

## **Grazemore DSS för att prediktera beteskvalitet för mjölkkor**

The Grazemore DSS to predict the quality of pasture grass in dairy  
production

**Evelina Larsson**



Examensarbete, 20 p

Handledare: Mårten Hetta och Anne-Maj Gustavsson

**SLU**

Institutionen för norrländsk jordbruksvetenskap

Rapport 2:2006



# Innehållsförteckning

	<b>Sid</b>
<b>Förkortningar</b>	<b>5</b>
<b>Sammanfattning</b>	<b>6</b>
<b>Inledning</b>	<b>8</b>
Mjölkkor och bete	8
Vallfoderkonsumtion	8
Beteskvalitet	8
Vad är en modell?	9
Varför man gör modeller	9
Olika typer av modeller	9
<i>Empiriska modeller</i>	9
<i>Mekanistiska modeller</i>	10
<i>Dynamiska och statiska modeller</i>	10
<i>Deterministiska och stokastiska modeller</i>	10
Grazemore DSS	10
<i>Utvärdering av Grazemoreprojektet</i>	11
Syfte	12
<b>Litteraturstudie</b>	<b>13</b>
Beslutsstödssystem	13
<i>Prognoser</i>	13
<i>Simuleringar</i>	13
Faktorer som påverkar gräsets tillväxt	14
Lagring av kol	14
<i>Ljus</i>	14
<i>Temperatur</i>	15
<i>Kväve</i>	15
Skilnader mellan timotej och engelskt rajgräs	15
Foderkvalitet	16
<i>Råprotein</i>	16
<i>Smältbarhet</i>	16
Tillväxtmodeller för gräs	17
<i>Hurley Pasture-modellen</i>	17
<i>Pasture Quality-modellen</i>	18
<i>Topp &amp; Doyles modell</i>	18
<i>Sheehys modell</i>	18
<i>Torsell &amp; Kornhers modell</i>	20
<i>QUAL-modellen</i>	20
<i>LINGRA</i>	20
<i>Modifieringar av LINGRA</i>	21
Tekniker för att bestämma betesmängd	22
<i>Klippta provytor</i>	23

<i>Betesplatta</i>	23
<i>Betessticka</i>	23
<i>Elektronisk kapacitansmätare</i>	23
Andra hjälpmedel vid studier av betestillväxt	24
<b>Material och Metoder</b>	<b>25</b>
Beskrivning av gårdarna	25
<i>Umeå</i>	25
<i>Nordingrå</i>	25
Insamling av data	25
Herbage Growth Model	26
Kemiska analyser	28
Databearbetning och statistisk analys	28
<i>Beräkning av MSPE</i>	29
<i>Beräkning av MPE och RMS</i>	29
<b>Resultat</b>	<b>31</b>
Råprotein	31
Organisk smältbarhet	32
Betesmängd	34
Mjölmängd	36
<b>Diskussion</b>	<b>38</b>
Råprotein	38
Organisk smältbarhet	38
Betesmängd	38
Mjölmängd	39
Vidareutveckling	40
Slutsatser	40
<b>Tack till</b>	<b>41</b>
<b>Summary</b>	<b>42</b>
<b>Referenser</b>	<b>44</b>

## Förkortningar

A	Uppmätt värde
ARINI	Agricultural Research Institute of Northern Ireland
CLA	Conjugated linoleic acid
DSS	Decision support system
ECM	Energikorrigerad mjölk
EU	Europeiska unionen
GIS	Geografiskt informationssystem
GPS	Globalt positionssystem
HGM	Herbage growth model
HIM	Herbage intake model
LAI	Leaf area index
LUE	Light use efficiency
MPE	Mean prediction error
MSPE	Mean square prediction error
NPN	Non-protein nitrogen
OMD	Organic matter digestibility
P	Predikterat värde
$p$	Sannolikhetsvärde
PAR	Photosynthetic active radiation
RMS	Root mean square error
RP	Råproteinhalt
$S^2_A$	Varians för uppmätta värden
SLA	Specific leaf area
$S^2_P$	Varians för predikterade värden
ts	Torrsubstans
VOS	Våmvätskelöslig organisk substans

## Sammanfattning

Det finns många faktorer som påverkar kornas konsumtion av bete och dessa faktorer har därmed även effekter på mjölkproduktionen. Genom att känna till mängden bete och dess näringsvärde kan man styra kornas betestilldelning och tillskottsutfodring för att optimera mjölkproduktionen.

Grazemore decision support system (beslutsstödssystem, DSS) är en programvara som tagits fram i EU-projektet Grazemore för att förbättra utnyttjandet av bete i mjölkproduktionen i nordvästra Europa. Programvaran består av en tillväxtmodell (herbage growth model, HGM) och en konsumtionsmodell (herbage intake model, HIM). HGM predikterar betets tillväxt och foderkvalitet och HIM predikterar mjölkproduktion, beteskonsumtion och total konsumtion av torrsbstans för betesperioden i varje fålla. Genom att utföra simuleringar med användardefinierade preferenser, kan man få en beteskalender med förslag på optimala datum när man ska låta beta eller putsa respektive fålla.

Detta examensarbete är en fortsättning på EU-projektet Grazemore med syfte att undersöka om prediktionerna av betets mängd och kvalitet i form av smältbarhet och råproteinhalt i Grazemore DSS ger ett tillförlitligt underlag för utnyttjandet av bete inom mjölkproduktionen i norra Skandinavien. I litteraturstudien beskrivs några tillväxtmodeller för gräs och alternativa modeller som kan ersätta den engelska rajgräs- och vitklövermodell som finns i Grazemore DSS. Betesprover från en forskningsgård med konventionell mjölkproduktion i Umeå, Västerbotten, och en kommersiell gård med ekologisk mjölkproduktion i Nordingrå, Västernorrland, insamlades och analyserades för råprotein och den organiska substansens smältbarhet. Resultaten jämfördes med de predikterade värdena från datamodellen. Uppmätt och predikterad betesmängd jämfördes och sedan kontrollerades om prediktionerna av mjölkproduktionen blev bättre om modellens förutsagda värden ersattes med analysvärdena. Detta gjordes genom en jämförelse mellan uppmätt och predikterad mjölmängd för Umeå 2004 när de av HGM predikterade värdena för smältbarhet, råproteinhalt och betesmängd användes som indata till HIM, samt en jämförelse mellan uppmätt och predikterad mjölmängd när de uppmätta kvaliteterna av smältbarhet, råprotein och betesmängd användes som indata till HIM.

Modellen gav lägre värden på råproteinhalten än de uppmätta värdena på båda gårdarna och sambandet mellan uppmätta och predikterade värden var svagt. För smältbarheten gav modellen något höga värden, men det fanns ett tydligt samband mellan analyserade och predikterade värden och MPE var 7 % för båda gårdarna.

Betesmängden uppskattades med klippningar i fällorna under två år i Umeå och ett år i Nordingrå. Modellen underskattade betesmängden för Umeå båda åren, medan mängden överskattades för Nordingrå. Sambandet mellan uppmätt och predikterad betesmängd var statistiskt signifikant ( $p < 0,05$ ) på båda gårdarna för 2004, men inte signifikant för Umeå 2005.

För Umeå berodde den största delen av mean square prediction error (MSPE) för råprotein, organiska substansens smältbarhet och betesmängd på biasavvikelse, som kan vara möjlig att åtgärda genom justeringar i modellen. I Nordingrå berodde den största delen av MSPE på slumpmässiga fel för råprotein och smältbarhet och uppdelat på lutning och slumpmässiga fel för betesmängden.

Sambandet mellan uppmätt mjölmängd och den mängd som predikterats med indata från HGM var starkare än när de uppmätta indata användes och MPE var relativt lågt (6 %) när predikterade indata användes och MSPE berodde till 83 % på lutning. När uppmätta indata användes var MPE 16 % och 90 % av MSPE berodde på bias.

Det genomförda examensarbetet visar att tillväxtmodellen i beslutsstödssystemet Grazemore DSS har goda möjligheter att förutsäga smältbarhet av den organiska substansen på gräset och mängden bete under Skandinaviska förhållanden, även om vissa justeringar av modellen är nödvändigt. När det gäller tillförlitliga förutsägelser av råproteinhalten i betesgräset krävs ett mer omfattande modelleringsarbete.

## **Inledning**

### **Mjölkkor och bete**

Enligt djurskyddsförordningen (SFS, 1988:539) ska alla nötkreatur som hålls för mjölkproduktion och som är äldre än sex månader hållas på bete under sommaren. Utfodring av mjölkkor på bete har många fördelar, då det främjar kornas naturliga beteenden och därmed inverkar positivt på deras välbefinnande. Dessutom har man funnit att mjölk och kött från kor på bete har ett högre innehåll av fleromättade fettsyror, bland annat konjugerad linolsyra (CLA) jämfört med produkter från kor som utfodrats inomhus med färskt, slaget gräs (Offer, 2002). Genom att känna till betets mängd och näringsvärde kan man lättare kontrollera kornas foderintag och därmed bibehålla en hög mjölkproduktion. Under våren tillväxer betet snabbt, för att sedan växa långsammare under sensommaren. En för hög tilldelning av bete (betesgiva) gör att delar av betet inte utnyttjas trots att konsumtionen är hög. Kvaliteten av återväxten blir sämre och gör att betesintaget minskar senare under säsongen. Om betesgivan per ko är för låg, kommer det att begränsa foderintaget, den mängd som kon får i sig, eftersom varje ko inte får tillräckligt mycket att äta (Chamberlain & Wilkinson, 1996).

### **Vallfoderkonsumtion**

Det finns många faktorer som påverkar konsumtionen av vallfoder hos mjölkkor. Bland annat kons fysiologiska status och produktionsnivå, men också den mängd tillskottsfoder hon får och vallfodrets kvalitet. Konsumtionen påverkas både av mängden bete per hektar och av mängden bete per djur. Vid minskande beståndshöjd minskar konsumtionen eftersom djuren då får i sig mindre mängd i varje tugga (Holmes, 1989; Martinsson, 1995).

### **Betes kvalitet**

Betets kvalitet har stor betydelse för konsumtionen genom att ett foder med högt energiinnehåll och hög smältbarhet ger möjlighet till en hög konsumtion och därmed en högre mjölkproduktion (Bertilsson, 1983). En minskning av torrsbstanshalten i betet leder till att en mindre mängd konsumeras (Burstedt & Magnusson, 1991). På grund av detta kan det vara till nytta för lantbrukaren att känna till kvaliteten på betet för att lägga upp betesstrategier (Chamberlain & Wilkinson, 1996; Virkajärvi, 1999) och därmed optimera betesutnyttjandet (O'Donovan *et al.*, 2002). På så sätt kan man styra tillskottsutfodringen så att mjölkproduktionen inte minskar, eller att man ger för mycket tillskottsfoder. Om man lyckas bibehålla en hög mjölkproduktion, är bete ett billigt alternativ till konserverat vallfoder och andra fodermedel (Chamberlain & Wilkinson, 1996). Ett bra bete kan också ha ett högre näringsvärde än ett ensilage (Jeberg, 2004).



## Vad är en modell?

Begreppet ”modell” definieras som en representation av ett fenomen, som åskådliggör och återger egenskaper hos det verkliga. Med en vetenskaplig modell avser man vanligen en abstrakt modell, en mängd tänkta företeelser med vissa förutsatta egenskaper som beskrivs av en teori. Under förutsättning att modellen och verkligheten tillräckligt liknar varandra i relevanta avseenden, kan man genom att studera modellen även lära känna det verkliga fenomenet. Att konstruera en abstrakt vetenskaplig modell för ett fenomen är alltså i stort sett detsamma som att ställa upp en teori om fenomenet. Skillnaden kan då vara att man i fråga om modeller framhäver att det kanske är en förenklad representation och att man därför inte menar att göra en helt riktig bild av verkligheten ([http://www.ne.se/jsp/search/article.jsp?i\\_art\\_id=257569&i\\_word=model](http://www.ne.se/jsp/search/article.jsp?i_art_id=257569&i_word=model), 2006-04-05).

## Varför man gör modeller

Modeller kan användas till att förutsäga biologiska processer som till exempel gräsens tillväxt. De kan användas inom forskning, utveckling och praktiskt lantbruk. När det gäller gräs påverkas tillväxten genom många komplexa och samverkade effekter mellan väder och markfaktorer. Det kan vara svårt att få en tydlig blick över alla dessa processer. Därför har man tagit fram tillväxtmodeller som hjälper till att rationalisera mekanismerna och ge en tydligare bild av förloppen. Trots att modellerna beskriver ett komplicerat system, varierar de i komplexitet. Ju mer omfattande modellen är, desto större är behovet av indata (Barrett & Laidlaw, 2005a). Många parametrar för indata kan bidra till att modellen blir svår att använda och därför kan man välja att göra förenklingar genom till exempel olika antaganden eller genom att försumma processer som har mindre betydelse för helheten.

Mekanistiska modeller för olika grödor började tas fram på 1960-talet och sedan dess har många olika modeller för grästillsväxt konstruerats för olika ändamål (Höglind, Schapendonk & Van Oijen, 2001). Hittills har de mest använts till att förutsäga effekter av klimatförändringar på vallens produktivitet och annan vegetation. De kan vara mer användbara än experiment då försök inte är möjliga att utföra eller när hypoteser måste formuleras innan ett experiment utformas (Barrett & Laidlaw, 2005a). Gräsmodeller som utvecklats från 1980-talet och framåt har tenderat att ignorera de flesta typiskt morfologiska aspekterna på gräs, som bildning av skott, och i stället mer fokuserat på deras fysiologi (Höglind, Schapendonk & Van Oijen, 2001).

## Olika typer av modeller

### *Empiriska modeller*

En *empirisk* modell baseras helt på experimentella data och inte på en förutbestämd teori. Den enklaste formen av empirisk modell är den linjära regressionskvationen där en variabel används för att bestämma en annan (Holden,

2001). Empiriska modeller klarar inte av att beskriva komplexa system med många samverkande komponenter och de är specifika för de omständigheter de utvecklats under. Därför fungerar de inte lika bra när de används för olika år eller i andra områden med annat klimat, annan jordtyp och så vidare (Barrett & Laidlaw, 2005a).

### *Mekanistiska modeller*

En *mekanistisk* modell innehåller ett element av förståelse eller förklaring av systemet som modelleras (Holden, 2001). Den baseras på antaganden om mekanismerna i de underliggande processerna i modellen och kunskap om de stora biologiska principerna, som är viktiga i systemet (Thornley, 1998; Barrett & Laidlaw, 2005a). De flesta mekanistiska modeller simulerar tillväxt som en källdriven process, som begränsas av statistiska beskrivningar av fenologiska processer. Alla prediktioner som modellen gör kan spåras bakåt till dessa processer (Thornley, 1998; Höglind, Schapendonk & Van Oijen, 2001).

Mekanistiska modeller ger ett hjälpmedel för att systematiskt sammanföra kunskap om individuella processer för att öka förståelsen för systemet och ger också ett redskap för att prediktera värden. De kan innehålla empiriska element eller submodeller (Johnson & Thornley, 1983; Barrett & Laidlaw, 2005a).

### *Dynamiska och statistiska modeller*

En *dynamisk* modell beskriver tidsförlopp av olika variabler, tiden finns med som en variabel (Thornley, 1998; Holden, 2001) och uttrycks därför som en differentialekvation där en del egenskaper i systemet förändras med tiden. I *statiska* modeller, däremot, ingår inte tid som en variabel. Man ignorerar tidsberoendet genom antagandet att förändringar i systemet går så långsamt att de är försumbara (Holden, 2001).

### *Deterministiska och stokastiska modeller*

*Deterministiska* modeller predikterar ett visst resultat för en given uppsättning av initiala förhållanden (Holden, 2001), utan att använda sig av slumpgenerator (Thornley, 1998). *Stokastiska* modeller, däremot, innehåller ett koncept av fördelningar som associeras till några eller alla in- och utdata. Därmed kan man skatta sannolikheten för ett visst utslag. Detta betyder att det för en given uppsättning av värden på indata, finns ett intervall av värden för utdata som det sanna värdet ligger inom (Holden, 2001).

## **Grazemore DSS**

Grazemore DSS, är ett beslutsstödssystem (decision support system, DSS) som tagits fram av Grovfodercentrum, SLU-Umeå, som ett verktyg för att förbättra utnyttjandet av bete som resurs i mjölkproduktionen i nordvästra Europa (Hetta *et al.*, 2004a; Barrett, Laidlaw & Mayne, 2004b; Barrett & Laidlaw, 2005a).

Systemet består av en programvara och är en slutprodukt inom EU-projektet Grazemore.

Programvaran (figur 1) består av en tillväxtmodell för gräs (herbage growth model, HGM) och en foderkonsumtionsmodell (herbage intake model, HIM). HGM predikterar betestillväxt och foderkvalitet (Barrett, Laidlaw & Mayne, 2004b) och HIM predikterar mjölkproduktion för betesperioden i varje fälla, beteskonsument och total konsumtion av torrsbstans (Delagarde *et al.*, 2004). Man får även en prediktion av optimala datum för när man ska låta beta eller putsa respektive fälla (Hetta *et al.*, 2004b). Modellen är i första hand konstruerad för en blandning av engelskt rajgräs (*Lolium perenne* L.) och vitklöver (*Trifolium repens* L.) (Barrett, Laidlaw & Mayne, 2004b).

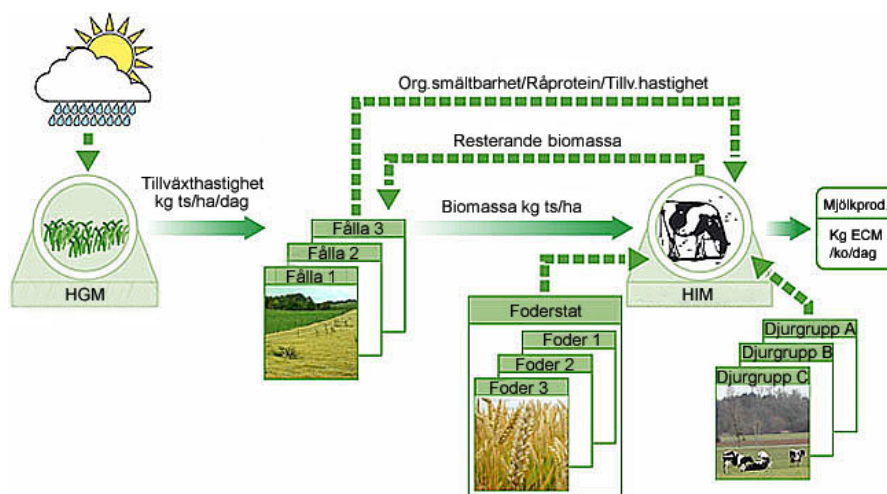


Fig. 1. Principerna för Grazemore DSS (Hetta *et al.*, 2004b).

### Utvärdering av Grazemoreprojektet

Under sommaren 2004 samlades betesprover från fällor på fem olika gårdar i norra Sverige, där även mjölkproduktion, djurdata och information om fällornas egenskaper registrerades.

För alla deltagande länder gjordes en utvärdering genom att predikterade värden jämfördes med uppmätta värden för daglig mjölmängd ( $\text{kg ko}^{-1}$ ) och betesmängd ( $\text{kg ts ha}^{-1}$ ) (tabell 1). Dock gjordes ingen validering av programmets förmåga att prediktera gräsets kvalitet, smältbarhet och råproteinhalt, på betena. Totalt deltog 27 gårdar i England, Nederländerna, Frankrike, Nordirland, Spanien och Sverige. 1/3 av gårdarna var försöksgårdar och de övriga var kommersiella gårdar. I tabell 1 har de två svenska gårdarna Umeå och Nordingrå valts ut som exempel. Umeå är en forskningsstation inom SLU och Nordingrå är en kommersiell gård med ekologisk produktion.

Tabell 1. *Mean prediction error (MPE) för de två svenska gårdarna i försöket jämfört med medelvärdena för samtliga 27 gårdar som deltog i Grazemoreprojektet, medelvärdena för försöksgårdarna respektive de kommersiella gårdarna (Gonzales-Rodriguez et al., 2004)*

Gård	Betesmängd MPE (%)	Mjölmängd MPE (%)
Umeå	24,9	6,0
Nordingrå	46,8	24,0
Medel samtliga gårdar	42,6	12,9
Medel försöksgårdar	37,0	9,1
Medel kommersiella gårdar	44,1	14,3

## Syfte

Syftet med detta examensarbete är att utvärdera om prediktionerna av betets mängd och kvalitet i form av smältbarhet och råproteinhalt i Grazemore DSS ger ett tillförlitligt underlag för utnyttjandet av bete i mjölkproduktionen i norra Skandinavien.

# Litteraturstudie

## Beslutsstödssystem

Beslutsstödssystem (decision support system, DSS) definieras som interaktiva datorbaserade system som hjälper beslutsfattare att använda olika typer av information för att lösa problem och fatta beslut. De kan användas i många sorters företag och organisationer. Man har definierat fem olika typer av beslutsstödssystem; kommunikationsdrivna, datadrivna, dokumentdrivna, kunskapsdrivna och modelldrivna. Kommunikationsdrivna DSS använder nätverk och kommunikationsteknologi för att förenkla samarbete och kommunikation. Datadrivna DSS analyserar, visar och manipulerar stora strukturerade uppsättningar av data som stora tidsserier och interna eller externa företagsdata. Dokumentdrivna DSS lagrar och processar produktspecifikationer, kataloger med mera. Kunskapsdrivna DSS är personatorsystem med kunskap inom en särskild domän och kan föreslå och eller rekommendera åtgärder till användaren (Power, 2002).

Modelldrivna DSS använder sig av modeller för olika scenarios eller känslighetsanalys. Enkla statistiska och analytiska redskap utgör den mest elementära nivån av funktionaliteten. Grazemore DSS är ett modelldrivet system som används för att optimera mjölkproduktionen vid betesdrift (Hetta *et al.*, 2004a; Barrett & Laidlaw, 2004b). Modelldrivna beslutsstödssystem kan även vara hjälpmedel för att förutsäga efterfrågan på produkter, eller för att fatta beslut om lån och krediter vid bankärenden (Power, 2002).

### *Prognoser*

Många modelldrivna DSS:er innehåller modeller för att ge prognoser och den huvudsakliga användningen är att prediktera värdet av variabler vid vissa tidpunkter i framtiden. Tidsperioden som är av intresse kan variera beroende på när resultaten ska utvärderas (Power, 2002). I Grazemore DSS predikteras gräsets näringsvärde som organiska substansens smältbarhet samt råproteinhalt. Dessutom predikteras gräsets tillväxthastighet samt kornas beteskonsumtion och mjölkproduktion som en konsekvens av betets tillväxt (Hetta *et al.*, 2004a).

### *Simuleringar*

Med hjälp av simuleringar i en datorbaserad modell kan man imitera verkligheten under olika omständigheter och bedöma utfallet av komplexa beslut. Man identifierar olika tillstånd i ett system och modifierar sedan dessa tillstånd genom att utföra specifika händelser. Simuleringar kan bland annat användas vid prediktioner (Power, 2002). Grazemore DSS gör simuleringar som baseras på begränsningar och regler som sätts av användaren. Programmet simulerar gräsets tillväxt och hur korna roterar mellan betesfällorna för att hela tiden kunna utnyttja betet maximalt. Man kan sedan jämföra resultaten för olika simuleringar och se hur systemet skulle reagera på olika händelser och strategier (Hetta *et al.*, 2004c).

## Faktorer som påverkar gräsets tillväxt

Gräsets tillväxthastighet är bland annat beroende av tillgängliga näringsämnen och mängden blad i vallen som tar upp ljusstrålning. Omedelbart efter skörd kommer en period med långsam återväxt följt av en ökad tillväxthastighet och slutligen en period med minskad tillväxt när vallen mognar (McDonald *et al.*, 2002). Hastigheten för produktion av nya blad är en viktig parameter för att bestämma gräsmängd i en vall (Höglind, Schapendonk & Van Oijen, 2001) och den är beroende av dagslängd, men även generellt linjärt relaterad till temperaturen (Davies & Thomas, 1983). Bladbildningen ger också en grund för ökat ljusupptag (Höglind, Schapendonk & Van Oijen, 2001).

Hastigheten för återväxt beror på utvecklingsstadiet vid skörd och på hur mycket av den fotosyntetiska vävnaden som förloras (Davies, 1988). Om gräset är ungt och bladigt vid skörd, i vegetativ tillväxtfas, återhämtas det snabbare och börjar återväxten tidigare än när vall som nått reproduktivt stadium skördas (Davies, 1988; McDonald *et al.*, 2002). Om tillräckligt mycket fotosyntetisk vävnad lämnas kvar att försörja växten för tillväxt och underhåll, kommer den att kunna öka i torrsvikt omedelbart efter skörd, men om för lite lämnas kvar kommer växten att förlora vikt. Viktförlusten beror på att en negativ kolbalans uppstår när växten måste utnyttja kolreserver för att bilda nya blad (Davies, 1988).

## Lagring av kol

Förbrukning av kol för tillväxt är temperaturberoende och lagring av kol är beroende av ljustrålning (Barrett, Laidlaw & Mayne, 2005). Transporten av kolhydrater till rötterna minskar när temperatur och dagslängd ökar. Sedan ökar transporten av kolföreningar när kraven i växtens ovanjordiska delar tillfredsställts och den maximala lagringskapaciteten i rötterna har uppnåtts (Höglind, Schapendonk & Van Oijen, 2001).

Om det fixeras mer kol än vad som behövs för tillväxt, kan överskottet lagras som kolhydrater i rötter och stråbas. Detta lagrade kol är sedan tillgängligt för remobilisering vid tillfällen då växten behöver mer kolhydrater än vad som finns tillgängligt från fotosyntesen (Schnyder & Nelson, 1988; Schapendonk *et al.*, 1998; Barrett, Laidlaw & Mayne, 2004a). Det kan till exempel vara vid förlust av blad i samband med bete eller skörd, som leder till ett tillfälligt minskat ljusupptag (Davies, 1988). Poolen fylls på igen när bladytan ökar och bladen kan ta upp större mängd inkommande fotosyntetiskt aktiv strålning (PAR), vilket ger en ökad fotosyntes (Davies, 1988; Schapendonk *et al.*, 1998).

## Ljus

Upptag av ljus är relaterat till bladarea per enhet markarea (leaf area index, LAI) (Groeneveld, 1997), och därmed även till den morfologiska utvecklingen med nyckelprocesser som bladsträckningshastighet och skottsättning (Schapendonk &

de Vos, 1988). Upptag av ljus per bladareanhet bestäms till stor del av bladvinkeln mot ljuset och bladets sammansättning (Höglind, Schapendonk & Van Oijen, 2001).

### *Temperatur*

Temperaturen påverkar inte bara hastigheterna för bladuppkomst och åldrande utan också bladens slutliga storlek, form och expansion (Robson, Ryle & Woledge, 1988). Hög temperatur ger snabbare sänkning av energiinnehållet i vallen (Tuveesson, 1993), då mer lignin lagras in i växtens cellvägg. Den metaboliska aktiviteten gynnas av temperaturökning, vilket minskar poolerna av nitrat, protein och lösliga kolhydrater i cellerna. Produkter från fotosyntesen omvandlas då snabbare till strukturella komponenter i cellväggen (Van Soest, 1994).

### *Kväve*

Låga kvävenivåer leder till ökad fördelning av kolhydrater till rötterna eftersom möjligheten att ta emot kol i skottet begränsas av långsam bladsträckning (Höglind, Schapendonk & Van Oijen, 2001). Ökad kvävegödsling ger ökad bladbildning (Höglind, Schapendonk & Van Oijen, 2001) och även en högre tillväxthastighet. Beroende på tidpunkt för slåtter, kan även proteinkoncentrationen variera. En tidigare skördetidpunkt kan ge ökad proteinkoncentration (Tuveesson, 1993; Van Soest, 1994; Gustavsson, Angus & Torssell, 1995).

Vid kvävegödsling ökar produktionen av rubisco (ribulos bisfosfat karboxylas/oxygenas), ett enzym som verkar då kolhydrater bildas i växtens kloroplaster när koldioxid tillförs (MacAdam & Nelson, 2003). Rubisco utgör ungefär 40 % av det lösliga proteinet i växtbladen (MacAdam & Nelson, 2003). Produktiva blad innehåller höga halter rubisco medan blad med lägre innehåll har långsam fotosyntes på grund av ogynnsamma förhållanden (Höglind, Schapendonk & Van Oijen, 2001).

## **Skillnader mellan timotej och engelskt rajgräs**

Timotej (*Phleum pratense* L.) är det vanligaste gräset i vallar i Skandinavien. Mekanistiska modeller som utvecklats för andra gräsarter är inte användbara för timotej, eftersom resultaten kan bli missvisande. En anledning till detta är att timotejens tillväxtprocesser i många avseenden skiljer sig från arter som engelskt rajgräs (Höglind, Schapendonk, & Van Oijen, 2001; Virkajärvi, 2004), som är den mest använda vallväxten i stora delar av Europa (Höglind, Hanslin & Van Oijen, 2005).

Timotej är mer vinterhärdig än engelskt rajgräs (Höglind, Schapendonk & Van Oijen, 2001) men mindre tålig mot frekvent avklippning, vilket kan ses i den långsamma återväxten efter skörd (Höglind, Hanslin & Van Oijen, 2005). En orsak till detta är att de vegetativa skottspetsarna hos timotej kommer högre upp än hos engelskt rajgräs och tar större skada vid skörd eller bete på grund av att skotten lättare avlägsnas. En annan orsak är att skottsättning börjar senare i timotej än i

engelskt rajgräs. Hos timotej utvecklas generellt inte sidokotten förrän minst fem blad har kommit ovanför ursprungsnoden, medan detta antal bara är två hos engelskt rajgräs (Höglind, Schapendonk & Van Oijen, 2001).

Timotejblad är tunnare och har lägre klorofyllinnehåll än blad från rajgräs. I timotej lagras kolhydrater huvudsakligen i den uppsvällda stambasen och därifrån remobiliseras de vid brist, som ofta uppstår under tidig vår när det är lite ljus eller efter skörd när ljusupptaget är lågt (Höglind, Schapendonk & Van Oijen, 2001).

## **Foderkvalitet**

Med ett vallfoders kvalitet avses hur väl den skördade växten lämpar sig som foder till exempelvis mjölkkor. Foderkvaliteten bestäms av växternas kemiska sammansättning av bland annat fibrer, protein, socker och fett. Foderkvaliteten påverkas av en rad miljöfaktorer, där bland annat växttillgängligt kväve i marken och växttillgängligt vatten har inverkan på proteinhalten medan dagslängd och temperatur påverkar plantutveckling, som i sin tur påverkar smältbarheten (Thorvaldsson, 1985). För producerande mjölkkor strävar man efter en hög foderkvalitet eftersom det möjliggör en hög konsumtion, högt foderutnyttjande och därmed hög mjölkproduktion.

### *Råprotein*

Växternas proteininnehåll uttrycks vanligtvis som råprotein, som är en omräkning av växternas innehåll av kväve. Vid foderanalyser bestämmer man mängden kväve och omvandlar den till mängden råprotein. Kväveinnehållet bestäms genom en metod beskriven av den danske kemisten Johan Kjeldahl i slutet av 1800-talet ([http://www.natolencyklopedin.se/jsp/search/article.jsp?i\\_art\\_id=225750&i\\_word=kjeldahl](http://www.natolencyklopedin.se/jsp/search/article.jsp?i_art_id=225750&i_word=kjeldahl), 2006-03-13). Man antar att kvävet kommer från protein som innehåller 16 % kväve, och därför multipliceras kvävehalten med faktorn 6,25 för att få ett ungefärligt värde på proteinhalten. Denna fraktion kallas råprotein och består av verkligt protein och icke-proteinkväve (NPN) (Buxton & Mertens, 1995).

Råproteinhalten i gräsvallar påverkas av växttillgängligt markkväve. Kvävegödsling ökar ofta koncentrationen av råprotein och därmed gräsets tillväxt. Största delen av ökningen är NPN i form av nitrater och fria aminosyror. Verkligt protein utgör normalt 60-80 % av kvävet i grovfoder och det mesta NPN utgörs av nukleinsyror, fria aminosyror, amider och nitrat (Buxton & Mertens, 1995). Inblandning av klöver i en vall kan, beroende på skördetidpunkt, öka råproteinhalten (Gustavsson, 1989), eftersom baljväxter kan fixera luftens kväve med hjälp av Rhizobiumbakterier. Ju högre andel baljväxter, desto högre halt smältbart råprotein (Tuveesson, 1993).

### *Smältbarhet*

Ett mått på fodrets näringsvärde är smältbarheten. Smältbarheten kan bestämmas för olika fraktioner i fodret. Den är ett mått på hur stor andel av fodret som kan brytas ner och utnyttjas av djuret. Smältbarheten hos ett vallfoder beror på



förhållandet mellan cellinnehåll och cellväggar samt på smältbarheten hos cellväggarna. Cellinnehållet består huvudsakligen av lösliga kolhydrater, proteiner och organiska syror som snabbt bryts ner i våmmen. Cellväggsfraktionen bryts ner långsamt. Variationer i foderkvalitet som orsakas av skillnader i genotyp, miljö och skötselåtgärder är komplexa. De sker genom processer i växternas utveckling, växtdelars torrsubstans och kemiska sammansättning samt smältbarhet av enskilda växtdelar (Groot & Lantinga, 2004). När gräset åldras ökar fiber- och ligninhalten medan smältbarhet och innehåll av omsättbar energi minskar (Tuveesson, 1993). Lignin kan inte brytas ner av våmmens mikroorganismer och försämrar nedbrytningen av föreningar som det är bundet till (McDonald *et al.*, 2002). Därav finns det ofta ett negativt förhållande mellan smältbarhet och mognad. Temperatur, markfuktighet, ljus och markens bördighet kan ha antingen direkta eller indirekta effekter på lignifieringen (Moore & Jung, 2001).

När man bestämmer *in vivo* (med djurförsök) smältbarheten hos ett foder använder man sig i första hand av total uppsamling av träck. Vanligtvis använder man en grupp med djur för att utjämna individuella variationer och genomförandet tar några veckor. En annan metod är att använda speciella markörer som redan finns i fodret eller som tillsätts i foderstaten. Man mäter sedan den mängd markör som kommer ut med avföringen och jämför med den mängd som djuret konsumerade (McDonald *et al.*, 2002).

I Sverige är det vanligast att man bestämmer smältbarheten *in vitro* (i provrör, konstgjord miljö) genom VOS-analys (våmlöslig organisk substans) (Lindgren, 1977). Analysen sker i ett steg, där proverna inkuberas i våmvätska och buffertlösning i 38°C i 96 timmar. Proverna sköljs sedan med vatten och aceton innan de torkas i 105°C i 3 timmar. Efter vägning askas proverna vid 510°C i 40 minuter innan de vägs igen.

Den internationellt sett mest använda metoden för att bestämma smältbarheten *in vitro* är enligt Tilley & Terry (1963), som sker i två steg. Proverna man vill analysera inkuberas i våmvätska och buffert i 38°C i 48 timmar och skakas 3-4 gånger per dag. I det andra steget, centrifugeras proverna och pepsinlösning tillsätts innan de inkuberas i 38°C i ytterligare 48 timmar. Proven torkas sedan vid 100°C till konstant vikt. Efter vägning föraskas proverna vid 510°C i 40 minuter innan de vägs igen.

## **Tillväxtmodeller för gräs**

Ett antal modeller har utvecklats för att prediktera gräsets tillväxt. Skillnader mellan modellerna beror bland annat på att de tagits fram för olika syften och baserat på olika förutsättningar. I tabell 2 visas en översikt över ett urval av modeller som gjorts för gräsvallar.

### *Hurley Pasture-modellen*

Hurley Pasture-modellen utvecklades först vid Grassland Research Institute i Hurley i England (Johnson, Ameziane & Thornley, 1983) och är en mekanistisk, dynamisk modell som ger ett hjälpmedel för att förstå grästillsväxt som ett integrerat system av interagerande delprocesser (Brereton & O’Riordan, 2001). Modellen finns i många versioner, eftersom den har utvecklats under många år och omfattar många publikationer och submodeller (Barrett & Laidlaw, 2005). Thornley (1998) beskriver en uppdaterad version av modellen, den så kallade växtecosystems-simulatorn. Den består av en betesmodell med submodeller för växter, djur, vatten samt jord och förna, som beskriver flödena av kol (C), kväve (N) och vatten i ett system mellan mark, bete och atmosfär (Thornley & Cannell, 1997). Växtsubmodellen visar tillsväxten av vegetativt gräs och dess respons på ljus, temperatur, kväve, vatten, skörd och bete. Modellen drivs av kolinlagring från fotosyntesen och mängden kväve som tas upp från marken. De miljömässiga parametrar som påverkar modellen är ljusinstrålning, koldioxidkoncentration, dagslängd, luft- och marktemperatur samt nederbörd genom vattensubmodellen. Modellen är förenklad genom att den reproduktiva utvecklingen inte finns representerad (Thornley, 1998).

#### *Pasture Quality-modellen*

Pasture Quality-modellen (Woodward, 2001) är en enkel, mekanistisk, dynamisk modell som utvecklades i Nya Zeeland för att beskriva de grundläggande biologiska processerna i betesvallar och för att förbättra betesstrategierna för mjölkproducenter. I modellen relateras beteskvalitet till de relativa mängderna av olika fraktioner av betet vid en viss tidpunkt, i stället för betets totala näringsvärde. För att nå detta syfte, förutsäger modellen daglig tillsväxt av vegetativa respektive reproduktiva skott av engelskt rajgräs, klöver samt fraktion av dött material i betesvallen, baserat på daglig temperatur, nederbörd och ljusinstrålning.

#### *Topp & Doyles modell*

Topp & Doyle (1996) har utvecklat en modell som är dynamisk och mekanistisk. Den är anpassad för rena gräsvallar eller vallar med inblandning av klöver. Modellen används för att uppskatta vilken effekt ökning av temperatur, nederbörd och koldioxid kan ha på produktionen av engelskt rajgräs och vitklöver i Skottland. Denna modell bygger vidare på en tidigare modell av Doyle, Baars & Bywater (1989), som beräknade daglig tillsväxt av bete, baserat på existerande mängd bete, tillgängligt markvatten, temperatur och ljusinstrålning.

#### *Sheehys modell*

Sheehy *et al.*, (1996) har utvecklat en mekanistisk modell i Storbritannien, för att öka förståelsen för vad som styr tillsväxt, samt hur miljöförändringar påverkar växtens fysiologi och morfologi i vallar med engelskt rajgräs. Den visar flödena av kväve och kol mellan olika pooler och baseras på en modell av Sheehy, Cobby & Ryle (1980), där värden för parametrar och variabler för morfologi och fysiologi svarar på förändringar i miljön.

Tabell 2. Några tillväxtmodeller för gräsproduktion, vilka gräsarter och vilken region de utvecklats för och vilket område de kan användas inom

Referens	Modellnamn	Modelltyp	Gräsart	Region	Anv. Område
Barrett, Laidlaw & Mayne, 2004b	Herbage Growth Model	Dynamisk/Mekanistisk	Eng. rajgräs	Nordvästra Europa	Grazemore DSS GrassCheck
Gustavsson, Angus & Torrsell, 1995	QUAL	Dynamisk/Mekanistisk	Timotej	Skandinavien	Skördeprognos
Höglind, Schapendonk & Van Oijen, 2001		Dynamisk/Mekanistisk	Timotej	Skandinavien	
Rodriguez, Van Oijen & Schapendonk, 1999	LINGRA-CC	Dynamisk/Mekanistisk	Eng. rajgräs	Nederländerna	Skatta ökad CO <sub>2</sub> -koncentration
Schapendonk <i>et al.</i> , 1998	LINGRA	Dynamisk/Mekanistisk	Eng. rajgräs	Nederländerna	Skördeprognos
Sheehy <i>et al.</i> , 1996		Mekanistisk	Eng. rajgräs	Storbritannien	
Thornley, 1998	Hurley Pasture-modellen	Dynamisk/Mekanistisk	Eng. rajgräs	Storbritannien	Förståelse
Topp & Doyle, 1996		Dynamisk/Mekanistisk	Eng. rajgräs	Norra Europa	Produktivitet
Torrsell & Kornher, 1983		Dynamisk/Mekanistisk	Timotej	Skandinavien	Skördeprognos
Woodward, 2001	Pasture Quality-modellen	Dynamisk/Mekanistisk	Eng. rajgräs	Nya Zeeland	Skördeprognos

### *Torssell & Kornhers modell*

Torssell & Kornher (1983) har vid SLU (Uppsala) tagit fram en enkel dynamisk mekanistisk modell för timotejvallar med eller utan inblandning av klöver, som är en modifiering av den modell som skapades av Angus, Kornher & Torssell (1980). Tillväxten beräknas som mängd biomassa i kg torrs substans med hjälp av index för temperatur, ljusinstrålning respektive växttillgängligt markvatten (Torssell & Kornher, 1983). Modellen simulerar inte de fysiologiska processerna bakom tillväxten och därför kan den bara användas i områden med samma klimat och management som den kalibrerats för (Höglind, Schapendonk & Van Oijen, 2001).

### *QUAL-modellen*

QUAL-modellen är dynamisk, mekanistisk och utvecklades vid SLU (Umeå) och används för att göra skördetidsprognoser. Den simulerar tillväxten under första skörd av torrs substans samt koncentrationerna av råprotein och omsättbar energi i bestånd av timotej. Tillväxten av torrs substans skattas i förhållande till ljusinstrålning, lufttemperatur, markvatteninnehåll och kvävekonzentration i vävnaderna. Råproteinet skattas i relation till växtens upptag av kväve från markmineralisering och tillförd gödsel, samt utspädning av kväve under plantans tillväxt. Omsättbar energi skattas i relation till utvecklingsstadium (Gustavsson, Angus & Torssell, 1995).

Indata som krävs är dagliga värden av nederbörd (mm), potentiell evaporation (mm), globalinstrålning ( $\text{MJ m}^{-2}$ ), medeltemperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ), dagslängd (h) och skattad kvävemineralsning i jorden (Gustavsson, Angus & Torssell, 1995).

Modellen är anpassad till normala gårdsfält och är därför förenklad (Gustavsson & Martinsson, 2001). Bland annat tar den inte med processer som är relaterade till skottbildning och bladbildning (Höglind, Schapendonk & Van Oijen, 2001).

Daglig tillväxt,  $\Delta W$ , simuleras med formeln:

$$\Delta W_i = c_i \varepsilon R_i W_i T_i N_i - \gamma (OM_{i-1} - F_{i-1}) Q_{10}^{(T_i - 15)/10}$$

och beror på intagen global instrålning,  $R$ , hur effektivt strålningen utnyttjas (light use efficiency, LUE),  $\varepsilon$ , samt normaliserade index,  $W$ ,  $T$  och  $N$ , som representerar begränsningar av vattentillförsel, temperatur respektive växtkväve.  $c$  står för beståndstätheten som påverkar hur mycket ljusinstrålning som tas upp. Respirationen för underhåll simuleras genom produkten av vikten av metaboliskt aktivt växtmaterial ( $OM-F$ ), en hastighet,  $\gamma$ , som värderats vid referenstemperaturen  $15^{\circ}\text{C}$  och  $Q_{10}$  som indikerar ökningen i respirationshastighet för varje  $10^{\circ}\text{C}$  ökning av temperaturen (Gustavsson, Angus & Torssell, 1995).

### *LINGRA*

LINGRA (LINTul-GRAss) (Schapendonk *et al.*, 1998) är en mekanistisk dynamisk modell, som utvecklades i Nederländerna på DLO Institute for Agrobiolgy and

Soil Fertility, Wageningen. Den har anpassats från Light INTerception and UtLiZation simulator, som togs fram som en tillväxtmodell för potatisproduktion (Spitters & Schapendonk, 1990). Först designades LINGRA för att förutsäga mängden skördad torrsubstans i rajgräsvallar (Barrett, Laidlaw & Mayne, 2004a), men modifieringar av modellen har bland annat använts för att studera effekterna av klimatförändringar på grästillsväxt (se Modifieringar av LINGRA) (Rodriguez, Van Oijen & Schapendonk, 1999).

De innovativa aspekterna i LINGRA, är de separata algoritmerna för kollagrings- och kolförbrukningsrelaterade processer samt en enkel mekanistisk funktion för gräsets morfologiska utveckling som simulerar de naturliga förloppen i gräsvallarna, inklusive regelbunden bortförsel av blad i samband med bete eller skörd (Schapendonk *et al.*, 1998).

Tillväxthastighet som begränsas av kolförbrukning,  $\Delta W$ , ( $\text{g m}^{-2}\text{d}^{-1}$ ), styrs av temperaturberoende bladexpansion och skottutveckling och beräknas med ekvationen:

$$\Delta W = \Delta \text{LAI} / \text{SLA} * 1 / f(lv),$$

där  $\Delta \text{LAI}$  är leaf area index, SLA är en konstant för specifik bladarea,  $f(lv)$  är fraktion av mängd torrsubstans i bladen. Tillväxthastighet som begränsas av kolinlagring bestäms som summan av tillväxthastighet från fotosyntesen och variationen i lagrade kolhydrater och styrs av hur effektivt det fotosyntetiska ljuset utnyttjas (LUE) samt remobiliseringen av lagrade kolhydrater i stubben (Schapendonk *et al.*, 1998).

LINGRA är dynamisk och beräknar dagliga förändringshastigheter av de flesta variabler, bland annat tillväxthastighet (Barrett, Laidlaw & Mayne, 2004a). Indata som behövs är dagliga mätningar av meteorologiska parametrar som PAR ( $\text{MJ m}^{-2} \text{dag}^{-1}$ ), luftmedeltemperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) och nederbörd ( $\text{mm d}^{-1}$ ), samt hastigheten av kvävetillförsel (Barrett, Laidlaw & Mayne, 2005). Simulerade processer är ljusutnyttjande, bladbildning, bladsträckning, skotttillsväxt och fördelning av kol till lagring, skott och rötter (Schapendonk *et al.*, 1998; Rodriguez, Van Oijen & Schapendonk, 1999).

#### Modifieringar av LINGRA

Det finns ett antal modeller som baseras på LINGRA, men som har anpassats efter speciella krav och önskemål. Rodriguez, Van Oijen & Schapendonk (1999) har använt en variant av LINGRA, den så kallade LINGRA-CC, för att undersöka vilken påverkan klimatförändringar och ökade koldioxidhalter har på grästillsväxt. Denna modell utvecklades vid Wageningen Rhizolab i Wageningen, Nederländerna och är liksom den ursprungliga LINGRA anpassad till vallar med engelskt rajgräs. Indata är dagliga minimi- och maximitemperaturer och simulerade nyckelprocesser är, liksom i ursprungsmodellen, ljusutnyttjande, bladformation, bladsträckning, skottbildning och kolfördelning.

Höglind, Schapendonk & Van Oijen (2001) har gjort en modifiering av LINGRA så att den kan användas för timotej. Den nya modellen skiljer sig från LINGRA bland annat genom att den simulerar dynamikerna av både vegetativa och reproduktiva skott. Hastigheten för uppkomst av nya blad och bildning av nya vegetativa skott beror på innehåll av kolreserver. Höglinds modell innehåller 28 parametrar som karakteriserar timotejens fysiologiska egenskaper. Av dessa fanns redan 16 parametrar i den ursprungliga LINGRA för rajgräs. De 12 nya parametrarna som introducerats kvantifierar bildningshastigheten av reproduktiva skott, dess känslighet för miljö- och växtfaktorer och skillnaderna mellan vegetativa och reproduktiva skott i antal utsträckande blad, bladform och utsträckningshastighet (Höglind, Schapendonk & Van Oijen, 2001).

Grazemore Herbage Growth Model (HGM) är en modifiering av LINGRA, som används i beslutsstödsystemet Grazemore DSS. Modellen utvecklades och testades först vid Agricultural Research Institute of Northern Ireland (ARINI) (Barrett, Laidlaw & Mayne, 2004b). LINGRA valdes som förebild eftersom det var den modell som visade sig passa bäst vid en jämförelse av fyra tillväxtmodeller för rajgräsvallar (Barrett, Laidlaw & Mayne, 2004a). Skillnaderna från ursprungliga LINGRA består av att HGM innehåller funktioner för att ta hänsyn till reproduktiv tillväxt, tillväxt som svar på tillförd kvävegödsel, samt skattningar av andelen vitklöver och förändringar i foderkvalitet i form av råproteinhalt och smältbar organisk substans (Barrett, Laidlaw, & Mayne, 2004b; Barrett, Laidlaw & Mayne, 2005).

Modellen predikterar tillväxt av en blandning av engelskt rajgräs och vitklöver baserat på fällans biologiska egenskaper, väderprognoser och olika skötselåtgärder, bland annat N-gödsling (Hetta *et al.*, 2004b; Barrett, Laidlaw, & Mayne, 2004b; Barrett, Laidlaw & Mayne, 2005a). Modellen benämns ibland även som EU GrazeGro (Barrett & Laidlaw, 2005). Som tidigare nämnts, bestäms gräsets dagliga tillväxthastighet som ett minimum av antingen kolförbrukning eller kollagring och därför blir resultatet fotosyntesöverskott eller tömda reserver. Varje resultat påverkar de efterföljande beräkningarna på olika sätt (Barrett, Laidlaw & Mayne, 2005).

Grasscheck är ett koncept som tagits fram på Nordirland, för att kontrollera och prediktera produktionen av gräs som ett hjälpmedel för praktiska lantbrukare. I projektet bestäms tillväxthastighet, gräskvalitet och tillväxthastigheten predikteras med hjälp av HGM upp till två veckor i förväg (Barrett & Laidlaw, 2005b). De predikterade värdena publiceras i den nordirländska dagspressen och även på Internet ([http://www.ruralni.gov.uk /livestock/grass/grass-check/index.htm](http://www.ruralni.gov.uk/livestock/grass/grass-check/index.htm); 16-jan-2006).

## **Tekniker för att bestämma betesmängd**

För att förutsäga mängden växtmaterial i en fälla, kan man använda sig av modellerna som beskrivits ovan. Om man vill uppskatta den faktiska mängden, finns även andra metoder att tillgå. De vanligaste sätten idag att bestämma mängden bete är genom metoder som antingen är förstörande på vegetationen, där

gräset klipps och förs bort, eller icke-förstörande, där man gör mätningar som direkt kan relateras till betesmängden (O'Donovan *et al.*, 2002).

### *Klippta provytor*

En vanlig destruktiv metod att bestämma mängden bete är att klippa provytor och väga mängden växtmaterial. Ett problem med denna metod är att betesmängden ofta varierar mellan olika områden på samma fält. Det kan till exempel finnas variationer i beståndstäthet, skillnader i växtmaterialets längd på olika områden och även variationer i artsammansättning (O'Donovan *et al.*, 2002). Detta gör att ett stort antal provytor behövs för att det ska bli representativt för fältet (Virkajärvi, 1999; O'Donovan *et al.*, 2002) och det kan vara mycket tidskrävande (Martin *et al.*, 2005). Man har därför utvecklat snabbare metoder för att indirekt bestämma mängden bete, utan att göra någon skada på vegetationen (Virkajärvi, 1999).

### *Betesplatta*

Det finns metoder för att bestämma mängden växtmaterial som baseras på förhållandet mellan beståndshöjd och betesmängd. Ett tillvägagångssätt är att beståndet komprimeras och man bestämmer mängden genom att mäta höjden av det komprimerade materialet. Vanligtvis använder man en platta (betesplatta, disc meter) som kan höjas och sänkas och trycker ner vegetationen. Trycket neråt som orsakas av plattan påverkar den bestämda höjden och denna bulkvolym av biomassa relateras till betesmängd i motsvarande markyta (Powell, 1974; O'Donovan *et al.*, 2002). Bulkvolymen beror på vegetationens höjd, styvheten hos enskilda blad eller skott och grässvålens densitet (Virkajärvi, 1999; O'Donovan *et al.*, 2002). Instrumentet är lätt att konstruera och det går snabbt att utföra mätningarna (Castle, 1976).

### *Betessticka*

En annan metod för att bestämma mängden växtmaterial, som baseras på förhållandet mellan beståndshöjd och betesmängd är med hjälp av en betessticka (sward stick). Metoden bakom betesstickan är ett litet plastfönster som sänks ner mot beståndet tills det träffar någon växtedel. Höjden av den första kontakten registreras och denna metod ger inget tryck på vegetationen (O'Donovan *et al.*, 2002).

### *Elektronisk kapacitansmätare*

Den elektroniska kapacitansmätaren bygger på skillnader i dielektriska konstanter mellan luft och växtmaterial. I en kapacitansmätare är kondensatorn en del av en krets som ger en signal av speciell frekvens. Förändringarna i kapacitans orsakas av skillnader i vegetationen. Ändringarna gör att signalfrekvensen ändras och dessa variationer registreras och omvandlas till betesmängd (Vickery *et al.*, 1980).

Kapacitansmätaren är en tidsbesparande, säker och icke-förstörande metod att bestämma den totala mängden växtmaterial ovanför markytan (Morris *et al.*, 1976). Det finns även en kapacitansmätare med en enkel sond som kan användas till att testa små ytor och individuella plantor om arterna är ojämnt fördelade (Currie, Hilken & White, 1987). Vid kalibrering av instrumentet mäter man kapacitansen för blandningen av luft och växtmaterial innan beståndet klipps och vägs. Med hjälp av regression kan sedan växtmaterialets vikt relateras till mätarens avläsningar. När regressionsekvationen har fastställts kan den användas för ytterligare mätningar utan att nya prover måste klippas (Currie, Hilken & White, 1987).

### **Andra hjälpmedel vid studier av betestillväxt**

Globalt positionssystem (GPS) gör det möjligt att registrera variationer inom ett fält som geografiska data. Den exakta positionen kan bestämmas och registreras kontinuerligt. För att lagra och hantera data behöver man ett geografiskt informationssystem (GIS) som visar och analyserar data med geografiskt innehåll och betydelse (Yule *et al.*, 1996; Power, 2002). Systemet konstruerar komplexa bilder över fälten och gör det möjligt att fatta rimliga agroteknologiska beslut (Neményi *et al.*, 2003).

GIS ger data i hög upplösning som är av praktisk användning vid kontroll och tillförsel av produktionsindata. Systemet skapar kartor över mängden vegetation (Neményi *et al.*, 2003) för varje fält som ger en biologisk indikator av odlingspotentialen. Man får även kartor över jordens fysiologiska och kemiska komponenter som bland annat tillgänglig fosfor, kalium och magnesium. Detta är en fördelaktig teknik att använda för att minska läckage från odlingsmark till omgivande miljö och det finns även ekonomiska fördelar eftersom det är lättare att bedöma när gödning ska tillföras eller grödan ska besprutas (Yule *et al.*, 1996).



## Material och Metoder

### Beskrivning av gårdarna

#### Umeå

Den första gården i undersökningen finns i Röbbäcksdalen, Umeå, Västerbotten. Det är en forskningsstation med 120 mjölkkor och 300 ha åker, som tillhör Sveriges lantbruksuniversitet (SLU). Där användes under försöket 4 betesfällor, där 40 mjölkkor betade ca 20 timmar/dygn med 2-3 dagar i varje fälla. Betena utgjordes av äldre vallar, där de dominerande grässlagen var ängssvingel (*Festuca pratense* L.) och kvickrot (*Elytrigia repens* L.). Klöverhalten var 10-20 % under 2004 och under 2005 var klöverhalten betydligt lägre. Provtagningar av betesmängd gjordes 24 timmar före korna fick tillträde till fällorna. Mjölmängden mättes individuellt för varje mjölkande ko genom provmjölkning två gånger i veckan.

Datamaterial och betesprover från Umeå togs med i denna jämförelse eftersom det var den svenska gård där tillväxtmodellen hade fungerat bäst. Resultaten i utvärderingen visade att HGM inom DSS hade lägst mean prediction error (MPE) (24,9 %) med avseende på betesmängd vid en jämförelse av alla svenska gårdar som deltog i Grazemoreprojektet (sid. 10) (González-Rodríguez *et al.*, 2004).

#### Nordingrå

Den andra gården i undersökningen ligger i Nordingrå, Västernorrland, och är en ekologisk gård med ca 30 mjölkkor som gick ute på betena dygnet runt och alternerade mellan dag- och nattfällor med ca 2 dagar/nätter i varje fälla. Totalt fanns 15 betesfällor. Artsammansättningen i betesvallarna varierade mellan fällorna och klöverhalten uppskattades till 30 %. Provtagning gjordes en gång i veckan i de tre fällor som skulle betas närmast i tiden. Vid varje besök klipptes först och främst den fälla som korna skulle beta närmast, sedan den fälla som stod näst på tur och slutligen en fälla som det var mer än 10 dagar sedan korna betade i. Mjölmängden mättes som summan av den mjölmängd som levererades till mejeriet och den mängd som förbrukades på gården från hela djurgruppen.

Vid jämförelsen av alla deltagande gårdar i Grazemoreprojektet (sid. 10), var Nordingrå den tredje bästa svenska gården med ett mean prediction error (MPE) på 46,8% med avseende på betesmängd (González-Rodríguez *et al.*, 2004). Anledningen till att denna gård valdes, var att den hade högre klöverhalt i betena och man ville se om detta hade stora effekter på prediktionerna.

### Insamling av data

Betesprover klipptes under juni och juli 2004 i Umeå och Nordingrå samt från mitten av juni till mitten av augusti 2005 i Umeå. Vid varje provtagning valdes slumpmässigt tre provställen i varje fälla, där gräshöjden mättes med mätsticka och

provet klipptes på 0,91 m<sup>2</sup> yta 2004 och 0,73 m<sup>2</sup> 2005. Ytan blev mindre 2005 på grund av att en annan sax användes. Till klippningen användes en motordriven häcksax (Husqvarna 325HS75, Huskvarna, Sverige) som modifierats för att klippa fem cm stubbhöjd. Stubbhöjden kunde dock bli upp till åtta cm på grund av att saxen inte var optimalt utformad för ändamålet. Proverna torkades i 60°C i 20 timmar innan torrsubstanshalten beräknades.

Under sommaren 2004 fanns det en osäkerhet i att uppskatta mängden grönmassa från marken till den klippta stubbhöjden. Sommaren 2005 klipptes därför i en fälla tre provrutor, där man sedan tog tillvara stubben och bestämde torrsubstansen.

Under försöket noterades data om antalet kor och kvigor på betet i en speciell beteskalender. Mjölkmängd och djurens foderstat samt gödsling och putsning av fällorna antecknades. Kodata som kalvningsdatum, sinläggningsdatum, inseminering, hullpoäng, födelsedata och kg ECM (energikorrigerad mjölk) för varje ko vid fem veckors laktation samlades in och uppdaterades kontinuerligt.

## Herbage Growth Model

Grazemore herbage growth model (HGM) är en matematisk mekanistisk, dynamisk tillväxtmodell som används i det EU-finansierade beslutsstödsystemet Grazemore DSS (figur 2). Modellen predikterar tillväxt av engelskt rajgräs och vitklöver baserat på fällans biologiska egenskaper, väderprognoser och olika skötselåtgärder, bland annat N-gödsling (Hetta *et al.*, 2004b; Barrett, Laidlaw & Mayne, 2004b; Barrett, Laidlaw & Mayne, 2005a).

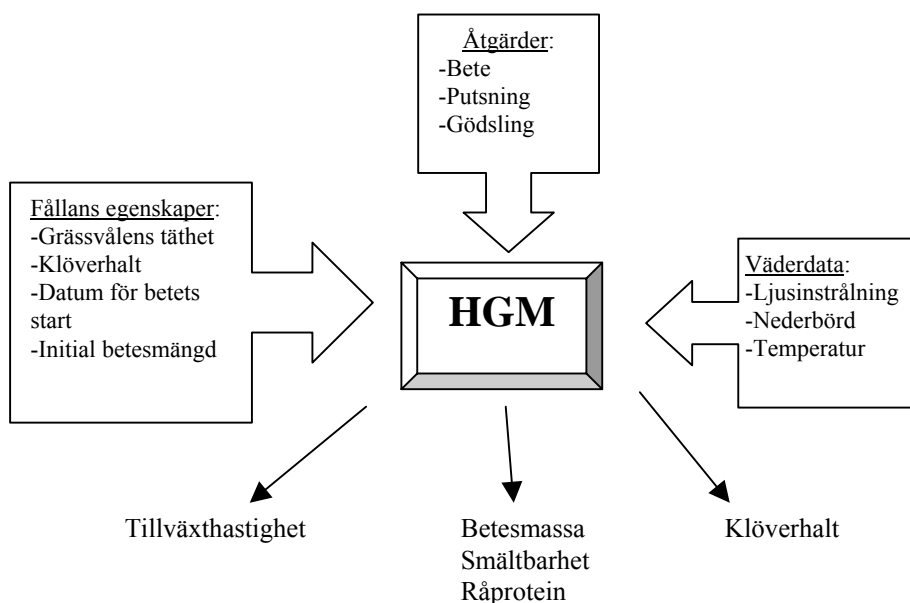


Fig. 2. Flödesschema över herbage growth model (HGM).

Det finns två olika sorters parametrar för indata till HGM (tabell 3); Dagliga värden som väderdata och initiala värden som fällans biologiska egenskaper i början av den fotosyntetiskt aktiva säsongen. Man kan även få förslag på datum för skötselåtgärder som betesputsning och gödsling. Väderdata består av ljusinstrålning (photosynthetic active radiation, PAR, MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>), nederbörd (mm d<sup>-1</sup>) och dygnsmedeltemperatur (°C) och tas från två olika källor; säsongsväder samt medelväder för en tioårsperiod. Skötselåtgärderna räknas från 1 mars till 31 oktober. Putsning innebär att gräset skördas och i programvaran resulterar det i en rest av biomassa som definieras av användaren beroende på erfarenhet. När fällan betas, hanteras det i programmet på samma sätt som en klippning förutom en notering i utdata så att klippningen fördröjs till betet upphör. Under tiden djuren är i fällan presenteras betesmängden för användaren med en fiktiv betesminskning som bygger på beteskonsumtionen som uppskattas av HIM. Programvaran är konstruerad så att gödsling endast kan ske efter en putsning eller efter att fällan har betats (Hetta *et al.*, 2004b).

Tabell 3. Initiala och dagliga parametrar för indata till herbage growth model (HGM), för varje betesfälla (Hetta *et al.*, 2004b)

Parameter	Enhet	Definition	Daglig/initial
PAR	MJ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup>	Finns både som ett medelvärde för 10 år och som uppmätta värden för säsongen.	Daglig
Nederbörd	mm d <sup>-1</sup>	Finns både som ett medelvärde för 10 år och som uppmätta värden för säsongen.	Daglig
Temperatur	°C	Finns både som ett medelvärde för 10 år och som uppmätta värden för säsongen.	Daglig
Grässvålens täthet	Antal skott m <sup>-2</sup>	Väldigt tunn (3000 skott m <sup>-2</sup> ), Tunn (4500 skott m <sup>-2</sup> ), Normal (5500 skott m <sup>-2</sup> ), Tät (6500 skott m <sup>-2</sup> ), Väldigt tät (8000 skott m <sup>-2</sup> )	Initial
Heading date	Dag-nummer	Tidighet hos gräset. Ungefärligt datum när 50 % av axen har kommit upp. Man kan välja mellan tre fördefinierade värden: Tidig (dag 135), medel (dag 145) eller sen (dag 155).	Initial
Klöver	%	Andel vitklöver i torrsubstansen.	Initial, Daglig
Betesmängd före säsongen	kg ts ha <sup>-1</sup>	Mängd torrsubstans av bete i fällan före 1 mars.	Initial
Initial N-tillförsel	kg N ha <sup>-1</sup>	Mängd N som tillförts varje hektar i fällan före 1 mars	Initial

PAR = Fotosyntetiskt aktiv ljusinstrålning

Parametrar för utdata från HGM, för varje dag och fälla visas i tabell 4 (Hetta *et al.*, 2004b). Funktionerna för prediktion av organisk smältbarhet (OMD) och

råproteinhalt finns bara i den version av HGM som ingår i Grazemore DSS och inte i den publicerade modellen. OMD före första betningen beräknas med formeln:

$$\text{OMD} = 0,9053 - 0,00645 * \text{TMedel} - 0,001 * (t - 30) \quad (\text{Norrskan-Eriksson, pers. medd., 2005}).$$

Efter första betningen beräknas den som:

$$\text{OMD} = 0,9053 - 0,00645 * \text{Tmedel} - 0,001 * (\text{DR} + 1) \quad (\text{Norrskan-Eriksson, pers. medd., 2005}),$$

där DR är antal dagar sedan senaste klippning eller när korna betat klart i fällan, Tmedel är medelvärdet av temperaturen från den dag då DR = 0 och t anger dagnummer efter 1 mars (Norrskan- Eriksson, pers. medd., 2005).

Råproteinhalten styrs av en komplicerad modell som innefattar funktioner för mängd kväve som minskar i marken per dag, klöverhalt samt tillgängligheten för kväve (Norrskan- Eriksson, pers. medd., 2005).

Tabell 4. *Utdata från HGM för varje dag och betesfälla (Hetta et al., 2004b)*

Parameter	Enhet	Definition
Betesmängd	kg ts ha <sup>-1</sup>	Mängd torrsbstans av bete i betesfällan
Smältbarhet	%	Smältbarhet på den organiska substansen
Råprotein	%	Andel råprotein
Återväxt		Antalet återväxter från säsongens början
Klöver	%	Andel vitklöver i procent av torrsbstans betesmängd
Tillväxthastighet	kg ts ha <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>	Fällans betesmängd från föregående dag subtraherad från den aktuella dagens betesmängd

## Kemiska analyser

År 2005 skickades de klippta betesproverna från de två utvalda gårdarna till Steins Laboratorium, Brörup, Danmark, för analys av råprotein enligt Dumas-metoden (Horwitz, 2002) och organisk smältbarhet enligt Tilley & Terry (1963).

## Databearbetning och statistisk analys

I den statistiska bearbetningen användes Minitab 14.1 för att göra regressionsanalyser mellan de uppmätta analysvärdena och de värden som predikterats av Grazemore DSS. För Umeå gjordes sedan en jämförelse av den uppmätta och den predikterade mängden bete, både för 2004 och 2005 i betesfällorna.

För att studera säkerheten av prediktionerna av mjölmängden i Grazemore DSS, gjordes regressionsanalyser i Minitab, där programmets predikterade mjölmängd jämfördes med den uppmätta. Här användes värden på betesmängd och

beteskvalitet som predikterats av HGM. För att studera om prediktionen av mjölkproduktion förbättrades om man ersatte modellens predikterade värden för betesmängd och beteskvalitet med uppmätta värden användes en fristående version av foderintagsmodellen, HIM. Denna del av arbetet utfördes av Remy Delagarde och hans medhjälpare vid Institut national de la recherche agronomique (INRA) i Rennes, (UMR Production de lait), Frankrike. De predikterade värden på mjölkavkastning som man då fick fram, jämfördes med den uppmätta mjölkproduktionen från provmjölkningarna genom regressionsanalys i Minitab. I den fristående versionen av HIM delas djurgruppen in i två undergrupper, varav den ena består av kor i första laktationen och den andra av äldre kor. Man får därmed predikterad mjölmängd för respektive grupp och kan beräkna hela gruppens medelproduktion efter detta.

### *Beräkning av MSPE*

Mean square prediction error (MSPE) i modellen beräknades för råprotein, smältbarhet och betesmängd. MSPE är ett uttryck för summan av bias, lutning och slumpmässig variation och beskrivs med formeln:

$$MSPE = (1/n) \sum (A-P)^2 = (A_1 - P_1)^2 + S_p^2(1-b)^2 + (1-r^2)S_A^2 \quad (\text{Rook, Dhanoa \& Gill, 1990}),$$

där n är antalet värden som jämförs, A är det uppmätta värdet och P är det predikterade värdet.  $A_1$  och  $P_1$  är medelvärdena av uppmätta respektive predikterade värden, b är regressionslinjens lutning och r är korrelationskoefficienten för A och P.  $S_A^2$  och  $S_P^2$  anger variansen för uppmätta respektive predikterade värden. Ekvationen består av tre komponenter, där den första delen  $(A_1 - P_1)^2$  står för ”medel-bias”, skillnaden mellan A och P, den andra delen  $S_p^2(1-b)^2$  står för lutningsfel och den tredje delen  $(1-r^2)S_A^2$  står för fel som beror på slumpmässig variation.

Ett positivt värde på medelbias betyder att modellen generellt ger högre värden jämfört med de uppmätta och tvärtom. Medelbias speglar skillnader mellan skattningar och testdata medan ett stort lutningsfel visar på underliggande brister i modellen. Resultat presenteras vanligtvis som andelar av dessa tre komponenter (Rook, Dhanoa & Gill, 1990).

### *Beräkning av MPE och RMS*

Mean prediction error (MPE) anges som en andel av det observerade medelvärdet och beräknades här för råproteinhalt, organiska substansens smältbarhet och betesmängd för både Umeå och Nordingrå 2004. För Umeå 2005 beräknades MPE för betesmängd och för Umeå 2004 beräknades även MPE för mjölmängd. MPE beräknas som:

$$MPE = MSPE^{0.5}/A \quad (\text{Rook, Dhanoa \& Gill, 1990}),$$

där MSPE anger prediktionsfelet och A är genomsnittet av de uppmätta värdena (Rook, Dhanoa & Gill, 1990).

Root mean square error (RMS) beräknas som:

$$\text{RMS} = \text{MSPE}^{0.5} \text{ (Gustavsson, Angus \& Torssell, 1995)}$$

och beräknades här för att underlätta jämförandet av resultaten av råproteinhalt och betesmängd med resultat från valideringen av QUAL-modellen (Gustavsson, Angus & Torssell, 1995).

## Resultat

### Råprotein

Det finns inget statistiskt signifikant samband mellan den analyserade och den predikterade råproteinhalten för gräset i betesfällorna i Umeå (figur 3) respektive Nordingrå (figur 4). I en jämförelse av precisionen av prediktionerna av råprotein för Umeå och Nordingrå (tabell 5) ser man att prediktionsfelet mean predicted error (MPE) är högre för Umeå än för Nordingrå. Den största delen av mean square predicted error (MSPE) består av bias för båda gårdarna, men även det slumpmässiga felet är stort för Nordingrå. Modellen underskattar halten råprotein på båda gårdarna och sambandet är svagt mellan analyserade och predikterade värden för råprotein.

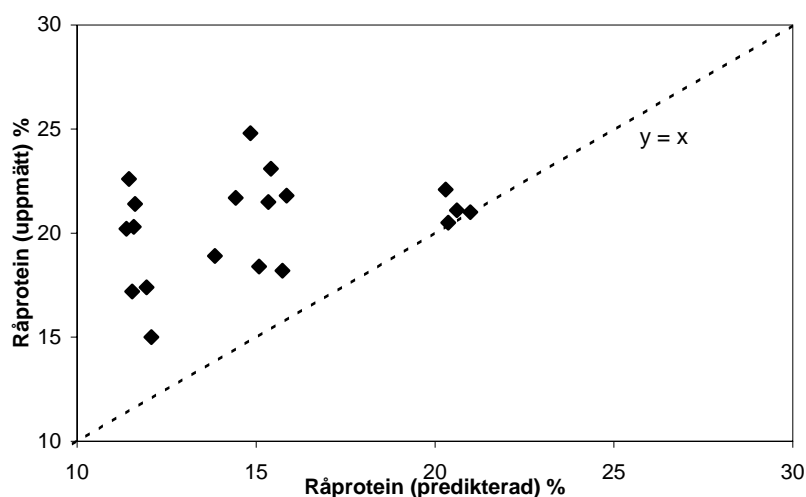


Fig. 3. Uppmätta och de predikterade värden för råproteinhalten i Umeå 2004 (scatter plot).

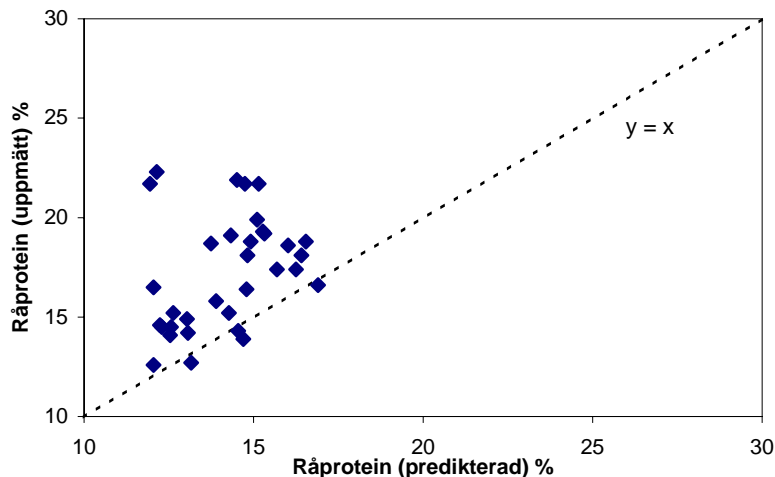


Fig. 4. Uppmätta och predikerade värden för råproteinhalten i betesfällorna i Nordingrå 2004 (scatter plot).

Tabell 5. Jämförelse av precisionen av de predikerade medelvärdena för råprotein (%) för Umeå och Nordingrå 2004

	n	A	P	Bias	R <sup>2</sup>	MSPE	MPE	Andel av MSPE		
								Bias	Lutning	Slump
Umeå	19	20,38	14,97	-5,41	0,09	40,79	0,31	0,72	0,16	0,12
Nordingrå	33	17,23	14,17	-3,06	0,11	16,57	0,24	0,57	0,02	0,41

n=antal observationer, A=uppmätt råproteinhalt, P=predikerad råproteinhalt, MSPE=mean square prediction error, MPE=mean prediction error

## Organisk smältbarhet

Det finns ett samband mellan analysvärdena och de predikerade värdena för den organiska substansens smältbarhet för Umeå (figur 5). För Nordingrå (figur 6) avvek fem punkter från de övriga och Minitab markerade dessa som avvikande och att deras X-värde, det predikerade värdet, hade stor inverkan på sambandet och därför uteslöts de ur regressionsanalysen och precisionsberäkningarna. Dessa punkter representerade provtagningar i fem olika betesfällor under första halvan av juni 2004. Det är svårt att säga vad avvikelserna beror på, då prover som tagits i andra fällor under samma tidsperiod inte avviker. De fem proverna avvek inte med avseende på råproteinhalt eller betesmängd. MPE är 7 % för båda gårdarna (tabell 6).



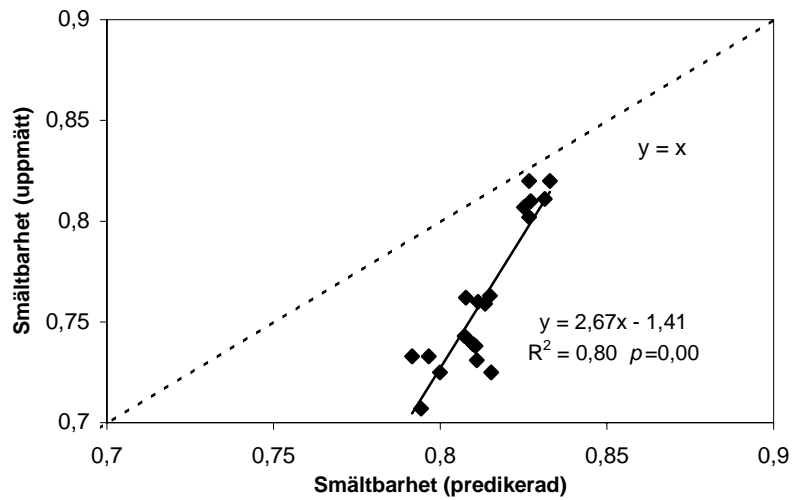


Fig. 5. Uppmätta och predikerade värden för organiska substansens smältbarhet i betesfällorna i Umeå 2004 (scatter plot). Sambandet visas med den heldragna linjen.

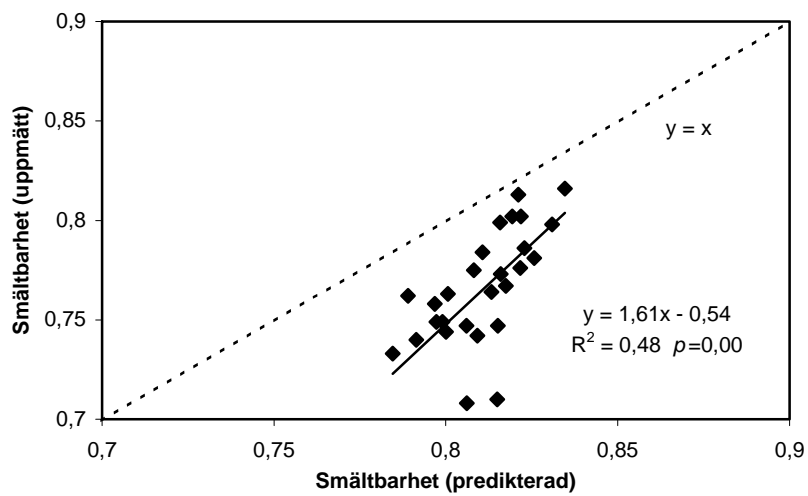


Fig. 6. Uppmätta och predikerade värden för organiska substansens smältbarhet i betesfällorna i Nordingrå 2004 (scatter plot). Sambandet visas med den heldragna linjen.

Tabell 6. En jämförelse av precisionen för de predikterade medelvärdena för smältbarheten på den organiska substansen för Umeå och Nordingrå 2004

	n	A	P	Bias	R <sup>2</sup>	MSPE	MPE	Andel av MSPE		
								Bias	Lutning	Slump
Umeå	19	0,76	0,81	0,05	0,80	0,003	0,07	0,79	0,13	0,08
Nordingrå	33	0,77	0,80	0,03	0,48	0,003	0,07	0,79	0,02	0,18

n=antal observationer, A=uppmätt smältbarhet, P=predikterad smältbarhet, MSPE=mean square prediction error, MPE=mean prediction error

## Betesmängd

Den stubbmängd som uppmättes vid en provtagning sommaren 2005 skattades till 1540 kg ts per hektar och det värdet har sedan lagts till de uppmätta värdena för alla fällor. Det finns ett samband mellan uppmätta och predikterade värden för mängden bete i samtliga betesfällor i Umeå 2004 (figur 7).

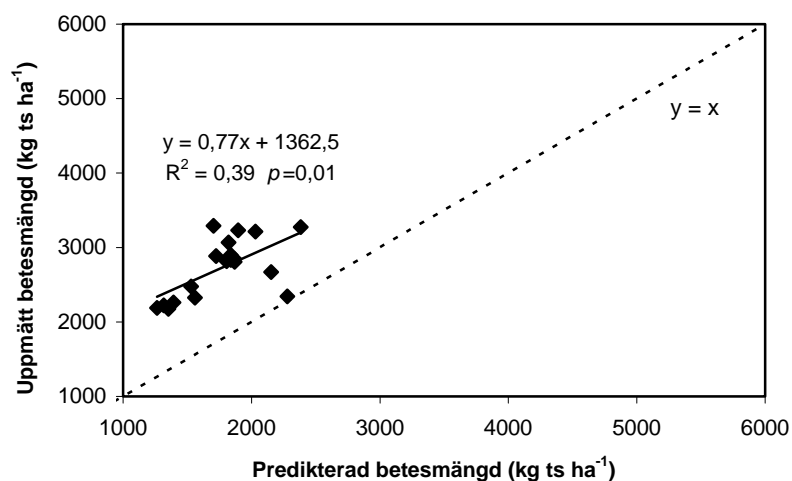


Fig. 7. Uppmätta och predikterade värden för mängden bete i betesfällorna i Umeå 2004 (scatter plot). Sambandet visas med den heldragna linjen.

För Nordingrå finns ett samband mellan uppmätta och predikterade värden för mängden bete i betesfällorna (figur 8). Vid en jämförelse av precisionen för prediktionerna av mängden bete i Umeå och Nordingrå (tabell 7) ser man att mängden bete har underskattats för Umeå och överskattats för Nordingrå. För Umeå beror den största delen av MSPE på bias, medan MSPE för Nordingrå beror på både lutning och slump.

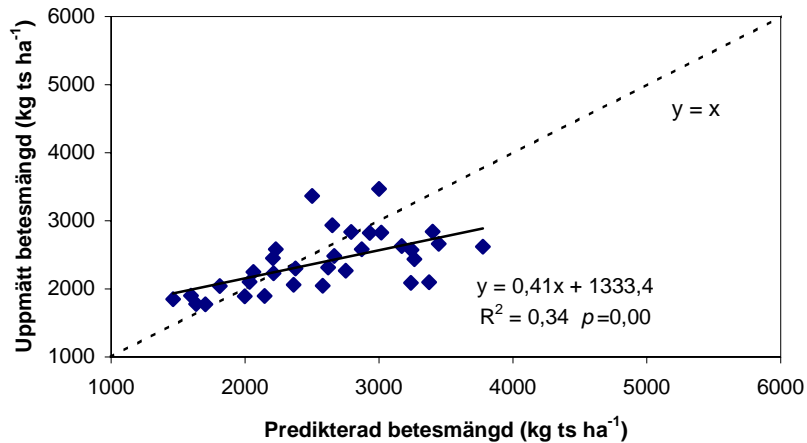


Fig. 8. Uppmätta och predikerade värden för mängden bete i betesfällorna i Nordingrå 2004 (scatter plot). Sambandet visas med den heldragna linjen.

Sambandet mellan uppmätt och predikerad mängd bete i de fyra betesfällor som användes i Umeå under sommaren 2005 är inte signifikant (figur 9). Modellen har här, liksom för 2004, underskattat mängden bete, men till skillnad från föregående år beror den största delen av MSPE här på slump (tabell 7).

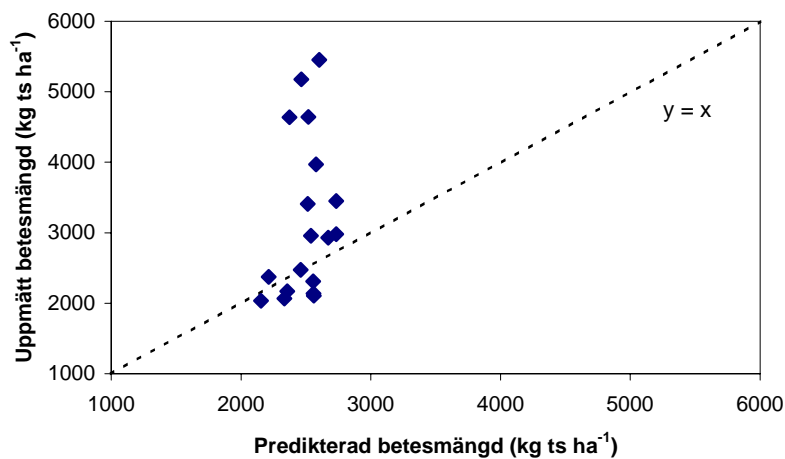


Fig. 9. Sambandet mellan uppmätta och predikerade värden för mängden bete i Umeå 2005 (scatter plot).

Tabell 7. En jämförelse av precisionen för de predikterade medelvärdena av mängden bete i betesfällorna i Umeå 2004 och 2005 samt Nordingrå 2004. Mängden anges som  $kg\ ts\ ha^{-1}$

	n	A	P	Bias	R <sup>2</sup>	MSPE	MPE	Andel av MSPE		
								Bias	Lutning	Slump
Umeå 2004	19	2728	1770	-959	0,38	101,28	0,37	0,91	0,01	0,09
Umeå 2005	18	3182	2496	-686	0,07	162,56	0,40	0,29	0,01	0,70
Nordingrå 2004	33	2394	2580	185	0,34	27,87	0,22	0,12	0,45	0,43

n=antal observationer, A=uppmätt betesmängd, P=predikterad betesmängd, MSPE=mean square prediction error, MPE=mean prediction error

## Mjölmängd

Det finns ett svagt samband mellan uppmätt mjölmängd och mjölmängd som predikterades när de kvalitetsvärden som predikterades av HGM användes för betet för Umeå 2004 (figur 10), liksom mellan uppmätt mjölmängd och mjölmängd som predikterades när de uppmätta kvalitetsparametrarna för betet användes för samma tidsperiod (figur 11). I en jämförelse av precisionen av prediktionerna av mjölmängd (tabell 8) ser man att när de uppmätta kvalitetsparametrarna för betet användes är MPE 16 % och den största delen av MSPE beror på bias. När programmets predikterade kvalitetsvärden för betet används är MPE 6% och största delen av MSPE beror på lutning.

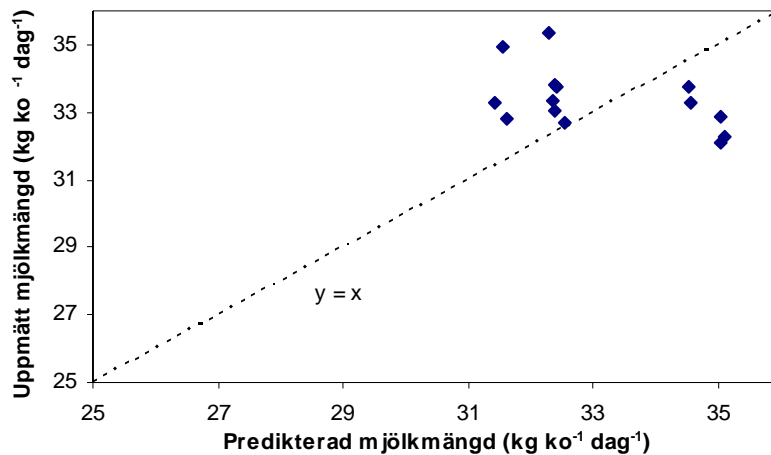


Fig.10. Uppmätt och predikterad mjölmängd med predikterade indata för Umeå 2004 (scatter plot).

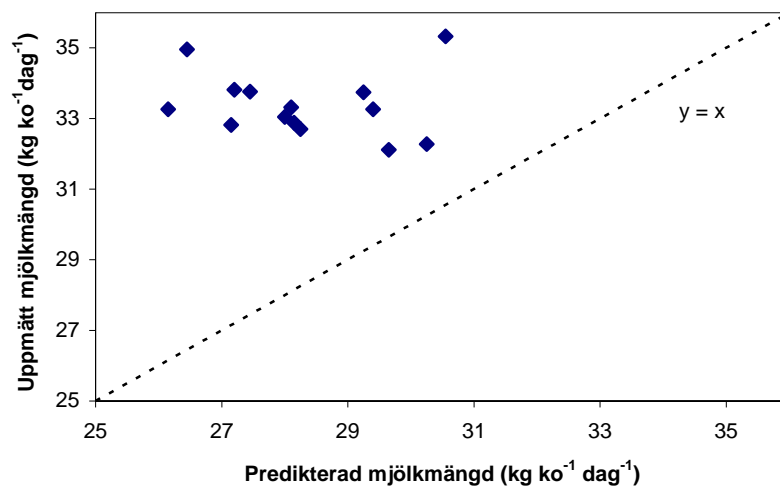


Fig. 11. Uppmätt mjölmängd och mjölmängd som predikterats med uppmätta indata för Umeå 2004 (scatter plot).

Tabell 8. En jämförelse av precisionen för de predikterade medelvärdena av mängden producerad mjölk ( $\text{kg ko}^{-1} \text{dag}^{-1}$ ) när de predikterade kvalitetsparametrarna och betesmängden används, respektive när de uppmätta kvalitetsparametrarna och betesmängden används, jämfört med den uppmätta mjölmängden

	n	A	P	Bias	$R^2$	MSPE	MPE	Andel av MSPE		
								Bias	Lutning	Slump
Predikterade indata	14	33,38	33,09	-0,29	0,24	3,89	0,06	0,02	0,83	0,15
Uppmätta indata	14	33,28	28,29	-5,10	0,01	28,73	0,16	0,90	0,07	0,03

n=antal observationer, A=uppmätt mjölmängd, P=predikterad mjölmängd, MSPE=mean prediction error, MPE=mean prediction error

## Diskussion

För att beslutsstödssystem ska kunna användas i lantbruket krävs att de biologiska parametrarna i modellerna stämmer överens med verkligheten. HIM som beräknar mjölmängden påverkas olika mycket av de olika faktorerna. Till exempel har betesmängd, beståndshöjd och betesareal större inverkan på mjölmängden än gräsets råproteinhalt och smältbarhet.

Vid statistiska analyser bör MSPE till största delen bero på slumpmässiga fel och bias. Biasavvikelser kan minskas genom förändringar i modellen, eftersom de beror på skillnader mellan uppmätta och predikterade värden. Slumpmässiga fel beror på miljön och har ingenting med modellen att göra. Fel som beror på lutning baseras på brister i modellen och kräver större åtgärdande insatser för att förbättra modellen än om prediktionsfelet beror på bias eller slump.

### Råprotein

I denna studie kunde inte Grazemore DSS ge ett tillförlitligt värde för råproteinhalten och detta kan bero på att modellen, som beräknar råproteinhalten i programvaran, är kraftigt förenklad (Hetta, pers.medd., 2005). Resultaten blev bättre för Nordingrå än för Umeå, men sambandet var inte signifikant för någon av gårdarna. MSPE berodde till största delen på bias på båda gårdarna och för Nordingrå berodde det även på slumpmässiga fel.

Vid en evaluering av QUAL-modellen hade råproteinhalten ett RMS (root mean square error) på 1,6 procentenheter (Gustavsson, Angus & Torssell, 1995), vilket kan jämföras med ett RMS för råproteinhalten i denna studie på 6,4 procentenheter för Umeå och 4,1 procentenheter för Nordingrå. Dessa värden är höga och understryker behovet av vidareutveckling av modellen. QUAL-modellen är dock testad på annat material än de som användes i denna studie och det är oklart vilka skillnader som skulle finnas om QUAL och Grazemore DSS testades på samma material och under samma förutsättningar.

### Organisk smältbarhet

Sambandet mellan uppmätt och predikterad smältbarhet var signifikant ( $p < 0,05$ ) för båda gårdarna och MSPE beror huvudsakligen på biasavvikelse. QUAL-modellen evaluerades för smältbarhet men analyserna gjordes där med VOS-metoden. I denna studie analyserades proverna med Tilley & Terry och resultaten från de båda metoderna är inte direkt jämförbara.

### Betesmängd

Sambandet mellan predikterad och uppmätt mängd bete är signifikant ( $p < 0,05$ ) för Umeå och Nordingrå 2004, även om modellen underskattar mängden gräs (tabell

7). En stor del av MSPE beror på bias, men för några beräkningar fanns dock en stor del av MSPE i slumpmässigt fel. För Umeå 2005 är sambandet inte signifikant och MSPE beror både på bias och slumpmässiga fel. Det slumpmässiga felet kan ha sin grund i att tillväxtförhållande var mycket gynnsamma i mitten av sommaren 2005, då det var mycket varmt och marken innehöll mycket näring. Det regnade inte mycket men vegetationen tillfördes vatten kapillärt genom marken. Detta kunde inte hanteras av programvaran eftersom den är en förenkling av verkligheten på så sätt att den endast tar hänsyn till vattentillförsel via nederbörd.

Resultaten blev något bättre för Nordingrå än för Umeå och de kan jämföras med den utvärdering av QUAL-modellen som utfördes av Gustavsson, Angus & Torssell (1995), där RMS för vallens torrsubstans var  $52 \text{ g m}^{-2}$ . I denna studie beräknas Grazemore DSS ge ett RMS på  $101 \text{ g m}^{-2}$  för Umeå 2004,  $128 \text{ g m}^{-2}$  för Umeå 2005 och  $53 \text{ g m}^{-2}$  för Nordingrå 2004. En vidareutveckling och förbättring av modellen skulle kunna göra att prediktionerna blev mer tillförlitliga. Eftersom QUAL-modellen inte är testad på samma material som Grazemore DSS, vet man inte hur stor del av skillnaden i resultat som beror på variationer mellan försöken och modellen.

Grazemore DSS är anpassad till betesvallar med engelskt rajgräs och vitklöver. Artsammansättningen i de betesfällor som provtagits under detta försök har varit varierande. Betesfällor i Umeå var gamla vallar och bestod till största del av ängssvingel och kvickrot och även fällorna i Nordingrå hade en varierande artsammansättning. Detta är viktigt att ta i beaktande, eftersom det påverkar värderingen av jämförelsen.

För att få bättre säkerhet vid klippningarna kunde man förbättra metoden för klippning, då det ofta var svårt att få med allt gräs, maskinen klippte ojämnt och så vidare. Man kunde även ha gjort fler observationer per betesfälla, framför allt i Nordingrå, där det på grund av det stora antalet betesfällor bara blev enstaka provtagningar i varje fälla.

## Mjölmängd

Mjölmängden är nog den parameter som har störst betydelse för lantbrukaren. I den här studien gav de predikterade värdena av betets kvalitet bättre prediktioner av mjölmängden, än de uppmätta kvalitetsparametrarna. Sambandet mellan uppmätt och predikerad mjölmängd var dock inte signifikant vare sig när de predikterade eller uppmätta indata användes. Försöket utfördes under en kort tidsperiod och variationen var väldigt liten. Detta gör att det blir svårt att få ett högt  $R^2$ -värde, men däremot fick man här relativt låga MPE för respektive indata. För prediktion av mjölmängd med de predikterade indata berodde MSPE till största del på lutning och för prediktion med de uppmätta indata berodde MSPE främst på bias.

I denna studie fanns vissa problem med att uppskatta mängden bete och det kan vara en orsak till att de predikterade betesmängderna och deras kvalitetsvärden gav

säkrare prediktioner av mjölmängden, än de uppmätta värdena. Detta visar att modeller kan vara ett stort hjälpmedel när det är svårt att ta representativa betesprover.

### **Vidareutveckling**

För att utveckla modellen ytterligare skulle man kunna testa olika befintliga modeller för tillväxt av gräs på det material som tagits fram i detta försök. För att förbättra modellen för prediktion av råproteinhalt skulle man, för svenska förhållanden, bland annat kunna ta del av det arbete som gjorts med QUAL-modellen (Gustavsson, Angus & Torssell, 1995), eftersom den hade lägre prediktionsfel när den evaluerades än Grazemore DSS hade i denna studie och eftersom den är testad på timotejvallar på mer nordliga breddgrader.

Det finns tendenser att tillväxtmodellen kan behöva modifieras för att passa de svenska förhållandena och för att ge prediktioner av beteskvalitet med större säkerhet. En anledning till att en stor del av MSPE beror på biasavvikelse kan vara att modellen inte är anpassad till den korta, intensiva växtsäsongen och den artsammansättning som förekommer i vallar i norra Sverige.

För att ytterligare utvärdera programmets förmåga att prediktera betesmängd kan man använda sig av olika mätmetoder under försöket. Här klipptes tre provtyor som skulle representera hela betesfällan och det är möjligt att andra metoder kan ge mer tillförlitliga värden. Genom att till exempel använda mätmetoder som är mindre tidskrävande, kan man använda sig av fler mätpunkter och därmed få ett mer tillförlitligt medelvärde på mängden torrsubstans.

### **Slutsatser**

Beslutsstödssystemet Grazemore DSS har potential att kunna bli ett hjälpmedel för produktion av mjölk på bete, även om denna studie visar på behov av vidareutveckling. Det finns dock tydliga samband mellan de uppmätta värdena och programmets predikterade värden för organiska substansens smältbarhet respektive betesmängd, medan modellen för prediktion av råprotein behöver utvecklas vidare.



## **Tack till**

Jag vill tacka Regional jordbruksforskning för norra Sverige (RJN) och Institutionen för norrländsk jordbruksvetenskap, SLU, som har finansierat detta examensarbete. Ett stort tack även för de stipendier jag fick från NL-fakultetens samlingsfond (SLU) och Gösta Rittners resestipendium, som gjorde att jag kunde delta vid International Grassland Congress (IGC) 2005 i Cork, Irland. Konferensen var mycket givande och gav mycket inspiration och information till mitt arbete.

Jag vill även tacka mina handledare Mårten Hetta och Anne-Maj Gustavsson för allt stöd och all vägledning de gett mig under arbetets gång. Tack också till min examinator Kjell Martinsson samt min opponent Andreas Åkerström för de värdefulla kommentarerna på min rapport.

Tack till Remý Delagarde, INRA, Frankrike, som tålmodigt hjälpte mig när jag körde fast med HIM och sist men inte minst ett stort tack till alla som funnits till hands under arbetets gång och kommit med kommentarer och svarat på mina frågor. Ingen nämnd och ingen glömd.

## Summary

Many factors are affecting the cow's consumption of pasture and thereby also the milk production. By knowledge of the herbage mass and its nutritional value, it is possible to control the pasture allowance and the use of additional feeding to optimize the milk production.

Grazemore DSS is a decision support system developed to make it easier for the farmer to optimize the use of pasture in milk production in the North West of Europe, "The atlantic arc". The software consists of a growth model (Herbage Growth Model, HGM) and an intake model (Herbage Intake Model, HIM). HGM predicts herbage growth and forage quality and HIM predicts milk production, herbage intake and total dry matter intake for the grazing period in each paddock. There are also predictions of the optimal dates for grazing or cut for each paddock.

This study was made as a continuation of the EU Grazemore project in the purpose to examine if the predictions of the herbage quality in the software Grazemore DSS gives a reliable ground for milk production in the north of Scandinavia. In the literature review, some grass growth models and alternative models are described that can replace the model of perennial ryegrass and white clover in the Grazemore DSS. Pasture samples from one research farm (Umeå) and one organic farm (Nordingrå) was analysed on crude protein and organic matter digestibility. The results were statistically compared to the predicted values. Measured and predicted herbage mass was compared and a control if the predictions of milk production improved if the predicted input were replaced by the values from the analysis, was made. This was done by a comparison of measured and predicted milk yield for the summer of 2004, when the values predicted by HGM of organic matter digestibility, crude protein and herbage mass were used as input to HIM, together with a comparison of measured and predicted milk yield when the actual values of organic matter digestibility, crude protein and herbage mass were used as input to HIM.

The concentration of crude protein was underestimated by the model on both farms and the relationship between actual and predicted values was poor. Mean Prediction Error (MPE) was 24% and 31% respectively. The organic matter digestibility was slightly overestimated, but there were a significant relationship between the analysed and the predicted values and both farms had a MPE at 7%.

Herbage mass was measured during two summers in Umeå and one summer in Nordingrå. The model gave underestimations of the values in Umeå both years, while the mass was overestimated for Nordingrå. The relationship was statistically significant ( $p < 0,05$ ) on both farms 2004, but no significance was found for Umeå 2005.

In Umeå, the major part of the Mean Square Prediction Error (MSPE) was due to bias for crude protein, organic matter digestibility and herbage mass. This might be

corrected by adjustments in the model. In Nordingrå the major part of the MSPE was due to random for crude protein and organic matter digestibility, and in line and random for herbage mass.

The relationship between measured milk yield and milk yield predicted with input from HGM was stronger than when the actual inputs were used. Though, the MPE was relatively low, 6%, when using predicted input and MSPE was mostly due to line (83%). When using actual values as input to HIM, the MPE was 16% and MSPE was mostly due to bias.

The model has a good potential to predict the organic matter digestibility and the herbage mass, but it takes further development to make the predictions of crude protein more reliable.

## Referenser

- Angus, J.F., Kornher, A. & Torssell, B.W.R. 1980. A systems approach to estimation of Swedish ley production. *Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Plant Husbandry, Report 85*. ISSN 0348-1034.
- Barrett, P.D., Laidlaw, A.S. & Mayne, C.S. 2004a. An evaluation of selected perennial ryegrass growth models for development and integration into a pasture management decision support system. *Journal of Agricultural Science* 142, 1-8.
- Barrett, P.D., Laidlaw, A.S. & Mayne, C.S. 2004b. Development of a European herbage growth model (The EU Grazemore Project). *Land Use Systems in Grassland Dominated Regions*. Grassland Science in Europe 9, 653-655.
- Barrett, P.D. & Laidlaw, A.S. 2005a. Grass growth modelling: to increase understanding and aid decision making on-farm. In: Murphy, J.J. (ed.). *Utilization of grazed grass in temperate animal systems. Proceedings of a satellite workshop of the XXth International Grassland Congress*. Wageningen Academic Publishers. 79-88.
- Barrett, P.D. & Laidlaw, A.S. 2005b. GrassCheck: monitoring and predicting grass production in Northern Ireland. In: O'Mara, F.P., Wilkins, R.J., Mannetje, L. 't., Lovett, D.K., Rogers, P.A.M. & Boland, T.M. (eds.) *XX international Grassland Congress: Offered papers*. 883.
- Barrett, P.D., Laidlaw, A.S. & Mayne, C.S. 2005. GrazeGro: a European herbage growth model to predict pasture production in perennial ryegrass swards for decision support. *European Journal of Agronomy* 23, 37-56.
- Bertilsson, J. 1983. Mjölkkornas konsumtion av vallfoder – inverkan av konserveringsmetod och skördetidpunkt. *Fakta – Husdjur*, 7.
- Burstedt, E. & Magnusson, G. 1991. Djuren och betet. In: Carlsson, A. *Betesbok för nötkreatur*. 1<sup>st</sup> edition. Sveriges Lantbruksuniversitet och LTs förlag. AB Boktryck, Helsingborg, 160 pp.
- Buxton, D.R. & Mertens, D.R. 1995. Quality-related characteristics of forages. In: Barnes, R.F., Miller, D.A. & Nelson, C.J. (eds.), *Forages, vol II, The Science of Grassland Agriculture*. 5<sup>th</sup> edition. Iowa state university press, Ames, Iowa, USA, 83-96.
- Brereton, A.J. & O'Riordan, E. 2001. A comparison of grass growth models. In: Holden, N.M. (ed.), *Agro-Meteorological Modelling: Principles, Data and Applications*. Agmet, Dublin. 136-154.
- Castle, M.E. 1976. A simple disc instrument for estimating herbage yield. *Journal of the British Grassland Society* 31, 37-40.
- Chamberlain, A.T. & Wilkinson, J.M. 1996. *Feeding the dairy cow*. 4<sup>th</sup> edition. Chalcombe Publications, Welton, Lincoln. 241 pp.
- Currie, P.O., Hilken, T.O. & White, R.S. 1987. Evaluation of a single probe capacitance meter for estimating herbage yield. *Journal of range management* 40(6), 537-541.
- Davies, A. 1988. The regrowth of grass swards. In: Jones, M.B. & Lazenby, A. (eds.) *The grass crop: the physiological basis of production*. 1<sup>st</sup> edition. Chapman and Hall. London, Storbritannien, 85-127.
- Davies, A. & Thomas, H. 1983. Rates of leaf and tiller production in young spaced perennial ryegrass plants in relation to soil temperature and solar radiation. *Annals of Botany* 57, 591-597.
- Delagarde, R., Faverdin, P., Baratte, C., Bailhache, M. & Peyraud, J.L. 2004. The herbage intake model for grazing dairy cows in the EU Grazemore project. *Land Use Systems in Grassland Dominated Regions*. Grassland Science in Europe 9, 650-652.
- Doyle, C.J., Baars, J.A. & Bywater, A.C. 1989. A simulation model of bull beef production under rotational grazing in the Waikato region of New Zealand. *Agricultural Systems* 31, 247-278.
- González-Rodríguez, A., López Díaz, J., Vázquez Yáñez, O. & Hameleers, A. 2004. *Grazemore project- Report on farm validation and basic data of farms*. Centro de Investigaciones Agrarias Mabegondo, milestone M23, work package 8. 19 pp.

- Groeneveld, D.P., 1997. Vertical point quadrat sampling and an extinction factor to calculate leaf area index. *Journal of Arid Environment* 36, 475-485.
- Groot, J.C.J. & Lantinga, E.A. 2004. An object-oriented model of the morphological development and digestibility of perennial ryegrass. *Ecological Modelling* 177, 297-312.
- Gustavsson, A.-M. 1989a. Kvävegödslingens och klöverns betydelse i vallen. *Grovfoder* 1, 25-44.
- Gustavsson, A.-M., Angus, J.F. & Torrsell, B.W.R. 1995. An Integrated Model for Growth and Nutritional Value of Timothy. *Agricultural Systems* 47, 73-92.
- Gustavsson, A.-M. & Martinsson, K. 2001. Analysis of growth and nutrition value in timothy using a dynamic model. *Agricultural and Forest Meteorology* 107, 83-101.
- Hetta, M., Alvarez-Torre, N., Eriksson, H. & Martinsson, K. 2004a. Development of a Decision Support System for grazing management of dairy cows. In: *Book of abstracts, Proceeding of the 20<sup>th</sup> general meeting of the European grassland federation*, Luzern, p. 124.
- Hetta, M., Norrskén-Eriksson, M., Alvarez Torre, N., Persson, S., Eriksson, H. & Martinsson, K. 2004b. *Grazemore DSS 1.0. Decision Support System for dairy production on grazed grass. General and technical description*. Department of Agricultural Research for Northern Sweden. 32 pp.
- Hetta, M., Norrskén-Eriksson, M., Alvarez-Torre, N., Persson, S., Eriksson, H. & Martinsson, K. 2004c. *Grazemore DSS 1.0. Users guide*. Department of Agricultural Research for Northern Sweden. 43 pp.
- Holden, N.M. (ed.) 2001. Modelling Concepts. In: *Agro-Meteorological Modelling: Principles, Data and Applications*. Agmet, Dublin. 1-22.
- Holmes, W. (ed.), 1989. *Grass: its production and utilization*. 2<sup>nd</sup> edition. Blackwell Scientific Publications. British grassland society, Oxford, London. 306 pp.
- Höglind, M., Schapendonk, A.H.C.M., & Van Oijen, M. 2001. Timothy growth in Scandinavia: combining quantitative information and simulation modelling. *New Phytologist* 151, 355-367.
- Höglind, M., Hanslin, H.M., Van Oijen, M. 2005. Timothy regrowth, tillering and leaf area dynamics following spring harvest at two growth stages. *Field Crops Research* 93, 51-63.
- Jeberg, F. (ed.) 2005. *Håndbog i kvaeghold*. Dansk Landbrugsrådgivning, Landscentret, Landbrugsforlaget. Århus, Danmark. 189 pp.
- Johnson, I.R., Ameziane, T.E. & Thornley, J.H.M. 1983. A Model of Grass Growth. *Annals of Botany* 51, 599-609.
- Johnson, I.R. & Thornley, J.H.M. 1983. Vegetative crop growth model incorporating leaf area expansion and senescence, and applied to grass. *Plant, Cell and Environment* 6, 721-729.
- Johnson, I.R. & Thornley, J.H.M. 1985. Dynamic model of the response of a vegetative grass crop to light, temperature and nitrogen. *Plant, Cell and Environment* 8, 485-499.
- Lindgren, E. 1977. Results from a modified one-stage in vitro technique. In: Knutsson, P.G. (ed.) *Quality of forage proceedings of a seminar organized by the NJF (Nordic Agricultural Research Workers Association), Uppsala 20-22 April, 1977*, 54, 119-126.
- MacAdam, J.W. & Nelson, C.J. 2003. Physiology of forage plants. In: Barnes, R.F., Nelson, C.J., Collins, M. & Moore, K.J. (eds.). *Forages, vol I, An introduction to grassland agriculture*. 6<sup>th</sup> edition. Iowa State Press. Iowa, USA, 73-97.
- Martin, R.C., Astatkie, T., Cooper, J.M. & Fredeen, A.H. 2005. A comparison of methods used to determine biomass on naturalized swards. *Journal of Agronomy & Crop Science* 191, 152-160.
- Martinsson, K. 1995. Bete till mjölkkor – erfarenheter från praktik och forskning. *Faginfor* 4, 39-45.
- McDonald, P., Edwards, R.A., Greenhalgh, J.F.D. & Morgan, C.A. 2002. *Animal Nutrition*. 6<sup>th</sup> edition. Ashford colour press ltd., Gosport, Essex, Storbritannien, 694 pp.
- Moore, K.J. & Jung, H.J.G. 2001. Lignin and fiber digestion. *Journal of Range Management* 54, 420-430.
- Morris, M.J., Kendall, L., Johnson & Neal, D.L. 1976. Sampling shrub ranges with an electronic capacitance instrument. *Journal of Range Management* 27(1), 78-81.

- Neményi, M., Mesterházi, P.Á., Pecze, Zs & Stépán, Zs. 2003. The role of GIS and GPS in precision farming. *Computers and Electronics in Agriculture* 40, 45-55.
- O'Donovan, M., Dillon, P., Rath, M. & Stakelum, G. 2002. A comparison of four methods of herbage mass estimation. *Irish Journal of Agricultural and Food Research* 41, 17-27.
- Offer, N.W. 2002. Effects of cutting and ensiling grass on levels of CLA in bovine milk. *Conference Proceedings The XIII<sup>th</sup> International silage conference, Auchincruive Scotland*, 16-17.
- Powell, T.L. 1974. Evaluation of weighted disc meter for pasture yield estimation on intensively stocked dairy pasture. *New Zealand Journal of experimental agriculture* 2, 237-241.
- Power, D.J. 2002. *Decision Support Systems – Concepts and resources for managers*. 1<sup>st</sup> edition. Quorum books, Westport, Connecticut, London. 251 pp.
- Robson, M.J., Ryle, G.J.A. & Woledge, J. 1988. The grass plant - its form and function. In: Jones, M.B. & Lazenby, A. (eds.). *The grass crop: the physiological basis of production*. 1<sup>st</sup> edition. Chapman and Hall. London, Storbritannien, 25-83.
- Rodriguez, D., Van Oijen, M. & Schapendonk, A.H.M.C. 1999. LINGRA-CC: a sink-source model to simulate the impact of climate change and management on grassland productivity. *New Phytologist* 144, 359-368.
- Rook, A.J., Dhanoa, M.S. & Gill, M. 1990. Prediction of the voluntary intake of grass silages by beef cattle. *Animal Production* 50, 455-466.
- Sanderson, M.A., Rotz, C.A., Fultz, S.W. & Rayburn, E.B. 2001. Estimating forage mass with a commercial capacitance meter, rising plate meter and pasture ruler. *Agronomy Journal* 93, 1281-1286.
- Schapendonk, A.H.C.M. & de Vos, A.L.F. 1988. Implications of selecting for persistency on hydroponics in timothy (*Phleum pratense* L.). *Euphytica* 5, 131-139.
- Schapendonk, A.H.C.M., Stol, W., van Kraalingen, D.W.G. & Bouman, B.A.M. 1998. LINGRA, a sink/source model to simulate grassland productivity in Europe. *European Journal of Agronomy* 9, 87-100.
- Schnyder, H. & Nelson, C.J. 1988. Diurnal Growth of Tall Fescue Leaf Blades. *Plant Physiology* 86, 1070-1076.
- Sheehy, J.E., Cobby, J.M. & Ryle, G.J.A. 1980. The use of a model to investigate the influence of some environmental factors on the growth of perennial ryegrass. *Annals of Botany* 46, 343-365.
- Sheehy, J.E., Gastal, F., Mitchell, P.L., Durand, J.-L., Lemaire, G. & Woodward, F.I. 1996. A nitrogen-led model of grass growth. *Annals of Botany* 77, 165-177.
- Spitters, C. J. T. & Schapendonk, A. H. C. M. 1990. Evaluation of breeding strategies for drought tolerance in potato by means of crop growth simulation. *Plant and Soil* 123, 193-203.
- Thornley, J.H.M. 1991. A model of leaf tissue growth, acclimation and senescence. *Annals of Botany* 67, 219-228.
- Thornley, J.H.M., & Cannell, M.G.R. 1997. Temperate grassland responses to climate change: an analysis using the Hurley pasture model. *Annals of Botany* 80, 205-221.
- Thornley, J.H.M. 1998. *Grassland Dynamics An Ecosystem Simulation Model*. Oxon, UK: CAB International. 241 pp.
- Thorvaldsson, G. 1985. Sambandet mellan slättervallens foderkvalitet och olika faktorer belyst genom norrländskt försöksmaterial. *Grovfoder: forskning – tillämpning. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. 1*, 53-61.
- Tilley, J.M.A. & Terry, R.A. 1963. A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. *Grass and Forage Science* 18, 104-111.
- Topp, C.F.E. & Doyle, C.J. 1996. Simulating the impact of Global Warming on Milk and Forage Production in Scotland: 1. The Effect on Dry-Matter Yield of Grass and Grass-White Clover Swards. *Agricultural Systems* 52, 213-242.
- Torrsell, B. W. R. & Kornher, A. 1983. Validation of a Yield Prediction Model for Temporary Grasslands. *Swedish Journal of Agricultural Research* 13, 125-135.
- Turesson, M. 1993. Näringsvärde – skördetidpunkt, kvävegödsling, botanisk sammansättning i vall. *Grovfoder: forskning – tillämpning. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. 1*, 67-72.

- Van Soest, P.J. 1994. *Nutritional ecology of the ruminant*. 2<sup>nd</sup> edition. Cornell University Press. New York, USA, 476 pp.
- Vickery, P.J., Bennett, I.L. & Nicol, G.R. 1980. An improved electronic capacitance meter for estimating herbage mass. *Grass and Forage Science* 35(3), 247-252.
- Virkajärvi, P. 1999. Comparison of three indirect methods for prediction of herbage mass on timothy - meadow fescue pastures. *Acta Agriculturae Scandinavica. Section B, Soil and Plant Science* 49, 75-81.
- Virkajärvi, P. 2004. Growth and utilization of timothy – meadow fescue pastures. *University of Helsinki, Dept of Applied Biology. Section of Crop Husbandry, publication no. 19*. ISSN 1457-8085.
- Woodward, S.J.R. 2001. Validating a model that predicts daily growth and feed quality of New Zealand dairy pastures. *Environment International* 27, 133-137.
- Yule, I.J., Cain, P.J., Evans, E.J. & Venus, C. 1996. A spatial inventory approach to farm planning. *Computers and Electronics in Agriculture* 14,151-161.

### **Personliga meddelanden:**

- Norrskan-Eriksson, M. 2005. IT-avdelningen. Sveriges Lantbruksuniversitet, Umeå.
- Hetta, M. 2005. Institutionen för norrländska jordbruksvetenskap. Sveriges Lantbruksuniversitet, Umeå.

### **Internet:**

- RURALni, Department of Agriculture and Rural Development, Nordirland. <http://www.ruralni.gov.uk/livestock/grass/grass-check/index.htm> (accessed 16-jan-2006).
- Nationalencyklopedin, Malmö, Sverige. [http://www.nationalencyklopedin.se/jsp/search/article.jsp?\\_art\\_id=225750&i\\_word=kjeldahl](http://www.nationalencyklopedin.se/jsp/search/article.jsp?_art_id=225750&i_word=kjeldahl) (accessed 13-mar-2006).
- Nationalencyklopedin, Malmö, Sverige. [http://www.ne.se/jsp/search/article.jsp?i\\_art\\_id=257569&i\\_word=modell](http://www.ne.se/jsp/search/article.jsp?i_art_id=257569&i_word=modell) (accessed 5-apr-2006).









**Institutionen för norrländsk jordbruksvetenskap**

*SLU*

*Dept. of Agricultural Research for Northern Sweden*

---

**DISTRIBUTION**

SLU, Röbbäcksdalen

Box 4097

904 03 UMEÅ

Tel. 090-786 81 00 Telefax 090-786 87 04

Arkitektkopia Umeå

ISSN 0348-3851

ISRN NLBRD-M – 2:06 SE

---