	57.0	14	218
PreLS14, °C vrk <sup>3)</sup>	32.0	18.6	-4.2	77.8	38.5	25.7	4.3	62.0
PreLS28, °C vrk <sup>3)</sup>	35.7	53.6	-81.8	153.3	52.2	57.9	-19.1	116.1
OAS <sup>4)</sup> , g/kg OA	768	59.9	542	846	739	83.4	586	846
D-arvo, g/kg ka	710	51.4	510	786	684	69.5	551	779
Tuhka, g/kg ka	75.0	11.4	44.2	108.0	72.3	12.3	51.3	95.4
Raakavalk., g/kg ka	186	49.5	77	321	169	67.2	86	321
Kuitu, g/kg ka	550	86.3	350	717	579	100.9	407	717
Kasvuston korkeus, cm	53	17.3	15	115	54	23.7	15	98
Sato, kg ka/ha	4103	1962	160	11259	6016	2651	2125	11259

<sup>1)</sup> Sarjoja 109 kpl, näytteitä 462 kpl, huom. aineisto sisältää myös Jokioisten pitkät sarjat

<sup>2)</sup> Sarjoja 3 kpl, näytteitä 46 kpl

<sup>3)</sup> Vuorokauden keskilämpötilojen summa 14 tai 28 vrk ennen kasvukauden alkua

<sup>4)</sup> Orgaanisen aineen sulavuus

**Taulukko 2.** Kaavamainen laskelma nurmirehujen D-arvon muodostumisesta ja Suomen olosuhteissa timotei-nurminatakasvustoille tyypillisistä maksimi- ja minimiarvoista.

Ominaisuus	Lyhenne	Menetelmä	Yksikkö	Ruohon kehitysvaihe <sup>1)</sup>	
				Aikainen	Myöhäinen
Tuhkapitoisuus	tuhka	Määritetty	g/kg ka	85	70
Orgaaniseen aineen pitoisuus	OA	= kuiva-aine – tuhka	g/kg ka	915	930
Solunseinäkuidun pitoisuus neutraalidetergenttimenetelmällä	kuitu	Määritetty	g/kg ka	400	650
Sulamattoman kuidun pitoisuus	iNDF	Määritetty	g/kg ka	20	160
Potentiaalisesti sulavan kuidun sulavuus	pdNDFD	Määritetty	g/g	0.90	0.80
Ruoansulatuskanavassa sulamatta jäänyt kuitu	uNDF	= sulamaton kuitu + (1 – pdNDFD) × kuitu	g/kg ka	60	290
Kuidun sulavuus	NDFD	= (kuitu – uNDF)/kuitu	g/g	0.85	0.55
Solunsisällysaineiden pitoisuus	NDS	= kuiva-aine - tuhka - kuitu	g/kg ka	515	280
Solunsisällysaineiden näennäinen sulavuus	NDS <sub>D</sub>	= (1.015×NDS-101)/NDS <sup>2)</sup>	g/g	0.82	0.65
Orgaanisen aineen sulavuus (näennäinen)	OAS	= (kuitu/OA)×NDFD + (NDS/OA)×NDS <sub>D</sub>	g/g	0.83	0.61
Sulavan orgaanisen aineen pitoisuus kuiva-aineessa	D-arvo	= OAS × OA	g/kg ka	762	568

<sup>1)</sup>Käytetyt esimerkkiarvot perustuvat suomalaisen nurmien kehitystä selvittäneeseen koesarjaan (Huhtanen ym. 2006, Rinne ym. 2008b).

<sup>2)</sup>Solunsisällysaineiden sulavuus laskettu Lucasin yhtälön periaatteen mukaisesti siten että niiden todellinen sulavuus on täydellistä ja sonnan metabolista ja endogeenista ainetta muodostuu n. 100 g/kg syöttyä kuiva-ainekiloa kohti (Huhtanen ym.2006)

## Tulokset ja niiden tarkastelu

### *D-arvo*

Näytteiden D-arvon lasku kasvun edetessä alkukesällä on esitetty kuvassa 3. D-arvot vaihtelivat sarjoissa kasvukauden aikana välillä 510 – 786 g/kg ka keskiarvon ollessa 710 g/kg ka. D-arvon ennustamisessa päädyttiin seuraavaan malliin:

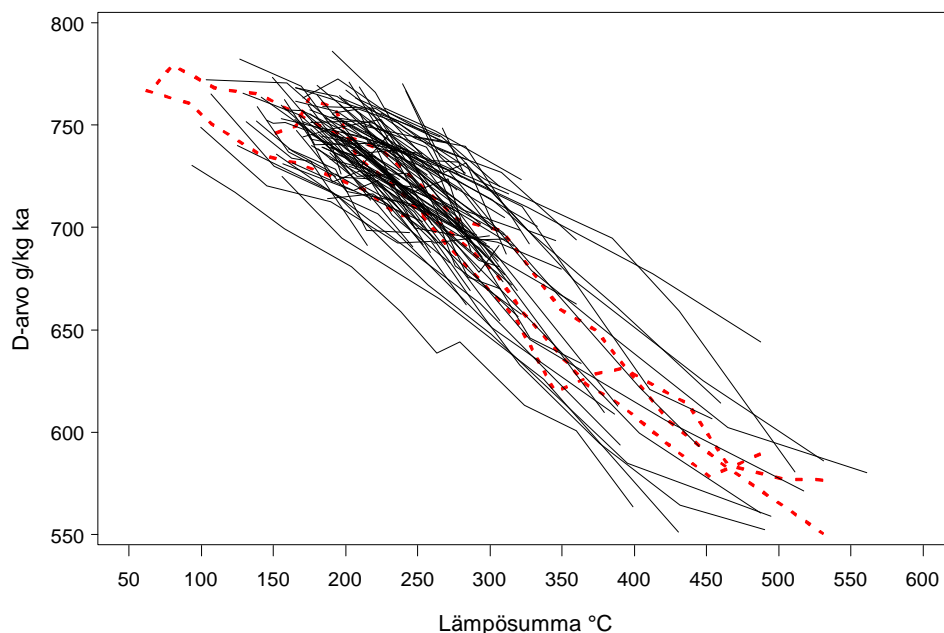
$$D\text{-arvo (g/kg ka)} = 769.5 - \exp(5.61 \times (1 - \exp(-0.07 \times (LS + 0.016 \times \text{PreLS28} - 7.58))))$$

missä LS on kasvukauden lämpösummakertymä aste päivinä (°C vrk) ja PreLS28 on kasvukautta edeltävän 28 päivän keskilämpötilojen summa ( $R^2=0.82$ ).

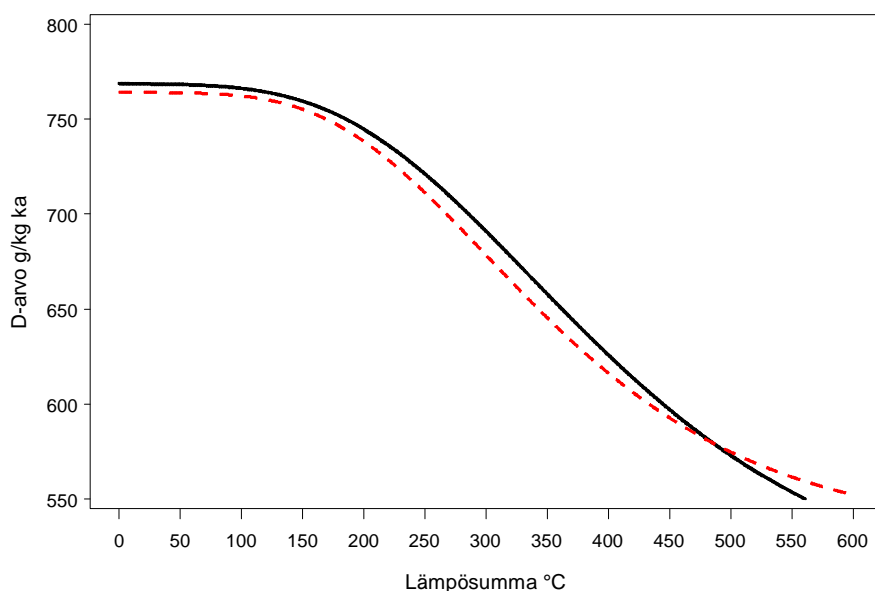
Mallin perusteella keskimääräisen sarjan D-arvon yläraja on 769.5 g/kg ka ja se laskee lämpösumman kasvaessa noin 496 g/kg ka:han ( $769.5 - \exp(5.61)$ ). Alarajaa ei kuitenkaan voida tämän aineiston perusteella estimoida kovin tarkasti, sillä riittävän pitkiä näytesarjoja ei ole tarpeeksi. D-arvon kehityksen käyräviivaisuutta mallinnettiin erikseen pelkästään Jokioisten kolmea pitkää sarjaa käyttäen ja D-arvon laskun hidastuminen tarkastelujakson loppupuolella on selvemmin havaittavissa pitkien sarjojen perusteella estimoidussa mallissa. Jokioisten pitkien sarjojen avulla alarajan estimaattiksi saatiin 532 g/kg ha.

Kuvassa 4 koko Artturi-aineiston ja pitkien käyrien mallit on esitetty samassa kuvassa. Kasvun alkuvaiheessa D-arvon lasku on hidasta ja nopeutuu tyypilliseen säilörehun korjuu aikaan. Sen jälkeen D-arvon lasku hidastuu, kun kasvit alkavat saavuttaa kypsyyden. D-arvon tasaantumista ei pystytty koko aineistoon perustuvalla mallilla kovin hyvin osoittamaan, koska kasvustoista ei siinä vaiheessa enää jatkettu näytteiden ottoa. Lisäksi uudet versot alkavat kasvaa vanhan kasvuston läpi, mikä häiritsee tulosten tulkintaa.

D-arvon lasku on varsin johdonmukaista kasvun edetessä, mutta käytetyillä selittäjillä ei pystytty kovin hyvin hallitsemaan sarjojen välistä tasoeroa. Tilakohtaisen D-arvoennusteen tarkentamiseksi on mahdollista analysoida nurminäyte ennen korjuuaikaa ja käyttää D-arvotulosta ”kalibroimaan” ennuste tilakohtaisesti. Tähän tarkoitukseen on ARTTURI®-verkkopalvelussa käytettävissä Tilan räätälöity D-arvolaskuri, johon määritetyn D-arvon ja näytteenottopäivän tallentamalla saa ennustemallilla lasketun arvion kasvuston D-arvosta näytteenoton jälkeen (Rinne ym. 2009).



**Kuva 3.** Korjuuaika-aineiston D-arvon lasku lämpösumman kertyessä siten, että saman kasvuston havainnot on yhdistetty toisiinsa viivalla (näytteitä 430 ja sarjoja 101). Jokioisten ns. pitkät sarjat on merkitty kuvaan katkoviivalla.



**Kuva 4.** Ennustemallin kuvaaja näyttää D-arvon kehityksen käyräviivaisuuden. Musta yhtenäinen viiva kuvaa koko aineistosta estimoitua keskimääräisen sarjan D-arvon kehitystä ( $R^2=0.82$ ) ja katkoviiva Jokioisilta mitattujen pitkien sarjojen avulla estimoitua kehitystä ( $R^2=0.97$ ).

**Kuiva-ainesato**

Kuiva-ainesatoa mallitettiin lineaarisilla sekamalleilla ja mallien vertailu on esitetty taulukossa 3 ja havainnot on esitetty kuvassa 5. Mallissa oli aina joko kasvukauden pituus tai lämpösumma satunnaisvaikutuksena riippuen mallin selittäjävalikoimasta. Kuiva-ainesadot hehtaaria kohden vaihtelivat välillä 500 kg – 11 000 kg keskiarvon ollessa 4 200 kg/. Kuiva-aineen hehtaarisato lisääntyi keskimäärin 191 kg/pv kasvun edetessä alkukesällä. Rinteen ym. (2007) luomunurmista kerätyssä nurmiheinien ja puna-apilan seoskasvustoja sisältävässä korjuuaika-aineistossa päivittäinen kuiva-ainesadon kertymä oli 214 kg/ha ja Kuoppalan ym. (2010) puhtaista puna-apiloista kerätyssä aineistossa 177 kg/ha eli samaa suuruusluokkaa. On huomioitava, että kaikki nämä aineistot perustuvat koelohkojen kehikkomittauksiin eli absoluuttiset havaitut sadot ja päivittäiset kasvun kertymät ovat systemaattisesti suurempia kuin talousviljelmien keskimäärin.

Lämpösumman ”purkaminen” kasvupäiviin ja keskilämpötilaan kasvuaikana paransi hieman mallia. Ennen kasvukauden alkua kertyneen lämpösumman huomioiminen paransi tyypillisesti malleja eli kevään lämpöolosuhteet jo ennen kasvukauden alkua vaikuttavat kuiva-ainesadon kertymiseen. Virhe oli pienempi, kun lämpösummaa laskettiin 28 vrk ennen kasvukauden alkua verrattuna 14 vrk:en. Maalajin vaikutus ei ollut merkitsevä lämpösumman kanssa, mutta kun mallissa oli kasvupäivät ja keskilämpötila, olivat myös maalaji ja keskilämpötila $\times$ maalaji merkitseviä.

Ehkä hieman yllättäen sadesumma ei vaikuttanut merkitsevästi kuiva-ainesatoon. Ilmeisesti kuivuus ei valtakunnallisesti kovin merkittävästi rajoita nurmikasvien kasvua ensimmäisessä sadossa. Sadesumma ei myöskään ole kovin tarkka suure kuvaamaan maaperän kosteuspitoisuutta. Vaihtelut sadon määrän kasvussa ja kasvustojen väliset tasoerot olivat suuria joten kuiva-ainesatoennusteet voivat lohkokohdaisesti olla ainoastaan suuntaa-antavia.

**Taulukko 3.** Nurmikasvustojen kuiva-ainesadon (t/ha) ennustaminen lineaarisilla satunnaiskertoimilla sekamalleilla. Tilastollisesti merkitsevät ( $P < 0.05$ ) selittäjät on lihavoitu.

		Selittäjät				Vakio	Regressiokertoimet					AIC <sup>2)</sup>	Hajonta <sup>3)</sup>	R <sup>2</sup>
X1 <sup>1)</sup>	X2	X3	X4	X5	X1		X2	X3	X4	X5				
<b>Kpv</b>					-5.21	0.191					1042.8	0.462	0	
<b>Kpv</b>	<b>X lämpö</b>	X1 $\times$ X2			-14.14	0.208	1.222	-0.009			929.2	0.470	0.48	
<b>Kpv</b>	<b>X lämpö</b>				-10.02	0.119	0.829				929.3	0.474	0.50	
<b>Kpv</b>	<b>X lämpö</b>	Keskisade	X1 $\times$ X3		-9.70	0.112	0.820	-0.136	0.005		931.9	0.476	0.50	
<b>Kpv</b>	<b>X lämpö</b>	Keskisade			-10.02	0.119	0.816	0.092			930.4	0.475	0.50	
<b>Kpv</b>	<b>X lämpö</b>	PreLS14			-10.35	0.127	0.752	0.023			915.2	0.472	0.53	
<b>Kpv</b>	<b>X lämpö</b>	PreLS28			-9.69	0.132	0.703	0.009			913.3	0.465	0.52	
<b>Kpv</b>	<b>X lämpö</b>	PreLS28	Maalaji	X3 $\times$ X4	-9.61	0.132	0.702	0.010	-0.137	-0.001	916.4	0.464	0.52	
<b>Kpv</b>	<b>X lämpö</b>	PreLS28	Maalaji	<b>X2<math>\times</math>X4</b>	-8.29	0.133	0.563	0.009	-2.369	0.226	911.9	0.459	0.51	
<b>LS5</b>					-1.20	0.021					941.9	0.482	0.50	
<b>LS5</b>	<b>PreLS14</b>				-1.71	0.021	0.015				935.1	0.481	0.53	
<b>LS5</b>	<b>PreLS14</b>	Maalaji	yckm	X3 $\times$ X4	-1.68	0.021	0.014	0.341	0.041	-0.166	935.4	0.481	0.54	
<b>LS5</b>	<b>PreLS14</b>	Maalaji	yckm		-1.51	0.021	0.014	-0.019	-0.064		936.8	0.482	0.54	
<b>LS5</b>	<b>PreLS28</b>	Maalaji	yckm	<b>X3<math>\times</math>X4</b>	-1.40	0.021	0.004	0.367	0.052	-0.193	935.9	0.481	0.54	

<sup>1)</sup>Tämän selittäjän kulmakerroin ja vakiotermi olivat mallissa satunnaisia

<sup>2)</sup>Akaiken informaatiokriteeri – mitä pienempi, sitä parempi malli

<sup>3)</sup>Jäännösvirheen hajonta, t/ha (residual)

Kpv = kasvupäivät kasvukauden alusta lähtien

Xlämpö = keskilämpötila näytteenottoon asti kuluneen kasvukauden aikana, °C

Keskisade = keskimääräinen sademäärä näytteenottoon asti kuluneen kasvukauden aikana, mm/pv

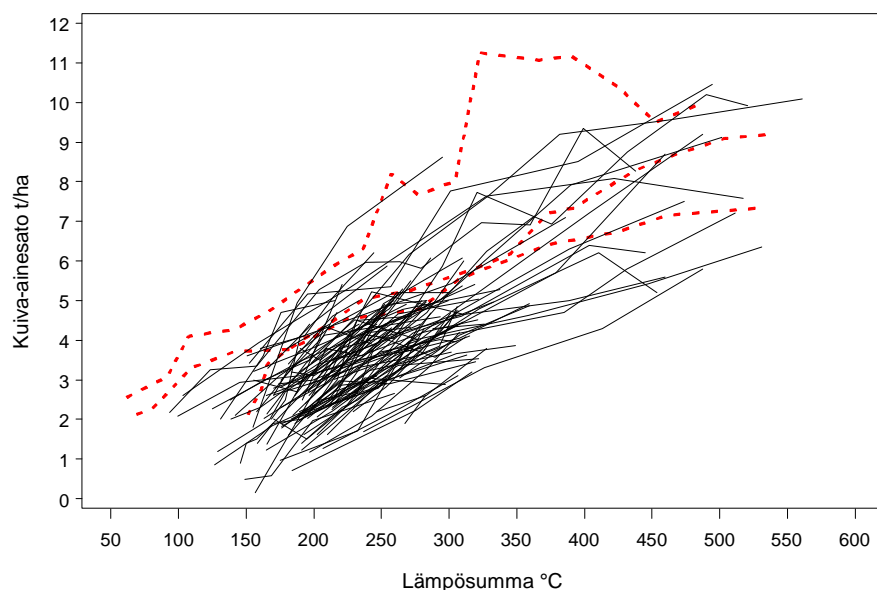
PreLS14 = Kasvukauden alkua edeltävien 14 vrk:n keskilämpötilojen summa, °C vrk

PreLS28 = Kasvukauden alkua edeltävien 28 vrk:n keskilämpötilojen summa, °C vrk

Maalaji = Kasvupaikan maalaji luokiteltuna lämpimiin (1) ja kylmiin (2)

LS5 = Lämpösummakertymä kasvukauden alusta näytteenottohetkeen, °C vrk

yckm = Y-koordinaatti, yksikkö 100km, nollapiste Ahvenanmaasta lounaaseen sijaitsevalla merialueella



**Kuva 5.** Korjuuaika-aineiston kuiva-ainesadon kasvu lämpösumman kertyessä siten, että saman kasvuston havainnot on yhdistetty toisiinsa viivalla (näytteitä 430 ja sarjoja 101). Jokioisten ns. pitkät sarjat on merkitty kuvaan katkoviivalla.

### Johtopäätökset

Nurmisadon D-arvon lasku alkukesällä on hyvin nopeaa ja varsin johdonmukaista. D-arvon muutos on käyräviivaista, mutta säilörehun korjuuaikaan sen on varsin lineaarista ja keskimäärin 5 g/kg ka päivässä. Lämpösummaa käyttäen D-arvon kehityksestä voidaan antaa kohtuullisia yleisiä ennusteita. Lämpö-olot vaikuttivat merkittävästi myös kuiva-ainesadon kertymiseen, mutta sadesumma ei. Kasvustokohtaiset erot olivat erittäin suuria joten kuiva-ainesatoennusteet voivat olla ainoastaan suuntaa-antavia.

### Kirjallisuus

- Artturi.** 2009. ARTTURI® –verkkopalvelu. Viitattu 10.11.2009. [www.mtt.fi/artturi](http://www.mtt.fi/artturi).
- MTT.** 2006. Rehutaulukot ja ruokintasuositukset –verkkopalvelu. Viitattu 10.11.2009. [www.mtt.fi/rehutaulukot](http://www.mtt.fi/rehutaulukot)
- Huhtanen, P., Nousiainen, J. & Rinne, M.** 2005. Prediction of silage composition and organic matter digestibility from herbage composition and pepsin-cellulase solubility. *Agricultural and Food Science* 14: 154-165.
- Huhtanen, P., Nousiainen, J. & Rinne, M.** 2006. Recent developments in forage evaluation with special reference to practical applications. *Agricultural and Food Science* 15: 293-323.
- Kuoppala, K., Rinne, M., Tuori, M. Pursiainen, P. & Vanhatalo, A.** 2010. Puna-apilakasvuston kehitysrytmi alku- ja loppukesällä. Maataloustieteen Päivät 2010, [www.smts.fi](http://www.smts.fi).
- Nousiainen, J., Rinne, M., Hellämäki, M. & Huhtanen, P.** 2003. Prediction of the digestibility of the primary growth of grass silages harvested at different stages of maturity from chemical composition and pepsin-cellulase solubility. *Animal Feed Science and Technology* 103: 97-111.
- ProAgria.** 2009. Lypsykarjan rehunkulutus ja tuotosseuranta 2008. Saatavilla Internetissä: <http://www.proagria.fi/palvelut/maito/Tulosseminaari%202008snluvut.pdf>
- Rinne, M.** 2000. Influence of the timing of the harvest of primary grass growth on herbage quality and subsequent digestion and performance in the ruminant animal. University of Helsinki, Department of Animal Science. Publications 54. 42 p. + 5 encl. Saatavilla Internetissä: <http://ethesis.helsinki.fi/julkaisut/maa/kotie/vk/rinne>.
- Rinne, M., Nykänen, A., Nyholm, L., Nousiainen, J. & Vanhatalo, A.** 2007. Kehitysrytmi huomioitava apilanurmen korjuussa. Puna-apilaa nurmiin ja ruokintapöydälle. Puna-apila tehokkaasti luomumaidoksi – tutkimushankkeen päätösseminaari 17.4.2007. Toim. A. Vanhatalo & M. Topi-Hulmi Suomen Nurmiyhdistyksen julkaisuja 25: 23-33. Saatavilla Internetissä: <https://portal.mtt.fi/portal/page/portal/nurmiyhdistys/Julkaisut/punaapila/rinne.pdf>



- Rinne, M., Huhtanen P. & Nousiainen, J.** 2008a. Säilörehun ja koko rehuannoksen syönti-indeksit auttavat lypsylehmien ruokinnan suunnittelussa. Julkaisussa: Maataloustieteen Päivät 2008 [verkkójulkaisu]. Suomen Maataloustieteellisen Seuran tiedotteita no 23. Toim. Anneli Hopponen. Julkaistu 9.1.2008. Saatavilla Internetissä: [http://www.smts.fi/mpol2008/index\\_tiedostot/Esitelmat/es086.pdf](http://www.smts.fi/mpol2008/index_tiedostot/Esitelmat/es086.pdf)
- Rinne, M., Huhtanen, P. & Nousiainen, J.** 2008b. Karkearehujen sulavuuden määrittäminen tarkentunut. Julkaisussa: Maataloustieteen Päivät 2008 [verkkójulkaisu]. Suomen Maataloustieteellisen Seuran tiedotteita no 23. Toim. Anneli Hopponen. Julkaistu 9.1.2008. Saatavilla Internetissä: [http://www.smts.fi/mpol2008/index\\_tiedostot/Posterit/ps024.pdf](http://www.smts.fi/mpol2008/index_tiedostot/Posterit/ps024.pdf).
- Rinne, M., Nyholm, L. & Hellämäki, M.** 2009. Artturi® valppaana kesään – Nurminäytteen perusteella lohko-kohtainen D-arvoennuste. Maito ja Me 2/2009, s. 30-31.
- Thornley, J.H.M. & France, J.** 2007. Mathematical Models in Agriculture: Quantitative Methods for the Plant, Animal and Ecological Sciences, 2nd Edition. CABI, Wallingford, UK, 906 s.
- Vonesh, E. & Chinchilli, V.** 1997. Linear and nonlinear models for the analysis of repeated measurements. Marcel Dekker, Inc., New York, New York, 560s.