



**Modellering af malkekoens produktion ud fra
nettoenergisystemet (FE)
Præsentation og dokumentation af
PC-modellen SIMCOW**

*Modelling of the production of a dairy cow in a
net energy system
Presentation and documentation
of the PC-model SIMCOW*

*Søren Østergaard, Jan Tind Sørensen, Verner Friis Kristensen og Troels Kristensen
Afd. for Forsøg med Kvæg og Får*

STATENS HUSDYRBRUGSFORSØG

**Forskningscenter Foulum, Postboks 39, 8830 Tjele
Tlf. 89 99 19 00. Fax 89 99 19 19**

**Forskningscenter Bygholm, Postboks 536, 8700 Horsens
Tlf. 75 60 22 11. Fax 75 62 48 80**

Statens Husdyrbrugsforsøg har til formål at gennemføre forskning samt indsamle og opbygge viden af betydning for erhvervsmæssigt husdyrbrug og jordbrugsteknik i Danmark. I forskningen skal der lægges vægt på ressourceudnyttelse, dyrevelfærd, internt og eksternt miljø, produkternes kvalitet og konkurrenceevne samt en hurtig og sikker formidling af resultaterne til brugerne.

Institutionen er opdelt i fem forskningsafdelinger samt et Centrallaboratorium, en Afdeling for Landbrugsdrift og et Sekretariat. Forskningsafdelingerne omfatter tre dyreartsorienterede afdelinger: Afd. for Forsøg med Kvæg og Får, Afd. for Forsøg med Svin og Afd. for Mindre Husdyr samt to tværdisciplinære afdelinger: Afd. for Dyrefysiologi og Biokemi samt Afd. for Jordbrugsteknik.

Husdyrforskningen finder fortrinsvis sted på Forskningscenter Foulum, mens den jordbrugstekniske forskning udføres på Forskningscenter Bygholm. Herudover har institutionen adgang til en række privat-/organisationsejede forsøgsstationer m.m.

Forskningsresultaterne publiceres i internationale videnskabelige tidsskrifter samt i publikationer udgivet af Statens Husdyrbrugsforsøg. Abonnement på Årsrapporter, Forskningsrapporter, Beretninger og Informationsblad kan tegnes ved direkte henvendelse til ovenstående adresse.

NATIONAL INSTITUTE OF ANIMAL SCIENCE

**Research Centre Foulum, P.O. Box 39, DK-8830 Tjele
Tel. +45 89 99 19 00. Fax +45 89 99 19 19**

**Research Centre Bygholm, P.O. Box 536, DK-8700 Horsens
Tel. +45 75 60 22 11. Fax +45 75 62 48 80**

The aim of the National Institute of Animal Science is to carry out research and accumulate knowledge of importance to animal husbandry and agricultural engineering. In the research great importance is attached to the utilization of resources, environment, animal welfare and to the quality and competitiveness of the agricultural products and a rapid and efficient dissemination of the results to the users.

The institute comprises five research departments: Dept. for Research in Cattle and Sheep, Dept. for Research in Pigs, Dept. for Small Farm Animals, Dept. for Animal Physiology and Biochemistry, and Dept. for Agricultural Engineering. Service departments include a Central Laboratory, a Department for Farm Management and Services, and a Secretariat.

The technical research takes place at Research Centre Bygholm. The research departments for animal sciences together with management and service departments are located at Research Centre Foulum.

Research results are published in international scientific journals and in publications from the National Institute of Animal Science. For suscription to reports and other publications please contact the above address directly.

Forskningsrapport nr. 24
fra Statens Husdyrbrugsforsøg

Report No. 24

from the National Institute of Animal Science, Denmark

Modellering af malkekoens produktion ud fra
nettoenergisystemet (FE)

Præsentation og dokumentation af
PC-modellen SIMCOW

*Modelling of the production of a dairy
cow in a net energy system*

Presentation and documentation of the PC-model SIMCOW

With English summary and subtitles

Søren Østergaard, Jan Tind Sørensen, Verner Friis Kristensen og Troels Kristensen

Afd. for Forsøg med Kvæg og Får

Forskningscenter Foulum 1994

Manuskriptet afleveret august 1994

Trykt i Frederiksberg Bogtrykkeri a/s 1994

Forord

Foderplanlægning på en malkekvægbedrift er baseret på forudsætninger om koens foderoptagelse, fodereffektivitet og en fordeling mellem mælkeproduktion og kødproduktion. Foderplanlægningen spiller sammen med mange andre driftsledelsesfunktioner i kvægbedriften. Ved Afdeling for Forsøg med Kvæg og Får er der udviklet en model af en kvægbesætning, der er baseret på den enkelte ko's produktion som en funktion af nettoenergioptagelsen (Sørensen et al., 1992). Produktionsresultater kan beregnes på en PC for såvel besætning ved modellen SIMHERD, som for den enkelte ko ved modellen SIMCOW.

Stud. agro. Søren Østergaard har under et ophold ved afdelingen lavet væsentlig udvidelse af modellerne, der blandt andet forbedrer estimeringen

af malkekoens og besætningens tilvækst ved forskellige fodringsprincipper (eksempelvis TMR-1 og TMR-2), gennemført en omfattende validering af de eksisterende modellers indhold og programmering, forbedret brugerfladerne på PC-programmerne og opstillet en systematik for parameterfastlæggelse, der muliggør praktisk anvendelse af modellen SIMCOW. Søren Østergaard har skrevet nærværende forskningsrapport, der indgår i et M.Sc. Speciale ved Institut for Husdyrbrug og Husdyrsundhed ved KVL med Anders Ringgaard Kristensen som hovedvejleder og Jan Tind Sørensen som medvejleder.

Forskningscenter Foulum
Jan Tind Sørensen

Indholdsfortegnelse

Sammendrag	5
Summary	6
1 Indledning	7
2 Materiale og metode	8
2.1 Modellens art, struktur og indhold	8
2.2 Modellens biologiske beslutningsvariabler og tilstandsvariabler	8
2.3 Modellens ligningssæt	10
2.3.1 Ydelsespotentiale	10
2.3.2 Tilvækstpotentiale	12
2.3.3 Foderoptagelseskapacitet	13
2.3.4 Energiudnyttelse	15
2.3.5 Energi til vedligehold og fosterproduktion	16
2.3.6 Energifordeling mellem mælkeproduktion og tilvækst	17
2.3.7 Mælkeproduktion	19
2.3.8 Tilvækst	19
2.4 Specifikation af fodring og foderreduktion	20
2.4.1 Modellens foderplan	20
2.4.2 Sygdomsbetinget foderreduktion	21
3 Resultater og diskussion	22
3.1 Modellens gyldighedsområde	22
3.2 Eksempler på brug af SIMCOW	23
3.2.1 Simulering over to laktationer	23
3.2.2 Simulering af tre fodringsstrategier	24
3.2.3 Anvendelse af resultater simuleret med	26
4 Konklusion	27
Litteratur	28
Appendiks	31

Contents

Danish summary	5
English summary	6
1 Introduction	7
2 Material and methods	8
2.1 Character, structure and content of the model	8
2.2 Biological decision variables and state variables in the model	8
2.3 The set of equations of the model	10
2.3.1 Milk production potential	10
2.3.2 Growth potential	12
2.3.3 Feed intake capacity	13
2.3.4 Energy utilization	15
2.3.5 Energy for maintenance and pregnancy	16
2.3.6 Energy partition between milk production and growth	17
2.3.7 Milk production	19
2.3.8 Growth	19
2.4 Specification of feeding and feed reduction	20
2.4.1 Feeding plan of the model	20
2.4.2 Feed reduction by disease	21
3 Results and discussion	22
3.1 Model validity	22
3.2 Examples of using SIMCOW	23
3.2.1 Simulating over two lactations	23
3.2.2 Simulating three feeding strategies	24
3.2.3 Use of results simulated by SIMCOW	26
4 Conclusion	27
References	28
Appendix	31

Sammendrag

Nettoenergisystemet baseret på den skandinaviske foderenhed (FE) anvendes aktuelt ved foderplanlægning i dansk mælkeproduktion. Ved foderplanlægningen udnyttes viden om køernes foderoptagelseskapacitet og energiudnyttelse. Produktionsberegninger for den enkelte ko kompliceres af, at foderoptagelse og energiudnyttelse skal ses i sammenhæng med køernes størrelse, ydelseskapacitet og tilvækstkapacitet.

Ved at knytte ligninger for foderoptagelseskapacitet og energiudnyttelse til ligninger for ydelses- og tilvækstpotentiale og et regelsæt for fordelingen af energi til livsyttringer er det muligt at give en sammenhængende beskrivelse af malkekoens produktion ud fra FE-systemet. Dette er gjort i den PC-baserede simuleringsmodel SIMCOW, hvor malkekoens produktion simuleres i tidsskridt på 7 dage.

De biologiske sammenhænge for foderoptagelse, energiudnyttelse og energifordeling mellem mælkeproduktion og tilvækst kan påvirkes væsentligt af faktorer, som ikke kan beskrives i et nettoenergisystem. Disse faktorer vil primært være knyttet til rationssammensætningen, fodringsprincippet ved høje foderniveauer, koens fysiologiske tilstand samt

til samspillet af disse. Den åbne modelstruktur i SIMCOW med mange specificerbare parametre knyttet til de enkelte modelementer gør det imidlertid muligt at tilpasse modellen til forskellige produktionsforløb svarende til disse "eksterne" faktorer. Et givet parameterværdisæt vil til gengæld have et begrænset gyldighedsområde knyttet til de forhold, der er bestemt af de eksterne faktorer.

Generelt vil nytten og sikkerheden af prediktion foretaget med SIMCOW afhænge af brugerens kendskab til de anvendte biologiske sammenhænge, tilpasnings- og modeleringsmuligheder samt accept af rammen til specifikation af fodring. Som selvstændigt program vil SIMCOW derfor primært være nyttig til at opnå en bedre, overordnet forståelse for samspillet af de sammenhænge og parametre, der indgår i modellen.

I denne forskningsrapport præsenteres og dokumenteres modellens ligningssæt. Baggrunden for fastlæggelse af de enkelte parametre beskrives og diskuteres i tilknytning til det tilhørende gyldighedsområde. Der gives et konkret eksempel på fastlæggelse af et samlet parameterværdisæt og anvendelse heraf til simulering over to laktationer og af forskellige fodringsstrategier.

Nøgleord: Ydelsespotentiale, tilvækstpotentiale, energifordeling.

Summary

The net energy system, the Scandinavian Feed Unit (SFU) is the current basis for feed planning in Danish dairy production. Feed intake and feed utilization estimations are necessary for a feed planning. Calculations of production for the individual cow are however complicated by the fact, that feed intake and feed efficiency must be connected with size of the cow, milk production capacity and growth capacity.

A connected set of equations for feed intake, feed efficiency, milk production potential, growth potential and a set of rules for the partition of energy makes it possible to describe the production of the dairy cow in the SFU-system. This is done in the PC-based simulation model SIMCOW, where production of the dairy cow is simulated in time step of 7 days.

Important determinants for feed intake, feed utilization and partition of energy between milk production and growth is influenced by factors outside the net energy system. These factors will relate to the diet composition, the feeding regime

at high feeding level, the physiological state of the cow and also to the interaction of these. The flexible model framework makes it possible to adjust the model to those "external" effects. A given set of parameter values will on security be considered to have a validity, which is connected to the circumstances specified by these external effects.

In general the use and validity of the predictions made by SIMCOW rely on the knowledge of the user for the applied biological parameters and the acceptance of the model framework. As an independent program SIMCOW will primary be useful to get a general understanding of feed intake, feed efficiency and production of a dairy cow.

In this report the set of equations of the model is presented and documented. How to determine the parameters of the model is described and discussed in relation to degree of validity. An example of determine a total set of parameter values is given and used to simulate over two lactations and of different feeding strategies.

Key words: Milk production potential, growth potential, partition of energy.

1 Indledning

Malkekoens daglige produktion afhænger i høj grad af energitildelingen. Tidligere medførte denne viden udvikling af detaljerede foderplaner, hvor energi blev tildelt i relation til det daglige behov. Koens behov blev beskrevet ud fra den daglige mælkeproduktion (normfodring). Østergaard (1979) viste, at normfodring ikke udnyttede koens produktionskapacitet. Ved anvendelse af strategifodring, hvor en del af foderrationen tildeles *ad libitum* suppleret med en besætnings-specifik mængde restriktivt foder, blev der opnået et bedre teknisk og økonomisk resultat (Østergaard, 1979). Dette har sammen med et ønske om forenkling af produktionen de senere år medvirket til øget interesse for forenklede fodringssystemer. Eksempel herpå er fuldfoder defineret ved, at alle lakterende køer inden for en besætningsgruppe tilbydes een fuldfoderblanding *ad libitum*. Denne udvikling har øget kravet til en koordinering af den viden, der findes om koens foderoptagelseskapacitet, energiodnyttelse og energibehov gennem laktationen.

Nettoenergisystemet baseret på den skandinaviske foderenhed (FE) anvendes aktuelt ved foderplanlægning i dansk mælkeproduktion. Ved foderplanlægningen udnyttes viden om køernes foderoptagelseskapacitet og energiodnyttelse. Beregning af koens foderoptagelseskapacitet tager udgangspunkt i et ligningssystem beskrevet af Kristensen & Kristensen (1987), mens den forventede energiodnyttelse tager udgangspunkt i en ligning beskrevet af Kristensen & Aaes (1989).

Produktionsberegninger for den enkelte ko kompliceres af, at foderoptagelseskapacitet og energiodnyttelse skal ses i sammenhæng med ydelses- og tilvækstkapacitet samt køernes størrelse. Ved at knytte ligninger for foderoptagelseskapa-

citet (Kristensen & Kristensen, 1987) og energiodnyttelse (Kristensen & Aaes, 1989) til ligninger for ydelses- og tilvækstpotentiale og et regelsæt for fordelingen af energi til livsytringer er det muligt at give en sammenhængende beskrivelse af malkekoens produktion i kg tilvækst og kg energikorrigeret mælk (EKM) ud fra FE-systemet. Dette er gjort i den PC-baserede simuleringsmodel SIMCOW. Med SIMCOW-programmet er det muligt at specificere modelparametre, koens tilstand ved simuleringsstart, fodring og sygdom samt efterfølgende at studere simuleringsresultater.

De biologiske sammenhænge i SIMCOW er beskrevet internationalt (Sørensen et al., 1992), men ikke nationalt. Disse biologiske sammenhænge på koniveau anvendes i besætningsmodellen SIMHERD, der i de senere år er anvendt til at beskrive tekniske og økonomiske virkninger af forskellige produktionsstrategier for sygdomsforebyggelse, udskiftning og reproduktion (Sørensen & Enevoldsen, 1991; Sørensen, 1993; Sørensen et al., 1993). Der er således et behov for at dokumentere et samlet sæt af biologiske sammenhænge, der kan ligge til grund for den aktuelle foderplanlægning med hensyn til FE samt at diskutere om en operationalisering af sammenhængene, som det er gjort i PC-modellen SIMCOW, kan anvendes til at bestemme foderstrategiers virkning på malkekoens produktion.

Formålet med nærværende forskningsrapport er at præsentere og dokumentere det samlede sæt af biologiske sammenhænge, der ligger til grund for simuleringer med SIMCOW og via eksempler at diskutere anvendeligheden af SIMCOW til bestemmelse af foderstrategiers virkning på malkekoens produktion.

2 Materiale og metode

2.1 Modellens art, struktur og indhold

SIMCOW kan som model klassificeres som empirisk, dynamisk og deterministisk (France & Thornley, 1984). Modellen er empirisk, idet den ikke indeholder et selvstændigt underniveau, som f.eks. organer eller væv. Modsat er besætningsmodellen SIMHERD mekanistisk, idet den til besætningsniveauet har det enkelte dyr som selvstændigt underniveau. Virkninger på enkeltdyrniveau beskrevet med SIMCOW kan med SIMHERD studeres på besætningsniveau. Mekanistiske modeller vil således være mere forklarende, idet de indeholder antagelser om sammenhænge på underliggende niveauer. Til gengæld vil en empirisk model altid bedre kunne tilpasses et givent produktionsforløb end en mekanistisk model. Dette skyldes, at den empiriske model har færre betingelser end en mekanistisk model, der kan være meget begrænset af dens antagelser, selvom den indeholder mange justerbare parametre. Modeltypen skal derfor ses i relation til modellens anvendelse. Danfær (1990) har udviklet en mekanistisk model, der fokuserer på årsagssammenhænge mellem koens produktion og processer i forskellige organer. I lighed med SIMHERD indeholder modellen af Danfær (1990) to niveauer i et hierarkisk system. Forskellen ligger i, at niveauerne er forskudt, idet modellen af Danfær (1990) har et organniveau og et koniveau, mens SIMHERD har et koniveau (SIMCOW) og et besætningsniveau.

Det dynamiske står i modsætning til statisk og betyder, at tiden er en variabel. SIMCOW simulerer dynamisk med tidsskridt på 7 dage, således at en simuleret døgnproduktion repræsenterer produktionen hver dag i den aktuelle uge.

Det deterministiske står i modsætning til stokastisk. At SIMCOW er deterministisk betyder, at den giver entydige forudsigelser for et givet sæt af udgangsværdier. Stokastiske modeller indeholder derimod sandsynlighedsfordelinger, således at modellerne ved gentagne simuleringer forudsiger såvel forventninger og varianser. SIMHERD er stokastisk, idet blandt andet individuel variation og forekomst af hændelser findes ved udtræk fra relevante sandsynlighedsfordelinger. Koens tilstand er i SIMCOW defineret ved nogle tilstandsvariabler

og fremskrives ved hjælp af et ligningssæt for modellens biologiske sammenhænge og nogle beslutningsvariabler, der angiver produktionsstrategien. Modellens beslutningsvariabler angiver biologiske variabler på besætnings- eller raceniveau samt produktionsbetingelser vedrørende fodring og sygdom. Ligningssættet kan tilpasses af brugeren ved at specificere modellens parametersæt.

SIMCOW er baseret på det skandinaviske foderenhedssystem (FE). Produktionen som funktion af foderoptagelsen bestemmes ved nettoenergiindholdet uden hensyntagen til næringsstofsammensætning eller vekselvirkninger mellem næringsstoffer. Tilgængelig energi til livsytringer er bestemt af en specificeret foderplan, de enkelte foderemners fylde, koens foderoptagelseskapacitet og udnyttelsen af det optagne foder. Behovet til vedligehold og fosterproduktion dækkes altid, enten af tilgængelig energi fra foderoptagelse eller ved mobilisering. Mælkeproduktion og vægtændring beregnes på grundlag af tilgængelig energi, et mælkeproduktionspotentiale, et tilvækstpotentiale og en energifordelingsfunktion mellem mælkeproduktion og tilvækst.

2.2 Modellens biologiske beslutningsvariabler og tilstandsvariabler

Modellens biologiske beslutningsvariabler angives på besætnings- eller raceniveau. Følgende to biologiske beslutningsvariabler er relevante i SIMCOW, mens de øvrige udelukkende har virkning ved anvendelse af besætningsmodellen (SIMHERD).

Udvokset vægt (A) udtrykker koens udvoksede vægt med huld karakteren 2. Variablen fastlægges som gennemsnitsvægten for køer i tredje eller senere laktationer med eventuel korrektion for huld. Ved opgørelse af vejedata fra produktionsbesætninger er det fundet, at typiske værdier for Jerseykøer er 450 kg og for køer af store malkeracer 630 kg. Udvokset vægt (A) indgår blandt andet i beregningen af tilvækstpotentialet og koens størrelse. I forbindelse med korrektion af foderoptagelseskapaciteten skelnes i SIMCOW specifikt mellem Jerseykøer og køer af

store malkeracer ved udvokset vægt (A) under henholdsvis over 500 kg.

Vægt ved 24 måneders kælvningsalder (V_{728}) udtrykker den huldkorrigerede kælvningsvægt uden foster, såfremt koen havde kælvet første gang ved alderen 24 måneder (728 dage). V_{728} indgår ligesom udvokset vægt (A) i beregningen af koens aktuelle størrelse. Som standardværdi kan anvendes $V_{728}=340$ kg for Jersey og $V_{728}=480$ kg for stor malkerace.

En ko i modellen er defineret ved følgende tilstandsvariabler, der i hvert tidsskridt beskriver dyrets aktuelle tilstand.

Vægt (V) udtrykker koens aktuelle vægt i kg. Variablen indgår i beregningen af tilvækstpotentialer.

Kælvningsnummer angiver koens kælvningsnummer i indeværende laktation og benyttes primært til at skelne mellem førstekalvskøer og ældre køer. Gennemgående vil ældre køer være defineret som køer i anden eller senere laktationer.

Laktationsstadium (T) angiver afstanden fra kælvning i uger.

Drægtighedsstadium (ufk) angiver uger før kælvning.

Eventdato angiver tidspunkt for eventuel abort.

Sygedage anvendes i forbindelse med modellering af reduceret foderoptagelse til at udtrykke dage til ophør af foderreduktionen.

Ydelseskapaletet (Y_{kap}) udtrykker koens produktionskapacitet i et givet miljø. Værdien er defineret som den forventede gennemsnitsydelse i perioden 1-24 uger efter tredje kælvning, såfremt koen ikke er belastet af sygdom. I forhold til en besætningsydelse per årsko er Y_{kap} , som mål for en besætnings gennemsnitlige ydelseskapaletet, renset for virkning af reproduktion, udskiftning, sygdom og laktationsnummer. Simulering af en ko med kendt forventet årsydelse forudsætter derfor omregning til Y_{kap} med korrektion for disse faktorer. For helårssforsøgsbrugene med malkekuvæg fra 1991 og 1992 er besætningernes Y_{kap} estimeret på grundlag af raske køer korregeret til tredje laktation. Med de nævnte mulige fejlkilder er følgende omregningsfunktion fundet mellem besætningsydelse per årsko (x) og Y_{kap} :

$$Y_{kap} = x/244 - 0,8 \quad (R^2 = 0,81) \quad [1]$$

Ligning 1 svarer tilnærmelsesvis til $Y_{kap}=30\pm 4,1$ kg EKM ved en besætningsydelse per årsko på

7.500 ± 1.000 kg EKM.

Tilstandsvariablen (Y_{kap}) skiller sig ud fra de øvrige tilstandsvariabler, idet den er konstant i simuleringsperioden.

Ydelsespotentialer (Y_{pot}) angiver koens dagsaktuelle ydelsespotentialer og sætter samtidig en maksimal grænse for opnåelig dagsydelse. Y_{pot} afhænger af kælvningsnummer, ydelseskapaletet (Y_{kap}), laktationsstadium samt for førstekalvskøer desuden af vægt ved kælvning. Foruden at sætte en øvre grænse for den aktuelle dagsydelse, påvirker Y_{pot} også energifordelingen mellem mælkeproduktion og tilvækst, når den tilgængelige energimængde ikke kan opfylde begge potentialer.

Detaljeret beskrivelse gives i afsnit 2.3.1.

Dagsydelse (Y) angiver den opnåede dagsydelse på det aktuelle laktationsstadium i kg EKM. Variablen har efter 24. laktationsuge betydning for, hvilken fodringsgruppe koen placeres i.

Detaljeret beskrivelse gives i afsnit 2.3.7.

Ydelsesændring (Y_{dif}) er en hjælpevariabel, der udtrykker en direkte virkning på ydelsen.

Y_{dif} kan anvendes i SIMCOW til at reducere laktationsydelsen som følge af kort goldningsperiode eller til at reducere dagsydelsen på grund af sygdom.

Detaljeret beskrivelse gives i afsnit 2.3.7.

Beslutning om udsætning udtrykker, om koen er udpeget til udsætning (u) eller ønskes beholdt (b). Variablen har betydning for fodertildeling, idet køer udpeget til udsætning fodres som udsætterkøer.

Alder angives i dage og fremskrives i hvert tidsskridt, men anvendes for en ko alene til at udtrykke dens størrelse. Størrelse defineres som vægt i kg korregeret for huld (huld karakter=2) og i givet fald foster. Koens aktuelle størrelse findes ud fra tilstandsvariablen (alder) og følgende omregningsfunktion:

$$\text{størrelse} = A * (V_{728}/A)^{\exp((728-\text{alder})/569)} \quad [2]$$

hvor

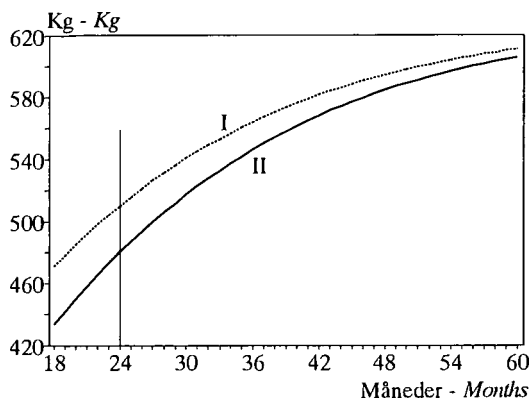
V_{728} = Beslutningsvariabel for vægt ved 24 måneders kælvningsalder

A = Beslutningsvariabel for udvokset vægt

Ligning 2 er en Gompertz vækstfunktion (France & Thornley, 1984), som med værdien (569) er tilpasset normalt huldkorregeret vægtforløb. I

figur 1 ses størrelse som funktion af alder for $A=630$ kg og $V_{728}=510$ kg henholdsvis $V_{728}=480$ kg. Figuren illustrerer, at marginalvirkningen af alder på størrelse falder med stigende alder.

Tilstandsvariabel (alder) indgår efter omregning til størrelse i beregningen af foderoptagelsskapacitet og ydelsespotentialt for første-kalvskøer.



Figur 1 Forudsat sammenhæng mellem alder og størrelse jævnfør ligning 2

Udvokset vægt: $A=630$ kg og vægt ved 24 måneders kælvningsalder: $V_{728}=510$ kg (I) & $V_{728}=480$ kg (II)

Provided relation between age and size from equation 2

Mature weight: $A=630$ kg and weight at 24 month calving age: $V_{728}=510$ kg (I) & $V_{728}=480$ kg (II)

2.3 Modellens ligningssæt

Modellens ligningssæt med dets konstanter udgør den matematiske formulering af de antagelser om biologiske sammenhænge, der indgår i modellen. Blandt konstanterne kan nogle specificeres af brugeren. Baggrunden herfor er enten, at den enkelte konstant er usikkert bestemt, eller at der specifikt ønskes at give brugeren mulighed for at tilpasse størrelsen. Konstanter i modellens ligningssæt, der kan specificeres af brugeren, betegnes som parametre.

Ved gennemgangen af de enkelte ligninger gives baggrund og retningslinier for fastlæggelse af parametrene. Desuden vil der være et gennemgående eksempel på fastlæggelse af et samlet sæt af standardparameterværdier med udgangspunkt i køer af stor malkerace fodret med ikke ekstreme foderrationer. Parametre, der er veldokumenterede

i litteraturen, fastlægges på grundlag heraf, hvorefter de resterende søges fastlagt i overensstemmelse med udgangspunktet for modellens anvendelse.

I det følgende gennemgås først de enkelte ligninger vedrørende koens produktionskapacitet og derefter de ligninger, der vedrører udnyttelsen af den optagne energi til livsytringer.

2.3.1 Ydelsespotentialt

I hvert tidsskridt beregnes ydelsespotentialt (Y_{pot}), der beskriver koens maksimale dagsydelse i det aktuelle tidsskridt. Y_{pot} indgår som faktor i beregningen af koens aktuelle dagsydelse samt som faktor i energifordelingen mellem mælkeproduktion og tilvækst. Y_{pot} fastlægges særskilt for første-kalvskøer og ældre køer på basis af den individuelle ydelseskapa-citet (Y_{kap}) og laktationsstadium. Førstekalvskøer er ved fastlæggelse af Y_{pot} repræsenteret ved første-kalvskøer med 24 måneders kælvningsalder og ældre køer er repræsenteret ved tredje-kalvskøer. For første-kalvskøer korrigeres Y_{pot} i modellen for størrelse, når kælvningsalderen afviger fra 24 måneder. Y_{pot} beregnes ved hjælp af følgende, ufuldstændige gammafunktion af Wood (1967):

$$Y_{pot} = a \cdot Y_{kap} \cdot T^b \cdot \exp(-c \cdot T) \quad [3]$$

hvor

Y_{kap} = Tilstandsvariabel for koens ydelseskapa-citet

T = Tilstandsvariabel for laktationsstadium

a, b, c = Positive parameterværdier specificeret særskilt for første-kalvskøer og ældre køer

I modellen benyttes ligning 3 således, at Y_{pot} efter laktationsuge 1 bestemmes alene ved parametrene (b) og (c), laktationsstadium samt Y_{pot} i det foregående tidsskridt: $Y_{pot} = Y_{pot(T-1)} \cdot (T/(T-1))^b \cdot \exp(-c)$. Ved denne omskrivning opnås, at tilstandsvariabeln (Y_{pot}) kan indeholde og viderebringe virkninger af påførte ændringer af koens ydelsespotentialt fra tidligere laktationsstadier.

Ligning 3 kan beskrive en karakteristisk laktationskurve begyndende stærkt stigende de første uger efter kælvning og vil efter et toppunkt være aftagende i resten af laktationsperioden. Den generelle virkning af de enkelte parametre er, at (b) og (c) giver kurvens form, og (a) giver kurvens niveau. Specielt er b/c lig med tidspunktet for kurvens toppunkt, hvor værdien er givet ved:

$Y_{\text{pot(max)}} = a \cdot Y_{\text{kap}} \cdot (b/c) \cdot \exp(-b)$. Wood's funktion i ligning 3 er detaljeret beskrevet af France & Thornley (1984). Wood (1980) angiver estimerede parametre for laktationskurver for køer af forskellige racer og laktationer.

Wood (1967) viste, at funktionen var egnet til at beskrive laktationskurver. De karakteriske egenskaber, der gælder for en laktationskurve, antages her at kunne overføres til at beskrive koens aktuelle ydelsespotentiale. Dette er tidligere antaget i en model af Bruce et al. (1984), hvor kurvens form blev fastlagt på grundlag af empiriske ydelsesdata, mens kurvens niveau blev fastlagt i forhold til koens metaboliske vægt. I modellen af Bruce et al. (1984) blev ydelsespotentialet ligeledes brugt i forbindelse med energifordeling og som maksimal grænse for dagsydelsen.

Forventningerne til mælkeydelsen i første laktation afhænger blandt andet af køernes størrelse ved kælvning. Foldager & Sejrsen (1991) estimerede, at mælkeproduktionen øgedes lineært med 6,9 kg EKM 1-250 dage efter første kælvning, når kælvningsvægten blev øget med 1 kg. Virkningen bygger på, at forskel i kælvningsvægt er opnået som følge af tilvækst efter den kritiske periode. I modellen korrigeres for denne sammenhæng ved for førstekalvskøer at korrigere parametrene (a), (b) og (c) proportionalt i forhold til parameterværdierne for ældre køer og således, at en afvigelse i koens størrelse ved første kælvning på 1 kg ændrer det gennemsnitlige ydelsespotentiale med 6,9 kg EKM i perioden indtil 250 dage efter første kælvning.

Den praktiske fastlæggelse af Wood's parametre på grundlag af et kendt eller ønsket forløb gennem laktationen kan foretages ved lineær- eller ikke-lineær regression. Alternativt kan følgende metode af Wood (1979) benyttes, hvor parametrene fastlægges ud fra kendskab til laktationskurvens hældning (q, ændring i procent per uge) midt mellem laktationskurvens top og laktationens afslutning, laktationsugen for kurvens toppunkt (P) og længden af laktationen (L). Parametrene (b) og (c) fastlægges på grundlag heraf som:

$$c = -q \cdot (2 \cdot P / (L - P) + 1) \quad [4]$$

$$b = c \cdot P \quad [5]$$

Fastlæggelse af parameteren (a) påvirker alene skaleringen af kurven og foretages i praksis ud fra, at der ønskes et givet forhold mellem det gennem-

snitlige ydelsespotentiale 1-24 uger efter kælvning og ydelseskapaiciteten.

De problemstillinger, der rejses i forbindelse med fastlæggelse af parametrene i ydelsespotentialet, beskrives i det følgende gennem konkret at fastlægge parametrene til det gennemgående eksempel. Til fastlæggelsen af kurvernes form vælges her at tage udgangspunkt i empiriske ydelsesdata. Parametrene (b) og (c) fastlægges ved ikke-lineær regression på standardlaktationskurver for SDM-køer ved forskellige ydelsesniveauer angivet af Landsudvalget for Kvæg (1993). Standardlaktationskurverne er opgjort på afsluttede 305 dages laktationer.

Fastlæggelsen af parameteren (a) må foretages således, at ydelsespotentialet tillader den højst forventelige dagsydelse på et vilkårligt laktationsstadium for en ko med en given ydelseskapaicitet (Y_{kap}). Da Y_{kap} indeholder såvel noget genetisk som noget fodrings- og miljømæssigt, må der ved fastlæggelsen af parameteren (a) træffes et valg af den proportion, der ønskes mellem Y_{pot} og Y_{kap} . Da foderniveauet er en væsentlig faktor, må virkning heraf indgå i overvejelserne. Krohn et al. (1983) fandt ved fodring med fuldfoder *ad libitum* med lav, høj og meget høj energikoncentration en ydelse 24 uger efter kælvning på henholdsvis 16, 19 og 22 kg 4 procent mælk per dag. Det svarer til 16 procent højere ydelse for meget højt foderniveau i forhold til højt foderniveau.

Til det gennemgående eksempel på parameterfastlæggelse vælges her at fastlægge parameteren (a) i Y_{pot} således, at der gives mulighed for 20 procent ydelsessstigning i forhold til Y_{kap} . Konkret betyder det, at for ældre køer fastlægges parameteren (a) således, at den gennemsnitlige Y_{pot} 1-24 uger efter kælvning bliver 20 procent højere end Y_{kap} . For førstekalvskøer foretages fastlæggelsen tilsvarende, dog med anvendelse af $0,77 \cdot Y_{\text{kap}}$ i stedet for Y_{kap} . Det svarer til, at førstekalvskøers ydelse 1-24 uger efter kælvning er 77 procent af tredjekalvskøers ydelse, hvilket er beregnet på grundlag af standardlaktationskurver for SDM fra Landsudvalget for Kvæg (1993). Ved regression på de nævnte standardlaktationskurver og korrektion af parameteren (a) kan parametrene i ydelsespotentialet herefter fastlægges til $a=0,9356$; $b=0,0611$ og $c=0,0122$ for førstekalvskøer og $a=1,3110$; $b=0,0995$ og $c=0,0256$ for ældre køer.

Som illustration af den alternative metode til fastlæggelse af Wood's parametre ønskes nu 20 procent henholdsvis større og mindre hældning af

ydelsespotentialekurven i midtlaktation i forhold til de netop fundne for ældre køer. For den stejle kurve (+20 procent) ønskes samme tidspunkt for toppunkt, som for de fastlagte standardparameter-værdier, det vil sige: $P=0,0995/0,0256 \approx 4$ uger, jævnfør ligning 5. For den flade kurve (-20 procent) ønskes toppunktet ved $P=8$ uger. Der regnes med en laktationslængde på $L=44$ uger. Hældningen af ydelsespotentialekurven for ældre køer med de fastlagte parameter-værdier kan findes ved hjælp af ligning 4 til $q=-2,1$ procent. Med udgangspunkt i samme gennemsnitlige ydelsespotentiale i perioden 1-44 uger kan parameter-værdierne for de ønskede kurver nu beregnes:

Stejl: $c=1,2*0,021*(2*4/(44-4)+1)=0,0302$
 $b=0,0302*4=0,121$
 $a=1,3530$

Flad: $c=0,8*0,021*(2*8/(44-8)+1)=0,0243$
 $b=0,0243*8=0,194$
 $a=0,9886$

I figur 2 er ligning 3 for ydelsespotentiale (Y_{pot}) illustreret ved de 4 viste eksempler på parameter-værdier samt en kurve for førstekalvskøer med modellens korrektion for +50 kg kælvningsstørrelse. Sidstnævnte er i SIMCOW opnået med standardparameter-værdier i Y_{pot} for førstekalvskøer og ældre køer og med beslutningsvariablen vægt ved 24 måneders kælvningsalder (V_{728}) på 480 kg. For alle kurver er der regnet med $Y_{kap}=32$ kg EKM.

2.3.2 Tilvækstpotentiale

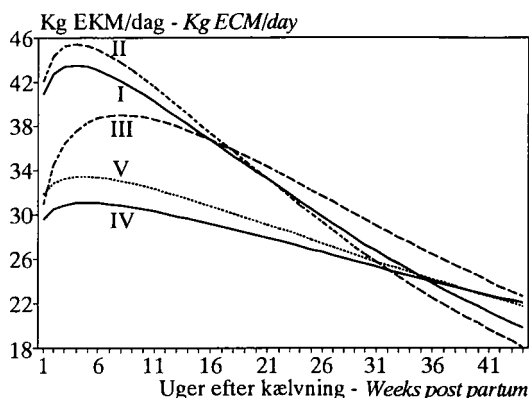
På grundlag af en Gompertz vækstfunktion (France & Thornley, 1984) bestemmes koens aktuelle tilvækstpotentiale (G_{pot}):

$$G_{pot} = -n * V^{\#} * \ln(V^{\#}/A) \quad [6]$$

hvor

- n = Parameter-værdi til skalering af tilvækstpotentialets størrelse
- $V^{\#}$ = Tilstandsvariabel for vægt fratrukket eventuel, aktuell vægt af foster
- A = Beslutningsvariabel for udvokset vægt

Bruce et al. (1984) antog, at funktionen kan udtrykke tilvækstpotentialet for køer med normal kropssammensætning, således at tilvækst ud over tilvækstpotentialet kan antages at være fedtaflejring. Funktionen udtrykker, at koen vil tilstræbe



Figur 2 Ydelsespotentiale (Y_{pot}) jævnfør ligning 3

I & IV: Standardparameter-værdier for ældre køer henholdsvis førstekalvskøer
II & III: 20 procent stejlere henholdsvis fladere forløb for ældre køer
V: Virkning af +50 kg kælvningsstørrelse for førstekalvskøer

Milk production potential (Y_{pot}) from equation 3

I & IV: Standard parameter values for multiparous and primiparous cows, respectively

II & III: Respectively 20 percent higher and lower rate of decline for multiparous cows

V: Effect of +50 kg size at calving of primiparous

udvokset vægt (A). Tilvækstpotentialet (G_{pot}) er højt, når den aktuelle vægt uden foster afviger meget fra udvokset vægt (A).

Parameteren (n) er styrende for størrelsen af G_{pot} ved et givet forhold mellem vægt og udvokset vægt. Store værdier for (n) vil give numerisk høj G_{pot} . Ved fastlæggelsen af parameteren (n) skal det bemærkes, at forudsætningen for tilvækstpotentiale-funktionen er, at væksten ikke begrænses af for eksempel næringsstofftilførsel. Vægtdata fra lakterende køer kan derfor ikke umiddelbart anvendes som estimeringsgrundlag, da mælkeproduktionen vil reducere den tilgængelige energi til tilvækst.

Taylor (1968) fandt fælles for pattedyr følgende sammenhæng mellem parameteren (n) og beslutningsvariablen for udvokset vægt (A):

$$n = A^{-0,27/36} \quad [7]$$

Inden for arter fandtes dog store forskelle mellem racer. Ingvarsten (1994a) angiver maksimal energioptagelse for ungdyr afhængig af vægt, når foderoptagelsen er stofskiftereguleret. Sørensen & Foldager (1988) angiver en funktion for ungdyrs tilvækst afhængig af energitildeling og vægt. Sammen kan disse to funktioner give et udtryk for maksimal tilvækst. Ved cirka halv udvokset vægt, det vil sige omkring 215 og 315 kg for henholdsvis Jersey og stor malke race, kan parameteren (n) beregnes til 0,0056 for Jersey og 0,0048 for stor malke race. Dette er i god overensstemmelse med ligning 7, idet de tilsvarende værdier kan beregnes ved hjælp af ligning 7 til henholdsvis $n=0,0049$ og $n=0,0054$. Parameterværdien $n=0,0049$ vælges til det gennemgående eksempel på parameterfastlæggelse.

2.3.3 Foderoptagelseskapacitet

Koens foderoptagelseskapacitet (K) i modellen bygger på det danske foderoptagelsessystem (Kristensen, 1983; Kristensen & Ingvarsten, 1985; Kristensen & Ingvarsten, 1986; Kristensen & Kristensen, 1987). Beregningen af foderoptagelseskapaciteten (K) i fyldeenheder per dag som funktion af tilstandsvariablen for laktationsstadium (T) tager i SIMCOW udgangspunkt i følgende funktioner af Kristensen & Kristensen (1987):

$$K = 5,55 - 2,22 \cdot \exp(-0,28 \cdot T) \quad [8]$$

(førstekalvskøer)

$$K = 7,08 - 2,95 \cdot \exp(-0,329 \cdot T) - 0,0231 \cdot T \quad [9]$$

(ældre køer)

For Jerseykøer beregnes K som 88 procent af ovenstående værdier (Kristensen & Ingvarsten, 1986). Værdien udtrykker, at Jerseykøer har en relativ større foderoptagelseskapacitet i forhold kropsvægten end køer af stor race.

Sammenhængen i ligningerne 8 og 9 er baseret på, at en væsentlig del af foderrationen tildeles *ad libitum*. Når foderoptagelsen for ældre køer (ligning 9) er aftagende i senlaktationen udtrykker det primært en forventning om større virkning af langtidsstofskifteregulering som følge af et aftagende træk af næringsstoffer fra væv og organer og en tiltagende aflejring af energi i organismen. Førstekalvskøers vækst gennem laktationen antages at modsvare denne virkning, således at foderoptagelseskapaciteten er konstant i midt- og senlaktation. Kristensen & Ingvarsten (1986) angiver foderoptag-

elseskapacitet sent i drægtighedsperioden til 90 procent af det maksimale niveau for førstekalvskøer og 82 procent for ældre køer som følge af fosterets virkning. Dette er ikke inkluderet i SIMCOW, idet virkningen primært vil optræde i goldperioden, hvor der typisk fodres restriktivt. Forskellen mellem ligning 8 og 9 udtrykker desuden, at foderoptagelseskapaciteten stiger langsommere efter kælvning for førstekalvskøer end for ældre køer.

Foruden laktationsnummer, laktations- og drægtighedsstadium er vægt og mælkeydelse faktorer knyttet til koen, der ligeledes påvirker foderoptagelseskapaciteten. Kristensen & Ingvarsten (1985) fandt for køer med standardiseret huld en positiv sammenhæng til foderoptagelse for såvel ydelse og vægt. Der er imidlertid en korrelation mellem de to faktorer, hvilket betyder, at korrektionens størrelse bør afhænge af, om faktorerne anvendes enkeltvis eller sammen. I SIMCOW inddrages begge faktorer.

Garnsworthy & Jones (1993) og Treacher et al. (1986) fandt, at køer, der var fede ved kælvning, havde lavere foderoptagelse efter kælvning end magre køer. Da koens vægt således ikke direkte kan anvendes til korrektion af foderoptagelseskapaciteten, benyttes her udtrykket for koens størrelse jævnfør ligning 2. Korrektionen anvendt i SIMCOW er vist i ligning 10 og tager udgangspunkt i en metode af Kristensen & Ingvarsten (1986), hvor korrektionen af foderoptagelseskapaciteten for vægt foretages på grundlag af vægt umiddelbart efter kælvning under forudsætning af standardiseret huld og en samtidig korrektion for ydelseskapacitet.

$$K = K + (\text{størrelse}_k - v) \cdot 0,006 \quad [10]$$

hvor

størrelse_k = Koens størrelse ved kælvning jævnfør ligning 2

v = Fikspunkt afhængig af race og laktationsnummer: 500 kg for førstekalvskøer af stor race, 575 kg for ældre køer af stor race og henholdsvis 350 og 400 kg for Jerseykøer

Ved at anvende ét fikspunkt for ældre køer opnås en systematisk lavere foderoptagelseskapacitet for andenkalvskøer i forhold til køer i tredje og senere laktationer som følge af forskel på deres størrelse.

Ligning 10 med de angivne værdier for v for stor race er tidligere anvendt af Kristensen & Kristensen (1987) sammen med ligningerne 8 og 9.

Ved ovenstående korrektionen af foderoptagelseskapa- citeten for vægt ved kælvning ved hjælp af udtrykket i ligning 2 for koens størrelse ved kælvning (størrelse_k) opnås øget foderoptagelses- kapacitet under følgende forhold:

- Køer tilhørende race/besætning med store køer (stor udvokset vægt (A))
- Køer tilhørende race/besætning med store kæl- vekvier i forhold til alderen (stor vægt ved 24 måneders kælvningsalder (V_{728}))
- Høj alder ved første kælvning, hvilket primært har effekt i første laktation.

Kristensen & Ingvartsen (1985) fandt på grundlag af tre projekter, at foderoptagelsen ændres med henholdsvis 0,19; 0,14 og 0,15 eller gennemsnitligt 0,16 kg tørstof per kg 4 procent mælk i dagsydelse, når der samtidig tages hensyn til korrelationen med vægt. Ligesom i det danske foderoptagelsessystem ønskes korrektionen foretaget med ydelseskapa- citeten i stedet for dagsydelsen. Under forudsætning af fylde per kg tørstof på 0,48 og omregning mellem dagsydelse og besætningsydelse per årsko jævnfør ligning 1 kan korrektionen på 0,16 kg tørstof per kg 4 procent mælk i dagsydelse omregnes til 0,31 fyldeenheder per 1.000 kg EKM i besætningsydelse per årsko. Fra samme undersøgelse kan den til- svarende gennemsnitlige korrektion uden hen- syntagen til korrelationen med vægt bestemmes til 0,37 fyldeenheder per 1.000 kg EKM i besætnings- ydelse per årsko.

Kristensen & Ingvartsen (1986) angiver, at fo- deroptagelseskapa- citeten ændres 0,2 enheder per 1000 kg afvigelse fra 6.500 kg EKM i besætnings- ydelse per årsko. I det danske foderoptagelses- system (Strudsholm et al., 1992) bruges en korrek- tionsfaktor på 0,3, når der ikke korrigeres for vægt. Andersen (1989) fandt på grundlag af et hollandsk og et norsk forsøg, at foderoptagelseskapa- citeten øges med 5 til 7 procent per 15 procent ydelses- stigning, hvilket svarer til 1.000 kg mælk i be- sætningsydelse per årsko. Ingvartsen (1994b) angiver korrektionen til 0,3 fyldeenheder per 1.000 kg EKM i besætningsydelse per årsko, når der samtidig korrigeres for vægt.

I SIMCOW er værdien 0,31 fyldeenheder per 1.000 kg EKM i besætningsydelse per årsko valgt og kan omregnes jævnfør ligning 1 til 0,076 fylde- enheder per kg EKM i ydelseskapa- citet (Y_{kap}).

Korrektionen af foderoptagelseskapa- citeten for ydelseskapa- citet er vist i ligning 11.

$$K = K + (Y_{kap} - y_0) \cdot 0,076 \quad [11]$$

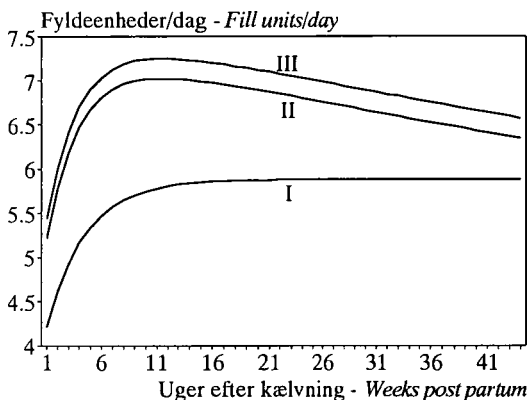
hvor

Y_{kap} = Tilstandsvariabel for koens ydelses- kapacitet

y_0 = Parameterværdi for det fikspunkt, hvor der ikke korrigeres for Y_{kap}

Fikspunktets parameterværdi (y_0) må som udgangs- punkt vælges som den værdi af Y_{kap} , der svarer til 6.500 kg EKM i besætningsydelse per årsko, idet dette oprindeligt var udgangspunktet for ligning 8 og 9. Af ligning 1 findes den til $y_0 = 25,8$ kg EKM. Til det gennemgående eksempel på parameterfast- læggelse vælges $y_0 = 26$ kg EKM.

I figur 3 ses et eksempel på foderoptagelses- kapaciteten gennem laktationen for henholdsvis en typisk første-, anden- og tredje- kalvsko af stor race.



Figur 3 Foderoptagelseskapa- citet (K) jævnfør ligningerne 8-11 for køer med ydelses- kapacitet (Y_{kap}) på 32 kg EKM og ud- vokset vægt (A) på 630 kg

I,II,III: Første-, anden- og tredje- kalvsko med størrelse ved kælvning (størrelse_k) på henholdsvis 480, 546 og 584 kg

Feed intake capacity (K) from the equa- tions 8-11 for cows with milk production capacity (Y_{kap}) of 32 kg ECM and mature weight (A) of 630 kg

I,II,III: First, second and third lactations with size at calving (størrelse_k) of 480, 546 and 584 kg

Forskellen mellem anden og tredjekalvskoen i figuren udtrykker virkningen af korrektionen for koens størrelse, som ideelt set burde indeholde en tilvækstbetinget udligning gennem laktationen.

Foderoptagelsesreguleringen i SIMCOW bygger på primært fysisk regulering, additivitet og nogle forudsætninger knyttet til foderrationen, udfodringen og miljøet. Kristensen & Hermansen (1986) fandt, at Jerseykøer var i stand til at regulere foderoptagelsen således, at der blev opnået et passende huld ved goldning, når der blev fodret med samme energirige (0,95 FE per kg tørstof) fuldfoderration *ad libitum* gennem hele laktationen. Forsøget antyder, at lakterende køer har en betydelig evne til at tilpasse foderoptagelsen efter produktionen. Madsen (1983) konkluderede modsætningsvis, at langtidsstofsifterreguleringen absolut ikke er tilstrækkelig effektiv til at hindre køerne i at blive uhensigtsmæssig fede i senlaktation, hvis de fodres på et energirigt foder. Kristensen & Kristensen (1987) fandt, at når let fordøjelige foderemner i en fuldfoderration udgjorde 82 procent af det totale fodertørstof, blev foderoptagelsen væsentlig lavere end estimeret. Samme undersøgelse viste, at der var god overensstemmelse mellem estimeret og målt foderoptagelse, når de let fordøjelige foderemner udgjorde op til 66 procent af tørstoffet. Aaes (1993) fandt betydelig forskel i foderoptagelsen mellem *ad libitum* fodrede hold, som blev fodret henholdsvis separat og med fuldfoder på forskellige høje energikoncentrationer, men konkluderede, at med under 50 til 60 procent letomsætteligt foder, er der ingen eller kun meget lille effekt af at udfodre rationen som fuldfoderblanding. Smag og korttidsstofsifterregulering som følge af foderemnernes næringsstofsammensætning er yderligere eksempler på faktorer knyttet til foderet, som påvirker foderoptagelseskapaciteten. Som eksempel på en miljømæssig faktor kan nævnes opstaldningsformen, hvor det antages, at køer i løsdrift har en forøget foderoptagelseskapacitet (K) på 0,15.

Ved simulering af forhold, som spiller en betydelig rolle for foderoptagelsesreguleringen, men som ikke er inkluderet i SIMCOW, eksempelvis højt kraftfoder-/grovfoderforhold afhængig af fodringsprincip, må det overvejes at korrigere foderets fylde.

2.3.4 Energiudnyttelse

Som effektivitetsmål for koens energiudnyttelse benyttes ofte begrebet fodereffektivitet, hvorved forstås summen af energi (FE) i alle livsytringer (vedligehold, mælkeproduktion, tilvækst og foster) beregnet ved brug af standardnormer udtrykt i procent af beregnet, optaget energi (FE) (Kristensen & Aaes, 1989). Da livsytringer ikke er entydigt bestemt ved standardnormer i SIMCOW, benyttes begrebet energiudnyttelse som udtryk for, hvor stor en del af den optagne energi i FE, der udnyttes til livsytringer.

Ved stigende foderniveau falder energiudnyttelsen som følge af de ændringer, der sker i fordøjelsen af først og fremmest cellevægsstofferne og energitabene i metan og urin (Kristensen & Aaes, 1989). Foruden foderniveau spiller en række andre faktorer som f.eks. rations sammensætning en rolle for energiudnyttelsen. Østergaard et al. (1989) fandt ved en undersøgelse af udviklingen i fodereffektivitet i helårsforsøgsbesætningerne med køer af stor race i årene 1967 til 1986, at fodereffektiviteten var blevet påvirket af den avlsmæssige udvikling proportionalt med fremgangen i ydelsesanelæggene. Således vil køer med forskellig genetisk ydelseskapacitet have forskellig energiudnyttelse ved samme foderniveau. Kristensen & Aaes (1989) formulerede en entydig fodereffektivitet uafhængig af blandt andet race, ydelseskapacitet, laktationsnummer og laktationsstadium. I modellen er der taget udgangspunkt i denne sammenhæng, hvorefter der korrigeres for koens ydelseskapacitet (Y_{kap}) afhængig af om det er en førstekalvsko eller en ældre ko. Ved foderniveauer under 12 FE regnes med en energiudnyttelse på 100 procent. Ligningen for energiudnyttelse er et "andet grads polynomium", som først bliver aftagende ved foderniveau over det, der blev anvendt i undersøgelsen af Kristensen & Aaes (1989). Derfor sættes den marginale energiudnyttelse lig med 0 procent for foderniveau større end ligningens toppunkt. Mellem disse to grænser beregnes energi tilgængeligt til livsytringer (FE_{tilg}) som vist i ligning 12:

$$FE_{tilg} = FE_{opt} - (1,47 - 0,43 * (FE_{opt} + \alpha) + 0,0261 * (FE_{opt} + \alpha)^2), \quad [12]$$

$$\alpha = 0,40 * (y_1 - Y_{kap} * b_{eff})$$

hvor

FE_{opt} = Optaget energi i FE

Y_{kap} = Tilstandsvariabel for koens ydelseskapa-
capitet

y_1 = Parameterværdi for fikspunkt relateret
til Y_{kap}

b_{eff} = Parameterværdi, der specificeres for
henholdsvis førstekalvskøer og ældre
køer

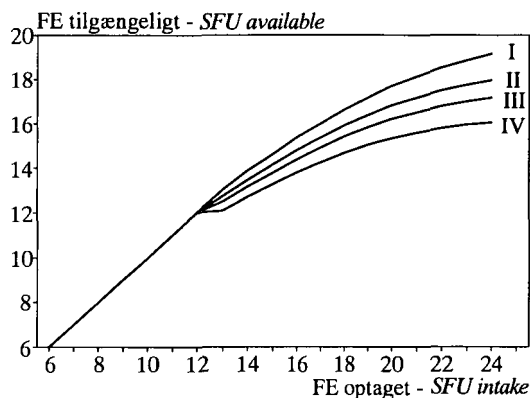
Det nævnte toppunkt for ligning 12 er givet ved $FE_{opt}=27,4-\alpha$, hvor energi tilgængelig til livsyt-
ringer kan beregnes til $FE_{tilg}=18,12-0,344*\alpha$. Når
faktoren (α) reduceres, øges energiudnyttelsen.
Virkningen af faktorerne i udtrykket for (α) er, at
energiudnyttelsen øges, når henholdsvis y_1 redu-
ceres og Y_{kap} eller b_{eff} øges.

Ligning 12 udtrykker således, at den tilgængeli-
ge energi er lig med den optagne energi minus et
foderniveauafhængigt tab, som skales i forhold til
koens ydelseskapa-
citet (Y_{kap}). Skaleringen om-
regnes med 0,4 FE per kg EKM i Y_{kap} , idet det
antages, at køer med forskellig Y_{kap} har samme tab,
når foderniveauet er afpasset Y_{kap} . Ligning 12 er
identisk med fodereffektivitetsfunktionen fundet af
Kristensen & Aaes (1989), når α er lig med nul.

Ved fastlæggelsen af fikspunktparameteren (y_1)
kan der tages udgangspunkt i, at et ydelsesniveau
på 7.200 kg EKM per årsko svarer til den nævnte
fodereffektivitetsfunktion af Kristensen & Aaes
(1989) brugt ukorrigeret på besætningsniveau
(Østergaard et al., 1989). Med anvendelse af
ligning 1 kan det omregnes til $y_1=28,7$ kg EKM.

Danfær (1983) fandt, at fodereffektiviteten ved
samme foderniveau er forskellig mellem først-
kalvskøer og ældre køer. Kristensen & Aaes (1989)
genfandt ikke denne forskel. Ved hjælp af para-
meteren (b_{eff}) er det muligt at foretage en differen-
tiering. Forskellen fundet af Danfær (1983) kan
opnås ved at fastlægge $b_{eff}=0,92$ for førstekalvskøer
og $b_{eff}=1,04$ for ældre køer. For hver ændring på
0,01 af forskellen mellem de to b_{eff} parameter-
værdier betyder, at forskellen på energiudnyttelsen
ændres 0,3 til 0,4 procentenheder.

De viste eksempler på fastlæggelse af para-
metrene (y_1) og (b_{eff}) vælges til det gennemgående
eksempel på parameterfastlæggelse, idet y_1 af-
rundes til 29 kg EKM. I figur 4 er energi tilgænge-
lig til livsytninger (FE_{tilg}) med disse parametervær-
dier vist som funktion af optaget energi (FE_{opt}) for
henholdsvis en førstekalvsko og en tredjekalvsko,
begge med Y_{kap} på henholdsvis 32 og 28 kg EKM.



**Figur 4 Tilgængelig energi som funktion af
optaget energi jævnfør ligning 12**

**I & II: Tredjekalvsko med ydelseskapa-
citet (Y_{kap}) på 32 og 28 kg EKM**

**III & IV: Førstekalvsko med Y_{kap} på 32
og 28 kg EKM**

*Available energi as function of energy
intake from equation 12*

*I & II: Third lactating with milk pro-
duction capacity (Y_{kap}) of 32 and 28 kg
ECM*

*III & IV: Primiparous with Y_{kap} of 32 and
28 kg ECM*

2.3.5 Energi til vedligehold og fosterproduktion

Energi til vedligehold (FE_{vedl}) beregnes på grundlag
af tilstandsvariabelen for koens vægt (V) (Frederik-
sen, 1931):

$$FE_{vedl}=V/200+1,5 \quad [13]$$

I vægtintervallet 400 til 800 kg findes tilnærmel-
sesvis samme resultat som angives af ARC (1980).

Ved beregning af energi til fosterproduktion
tages udgangspunkt i følgende sammenhæng
angivet af Sørensen (1987) mellem tilstandsvari-
abelen for drægtighedsstadium (ufk) og dagligt
energiforbrug til fosterproduktion:

$FE_{foster}=2,6*\exp(-0,14*ufk)$. Funktionen forudsætter
blandt andet, at kalven vejer omkring 40 kg ved
fødsel. Ved at forudsætte proportionalitet mellem
energibehov til udvikling af et foster og koens
udvoksede vægt kan der tages hensyn til sammen-
hæng mellem moderdyrets udvoksede vægt (A) og
kalvens fødselsvægt. Funktionen af Sørensen
(1987) er anvendt til SDM, der her antages at have
en udvokset vægt (A) på 630 kg. Konstantledet 2,6
kan således erstattes af: $2,6/630*A=A/242$.

Hermed får ligningen til beregning af energibehov til fosterproduktion følgende udformning i SIM-COW:

$$FE_{\text{foster}} = A/242 * \exp(-0,14 * \text{ufk}) \quad [14]$$

hvor

A = Beslutningsvariabel for udvokset vægt
ufk = Tilstandsvariabel for drægtighedsstadium

Det samlede energiforbrug til fosterproduktion vil ved typiske værdier for udvokset vægt (A) blive 130 FE for stor race og 90 FE for Jersey, hvilket er i overensstemmelse med Andersen (1983).

2.3.6 Energifordeling mellem mælkeproduktion og tilvækst

Det overordnede princip for energifordelingen mellem mælkeproduktion og tilvækst i SIMCOW er, at indtil både ydelsespotentialet og tilvækstpotentialet kan opfyldes, sker fordelingen i forhold til disse, hvorefter overskudsenergi alene udnyttes til tilvækst ud over tilvækstpotentialet. Dette princip er også anvendt i en model af Bruce et al. (1984).

Da der anvendes det princip, at energibehovet til vedligehold og foster altid opfyldes, kan energimængden til rådighed for tilvækst og mælkeproduktion (FE_{YG}) findes som:

$$FE_{YG} = FE_{\text{tilg}} - FE_{\text{vedl}} - FE_{\text{foster}} \quad [15]$$

hvor

FE_{tilg} = Tilgængelig energi til livsytringer
jævnfør ligning 12
 FE_{vedl} = Energi til vedligehold jævnfør ligning 13
 FE_{foster} = Energi til fosterproduktion jævnfør ligning 14

Den fundne energimængde skal fordeles mellem mælkeproduktion og tilvækst, hvor der tages udgangspunkt i følgende ligning:

$$\begin{aligned} & (FE_Y - FE_{Y_{\text{pot}}}) / (FE_G - FE_{G_{\text{pot}}}) = k_0 + k_1 * T \\ & \& FE_Y + FE_G = FE_{YG} \end{aligned} \quad [16]$$

hvor

FE_Y = Energi til mælkeproduktion
 $FE_{Y_{\text{pot}}}$ = Tilstandsvariabel for ydelsespotentiale (Y_{pot}) omregnet til energiværdi ved hjælp af en parameterværdi (c_y). Fastlæggelse heraf gennemgås i afsnit 2.3.7
 FE_G = Energi til tilvækst
 $FE_{G_{\text{pot}}}$ = Tilvækstpotentiale jævnfør ligning 6 omregnet til energiværdi ved hjælp af en parameterværdi (c_g). Fastlæggelse heraf gennemgås i afsnit 2.3.8
T = Tilstandsvariabel for laktationsstadium
 k_0, k_1 = Parameterværdier for prioriteringsforhold

Den endelige energifordeling vil i forhold til ligning 16 kunne forskydes, idet eksempelvis koens ydelsespotentiale kan være begrænsende således, at den beregnede FE_Y ikke kan udnyttes fuldt ud til mælkeproduktion. Det samlede billede af energifordelingen er derfor først dokumenteret efter gennemgangen af afsnittene 2.3.7 om mælkeproduktion og 2.3.8 om tilvækst. Til disse afsnit er desuden henlagt fastlæggelsen af energibehovet til mælkeproduktion og tilvækst, der også anvendes i dette afsnit.

Da princippet for energifordelingen blandt andet bygger på, at potentialerne opfyldes samtidigt, når FE_{YG} bliver tilstrækkelig, skal k_0 og k_1 fastlægges således, at $(k_0 + k_1 * T)$ er positiv. Store værdier af $(k_0 + k_1 * T)$ reducerer prioriteringen af mælkeproduktion til fordel for tilvækst.

Samspillet mellem ligningerne for foderoptagelsekapacitet, energiudnyttelse og potentialerne betyder typisk, at begge potentialer kan opfyldes fra et tidspunkt omkring midt i laktationen afhængig af foderniveauet. Ved ikke at tillade dagsydelse over ydelsespotentialet opnås generelt relativt aftagende prioritering af ydelse ved stigende foderniveau, samt at dagsydelsen i senlaktation bliver mindre følsom over for foderoptagelsen.

At gøre individuel forskel mellem køer med hensyn til energifordelingen afhængig af ydelsespotentiale er i overensstemmelse med Spahr et al. (1993), der fandt, at køer med lav ydelsespotentiale prioriterede tilvækst relativt højere end mælkeproduktion i forhold til køer med højere ydelsespotentiale. I modeller af Bruce et al. (1984), Wood (1979), Williams et al. (1989) og Doyle (1983) indgår ligeledes udtryk for koens potentialer i fordelingen af energi mellem mælkeproduktion og tilvækst.

Østergaard (1983) konkluderede på grundlag af engelske og danske undersøgelser, at i midt- og senlaktation prioriteres tilvækst højere end mælkeproduktion. Williams et al. (1989) angiver, at mod senlaktation øges koens relative prioritering af tilvækst i forhold til potentialerne, hvilket svarer til, at k_1 i ligning 15 skal være positiv. Faldende prioritering af mælkeproduktion gennem laktationen benyttes også i en model af Doyle (1983), hvor prioriteringen af mælkeproduktion desuden falder med stigende energimængde til rådighed for mælkeproduktion og tilvækst.

Energifordelingen kan også påvirkes af foderet og fodringsprincippet blandt andet som følge af ændret forgærmønster i vommen. Owen (1987) angiver, at der mangler viden omkring faktorer, der påvirker energifordelingen mellem mælkeproduktion og tilvækst, men at lav grovfoderandel og mangel i proteinforsyningen medfører relativt lavere prioritering af mælkeproduktion i forhold til tilvækst.

Den stigende prioritering af tilvækst i forhold til mælkeproduktion ved stigende andel letomsætteligt foder blev af Aaes (1993) fundet at være mindre ved fuldfoder end ved separat udfodring. Aaes (1993) konkluderede, at ved rationssammensætninger med under 50 til 60 procent letomsætteligt foder findes ingen eller kun lille effekt af at udfodre rationen som en fuldfoderblanding, og at effekten af fodringsprincippet stiger med stigende andel af letomsætteligt foder. Sutton et al. (1988) fandt stigende prioritering af tilvækst i midt- og senlaktation ved stigende andel letomsætteligt foder, men ingen virkning i tidlig laktation. I samme undersøgelse blev der ikke fundet vekselvirkninger mellem foderniveau og andel letomsætteligt foder med hensyn til energifordelingen mellem mælkeproduktion og tilvækst.

På baggrund af ovenstående bør det ved simulering af fodderationer med store mængder letomsættelige foderemner overvejes at tilpasse parametrene (k_0) og (k_1) til de givne rationssammensætninger og fodringsprincipper.

Fastlæggelse af k_0 og k_1 kan foretages på grundlag af empiriske data, eller når modellens øvrige parametre er fastlagt, ved afpasning af vægtændring og mælkeydelse for en rask ko med foderniveauet tilpasset ydelseskapaleten.

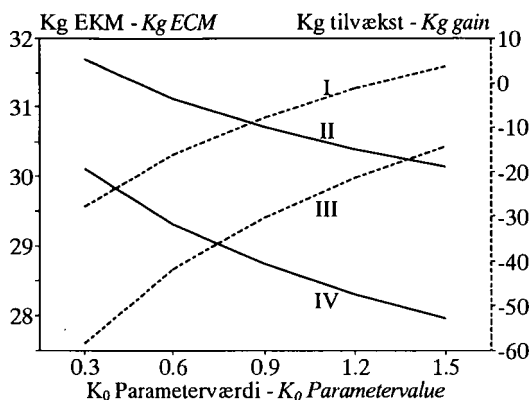
Fastlæggelse på grundlag af et empirisk datamateriale kræver observationer i første del af laktationen før enten ydelses- eller tilvækstpotentialer er nået. Sådanne data er sjældent til stede. Her vælges at fastlægge k_0 og k_1 til det gennemgående eksempel på parameterfastlæggelse på grundlag af data fra et velegnet forsøg samt vise konsekvensberegninger af at justere disse.

Til fastlæggelsen benyttes empiriske data fra et forsøg, som opfylder, at der indgår køer, som fodres på lavt foderniveau gennem en væsentlig del af laktationen, og at køerne er af racen SDM. Fra datasættet, der er beskrevet af Liboriussen & Klastrup (1988), er udtaget observationer fra 40 køer, der har indgået i forsøget i mere end 28 uger af laktationen. I hver observation er der beregnet en værdi svarende til højresiden af ligning 16. På grundlag heraf er værdierne $k_0=0,87$ ($\pm 0,15$) og $k_1=0,06$ ($\pm 0,01$) fundet ved lineær regression, hvor tallene i parentes er estimerens spredning. På grundlag heraf vælges parameterværdierne $k_0=0,9$ og $k_1=0,06$ til det gennemgående eksempel på parameterfastlæggelse. Disse værdier svarer til, at den relative prioritering af tilvækst i forhold til mælkeproduktion fordobles fra 12. til omkring 40. laktationsuge.

Konsekvensberegninger af at justere parameteren (k_0) er foretaget og vist i figur 5. Ydelse og tilvækst 1-24 uger efter kælvning er beregnet under forudsætning af fodring med henholdsvis 9 og 12 FE kraftfoder (fylde=0,22) sammen med grovfoder (fylde=0,65) *ad libitum*. Af øvrige forudsætninger er anvendt:

- ydelseskapalet: $Y_{kap}=32$ kg EKM
- udvokset vægt: $A=630$ kg
- vægt ved 24 mdr. kælvningsalder: $V_{728}=480$ kg
- 35 procent førstekalvskøer med kælvningsvægt på 480 kg og 65 procent tredjekalvskøer med kælvningsvægt på 585 kg.

De to kraftfoderniveauer svarede til vægtede (35 procent førstekalvsko), gennemsnitlige foderniveauer på 15,9 og 17,9 FE, hvor forskellen mellem første- og tredjekalvskøers foderoptagelse i begge tilfælde var 2,1 FE. Af figur 5 ses blandt andet, at modellens følsomhed for ændring af parameterværdierne i prioriteringsforholdet stiger med faldende foderniveau. Dette skyldes, at ydelsespotalet bliver mere styrende for energifordelingen ved højere foderniveau.



Figur 5 Eksempel på konsekvenser af forskellige k_0 parameterverdier i ligning 16 for daglig mælkeydelse (II & IV) og tilvækst (I & III) 1-24 uger efter kælvning. I & II: 12 FE kraftfoder. III & IV: 9 FE kraftfoder

Example of consequences of different k_0 parameter values in equation 16 on daily milk yield (I & III) and growth (II & IV) 1-24 weeks post partum. I & II: 12 SFU concentrate. III & IV: 9 SFU concentrate

2.3.7 Mælkeproduktion

Efter beregningen af energifordelingen mellem mælkeproduktion og tilvækst i ligning 16 foretages den endelige beregning af den aktuelle dagsydelse som:

$$Y = c_y \cdot FE_Y + Y_{dif}, \quad 0 \leq Y \leq (Y_{pot} + Y_{dif}) \quad [17]$$

hvor

- Y = Tilstandsvariabel for dagsydelse
- c_y = Parameterverdi for energibehov til mælkeproduktion, FE per kg EKM
- FE_Y = Energi til mælkeproduktion jævnfør ligning 16
- Y_{dif} = Tilstandsvariabel for ydelsesændring
- Y_{pot} = Tilstandsvariabel for ydelsespotentiale

Af den øvre grænse for Y ses, at mælkeproduktion i modellen ikke tillades at overskride Y_{pot} eventuelt korrigeret med Y_{dif} . Y_{dif} anvendes til at foretage en reduktion i ydelsespotentialet specificeret ved en direkte virkning på ydelsen. Y_{dif} kan anvendes til at reducere laktationsydelsen som følge af kort goldningsperiode eller til at reducere dagsydelsen en periode på grund af sygdom. Den nedre grænse for Y sikrer, at dagsydelsen ikke beregnes negativ.

Foruden de faktorer, der indgår i ligning 17, kan mælkeydelsen ophøre som følge af goldning. Koen goides, når den daglige mælkeydelse efter 24. laktationsuge kommer under et angivet niveau, eller hvis afstanden til kælvning bliver en angivet mindste længde. Fra og med det tidspunkt, hvor koen opfylder en af betingelserne for at blive goldet, vil koen forblive gold i resten af laktationen. Både ydelsesniveau for goldning og mindste goldperiode angives for henholdsvis førstekalvskør og ældre køer.

Parameteren (c_y) angiver nettoenergibehovet (FE) til produktion af 1 kg EKM. Den danske norm for energi til mælkeproduktion er 0,40 FE per kg EKM (Strudsholm et al., 1992; Andersen, 1983; Frederiksen, 1931). Denne værdi vælges til det gennemgående eksempel på parameterfastlæggelse.

2.3.8 Tilvækst

Beregning af koens vægtændring er det sidste led i energiregnskabet og afstemmes derfor således, at den samlede energi brugt til livsyrtringer bliver lig med den tilgængelige energi fra det optagne foder. Den energimængde, hvormed vægtændring skal afpasses (FE_G), beregnes af ligning 18 som forskellen mellem energi til rådighed til mælkeproduktion og tilvækst og energien i den faktiske dagsydelse:

$$FE_G = FE_{GY} - Y \cdot c_y \quad [18]$$

hvor

- FE_{GY} = Energimængden til rådighed til tilvækst og mælkeproduktion jævnfør ligning 15
- Y = Tilstandsvariabel for dagsydelse
- c_y = Parameterverdi for energibehov til mælkeproduktion, FE per kg EKM

Vægtændringen ved en given mængde aflejret energi afhænger af vægtændringens sammensætning (Andersen, 1983). I modellen er det muligt at angive to parameterverdier for FE per kg vægtændring. De to parameterverdier c_g og c_{g1} angives for henholdsvis under og over det beregnede tilvækstpotentiale (G_{pot}). I SIMCOW er det ukendt, hvilken af de to energiværdier en given mobilisering tidligere er deponeret med. Det er derfor valgt at anvende c_g ved mobilisering. Det betyder, at den tilgængelige energi fra mobilisering i gennemsnit bliver lidt lavere end den energi, der blev brugt til at indlejre energien, når c_g fastlægges lavere end c_{g1} . Dette er i overensstemmelse med resultater

fundet af Moe (1981), der fandt en energiudnyttelse på 84 procent ved mobilisering. Daglig vægtændring uden fostertilvækst (G) beregnes som:

[19]

$$FE_G \leq 0: \quad G = FE_G / c_g \quad (\text{mobilisering}) \quad (I)$$

$$G_{\text{pot}} \leq 0: \quad G = FE_G / c_{g1} \quad (\text{kun fedtaflejring}) \quad (II)$$

$$FE_G \leq G_{\text{pot}} * c_g: \quad G = FE_G / c_g \quad (III) \\ (\text{kun normaltilvækst})$$

$$G = G_{\text{pot}} + (FE_G - G_{\text{pot}} * c_g) / c_{g1} \quad (IV) \\ (\text{normaltilvækst og fedtaflejring})$$

hvor

G = Koens aktuelle tilvækst

FE_G = Energimængde, hvormed koens tilvækst afpasses jævnfør ligning 18

G_{pot} = Tilvækstpotentiale jævnfør ligning 6

c_g, c_{g1} = Paramterværdier for energibehov til henholdsvis normaltilvækst og fedtaflejring

Beregningen i ligning 19 gennemføres i praksis ved hjælp af ligningen med det laveste romertal, hvor den tilhørende betingelse kan opfyldes.

Der findes i litteraturen forskellige værdier for nettoenergiindhold per kg vægtændring hos lakterende køer. Andersen (1983) angiver, at et kg tilvækst bestående af 72 procent fedt, 13 procent protein og 15 procent vand svarer til 4,0 FE. Strudsholm et al. (1992) angiver denne værdi som normen per kg tilvækst. ARC (1980) angiver et nettoenergiindhold per kg tom kropsvægt på 26 MJ, hvilket ved omregning til kg levende vægt bliver 23,9 MJ (3,02 FE/kg). NRC (1989) angiver per kg tilvækst 5,12 Mcal (2,61 FE). AFRC (1993) angiver på grundlag af en undersøgelse af Gibb et al. (1992) et nettoenergiindhold per kg tilvækst på 20,9 MJ (2,65 FE). Med hensyn til fedtaflejring angiver Andersen (1983) nettoenergibehov til 1 kg tilvækst af forskellig sammensætning værdier op til 4,5 FE ved største andel fedtindhold. ARC (1980) angiver værdien 39,3 MJ/kg (4,98 FE/kg) ved fedtaflejring. Denne værdi er blandt andet anvendt i en model af Bruce et al. (1984). I litteraturen findes generelt stor variation af energiværdi per kg tilvækst. For eksempel er der for køer i midt- og senlaktation fundet værdier på 71 MJ omsættelig energi/kg (6,7 FE/kg) (Sutton et al., 1988) og 89,1

MJ omsættelig energi/kg (8,5 FE/kg) (Alderman et al., 1982). Disse værdier er imidlertid højere end energiværdien i rent fedt, men kan eventuelt forklares ved at tilvæksten delvist er foregået ved udskiftning af vand med fedt.

I ovenstående er der ved omregning fra nettoenergi til FE benyttet: 1 FE = 7,89 MJ = 1,885 Mcal (Andersen, 1983). Effektiviteten ved udnyttelse af omsættelig energi til tilvækst er ved de to sidstnævnte energiværdier antaget at være 75 procent (NRC, 1989). Til det gennemgående eksempel på parameterfastlæggelse vælges her værdierne $c_g = 2,65$ FE/kg og $c_{g1} = 5,0$ FE/kg. Da der for drægtige køer allerede er udtaget energi til fosterproduktion, skal vægtændring som følge af daglig fostertilvækst (G_{foster}) lægges til den øvrige vægtændring. Fostertilvækst antages at forløbe proportionalt med energibehovet til fosterproduktion (FE_{foster}), således at det kun er konstantledet, der skal ændres i forhold til ligning 14 for energibehov til fosterproduktion. Et udviklet foster inkl. fosterhinder udgør 1,7 gange kalvens vægt (Jacobsen, 1957). Der tages udgangspunkt i, at køer af stor malkerace med udvokset vægt på 630 kg får kalve med fødselsvægt på 42 kg. Forholdet mellem vægten af et udviklet foster og udvokset vægt findes nu som: $1,7 * 42 / 630 = 0,1133$. Daglig fostertilvækst, der tillægges G , beregnes herefter som:

$$G_{\text{foster}} = 0,1133 * A * \exp(-0,14 * \text{ufk}) \quad [20]$$

hvor

A = Beslutningsvariabel for udvokset vægt

ufk = Tilstandsvariabel for drægtighedsstadium

2.4 Specifikation af fodring og foderreduktion

Muligheden for at anvende modellens ligningssæt for den enkelte ko's produktion afhænger af den ramme, der er anvendt. Denne ramme er derfor udtryk for de mulige produktionsbetingelser, som kan specificeres i modellen. I en model baseret på det skandinaviske foderenhedssystem vil det sige de eksterne faktorer, som påvirker optagelsen af energi. Disse faktorer er i modellen bestemt af en foderplan og eventuelt virkningen af en sygdomsbetinget reduktion i foderoptagelsen.

2.4.1 Modellens foderplan

Modellens foderplan bygger på "forenklet foderplanlægning", der er beskrevet af Kristensen & Hansen (1989). Et eksempel på en foderplan er vist i tabel 1.

Foderplanen består af 6 grupper: To grupper på optimalt niveau for henholdsvis førstekalvskøer og ældre køer, to nedtrapningsgrupper, en gruppe for goldkøer samt en gruppe for slagtekøer. En ko, der er udpeget til slagtning, fodres altid som slagteko. Kælvning foregår i laktationsuge 0 og fodring i ny laktation starter fra og med laktationsuge 1. Til gruppen på optimalt niveau hører køer, der ikke er udpeget til slagtning, og som enten er mellem 1 og 24 uger efter kælvning eller har en ydelse over første nedtrapningstærskel. Køer, der er mere end 24 uger efter kælvning, kommer i gruppen med goldkøer, hvis enten dagsydelsen kommer under en tærskel for mindste dagsydelse eller når tærsklen for mindste goldperiode nås. Disse tærskler specificeres særskilt for førstekalvskøer og ældre køer. De resterende køer placeres i en af de to nedtrapningsgrupper afhængig af nedtrapningstærsklerne i forhold til dagsydelsen opnået ugen før den aktuelle. Også disse nedtrapningstærskler specificeres særskilt for førstekalvskøer og ældre køer, hvilket giver mulighed for at tage højde for forskelligt energibehov til tilvækst.

For hver gruppe kan der angives et antal FE af de enkelte foderemner. Det enkelte foderemne er karakteriseret ved en fyldefaktor og enten som kraftfoder eller grovfoder. Foderplanen kan indeholde 4 forskellige foderemner, hvoraf nummer 1

og 2 forudsættes tildelt *ad libitum* (grovfoderemner), og nummer 3 og 4 restriktivt (kraftfoderemner). Foderplanen angiver således ikke den faktiske foderoptagelse, men tilbudte fodermængder. Det vil sige, at *ad libitum* fodring med et eller flere foderemner opnås ved at angive et rigeligt antal foderenheder. Princippet for optagelse af de enkelte foderemner er følgende: Hvis koen ikke har foderoptagelseskapacitet til at optage hele mængden af de 4 tildelte foderemner, så prioriteres først foderemne nummer 3, derefter foderemne nummer 4 og sidst ligeligt af foderemne 1 og 2.

I modellen kan der specificeres såvel en vinter- som en sommerfoderplan. Det kan frit vælges hvilken sæsonafgrænsning, der skal gælde, eller om den samme foderplan skal gælde hele året.

2.4.2 Sygdomsbetinget foderreduktion

Der er i modellen mulighed for at definere en sygdomsbetinget foderreduktion. Foderreduktionens størrelse angives som en proportion af den forventede foderoptagelse uden foderreduktion. En ko, der bliver udsat for en foderreduktion, får således i en given periode reduceret optagelsen af alle foderemner og dermed energioptagelsen med en specificeret proportion. Foruden foderreduktionens størrelse angives tidspunktet for foderreduktionens indtræden og dens varighed.

Tabel 1. Eksempel på en foderplan i SIMCOW. Rationer er angivet i FE per dag
Example of a feeding plan in SIMCOW. Rations are defined in SFU per day

Foderemne Feedstuffs			Fodringsgrupper Feeding groups					
			1. lakt. ¹ <i>1. lact.¹</i>				Gold- køer ⁴ <i>Dry cows⁴</i>	Udsætter- køer ⁴ <i>Culling cows⁴</i>
Navn <i>Name</i>	Nr. <i>No.</i>	Fylde/FE <i>Fill/SFU</i>		>1. lakt. ¹ <i>>1. lact.¹</i>				
Grovfoder 1 <i>Roughage 1</i>	1	0,65	ad lib.	ad lib.	ad lib.	ad lib.	4,0	ad lib.
Grovfoder 2 <i>Roughage 2</i>			ad lib.	ad lib.	ad lib.	ad lib.	4,0	ad lib.
Kraftfoder 1 <i>Concentrate 1</i>	2	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Kraftfoder 2 <i>Concentrate 2</i>	3	0,22	10,0	10,0	7,0	4,0	2,0	12,0
	4	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

¹ Fodringsgrupper indtil 24 uger efter kælvning samt for køer med aktuell dagsydelse over første nedtrapningstærskel for henholdsvis førstekalvskøer og ældre køer
Feeding groups until 24 weeks post partum and for cows with actual milk yield above first threshold for primiparous and multiparous cows, respectively

² Ydelsestærskel (EKM/dag) for førstekalvskøer
Yield thresholds (ECM/day) for primiparous cows

³ Ydelsestærskel (EKM/dag) for ældre køer
Yield thresholds (ECM/day) for multiparous cows

⁴ Goldkøer og udsætterkøer fodres altid i de pågældende grupper
Cows defined dry or selected for culling are always in the respective groups

3 Resultater og diskussion

3.1 Modellens gyldighedsområde

En model vil altid være en forenkling af virkeligheden. Validering af SIMCOW som redskab til prediktion af malkekøers produktion kræver derfor en vurdering af modellens biologiske sammenhænge og principperne for deres anvendelse. Desuden må den matematiske formulering af de biologiske sammenhænge og deres implementering i modellen kunne accepteres som troværdige, og den anvendte ramme til specifikation af produktionsbetingelser skal være relevant.

Hvis de biologiske sammenhænge og principperne for deres anvendelse accepteres, vil det med en åben empirisk model som SIMCOW med mange specificerbare parametre oftest være muligt at få modellen til at følge et ønsket produktionsforløb, som eventuelt er hentet fra empiriske data. Det er derimod ikke givet, at et parameterværdisæt, der beskriver ét produktionsforløb godt, også vil kunne beskrive produktionen under andre produktionsforhold. Begrebet gyldighedsområde bliver derfor relevant, når det drejer sig om hvilke forhold, der kan modelleres enten med et givet sæt af parameterværdier eller inden for et område, hvor brugeren har kendskab til justering af parametrene i overensstemmelse med de forhold, der modelleres.

Gyldighedsområdet knyttet til et givet parameterværdisæt vil dels afhænge af det konkrete parameterværdisæt, og dels af de krav den enkelte bruger stiller til gyldig prediktion. Som det fremgår af beskrivelsen af modellens enkelte komponenter i afsnit 2.3, påvirkes malkekoens produktion af mange og væsentlige faktorer knyttet til foderet og fodringen, som ikke kan forklares med foderemernes energiindhold.

En metode til at indkredse gyldighedsområdet kan være, at brugeren opstiller nogle succeskriterier for, hvordan modellen skal reagere inden for de forhold, der ønskes modelleret. Eksempelvis kunne et relevant succeskriterium for parameterværdisættet fra det gennemgående eksempel på parameterfastlæggelse i afsnit 2.3 være en given sammenhæng mellem ydelse og foderniveau. Kristensen & Skovborg (1990) angiver, at nedenstående ligning kan antages at beskrive sammenhængen mellem

ydelse (Y) og foderniveau (FE) under gunstige betingelser for rationssammensætning:

$$Y = -6,40 + 2,98 \cdot FE - 0,0669 \cdot FE^2 \quad [21]$$

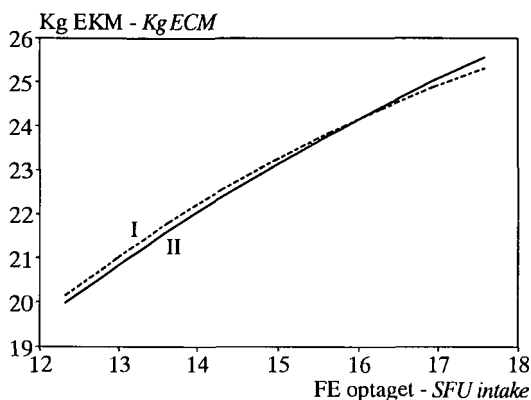
I overensstemmelse med udgangspunktet for det gennemgående eksempel på parameterfastlæggelse i afsnit 2.3 synes ligning 21 af Kristensen & Skovborg (1990) at være velegnet. I figur 6 er denne kurve vist sammen med værdier beregnet med SIMCOW. Følgende forudsætninger er anvendt for de modelberegnedes værdier:

- ydelseskapalet: $Y_{kap} = 26,5$ kg EKM
- udvokset vægt: $A = 630$ kg
- vægt ved 24 mdr. kælvningsalder: $V_{728} = 480$ kg

Svarende til undersøgelsen af Kristensen & Skovborg (1990) er ydelsen vægтет med 37 procent førstekalvskøer og dagsydelsen er aflæst i 17. laktationsuge svarende til midt i forsøgsperioden på 10 uger.

Figuren viser god overensstemmelse mellem ligningen af Kristensen & Skovborg (1990) og de modelberegnedes værdier. Modellen med de fastlagte parameterværdier vurderes på den baggrund at have et gyldighedsområde i overensstemmelse med udgangspunktet for parametrenes fastlæggelse, hvilket vil sige køer af stor malke race fodret med ikke ekstreme foderrationer. Et skøn for ikke ekstreme foderrationer kan være maksimalt 50 til 60 procent letomsættelige foderemner, idet Aaes (1993) angiver, at herunder påvirkes produktionen ikke eller kun meget lidt af fodringsprincippet.

Ved validering af SIMCOW kan der generelt ikke konkluderes, hverken positivt eller negativt, på grundlag af testsimuleringer med et givet parametersæt. Forinden må der foretages en overordnet validering af modellens biologiske sammenhænge og principperne for deres anvendelse. Accepteres disse, og hvis testsimuleringer med parametre specificeret i overensstemmelse med modellens anvendelse viser acceptable prediktioner, så vil modellen have et gyldighedsområde knyttet til det pågældende parameterværdisæt.



Figur 6 Sammenligning mellem ligning 21 af Kristensen & Skovborg (1990) (I) med modelberegnete mælkeydelser (II) ved forskellige foderniveauer

Comparison of equation 21 of Kristensen & Skovborg (1990) (I) with milk yield calculated by SIMCOW (II) at different feed levels

3.2 Eksempler på brug af SIMCOW

Som nævnt i indledningen er et af formålene med nærværende forskningsrapport at diskutere anvendeligheden af SIMCOW til bestemmelse af fodringsstrategier og foderplaners virkning på koens produktion. Dette gøres i det følgende ved nogle eksempler, hvor der vil blive fokuseret på at illustrere modellens virkning frem for en egentlig sammenligning af forskellige fodringer under forskellige forudsætninger. Som parameterværdisæt vælges de parameterværdier, der i afsnit 2.3 er fastlagt i det gennemgående eksempel. En oversigt over disse parameterværdier er vist i tabel 2.

3.2.1 Simulering over to laktationer

I det første eksempel simuleres to år med separat fodring jævnfør foderplanen i tabel 1 gennem første og anden laktation, hvor koen ved simuleringstart netop har kælvet ved alderen 24 måneder og med en vægt uden foster på 480 kg. Det angives, at anden kælvning skal indtræffe 364 dage efter første kælvning og med mindst 7 ugers goldperiode. Af øvrige forudsætninger er valgt:

- ydelseskapacitet: $Y_{kap}=32$ kg EKM
- udvokset vægt: $A=630$ kg
- vægt ved 24 mdr. kælvningsalder: $V_{728}=480$ kg

Tabel 2 Eksempel på et samlet sæt af parameterværdier

Exempel of a complete set of parameter values

Ligning nummer Equation number	Para- meter Para- meter	Alle køer All cows	Første kalvs Primi- parous	Ældre køer Multi- parous
3	a		0,9356	1,3110
3	b		0,0611	0,0995
3	c		0,0122	0,0256
6	n	0,0049		
11	y_0	26		
12	y_1	29		
12	b_{eff}		0,92	1,04
16	k_0	0,9		
16	k_1	0,06		
17,18	c_y	0,40		
19	c_g	2,65		
19	c_{g1}	5,0		

Simuleringsresultaterne for foderoptagelse, dagsydelse og vægtforløb ses i figurerne 7-9. I appendiks tabel A.1 og A.2 ses laktationsstatistik for laktationsugerne 1-44.

Figur 7 (øverst) viser foderoptagelsen af FE i alt, samt hvor stor en del, der udgøres af henholdsvis kraftfoder og grovfoder. Knækkene på kurverne afspejler foderplanens nedtrapning af kraftfoderet afhængigt af dagsydelsen. Nedtrapninger på 3 FE kraftfoder ses her at medføre cirka 2 FE nedtrapning af foderet i alt. Forskellen i tidlig laktation i foderoptagelsen på knap 2 FE mellem første og anden laktation udtrykker alene en forøgelse af foderoptagelseskapaciteten. At forskellen reduceres hen gennem laktationen afspejler, at foderoptagelseskapaciteten for ældre køer falder gennem laktationen, jævnfør figur 3. I tabellerne A.1 og A.2 kan blandt andet aflæses fodereffektiviteter på 95 og 92 procent i perioden indtil 24. laktationsuge. Det høje niveau skyldes primært det lave foderniveau i forhold til køernes ydelseskapacitet (Y_{kap}), samt at normaltilvækst i modellen sker med 2,65 FE per kg, mens fodereffektiviteten i tabellen er beregnet med 4,0 FE per kg tilvækst, jævnfør Kristensen & Aaes (1989).

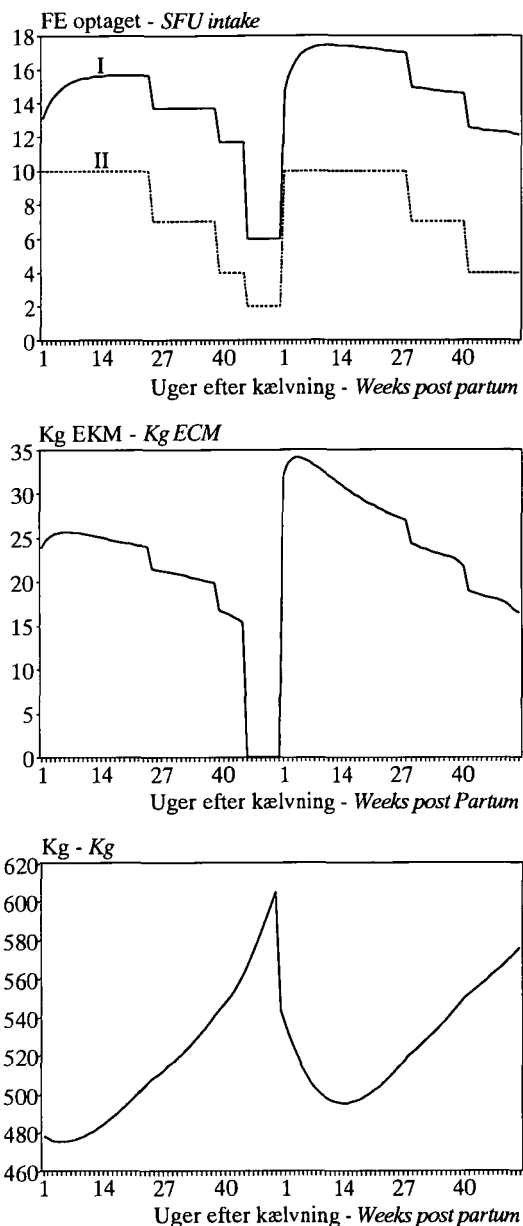
I figur 7 (i midten) ses kurven for opnået dagsydelse. I første laktation ses en lavere gennemsnitsydelse, men en fladere laktationskurve end i anden laktation. Der ses ydelsesfald på 2 til 3 kg EKM ved hver nedtrapning af kraftfodertildelingen. I anden laktation ved uge 37 og 49 ses også en anden type knæk som afspejler, at dagsydelse "støder ind i" ydelsespotentialekurven, der sætter en maksimal grænse for den aktuelle dagsydelse. Af tabel A.1 og A.2 kan aflæses gennemsnitsydelse 1-24 uger efter kælvning på 24,9 og 31,3 kg EKM. Gennemsnitsydelsen 1-44 uger efter kælvning er på 22,4 og 27,6 kg EKM, hvilket svarer til 305 dages ydelser på 6826 og 8403 kg EKM.

Vægtforløbet kan aflæses i figur 7 (nederst). I første laktation er indeholdt fostertilvæksten forud for anden kælvning, mens der i anden laktation ikke indgår drægtighed. Laktationstilvæksten i første laktation ses at være på omkring 60 kg mod 35 kg i anden laktation. Mobiliseringen er med omkring 45 kg markant størst i anden laktation.

3.2.2 Simulering af tre fodringsstrategier

SIMCOW benyttes nu til simulering af en tredje-kalvsko 1-44 uger efter kælvning med følgende tre fodringsstrategier: TMR-1, TMR-2 og separat fodring. TMR-1 og TMR-2 defineres ved, at der tildeles een henholdsvis to fuldfoderblandinger *ad libitum* til lakterende køer. Ved separat fodring forstås her fodring med grovfoder *ad libitum* og kraftfoder restriktivt og nedtrappet i forhold til ydelse efter 24 ugers laktation.

Foderplanerne for de tre fodringsstrategier tager udgangspunkt i TMR-1 med en fylde på 0,43 per FE. Foderplanerne for TMR-2 og separat fodring udarbejdes således, at der opnås samme gennemsnitsydelse og foderforbrug 1-44 uger efter kælvning. Dette er opnået ved store nedtrapninger på 5 FE ved TMR-2 og 3,5 FE ved separat fodring. Det er noget større end det anbefalede (Kristensen & Hansen, 1989), og er derfor gjort alene for at tydeliggøre SIMCOW's virkning ved simulering af forskellige fodringsstrategier. Ved TMR-2 er rationernes fylde 0,395 og 0,55 og nedtrapningstærsklen er 27 kg EKM. Ved separat fodring er fylden 0,22 i kraftfoderet og 0,65 i grovfoderet. Indtil første nedtrapning tildeles 11,5 FE kraftfoder. Efter nedtrapning ved 30 kg EKM tildeles 6,2 FE og efter nedtrapning ved 23 kg EKM tildeles 1,0 kg kraftfoder. Af øvrige forudsætninger er valgt:



Figur 7 Resultater fra simulering af første og anden laktation med separat fodring
Øverst: Daglig foderoptagelse, i alt (I) og kraftfoder (II)
I midten: Mælkeydelse. Nederst: Vægt
Results from simulation of first and second lactation with separate feeding
Top: Daily feed intake, total (I) and concentrate (II). In the middle: Milk yield. Bottom: Live weight

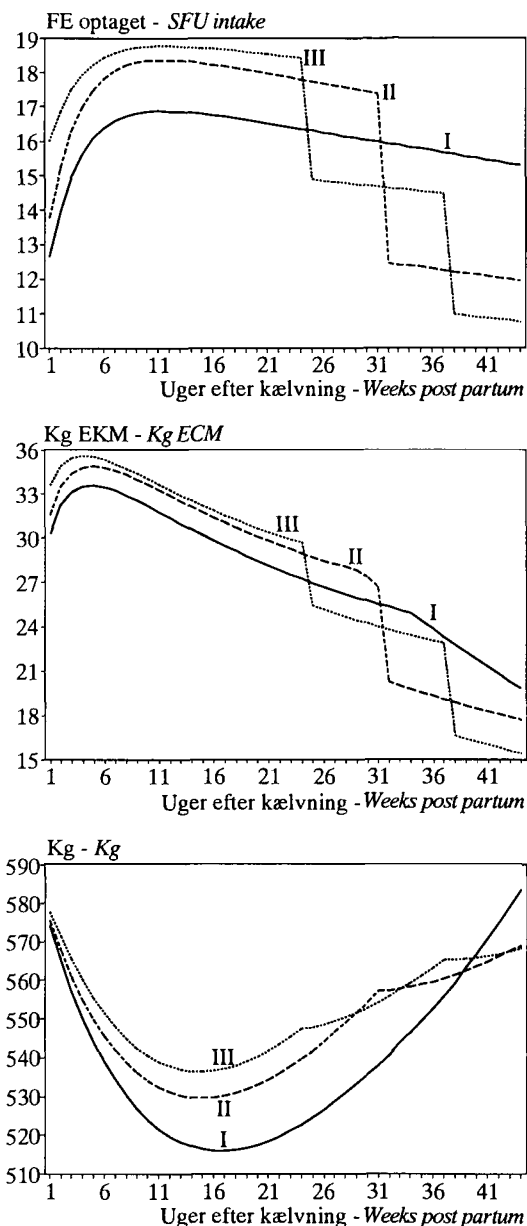
- ydelseskapalet: $Y_{kap}=32$ kg EKM
- udvokset vægt: $A=630$ kg
- vægt ved 24 mdr. kælvningsalder: $V_{728}=480$ kg
- ved simuleringstart er koens alder=1456 dage
og vægt: $V=585$ kg

I figur 8 ses simuleringresultaterne for henholdsvis foderoptagelse, ydelse og vægt.

Kurverne for foderoptagelse i figur 8 (øverst) er naturligvis blot en afbildning af de valgte forudsætninger for foderplanerne og skal derfor primært tjene som illustration af de tre forskellige simuleringer. Foderoptagelsen 1-24 uger i de tre simuleringer var henholdsvis 16,2 FE, 17,7 FE og 18,4 FE, mens den gennemsnitlige foderoptagelse 1-44 uger efter kælvning for alle tre fodringsstrategier var 16,0 FE.

I figur 8 (i midten) ses de simulerede dagsydelse. Kurverne viser forventelige ydelsesfald ved de store nedtrapninger af foderet. Ligesom i første simuleringseksempel ses knæk på kurverne som udtryk for det i SIMCOW valgte princip med at lade ydelsespotentialet blive alene styrende for energifordelingen, når såvel potentialerne for mælkeproduktion som tilvækst kan opfyldes af foderoptagelsen. I tidlig laktation ses lavere ydelse ved TMR-1 end ved TMR-2 og størst ydelse ved separat fodring. Gennemsnitsydelsen 1-24 uger efter kælvning blev fundet til henholdsvis 30,7; 32,2 og 32,8 kg EKM, mens gennemsnitsydelse 1-44 uger efter kælvning for alle tre fodringsstrategier var 27,6 kg EKM. Den modsatte rangering med hensyn til ydelse ses derfor i senlaktation. Den gennemsnitlige hældning på laktationskurven for laktationsugerne 4-44 er beregnet til henholdsvis -0,34; -0,50 og -0,54 kg EKM per uge. Disse beregnede hældninger giver det generelle billede af SIMCOW's prediktion af ydelse. Det vil sige, at samme ydelse 1-44 uger efter kælvning opnås med TMR-1 med en fladere laktationskurve end ved TMR-2, som igen er fladere end ved separat fodring.

I figur 8 (nederst) er vist vægtkurverne for de tre fodringsstrategier. Heraf ses markant forskellige forløb med blandt andet størst mobilisering ved TMR-1 efterfulgt af TMR-2 og mindst ved separat fodring. Det afspejler forskellen i fodertildelingen i tidlig laktation. Efter de 44 laktationsuger ses højere vægt ved TMR-1 end med TMR-2 og separat fodring. Da der er brugt samme fodermængde og opnået samme gennemsnitsydelse ved de tre simuleringer, er rangeringen med hensyn til



Figur 8 Resultater fra simulering af fodringsstrategierne TMR-1 (I), TMR-2 (II) og separat fodring (III) for en tredjekalvs-ko. Øverst: Daglig foderoptagelse. I midten: Dagsydelse. Nederst: Vægt.
Results from simulation of the feeding strategies TMR-1 (I), TMR-2 (II) and separate feeding (III) of a cow in third lact. Top: Daily feed intake. In the middle: Daily milk yield. Bottom: Live weight.

slutvægt derfor udtryk for rangeringen i relation til fodereffektivitet 1-44 uger efter kælvning.

I SIMCOW er fodereffektiviteten 1-44 uger efter kælvning fundet til henholdsvis 95, 94 og 94 procent. Det generelt høje niveau skyldes de i forrige afsnit nævnte faktorer. Den indbyrdes forskel mellem fodringsstrategierne udtrykker en mere jævn foderoptagelse og en fladere laktationskurve ved TMR-1 i forhold til TMR-2 og separat fodring. Det medfører alt andet lige en højere fodereffektivitet, idet den marginale energiudnyttelse er aftagende ved stigende foderoptagelse.

Sammenfattende synes tendenserne i sammenligningerne af de forskellige fodringsstrategier at være i overensstemmelse med det forventede.

3.2.3 Anvendelse af resultater simuleret med SIMCOW

Gennem ovenstående er vist eksempler på brugen af SIMCOW. Foruden de viste kurver er det i SIMCOW programmet muligt at få vist kurver for optagelse af de enkelte foderemner, ydelsespotentialet, tilgængelig energi til livsytringer og fodereffektivitet beregnet på ugebasis jævnfør Kristensen & Aaes (1989).

Laktationsstatistikoversigt i SIMCOW indeholder 1-24 ugers gennemsnit, laktationsgennemsnit, minimum, maksimum og slutværdier for henholdsvis ydelsespotentialer, ydelse, vægt, tilgængelig energi til livsytringer, fodereffektivitet samt foderoptagelse i alt og for de enkelte foderemner.

SIMCOW programmet giver brugeren mulighed

for at fastsætte simuleringsperioden, der kan strække sig over op til to år med to laktationer.

Der er desuden mulighed for direkte sammenligning af to simuleringer med laktationsstatistik og grafisk. Resultaterne fra en simulering kan gemmes på en ASCII-fil og derved overføres til eksempelvis et regneark med henblik på efterbehandling. Samlede sæt af modellens specificerbare variabler kan gemmes og hentes i navngivne filer. I alle menuer i programmet kan der vælges mellem danske og engelske tekster.

Med hensyn til modellens anvendelsesmuligheder i forbindelse med foderplanlægning skal ovenstående eksempler her afslutningsvis suppleres med at påpege problemstillingen med nedtrapningsstrategi. Specielt ved fodring med forskellige fuldfoderblandinger eller separat fodring med få forskellige niveauer af kraftfodertildeling kan modellen være til hjælp ved fastsættelse af henholdsvis energikoncentration i nedtrapningsrationerne og ydelseskriterierne for nedtrapning. Følgende retningslinier kan anvendes: Først fastlægges energikoncentrationen i rationen til køer i første fodringsgruppe. Forskellige resultatpræsentationer for førstekalvskøer og ældre kan benyttes i relation til egne kriterier. Dernæst fastlægges energikoncentrationerne i nedtrapningsrationerne, som fastlægges ved hjælp af kurven for i alt foder sammen med valgte nedtrapninger på f.eks. 2 FE. Endelig tilpasses ydelsestærskler for nedtrapning for førstekalvskøer og ældre ved hjælp af en eller flere af kurverne for fodereffektivitet, aktuel dagsydelse og vægt.

4 Konklusion

Ved at specificere modellens parametre samt koens tilstand ved simuleringsstart, foderforsyning og produktionsbetingelser er det gennem eksempler vist, at SIMCOW kan simulere forventede forløb af malkekoens produktion ved forskellige fodringsstrategier. Simulering af specifikke forhold forudsætter, at de kan angives inden for modellens ramme til specifikation af produktionsbetingelser og herunder især fodring.

Det samlede, præsenterede og dokumenterede sæt af biologiske sammenhænge, der ligger til grund for SIMCOW, er i overensstemmelse med de almindeligt anvendte sammenhænge i et nettoenergisystem. Vigtige faktorer for koens foderoptagelse, energiudnyttelse og energifordeling mellem mælkeproduktion og tilvækst kan imidlertid påvirkes væsentligt af faktorer, som ikke kan beskrives i et nettoenergisystem. Disse faktorer vil primært være knyttet til rationssammensætningen, fodringsprincippet ved høje foderniveauer, koens fysiologiske tilstand samt til samspillet af disse. Den åbne modelstruktur i SIMCOW med mange specificerbare parametre knyttet til de enkelte modelementer gør det imidlertid muligt at tilpasse modellen til forskellige produktionsforløb svarende til

disse "eksterne" faktorer. Et givet parameterværdisæt vil til gengæld have et begrænset gyldighedsområde knyttet til de forhold, der er bestemt af de eksterne faktorer. Nærværende forskningsrapport kan være til støtte ved fastlæggelse af modellens parametre og til sandsynliggørelse af det tilhørende gyldighedsområde.

En konsekvens af de omfattende tilpasningsmuligheder af modellen er, at der kan foretages prediktioner, der afviger væsentligt fra mulige produktionsforløb i praksis. Derfor vil nytten og sikkerheden af modellens prediktion afhænge af brugerens kendskab til de anvendte biologiske sammenhænge, tilpasnings- og modeleringsmuligheder. Som selvstændigt program vil SIMCOW derfor primært være nyttig til at opnå en bedre overordnet forståelse for samspillet af de sammenhænge og parametre, der indgår i modellen. Laktationsstatistik og grafisk præsentation af simuleringresultater i SIMCOW vedrørende ydelse, vægt, foderoptagelse og fodereffektivitet giver god mulighed for at studere dette samspil. De nævnte funktioner kan også udnyttes, når SIMCOW skal tjene som hjælpemodel til opsætning af forsøgsdesign i besætningsmodellen SIMHERD.

Litteratur

- Aaes, O., 1993. Fuldfoder kontra separat tildeling af energirige foderrationer udfodret efter ædelyst eller restriktivt til malkekøer. 16. Forskningsrapport fra Statens Husdyrbrugsforsøg. 23 pp.
- AFRC., 1993. Energy and protein requirements of ruminants. AFRC Technical Committee on Responses to Nutrients. CAB International. Wallingford, UK. 159 pp.
- Alderman, G., Broster, W.H., Strickland, M.J. & Johnson, C.L., 1982. The estimation of the energy value of liveweight change in the lactating dairy cow. *Livest. Prod. Sci.* 9, 665-673.
- Andersen, P.E., 1983. Produktionsniveauets afhængighed af energioptagelsen. I: Østergaard, V. og Niemann-Sørensen, A. (red.). Optimal foderrationer til malkekøen. Foderværdi, foderoptagelse, omsætning og produktion. 551. Beretning fra Statens Husdyrbrugsforsøg. 13.1-13.32.
- Andersen, B.B., 1989. Genetiske og avlsmæssige aspekter vedrørende foderoptagelse, foderudnyttelse og kødproduktionsegenskaber. I: Østergaard, V. og Niemann-Sørensen, A. (red.). Grundlag for valg af avlsmål og tilhørende produktionssystem i mælkeproduktionen. 660. Beretning fra Statens Husdyrbrugsforsøg. 45-62.
- ARC, 1980. The nutrient requirement of ruminant livestock. Commonwealth Agriculture Bureau. London. 351 pp.
- Bruce, J.M., Broadbent, P.J. & Topps, J.H., 1984. A model of the energy system of lactating and pregnant cows. *Anim. Prod.* 38, 351-362.
- Danfær, A., 1983. Energiværdien af malkekøers foder falder med stigende foderoptagelse. *Ugeskrift for jordbrug* 128 (27), 515-519.
- Danfær, A., 1990. A dynamic model of nutrient digestion and metabolism in lactating dairy cows. 671. Beretning fra Statens Husdyrbrugsforsøg. 511 pp.
- Doyle, C.J., 1983. Evaluating feeding strategies for dairy cows: A modelling approach. *Anim. Prod.* 36, 47-57.
- Foldager, J. & Sejrsen, K., 1991. Opdrætningsintensitetens indflydelse på den senere mælkeproduktion hos RDM og SDM. 693. Beretning fra Statens Husdyrbrugsforsøg. 131 pp.
- France, J. & Thornley, J.H.M., 1984. Mathematical models in Agriculture. Butterworths. UK. 335 pp.
- Frederiksen, L., 1931. Foderenheder og protein til mælkeproduktion. 136. Beretning fra Forsøgslaboratoriet. 256 pp.
- Garnsworthy, P.C. & Jones, G.P., 1993. The effects of dietary fibre and starch concentrations on the response by dairy cows to body condition at calving. *Anim. Prod.* 57, 15-21.
- Gibb, M.J., Ivingst, W.E., Dhanoa, M.S. & Sutton, J.D., 1992. Changes in body components of autumn-calving Holstein-Friesian cows over the first 29 weeks of lactation. *Anim. Prod.* 55, 339-360.
- Ingvartsen, K.L., 1994a. Forudsigelse af ad libitum foderoptagelse hos voksende kvæg. Revision og videreudvikling af 86/87-systemet. 724. Beretning fra Statens Husdyrbrugsforsøg. 41 pp.
- Ingvartsen, K.L., 1994b. Models of voluntary food intake in cattle. *Livest. Prod. Sci.* 39, 19-38.
- Jacobsen, P.E., 1957. Proteinbehov og proteinsyntese ved fosterdannelse hos drøvtyggere. 229. Beretning fra Statens Husdyrbrugsforsøg. 190 pp.

- Kristensen, T. & Hansen, J.P., 1989. Forenklet foderplan til malkekøer og planlægning heraf ved konsekvensberegning på PC. I: Østergaard, V. og Hindhede, J. (red.). Studier i kvægproduktionsystemer. 661. Beretning fra Statens Husdyrbrugsforsøg. 92-112.
- Kristensen, T. & Hermansen, J.E., 1986. Udfodringsmetodens indflydelse på mælkeydelse og tilvækst hos Jerseykøer i løsdrift. 644. Meddelelse fra Statens Husdyrbrugsforsøg. 4 pp.
- Kristensen, V.F., 1983. Styring af foderoptagelsen ved hjælp af foderrationens sammensætning og valg af fodringsprincip. I: Østergaard, V. og Niemann-Sørensen, A. (red.). Optimale foderrationer til malkekoen. Foderværdi, foderoptagelse, omsætning og produktion. 551. Beretning fra Statens Husdyrbrugsforsøg. 7.1-7.35.
- Kristensen, V.F. & Aaes, O., 1989. Foderniveauets betydning for fodereffektiviteten. I: Østergaard, V. og Niemann-Sørensen, A. (red.). Grundlag for valg af avlsmål og tilhørende produktionssystem i mælkeproduktionen. 660. Beretning fra Statens Husdyrbrugsforsøg. 10-39.
- Kristensen, V.F. & Ingvartsen, K.L., 1985. Variations in voluntary feed intake in cattle related to animal factors. Paper presented at 36th Annual Meeting of EAAP, Greece, September 30 - October 3. 17 pp.
- Kristensen, V.F. & Ingvartsen, K.L., 1986. Prediction of feed intake. In: Neimann-Sørensen A. (ed.), New developments and future perspectives in research on rumen function. CEC-seminar, Juni 25-27 1985, Forskningscenter Foulom. Rapport EUR 10054 EN, Luxembourg. 157-181.
- Kristensen, V.F. & Kristensen, T., 1987. Vurdering og justering af foderoptagelsessystemet til malkekøer. Årsmødebilag, Statens Husdyrbrugsforsøg. 9-11.
- Kristensen, V.F. & Skovborg, E.B., 1990. Betydningen for tidspunkt for 1. slæt i græs for græsudbytte og -kvalitet og for ensilageoptagelse og produktion hos malkekøer. 15. Fællesberetning fra Statens Planteavlsforsøg, Statens Husdyrbrugsforsøg. 28 pp.
- Krohn, C.C., Hvelplund, T. & Andersen, P.E., 1983. The effect on performance of different energy concentrations in complete rations for first lactation cows before and after calving. Livest. Prod. Sci. 10, 223-237.
- Landsudvalget for Kvæg, 1993. Håndbog for kvæghold 1993-94. Landbrugets Informationskontor. 175 pp.
- Liboriussen, T. & Klasturp, S., 1988. Fedning af slagtekøer. 715. Meddelelse fra Statens Husdyrbrugsforsøg. 4 pp.
- Madsen, J., 1983. Foderoptagelsens regulering. I: Østergaard, V. og Niemann-Sørensen, A. (red.). Optimale foderrationer til malkekoen. Foderværdi, foderoptagelse, omsætning og produktion. 551. Beretning fra Statens Husdyrbrugsforsøg. 6.1-6.23.
- Moe, P.W., 1981. Energy metabolism of dairy cattle. J. Dairy Sci. 64, 1120-1139.
- NRC, 1989. Nutrient requirements of dairy cattle. National Academy Press. Washington, D.C., 158 pp.
- Owen, J.B., 1987. Feeding og dairy cattle. In. World Anim. Sci. C3. Elsevier, Amsterdam. 77-105.
- Spahr, S.L., Shanks, R.D., McCoy, G.C., Maltz, E., Kroll, O., 1993. Lactation potential as a criterion for strategy of feeding total mixed rations to dairy cows. J. Dairy Sci. 76, 2723-2735.
- Strudsholm, F., Nielsen, E.S., Madsen, J., Foldager, J., Hermansen, J.E., Kristensen, V.F., Aaes, O. & Hvelplund, T., 1992. Danske fodernormer til kvæg. 18. Rapport fra Landsudvalget for Kvæg. 51 pp.
- Sutton, J.D., Broster, W.H., Schuller, E. Napper, D.J. & Bines, J.A., 1988. The influence of plane of nutrition and diet composition on rumen fermentation and energy utilization by dairy cows. J. Agric. Sci., 110, 261-270.

- Sørensen, J.T., 1987. Udvikling af en matematisk model af et system der producerer kælvekvier. Licentiatafhandling. Den kgl. Veterinær- og Landbohøjskole, København. 160 + 8 pp.
- Sørensen, J.T., 1993. Sundhed og økonomi på besætningsniveau. Landbonyt 6, 24-28.
- Sørensen, J.T. & Enevoldsen, C., 1991. Kvægsundhed, økonomi og mælkekvote: Reduceret dødelighed, sygelighed og antal tomdage i en malkekvægbesætning. Dansk Veterinær Tidsskrift 74, 298-320.
- Sørensen, J.T., Enevoldsen, C. & Kristensen, T., 1993. Effect of different dry period lengths on production and economy in the dairy herd estimated by stochastic simulation. Livest. Prod. Sci. 33, 77-90.
- Sørensen, J.T. & Foldager, J., 1988. A model for prediction of daily gain in dual purpose heifers from daily energy intake and live weight. Acta Agric. Scand. 38, 413-420.
- Sørensen, J.T., Kristensen, E.S., & Thysen, I., 1992. A stochastic model simulating the dairy herd on a PC. Agricultural Systems 39, 177-200.
- Taylor, St.C.S., 1968. Time take to mature in relation to mature weight for sexes, strains and species of domesticated mammals and birds. Anim. Prod. 10, 157-169.
- Treacher, R.J., Reid, I.M. and Roberts, C.J., 1986. Effects of body condition at calving on the health and performance of dairy cows. Anim. Prod. 43, 1-6.
- Williams, C.B., Oltenacu, P.A. & Sniffen, C.J., 1989. Application of neutral detergent fiber in modeling feed intake, lactation response, and body weight changes in dairy cattle. J. Dairy Sci. 72, 652-663.
- Wood, P.D.P., 1967. Algebraic model of the lactation curve in cattle. Nature London 216, 164-165.
- Wood, P.D.P., 1979. A simple model of lactation curves for milk, fat and protein production, with estimates of seasonal variation. Anim. Prod. 22, 35-40.
- Wood, P.D.P., 1980. Breed variation in the shape of the lactation curve of cattle and their implications for efficiency. Anim. Prod. 31, 133-141.
- Østergaard, V., 1979. Strategies for concentrate feeding to attain optimum feeding level in high yielding dairy cows. 482. Beretning fra Statens Husdyrbrugsforsøg. 138 pp.
- Østergaard, V., 1983. Optimale foderrationer til malkekoen under forskellige forudsætninger. I: Østergaard, V. og Niemann-Sørensen, A. (red.). Optimale foderrationer til malkekoen. Foder-værdi, foderoptagelse, omsætning og produktion. 551. Beretning fra Statens Husdyrbrugsforsøg. 18.1-18.49.
- Østergaard, V., Christensen, L.G. & Thysen, I., 1989. Malkekøernes fodereffektivitet ved forskelligt avlsmateriale, driftsvalg og foderstyrke. Helårsforsøgsbesætninger i årene 1967 til 1986. I: Østergaard, V. og Niemann-Sørensen, A. (red.). Grundlag for valg af avlsmål og tilhørende produktionssystem i mælkeproduktionen. 660 Beretning fra Statens Husdyrbrugsforsøg. 101-124.

Appendiks

Tabel A.1 Laktationsstatistik for første laktation fra første simuleringseksempel
Lactation statistics of first lactation from first exampel of simulation

		Laktationsstatistik fra uge 1 til 44 i første laktation <i>Lactation statistics from week 1 to 44 in first lactation</i>				
		Gennemsnit <i>Average</i>		Min.	Max.	Uge 44
		1-24 u.e.k. <i>1-24 w.p.p.</i>	Alle uger <i>All weeks</i>	<i>Min.</i>	<i>Max.</i>	<i>Week 44</i>
Ydelsespotentiale	kg EKM					
<i>Yield potential</i>	<i>kg ECM</i>	29,6	27,2	22,1	31,1	22,1
Dagsydelse	kg EKM					
<i>Daily yield</i>	<i>kg ECM</i>	24,9	22,4	15,4	25,7	15,4
Aktuel vægt	kg					
<i>Actual live weight</i>	<i>kg</i>	485	507	475	562	562
Foderbehov	FE					
<i>Feed requirement</i>	<i>SFU</i>	14,3	13,6	11,7	14,6	11,7
Fodereffektivitet	Pct.					
<i>Feed efficiency</i>	<i>P.c.</i>	95,4	99,6	94,5	101,9	101,9
Optaget foder i alt	FE					
<i>Total feed intake</i>	<i>SFU</i>	15,2	14,3	11,7	15,7	11,7
Grovfoder nr. 1	FE					
<i>Roughage no. 1</i>	<i>SFU</i>	5,2	6,0	3,1	7,7	7,7
Grovfoder nr. 2	FE					
<i>Roughage no. 2</i>	<i>SFU</i>					
Kraftfoder nr. 1	FE					
<i>Concentrate no. 1</i>	<i>SFU</i>	10,0	8,2	4,0	10,0	4,0
Kraftfoder nr. 2	FE					
<i>Concentrate no. 2</i>	<i>SFU</i>					

Tabel A.2 Laktationsstatistik for anden laktation fra første simuleringseksempel
Lactation statistics of second lactation from first example of simulation

		Laktationsstatistik fra uge 1 til 44 i anden laktation <i>Lactation statistics from week 1 to 44 in second lactation</i>				
		Gennemsnit <i>Average</i>		Min.	Max.	Uge 44
		1-24 u.e.k. <i>1-24 w.p.p.</i>	Alle uger <i>All weeks</i>	<i>Min.</i>	<i>Max.</i>	<i>Week 44</i>
Ydelsespotentiale	kg EKM					
<i>Yield potential</i>	<i>kg ECM</i>	38,4	32,2	19,8	43,4	19,8
Dagsydelse	kg EKM					
<i>Daily yield</i>	<i>kg ECM</i>	31,3	27,6	18,4	34,1	18,4
Aktuel vægt	kg					
<i>Actual live weight</i>	<i>kg</i>	505	519	495	558	558
Foderbehov	FE					
<i>Feed requirement</i>	<i>SFU</i>	16,0	15,2	12,4	16,3	12,4
Fodereffektivitet	Pct.					
<i>Feed efficiency</i>	<i>P.c.</i>	92,4	95,9	88,2	103,2	103,2
Optaget foder i alt	FE					
<i>Total feed intake</i>	<i>SFU</i>	17,0	16,0	12,4	17,4	12,4
Grovfoder nr. 1	FE					
<i>Roughage no. 1</i>	<i>SFU</i>	7,0	7,3	4,6	8,5	8,4
Grovfoder nr. 2	FE					
<i>Roughage no. 2</i>	<i>SFU</i>					
Kraftfoder nr. 1	FE					
<i>Concentrate no. 1</i>	<i>SFU</i>	10,0	8,6	4,0	10,0	4,0
Kraftfoder nr. 2	FE					
<i>Concentrate no. 2</i>	<i>SFU</i>					

