

Det danske fodervurderingssystem til svinefoder

Dokumentationsrapport for energi- og
proteinvurderingssystem gældende fra 1. september 2006

Rapport nr. 30

Dato: Maj 2006

*Forfattere: Per Tybirk
Anders Bjerring Strathe*

Else Vils

Niels Morten Sloth

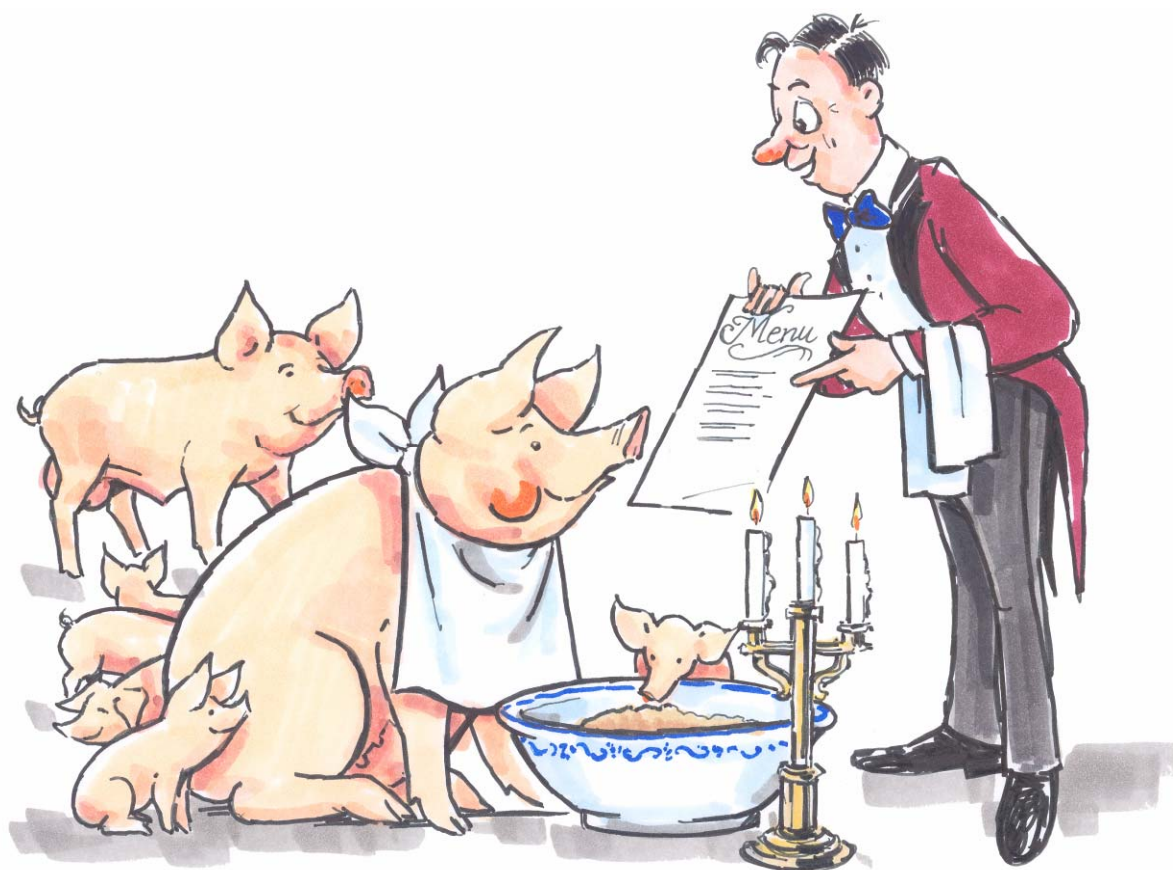
Sigurd Boisen, Danmarks JordbrugsForskning





Det danske fodervurderingssystem til svinefoder

Dokumentationsrapport for energi- og proteinvurderingssystem
gældende fra 1. september 2006



Ved landskonsulent Per Tybirk
cand. agro. Anders Bjerring Strathe
specialkonsulent Else Vils
specialkonsulent Niels Morten Sloth
Dansk Svineproduktion

og

Seniorforsker Sigurd Boisen
Danmarks JordbrugsForskning

Rapport nr. 30, maj 2006



Forord

Det nye danske fodervurderingssystem er udviklet af Dansk Svineproduktion i samarbejde med Danmarks Jordbrugsforskning. Sigurd Boisen fra Danmarks Jordbrugsforskning har udviklet grundlaget, nemlig in vitro analyserne og princippet om anvendelse af fysiologisk energi og standardiserede fordøjeligheder for protein og aminosyrer, mens Dansk Svineproduktion har stået for den praktiske implementering, herunder gennemførelse af ringtest af analyser til bestemmelse af energiværdi og fastlæggelse af de endelige ligninger til beregning af næringsstoffraktioner og foderenheder.

Dansk Svineproduktion har endvidere gennemført et projekt med analyse af alle relevante fodermidler med de nødvendige analyser til bestemmelse af energiværdi under det nye fodervurderingssystem.

Det nye fodervurderingssystem blev taget i brug i sommeren 2002 som et frivilligt beregningssystem - og efter en lille justering af analysen til bestemmelse af tyndtarmsfordøjeligheden (EFOSi analysen erstattede EFTSi-analysen) blev det nye system taget i brug som officielt system pr. 1. april 2004.

I begyndelse af 2005 blev det besluttet at lave en lille revision af energivurderingssystemet for at forenkle den første version.

Det blev endvidere besluttet, at fodervurderingssystemet skulle dokumenteres i en samlet rapport - og at denne rapport skulle tage udgangspunkt i den reviderede udgave af fodervurderingssystemet.

Nærværende rapport er fremkommet ved, at cand. agro. Anders Bjerring Strathe har bearbejdet en række af undertegnede notater – og udkast til notater, så de blev omskrevet til alene at dække version 2006 af fodervurderingssystemet. Desuden har Anders Strathe lavet en egentlig nyskrivning af en stor del af afsnittet om fysiologisk energi, hvor han med eksempler har vist, hvordan man udleder de anvendte energifaktorer for indholdet af fysiologisk energi i næringsstoffer.

Else Vils og Niels Morten Sloth har stået for de praktiske analyser af råvaregrundlaget for det nye fodervurderingssystem og for test af ligninger i BEDRIFTSLØSNING's foderoptimeringsprogram. De har endvidere begge fungeret som sparringspartnere under udviklingen af det nye fodervurderingssystem – bl.a. i forbindelse med håndtering af afvigende fodermidler.

I nærværende rapport er kapitel 1 et resume, som viser *hvordan* det danske fodervurderingssystem fungerer, mens selve dokumentationen *hvorfor* findes i de efterfølgende kapitler og appendiks.

Per Tybirk

Dansk Svineproduktion, Landscentret, Svin

Maj 2006

Indholdsfortegnelse

Forord	2
Indholdsfortegnelse	3
Sammendrag	5
Formål med det danske fodervurderingssystem	6
1. Det danske fodervurderingssystem - kort.....	7
1.1. Kemiske analyser og enzymfordøjelighed	7
1.2. Beregnede næringsstoffraktioner	7
1.3. Energiværdi af næringsstoffraktionerne	8
1.4. Ligninger til beregning af FEsv og FEso	8
1.5. Afvigende fodermidler og energivurderingssystemets begrænsninger.....	11
1.6. Kontrol af energi i foderblandinger	12
1.7. Protein vurdering i det nye system.....	12
2. Analysegrundlag og næringsstoffraktioner	15
2.1. Kemiske analyser	15
2.2. In vitro analyser	15
2.3. Faste værdier for fordøjelighed af protein og fedt i energiberegningen	16
2.4. Næringsstoffraktioner	16
2.5. LFK-fraktionens sammenhæng til stivelse og sukker	18
2.6. Konklusion	18
3. Beskrivelse af fordøjelse ud fra in vitro analyser	20
3.1. Definition af fordøjeligheder	20
3.2. Endogent proteintab - In vitro/In vivo differensmetoden	21
3.3. Endogene fedttab i relation til UTSi.....	22
3.4. Standardiserede versus tilsyneladende fordøjelighed	22
3.5. Validering af beregnede mod eksperimentelt bestemte tilsyneladende fordøjeligheder	23
3.6. Konklusion	24
4. Fysiologisk energi	25
4.1. Baggrund og definitioner	25
4.2. Beregning af ATP-potentiale	26
4.3. Beregning af den fysiologiske udnyttelsesgrad.....	26
4.4. Beregning af den fysiologiske energiværdi	27
4.5. Fastsættelse af energifaktorer for de anvendte næringsstoffraktioner	28
4.5.1. Energiværdien af protein.....	29
4.5.2. Energiværdien af fedt.....	30
4.5.3. Energiværdien af let fordøjelige kulhydrater (LFK)	32
4.5.4. Energiværdien af fermenterbare kulhydrater (FMK) til vækst eller vedligehold	32
4.6. Samlet ligning til beregning af indhold af fysiologisk energi.....	33
4.7. Konklusion	34
5. Fedtvurdering i fodervurderingssystemet	35
5.1. Fedtanalysen	35
5.2. Planteolier - rå og raffinerede.....	36
5.3. Smeltepunkt af forskellige fedtkilder	36
5.4. Fedtfordøjelighed	37
5.5. Vurdering af PFAD	39
5.6. Fedtsyreindhold.....	39
5.7. Energiindhold og håndtering i fodervurderingssystemet.....	40
6. Sammenligning med andre energivurderingssystemer	42
6.1. Kort om klassisk energivurdering	42
6.2. Sammenligning med andre energivurderingssystemer.....	42

6.3. Relativ energiværdi	43
6.4 Fysiologisk energi i forhold til dansk "nettoenergi"-vurderingssystem	44
6.5. Konklusion	44
7. Vurdering af energivurderingssystemets nøjagtighed ud fra fodringsforsøg.....	45
7.1. Anvendte forudsætninger ved genberegning af ældre forsøg	45
7.2. Forsøg med proteinfodermidler	46
7.3. Forsøg med fedtkilder	49
7.4. Rug kontra hvede	51
7.5. Forsøg med roepiller	51
7.6. Konklusion	52
8. Proteinvurderingssystemet	53
8.1. Fastlæggelse af protein- og aminosyretilgængelighed	53
8.2. Relativ aminosyrefordøjelighed	55
8.3. In vitro fordøjeligheder kontra faste tabelværdier.....	55
8.4. Bestemmelse af protein- og aminosyretilgængelighed i ukendte fodermidler / blandinger	56
8.5. Konklusion	57
Appendiks 1.a. Fodervurderingssystemet fra 2002 til 2006	58
Appendiks 1.c. Fastsettelse af korrektionsfaktorer for valle og melasse	61
1.c.1. Foderværdi af mælkeprodukter, herunder valle	61
1.c.2. Foderværdi af melasse.....	62
Appendiks 1.d. Analysenøjagtighed på foderenheder.....	64
1.d.1. Analysesikkerhed på EFOSi	65
Appendiks 2.1. Analyseforskrift for EFOSi	67
Appendiks 2.2. Analyseforskrift for EFOS	70
Appendiks 4. Glukoseforbrug til syntese af tristearin og triolein	73
Referencer	75

Sammendrag

I nærværende rapport beskrives "2006-versionen" af det danske fodervurderingssystem, hvor der er lavet en lille revision i forhold til det system, som blev godkendt til officiel kontrol fra 1. april 2004. Revisionen består primært i, at der er lavet nye ligninger til beregning af fermenterbare kulhydrater og letfordøjelige kulhydrater, hvilket har medført den forenkling, at der kan anvendes den samme ligning til beregning af foderenheder på tværs af fodermidler og blandinger. Desuden er FE_{Dr}, som kun gjaldt for drægtige søer, erstattet af FE_{So}, som gælder for søer i hele cyclus.

Det overordnede formål med det danske energivurderingssystem er, at foderforbruget beregnet i foderenheder pr. kg tilvækst skal være uafhængigt af foderblandings sammensætning, når blot der er samme indhold af essentielle næringsstoffer pr. foderenhed. Dette er både forudsætningen for at kunne lave lineær programmering efter billigste foderenhed og for at kunne handle foder efter pris pr. foderenhed ved et givet næringsstofindhold pr. foderenhed.

Det danske energivurderingssystem er baseret på 6 analyser, nemlig de kemiske analyser for tørstof, aske, råfedt, råprotein og fordøjelighedsbestemmelserne EFOS og EFOSi. Ud fra disse analyser bestemmes næringsstoffraktionerne:

- Reel ford. råprotein, RFRP med energiværdien 9,9 kJ pr. g.
- Reel ford. råfedt, RFRF med energiværdien 31,7 kJ pr. g.
- Letfordøjelige kulhydrater, LFK med energiværdien 11,7 kJ pr. g.
- Fermenterbare kulhydrater, FMK med energiværdien 7 kJ pr g for grise i vækst og 9 kJ pr. g for søer.
- Ufordøjeligt tørstof ved ileum, UTSi, som tillægges en fordøjelsesomkostning på 2,8 kJ pr. g. (negativt energibidrag).

Næringsstoffernes energiværdi er fastlagt ud fra deres fysiologiske energiværdi, hvilket er den mængde energi, som kan genfindes i ATP efter oxidation af næringsstofferne. Fedtets værdi er dog korrigeret for besparelsen ved direkte indlejring af fedt frem for omdannelse af stivelse til fedt, ligesom de fermenterbare kulhydrater tillægges en højere værdi for søer end for smågrise og slagtesvin.

Ud fra næringsstoffraktionerne og de tilhørende energiværdier beregnes foderets energiværdi, som i praksis angives i.

FE_{Sv} = foderenhed til svin i vækst = 7,38 MJ fysiologisk energi

FE_{So} = foderenhed til søer = 7,70 MJ fysiologisk energi

Omregningsfaktoren fra fysiologisk energi til FE_{Sv} (7,38 MJ) er fastlagt, så en standardblanding til slagtesvin fra år 2002 indeholdt lige mange FE_{Sv} og FE_S. Antal MJ pr. FE_{So} er fastlagt, så FE_{Sv} i vårbyg = FE_{So} i vårbyg.

I det nye system er de relative værdier af næringsstoffer og de relative værdier af fodermidler meget tæt på de relative værdier i de hollandske og franske nettoenergisystemer.

I det danske energivurderingssystem er der lagt meget vægt på, at systemet skal være enkelt og kontrollerbart. I forhold til udenlandske systemer er det unikt, at man for under 1.000 kr. pr. prøve kan analysere et fodermiddel eller en foderblanding for indhold af næringsstoffer og fordøjelighed både ved ileum og i hele fordøjelseskanaalen - og derfra beregne energiindholdet. Analysenøjagtigheden muliggør en latitude på 4 foderenheder pr. 100 kg færdigfoder.

Det danske proteinvurderingssystem er baseret på standardiserede fordøjelige aminosyrer ved ileum. Systemet betyder, at hver enkelt aminosyre har sin egen fordøjelighed, som i fodermidlerne er sat relativt til proteinfordøjeligheden. Protein- og aminosyrefordøjelighederne er baseret på vurdering af en række udenlandske resultater, og der anvendes tabelværdier for hovedparten af fodermidlerne. For korn og kornbiprodukter beregnes proteinfordøjeligheden dog med en ligning baseret på in vitro analyserne.

Formål med det danske fodervurderingssystem

Da formålet med et fodervurderingssystem ikke giver sig selv, er det på sin plads indledende at definere de overordnede og underordnede formål, som det danske fodervurderingssystem er udviklet ud fra.

De overordnede formål med den danske foderenhed er følgende:

- Foderforbruget målt som FESv pr kg tilvækst skal være uafhængigt af foderblandings sammensætning, hvis blot behovet for aminosyrer, vitaminer og mineraler er opfyldt - og hvis grisene får tildelt samme fodermængde regnet i foderenheder.
- Foderforbruget målt som FEso skal være uafhængigt af blandingens sammensætning – det vil sige målet er, at en given mængde FEso fra forskellige blandinger skal give samme tilvækst uafhængigt af foderets sammensætning, hvis blandingerne testes på søer med samme fysiologiske status.

En mere fysiologisk baseret udgave af samme formål er:

- Fodervurderingssystemet skal sikre, at to blandinger optimeret med samme indhold af næringsstoffer pr. foderenhed også for grisen giver samme forhold mellem fysiologisk tilgængelig energi og fysiologisk tilgængelige næringsstoffer, fx aminosyrer.

I praksis betyder ovennævnte formål, at det giver mening at handle foder efter pris pr. foderenhed, hvis en række foderblandinger har samme næringsstofindhold pr. foderenhed. Det giver samtidig mening at definere normer for de essentielle næringsstoffer pr foderenhed, da anvendelse af blandinger med samme indhold pr. foderenhed automatisk giver samme tildeling pr. kg tilvækst.

For energivurderingssystemet har der endvidere været nogle underordnede formål:

Energiindholdet skal være kontrollerbart

- i både fodermidler og blandinger
- til en overkommelig pris
- og med en acceptabel analysesikkerhed.

For proteinvurderingssystemet har formålet været:

- At få det bedst tilgængelige beregningssystem for de enkelte aminosyrers fordøjelighed – så man kan sikre sig, at optimering efter samme indhold af fordøjelig aminosyre pr foderenhed giver samme mængde aminosyre fordøjet pr foderenhed – uafhængig af hvilke fodermidler aminosyrerne kommer fra.

For aminosyrerne har kontrol af fordøjelighed været nedprioriteret, da det ikke vurderes muligt at få en nøjagtighed på in vitro bestemte aminosyrefordøjeligheder, som er tilstrækkelig til at adskille de forholdsvis små forskelle i aminosyrefordøjelighed, der kan være mellem færdigfoderblandinger, som anvendes til samme dyrekategori.

1. Det danske fodervurderingssystem - kort

Baggrund

Det danske fodervurderingssystem er udviklet ud fra ønsket om, at det skal være så fagligt korrekt som muligt, samtidig med at energiværdien skal være kontrollerbar med god nøjagtighed og til en overkommelig pris.

Et energivurderingssystemets nøjagtighed afhænger især af tre faktorer:

1. Det analysemæssige grundlag for foderets indhold (kemiske analyser)
2. Kendskabet til foderets fordøjelighed
3. De relative energiværdier af næringsstoffraktionerne og udformningen af den ligning, som beregner energiværdien.

I det danske system er hele vurderingen af energiværdien i praksis baseret på fire traditionelle kemiske analyser og to in vitro fordøjeligheder, da det har vist sig, at disse få analyser kan estimere de næringsstoffraktioner, som er nødvendige for at opnå en tilfredsstillende nøjagtighed på energivurderingen.

For at opnå den bedst mulige vurdering er det besluttet at anvende to energiværdier, nemlig:

- FEsv, som er foderenheden for grise i vækst: smågrise og slagtesvin
- FEso, som er foderenheden for søer, orner og polte over normal slagtevægt.

Analysegrundlaget er det samme, men der anvendes to forskellige ligninger til de to foderenheder.

1.1. Kemiske analyser og enzymfordøjelighed

Det nye fodervurderingssystem baseres på følgende kemiske analyser:

Tørstof, pct.

Råaske, pct. af tørstof

Råprotein ($N \times 6,25$), pct. af tørstof

Råfedt (syrehydrolyse + petroleumssæter), pct. af tørstof

Ovenstående kemiske analyser suppleres med in vitro analyser, som efterligner fordøjelsesprocesserne i grisenes fordøjelseskanal. Det nye fodervurderingssystem opererer med to in vitro analyser. Den første simulerer grisenes fordøjelse til enden af tyndtarmen (ileum), hvorfor betegnelsen enzymfordøjeligt organisk stof ved ileum (EFOSi). Den anden simulerer fordøjelighed af organisk stof over hele fordøjelseskanalen og betegnes enzymfordøjeligt organisk stof (EFOS).

Officiel kontrol af energi i foder er alene baseret på disse fire kemiske analyser og de to fordøjeligheder bestemt i reagensglas.

Der foreligger officielle analyseforskrifter for analyserne EFOS og EFOSi, se evt. appendiks 2.1 og 2.2. Ved EFOSi-analysen måles tørstof og aske før og efter inkubation i pepsin og pancreatin, som efterligner fordøjelsen i mave og tyndtarm. Ved EFOS-analysen måles ligeledes tørstof og aske før og efter enzyminkubationen. Der startes også her med pepsin og pancreatin, men i EFOS-analysen er der desuden et inkubationstrin med en enzymblending (Viscozyme), som efterligner fordøjelsen i tyktarmen.

Ved EFNi (enzymfordøjelig kvælstof ved ileum) anvendes samme metode som ved EFOSi, blot med den forskel, at man måler kvælstof i stedet for aske før og efter inkubationen. EFNi er ikke implementeret på praktiske laboratorier, og der anvendes i praksis kun tabelværdier ud fra analyser gennemført på DJF. Fodermiddelspecifikke værdier for EFNi anvendes kun i proteinvurderingssystemet, mens der ved energivurderingen anvendes en fast værdi.

1.2. Beregnede næringsstoffraktioner

I praksis er der indført en række forenklinger, som muliggør beregning af næringsstoffraktioner og energiværdi ud fra ovenstående analyser. Forenklingerne er, at der anvendes faste værdier for de reelle protein- og fedtfordøjeligheder (EFNi = 91 % og FKråfedt = 90 %), svarende til værdierne for typisk færdigfoder, hvor eventuelt tilsat fedt er svinefedt eller palmeolie. Derfor kan man på grundlag af de fire kemiske- og de to in vitro analyser beregne følgende næringsstoffraktioner:

Organisk stof: Org. stof

Org. stof, [g/kg ts] = 1.000, [g/kg ts] ÷ aske, [g/kg ts]

Reelt fordøjeligt råprotein ved ileum: RFRP

RFRP, [g/kg ts] = råprotein, [g/kg ts] × 0,91

Reelt fordøjeligt råfedt: RFRF

RFRF, [g/kg ts] = råfedt, [g/kg ts] × 0,9

Fermenterbare kulhydrater: FMK

FMK, [g/kg ts] = Org. stof, [g/kg ts] × (EFOS ÷ EFOSi)/70

Let fordøjelige kulhydrater: LFK

LFK, [g/kg ts] = Org. stof, [g/kg ts] × EFOS/100 ÷ RFRP, [g/kg ts] ÷ råfedt, [g/kg ts] × 0,97* ÷ FMK, [g/kg ts]

Ufordøjeligt tørstof ved ileum: UTSi

UTSi, [g/kg ts] = Org. stof, [g/kg ts] × (100 ÷ EFOS)/100 + FMK, [g/kg ts] + 0,07* × råfedt, [g/kg ts] + 0,3 × aske, [g/kg ts]

Fermenterbare kulhydrater til søer: FMKso

FMKso, [g/kg ts] = FMK, [g/kg ts] + 0,18 × Org. stof, [g/kg ts] × (100 ÷ EFOS)/100

* I disse ligninger tages der hensyn til, at fedtfordøjeligheden i gennemsnit er 97 % i EFOSi-metoden, mens den gennemsnitlige reelle fordøjelighed af råfedt kun er 90 % i grisene.

1.3. Energiværdi af næringsstoffraktionerne

Energifaktorerne er baseret på næringsstofferne fysiologiske energiværdi, der er mængden af energi, som grisen har til rådighed efter korrektion for tab i stofskiftet. Energiværdien er fastlagt ud fra den gennemsnitlige sammensætning af næringsstoffer i de anvendte næringsstoffraktioner, fx er proteinets værdi fastlagt ud fra aminosyresammensætningen i en typisk blanding af korn og sojaskrå.

I tabel 1.1 er næringsstoffraktionerne vist sammen med de energifaktorer, der anvendes ved beregninger i praksis.

Tabel 1.1. Næringsstoffraktioner og energiværdi i FEsv og FEso.

Næringsstoffraktion	FEsv, kJ/g	FEso, kJ/g
RFRP = Reelt fordøjeligt Råprotein, [g/kg ts]	9,9	9,9
RFRF = Reelt fordøjet råfedt, [g/kg ts]	31,7	31,7
LFK = Letfordøjeligt kulhydrat, [g/kg ts]	11,7	11,7
FMK = Fermenterbart kulhydrat, [g/kg ts]	7,0	-
FMKso = Fermenterbart kulhydrat, Søer, [g/kg ts]	-	9,0
UTSi = Ufordøjeligt tørstof ved ileum, [g/kg ts]	÷ 2,8*	÷ 2,8*

* Den negative værdi angiver, at UTSi medfører et energitab ved fordøjelsen på 2,8 kJ pr g UTSi

1.4. Ligninger til beregning af FEsv og FEso

I ligningerne nedenfor er næringsstoffraktionerne angivet som gram pr. kg tørstof og tilhørende energiværdi i kJ/g. Det bemærkes, at der anvendes de samme ligninger til fodermidler, færdigfoder og tilskudsfoder.

FEsv, pr. kg ts = (RFRP, [g/kg ts] × 9,9 kJ/g + RFRF, [g/kg ts] × 31,7 kJ/g + LFK, [g/kg ts] × 11,7 kJ/g + FMK, [g/kg ts] × 7,0 kJ/g ÷ UTSi, [g/kg ts] × 2,8 kJ/g) / 7.380 [kJ/FEsv]

FEso, pr. kg ts = (RFRP, [g/kg ts] × 9,9 kJ/g + RFRF, [g/kg ts] × 31,7 kJ/g + LFK, [g/kg ts] × 11,7 kJ/g + FMKso, [g/kg ts] × 9,0 kJ/g ÷ UTSi, [g/kg ts] × 2,8 kJ/g) / 7.700, [kJ/FEso]

Hvor

7.380 [kJ/FEsv] = skaleringsfaktor for omregning fra fysiologisk energi til foderenheder til voksende grise. Fastlagt så energiindholdet i FEsv er identisk med indholdet af FEs i en standardblanding til slagtesvin, hvor FEs er indholdet af foderenheder i det gamle fodervurderingssystem.

7.700 [kJ/FEso] = skaleringsfaktor for omregning fra fysiologisk energi til FEso, fastlagt så FEsv = FEso i vårbyg. (Gennemsnitanalyser af årets kornhøst 2003 + 2004)

Indsættes de reelle fordøjeligheder for råprotein (91 %) og råfedt (90 %), kan ligningerne sammenskriveres som følger:

$$\text{FEsv, pr. kg ts} = (\text{råprotein, [g/kg ts]} \times 9,01 \text{ kJ/g} + \text{råfedt, [g/kg ts]} \times 28,53 \text{ kJ/g} + \text{LFK, [g/kg ts]} \times 11,7 \text{ kJ/g} + \text{FMK, [g/kg ts]} \times 7,0 \text{ kJ/g} \div \text{UTSi, [g/kg ts]} \times 2,8 \text{ kJ/g}) / 7.380 \text{ [kJ/FEsv]}$$

$$\text{FEso, pr. kg ts} = (\text{råprotein, [g/kg ts]} \times 9,01 \text{ kJ/g} + \text{råfedt, [g/kg ts]} \times 28,53 \text{ kJ/g} + \text{LFK, [g/kg ts]} \times 11,7 \text{ kJ/g} + \text{FMKso, [g/kg ts]} \times 9,0 \text{ kJ/g} \div \text{UTSi, [g/kg ts]} \times 2,8 \text{ kJ/g}) / 7.700, \text{ [kJ/FEso]}$$

I ovennævnte ligninger kan indholdet af næringsstof pr. kg tørstof erstattes af indhold af næringsstof pr. kg vare, hvorved man får FEsv henholdsvis FEso pr. kg vare.

En samlet oversigt over udvalgte fodermidlers næringsstovværdi i relation til energivurderingen kan ses i tabel 1.2. Tabellen viser udvalgte fodermidlers analyseværdier, næringsstoffraktioner og energiværdi, som er baseret på ovenstående ligningssystem. Bemærk, at tabellen ikke opdateres, men alene viser aktuelle tabelværdier primært fra 2004 analyser.

Anvendelse af 7.700 kJ pr. foderenhed (FEso) til søer medfører, at letfordøjelige fodermidler får lavere værdi til søer end til slagtesvin, hvor der er 7.380 kJ pr. foderenhed (FEsv). Omvendt får fodermidler med lavt energiindhold højere værdi til søerne. I kJ får søerne enten det samme eller højere værdi for alle fodermidler. Anvendelse af en separat foderenhed for søer har som effekt i praksis, at lavenergifodermidler i højere grad er attraktive i sofoder, hvor udnyttelsen af disse fodermidler er større end hos de voksende grise.

Tabel 1.2. Udvalgte fodermidlers næringsstofværdi i relation til energivurdering.

Fodermiddel	Analyseret Indhold						Beregnet Fraktion						Energiværdi	
	Tørstof	Aske	Råprotein	Råfedt	EFOSi	EFOS	RFRP	RFRF	LFK	FMK	FMKso	UTSi	FEsv	FEso
	Pct.	% i ts	% i ts	% i ts	Pct.	Pct.	g/kg ts	g/kg ts	g/kg ts	g/kg ts	g/kg ts	g/kg ts	FEsv/kg ts	FEso/kg ts
Vårbyg ¹	85,0	2,3	10,8	3,1	79,3	84,5	98	28	624	73	101	234	1,22	1,22
Rug	85,0	2	9,7	2,1	83,4	90,3	88	19	680	97	114	199	1,29	1,29
Hvede ¹	85,0	1,9	11,5	2,4	86,9	91,2	104	22	706	61	77	155	1,35	1,33
Tritikale	85,0	2,1	10,9	2,5	85,5	91,4	99	22	689	82	98	175	1,33	1,32
Havre	85,0	2,6	9,8	5,4	65,4	67,9	89	49	485	35	91	359	0,99	1,03
Majs	87,5	1,5	9,6	4,6	88,2	90,3	87	41	728	30	47	133	1,43	1,39
Sojaskrå	87,6	7,4	48,7	2,9	72,2	91,3	443	26	121	253	267	358	1,00	1,04
Sojaskrå, afsk.	87,0	6,2	3,2	0,8	86	90	487	25	123	242	250	312	1,07	1,10
HP 300	92,1	7,6	60,2	2,6	76,2	93,1	548	23	64	223	235	312	1,03	1,06
Rapsskrå	88,2	8,4	38,8	4,2	58,3	79,0	353	38	59	271	305	492	0,80	0,88
Rapskage	89,0	6,8	32,7	16,4	60,7	82	298	148	23	284	314	484	1,16	1,22
Solsikkekrå	89,0	8,6	41,7	3,0	61,7	77,7	379	27	93	209	246	441	0,80	0,87
Fiskemel	90,9	15,8	77,5	8,4	94,5	94,4	705	76	9	-1	7	100	1,25	1,20
Kartoffelprotein	90	0,6	87,3	2,6	90	90	794	23	75	0,0	18	103	1,25	1,22
Hvedekliid	87,1	5,8	18,3	4,6	50,6	63,4	167	41	214	172	234	538	0,70	0,79
Roepiller, umel.	88,4	7,0	9,6	1,2	36,9	87,6	87	11	42	674	694	811	0,56	0,74
Valle B	7,0	10,0	4,7	0,7	98	99	43	6,3	828	13	14	52	1,20 ⁴	1,15 ⁴
Gærfløde, NOVO	14,7	9,7	50,4	4,10	76,9	90,7	459	37	143	178	193	294	1,06	1,08
Roemelasse	74	12,7	13,0	0,1	97,5	99,8	118	0,9	723	29	29	69	1,05 ⁴	1,01 ⁴
Svinefedt	99,0	0,0	0,0	100,0	97,5	97,5	0	900	0	0	5	100	3,83	3,67
Methionin	99,7	0	58,7	0	100	100	534	0	466 ²	0	0	0	1,46	1,39
Lysin, HCL	98,5	20	94,8	0	100	100	863	0	-63 ²	0	0	60	1,04	0,99
Treonin	99,5	0	72,4	0	100	100	659	0	341	0	0	0	1,43	1,37
Kridt	99,5	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	300	-0,11 ³	-0,11 ³

¹ Gennemsnit af 2003 og 2004 høst

² For aminosyrer opstår LFK-fraktionen, fordi $N \times 6,25$ (råprotein) afviger fra 100 % af organisk stof

³ Negativ værdi fremkommer, fordi mineraler ikke har positive energibidrag, men medfører et energitab til fordøjelsen. (UTSi-bidraget, nemlig $0,3 \times$ aske, $[g/kg\ ts] \times (-2,8)$ [kJ/g])

⁴ De generelle ligninger gælder ikke for valle og roemelasse, hvor FEsv og FEso er regnet med en korrektionsfaktor på 0,86 henholdsvis 0,80

1.5. Afvigende fodermidler og energivurderingssystemets begrænsninger

I praksis har det vist sig, at der er enkelte fodermidler, hvor den generelle kontrolligning ikke er tilstrækkelig præcis, nemlig melasse, valle og visse fedttyper. Alle andre fodermidler håndteres indtil videre med de generelle ligninger.

Disse fodermidler, hvor den generelle ligning ikke regner korrekt, håndteres ved, at der indføres en korrektionsfaktor, så

FEsv = FEsvkontrolligning x korrektionsfaktor

FEso = FEsokontrolligning x korrektionsfaktor

Hvor "FEsvkontrolligning" og "FEsokontrolligning" er de ligninger fra forrige afsnit, som anvendes ved kontrol af foderets energiindhold.

Der er to kriterier for, om et fodermiddel kan håndteres med den generelle ligning, eller om fodermidlet skal have en korrektionsfaktor. For at få en korrektionsfaktor skal begge kriterier være opfyldt:

1. De generelle ligninger skal give en værdi for FEsv eller FEso, som er minimum 3 procent forkert ud fra kendt viden, hvor kendt viden både kan være påvirkning af foderudnyttelse i fodringsforsøg og viden om næringsstoffraktionernes sammensætning (Fx at LFK-fraktionen har væsentlig lavere værdi end stivelse).
2. Ved normal anvendelse af fodermidlet skal fejlen kunne medføre en fejl på minimum 0,5 FEsv pr. 100 kg færdigfoder.

Sidstnævnte betyder, at tilsætningsstoffer som organiske syrer, aminosyrer m.m. kan håndteres med den generelle ligning uden hensyn til de indgående næringsstoffers nøjagtige fysiologiske energiværdi. Konsekvensen er, at tilsætningsstoffer indregnes til samme værdi, som de vil indgå med i den officielle kontrol af energi i færdigfoder.

Baggrunden for de valgte korrektionsfaktorer findes i appendix 1.c (valle og melasse) og i kapitel 5 (fedt). De aktuelle fodermidler med korrektionsfaktorer er vist i tabel 1.3.

Tabel 1.3. Kontrolværdi, korrektionsfaktor og anbefalet anvendt energiværdi (FEsv) for "afvigende" fodermidler. (FEsv = FEsvkontrol × korrektionsfaktor)

Fodermiddel	FEsvkontrol (FEsv/kg tørstof)	FEsv (FEsv/kg tørstof)	Korrektionsfaktor
Roemelasse	1,31	1,05	0,80
Rørmelasse	1,27	1,02	0,80
Valle (små forskelle i FEsvkontrol mellem typer)	Ca. 1,40	ca. 1,20	0,86
Soja-, raps- og solsikkeolie (99,5 % fedt i ts)	3,81	4,04	1,06
Bl. fedt af palmeolie og PFAD (99,5 % fedt i tørstof)	3,81	3,58	0,94
Fedt med mindre end 90 % fedtsyrer			Formel ¹
Eksempel på restfedt med 99,5 % råfedt i tørstof og 70 % fedtsyrer af råfedt	3,81	2,84	0,76 ¹

¹ Korr. faktor fedt med under 90 pct. fedtsyrer i tørstof =
(råfedt, [g/kg ts] × (% fedtsyrer af råfedt / 100) × 31,7 [kJ/g]) + (1.000 g + pct. fedtsyrer af råfedt × 10) × 2,8 [kJ/g]) / 28.107 kJ,
hvor 28.107 kJ er energiindholdet for standardfedt med en fordøjelighed på 90 pct. og med 99,5 pct. råfedt i tørstof. Korrektionsligningen forudsætter smeltepunkt under ca. 40 °C, da fordøjeligheden kan være endnu lavere ved højere smeltepunkt.

De anvendte korrektionsfaktorer fra tabel 1.3. forventes at fungere, så længe disse fodermidler anvendes normalt. Af appendix 1.c.1. fremgår fx, at foderværdien af valle falder betydeligt, hvis valle udgør mere end ca. 20 pct. af blandingens energiindhold, fordi laktosetildelingen overstiger grisenes laktasekapacitet.

Generelt gælder for fodervurderingssystemet, at der forventes god sammenhæng mellem de analyserede foderenheder og grisenes foderudnyttelse, så længe foderet er indenfor normalområdet.

De generelle ligninger har dog også visse begrænsninger. Det er fx ikke muligt at tage højde for, at mere end ca. 15 pct. rapsprodukter både medfører reduceret foderoptagelse og lidt forringet foderudnyttelse, formentlig pga. for højt glucosinolatindhold i foderet (se kapitel 7). I praksis håndteres indhold af skadelige stoffer med anbefalinger for maksimal iblanding.

Tilsvarende kan kontrolanalyserne ikke forudsige effekten af kulhydratspaltende enzymer, idet effekten af fx produktet Porzyme 9300 er ca. 1 foderenhed pr. 100 kg foder for de kontrollerbare foderenheder, mens effekten på grisene er ca. 3 pct. forbedret foderudnyttelse. Enzymerne håndteres rent beregningsteknisk ved oprette "fodermidler med enzym", hvor EFOSi er hævet ud fra in vitro forsøgsdata. For Porzyme 9300 hæves EFOSi med 0,9 pct. for hvede og hvedeklid, med 0,8 pct. for tritikale, med 0,7 pct. for rug og med

0,5 pct. for byg. Der er i skrivende stund endnu ikke data for andre enzymeres effekt på in vitro fordøjelighederne. Der findes ingen effekt af organiske syrer på de analyserbare foderenheder, selv om organiske syrer ofte forbedrer foderudnyttelsen hos især smågrise. Organiske syrer indregnes derfor kun med den energiværdi, som opstår, fordi de beregningsmæssigt bidrager til foderets indhold af let fordøjelige kulhydrater (LFK).

En foderblanding med indhold af organiske syrer og / eller kulhydratspaltende enzymer vil derfor ofte give en bedre foderudnyttelse i FEsv pr. kg tilvækst end en blanding uden syrer og enzymer – når foderudnyttelsen måles som "kontrollerbare foderenheder" pr. kg tilvækst.

1.6. Kontrol af energi i foderblandinger

Bestemmelse af indholdet af FEsv og FEso i foderblandinger sker som nævnt med kemiske analyser for vand, aske, råprotein og råfedt og med bestemmelse af in vitro fordøjelighederne EFOS og EFOSi. Herefter kan næringsstoffraktionerne beregnes og indholdet af FEsv og FEso bestemmes med de generelle ligninger.

I sommeren 2003 blev der gennemført en ringanalyse på 7 foderstoflaboratorier for at få den nye analyse af foderenheder med hjælp af EFOSi til at fungere i praksis. Samme ringanalyse blev anvendt til at vurdere, hvor stor latituden skulle være ved kontrol af færdigfoder, da den nye metode til bestemmelse af foderenheder blev taget i officiel brug den 1. april 2004.

Ringanalyserne viste, at målesikkerheden på samme neddelte færdigfoderprøve var ca. ± 3 FEsv mellem laboratorier (ca. 95 % indenfor ± 3 FEsv). Analysenøjagtigheden er den samme for FEso. Til gengæld er analysesikkerheden på nogle fodermidler en smule dårligere, og den samlede konklusion er, at der anvendes en latitude på 4 FEsv ved kontrol af færdigfoder. Det betyder, at de analyserede foderenheder skal være minimum 4,5 FEsv eller FEso mindre end de deklarerede, for at prøven kan klassificeres som en "dumper".

Efter justering af ligningerne (i 2006) til beregning af FEsv og FEso er der lavet en genberegning af ringanalysen. Denne viste, at ændringen af ligningerne ikke har praktisk betydning for sikkerheden på bestemmelsen af foderenheder og derfor ikke påvirker latituden.

1.7. Proteinvurdering i det nye system

Det nye proteinvurderingssystem er baseret på standardiserede ileale fordøjeligheder, fordi dette er vurderet at være det bedste mål for aminosyrer til rådighed for grisens stofskifte. I det nye system er der en fordøjelighed for hver enkelt essentiel aminosyre i alle fodermidler.

Basis for proteinvurderingen af et fodermiddel er en kemisk analyse af råproteinmængden kombineret med tabelværdier for aminosyreindholdet i procent af råprotein. For byg og hvede anvendes dog regressionsligninger, hvormed aminosyreindholdet i procent af råprotein beregnes som funktion af råproteinindholdet.

Der anvendes tabelværdier for den standardiserede proteinfordøjelighed på hovedparten af fodermidlerne. Undtagelsen til denne regel er korn og kornbiprodukter, hvor fordøjeligheden beregnes ud fra ligningen:

$$\text{ST. FK, Råprotein} = \frac{\text{Råprotein [g/kg ts]} \times \frac{\text{EFNi}}{100} \div 0,066 \text{ [g/g UTSi]} \times \text{UTSi [g UTSi/kg ts]}}{\text{Råprotein [g/kg ts]}} \times 100$$

I ligningen anvendes fodermiddelspecifikke tabelværdier for EFNi, mens UTSi beregnes efter aktuelle EFOS-analyser. Som eksempel vises nedenfor beregningerne for vårbyg 2004 – og de anvendte værdier for vårbyg 2004 er opsummeret i tabel 1.4.

I det nye system er det rent beregningsteknisk valgt at relatere aminosyrernes fordøjelighed til proteinfordøjeligheden, hvorved aminosyrens relative fordøjelighed udtrykkes. Denne omregning til relative fordøjeligheder muliggør, at hvis fx proteinfordøjeligheden ændres, så vil aminosyrefordøjelighederne automatisk blive justeret tilsvarende. Proteinfordøjeligheden i korn ændres, hvis man ændrer proteinindhold eller EFOS-værdier.

En samlet oversigt over udvalgte fodermidlers protein- og aminosyretilgængelighed i relation til proteinvurderingen kan ses i tabel 1.5.

Eksempel på beregninger og værdier for vårbyg

I praksis er beregningerne for fordøjelig lysin i byg som følger – ud fra analyseværdierne i tabel 1.4:

$$\begin{aligned} \text{Lysin [\% af råprotein]} &= 5,41 \div 0,15 \times \text{Råprotein, [\% i tørstof]} = 5,41 \div 0,15 \times 10,8 = 3,79 \\ \text{Lysin [g/kg ts]} &= \text{Råprotein, [g/kg ts]} \times \text{Lysin, [\% af råprotein]} / 100 = 108 \times 3,79 / 100 = 4,09 \end{aligned}$$

Og fordøjelighedskoefficienten (ST. FK., Råprotein) beregnes som følger:

$$\text{ST. FK, Råprotein} = \frac{108 \text{ [g/kg ts]} \times \frac{90}{100} \div 0,066 \text{ [g/g UTSi]} \times 230 \text{ [g UTSi/kg ts]}}{108 \text{ [g/kg ts]}} \times 100 = 76\%$$

Beregning af standardiseret fordøjeligt lysin pr. kg tørstof (ST. F., Lysin) er følgende:

$$\begin{aligned} \text{ST. F., Lysin [g/kg ts]} &= \text{Lysin [g/kg ts]} \times (\text{ST. FK, Råprotein} / 100) \times \text{relativ fordøjelighed, lysin} \\ &= 4,09 \times 76/100 \times 0,94 = 2,92 \text{ [g/kg ts]} \end{aligned}$$

Eller pr. FEsv:

$$\text{ST. F., Lysin [g/FEsv]} = 2,92 \text{ [g/kg ts]} / 1,22 \text{ [FEsv/kg ts]} = 2,39 \text{ [g/FEsv]}$$

Tabel 1.4. Proteinvurdering af vårbyg, tabelværdier 2004 høst.

Protein	%	Aminosyre		
			% af råprotein	Relativ fordøjelighed
Råprotein i tørstof	10,8	Lysin	3,79	0,94
EFNi	90	Methionin	1,72	1,08
UTSi i tørstof	23	Cystin	2,39	1,03
ST.FK, råprotein.	76	Treonin	3,52	0,95

Tabel 1.5. Standardiserede protein- og relative aminosyrefordøjeligheder for udvalgte fodermidler.

Fodermiddel	Ford.		St. Ford. aminosyre (%)																					
	Råprotein		Lys		Met		Cys		Tre		Try		Iso		Leu		His		Fen		Tyr		Val	
	EFNi	ST.FK.	ST.FK ²	Rel ³	ST.FK	Rel	ST.FK	Rel	ST.FK	Rel	ST.FK	Rel	ST.FK	Rel	ST.FK	Rel	ST.FK	Rel	ST.FK	Rel	ST.FK	Rel	ST.FK	Rel
Vårbyg 04 ¹	90	76	71	0,94	82	1,08	78	1,03	72	0,95	73	0,96	76	1,00	77	1,01	76	1,00	79	1,04	74	0,97	73	0,96
Rug	90	77	75	0,97	80	1,04	78	1,01	68	0,88	76	0,99	77	1,00	79	1,03	79	1,03	82	1,06	77	1,00	76	0,99
Hvede 04 ¹	93	84	77	0,92	84	1,00	82	0,98	78	0,93	83	0,99	83	0,99	84	1,00	83	0,99	86	1,02	84	1,00	81	0,96
Tritikale ¹	93	84	82	0,98	88	1,05	87	1,03	80	0,95	77	0,92	85	1,01	85	1,01	87	1,03	89	1,06	84	1,00	82	0,98
Havre ¹	91	69	72	1,04	79	1,15	66	0,95	63	0,92	74	1,07	76	1,10	77	1,12	80	1,16	80	1,16	77	1,11	75	1,08
Majs ¹	91	86	76	0,88	88	1,02	85	0,99	80	0,93	74	0,86	85	0,99	89	1,03	84	0,98	86	1,00	88	1,02	83	0,97
Sojaskrå	95	88	88	1,00	90	1,02	85	0,97	85	0,97	90	1,02	87	0,99	86	0,98	89	1,01	88	1,00	87	0,99	85	0,97
Sojaskrå, afsk.	96	88	90	1,02	92	1,05	89	1,01	87	0,99	91	1,03	89	1,01	88	1,00	90	1,02	90	1,02	90	1,02	89	1,01
HP 300	96	93	94	1,01	94	1,01	91	0,98	90	0,97	92	0,99	94	1,01	93	1,00	90	0,97	93	1,00	91	0,98	92	0,99
Rapskrå	86	76	77	1,01	87	1,14	81	1,07	76	1,00	75	0,99	78	1,03	81	1,07	83	1,09	81	1,07	79	1,04	77	1,01
Rapskage	86	76	77	1,01	87	1,14	81	1,07	76	1,00	75	0,99	78	1,03	81	1,07	83	1,09	81	1,07	79	1,04	77	1,01
Solsikkekrå	93	84	81	0,96	89	1,06	85	1,01	82	0,98	85	1,01	83	0,99	83	0,99	85	1,01	85	1,01	83	0,99	82	0,98
Fiskemel	95	91	93	1,02	96	1,05	89	0,98	94	1,03	91	1,00	93	1,02	94	1,03	91	1,00	93	1,02	86	0,95	93	1,02
Kartoffelprotein	90	89	88	0,99	90	1,01	71	0,80	86	0,97	71	0,80	86	0,97	88	0,99	86	0,97	89	1,00	85	0,96	87	0,98
Hvedeklid ¹	82	65	65	1,00	72	1,10	68	1,04	67	1,03	68	1,04	70	1,07	70	1,08	75	1,15	73	1,13	74	1,14	68	1,04
Roepiller	83	50	52	1,04	61	1,22	22	0,44	30	0,60	41	0,82	60	1,20	59	1,18	59	1,18	51	1,02	52	1,04	42	0,84
Valle B	98	76	68	0,89	81	1,06	79	1,04	77	1,01	82	1,08	80	1,05	83	1,09	80	1,05	78	1,02	85	1,12	80	1,05
Gærfløde, NOVO	95	85	85	1,00	85	1,00	85	1,00	85	1,00	85	1,00	85	1,00	85	1,00	85	1,00	85	1,00	85	1,00	85	1,00
Roemelasse	90	50	50	1,00	50	1,00	50	1,00	50	1,00	50	1,00	50	1,00	50	1,00	50	1,00	50	1,00	50	1,00	50	1,00

¹ Den standardiserede proteinfordøjelighed er beregnet fra in vitro analyser og ændrer sig løbende, hvis analysegrundlaget ændres.

² Standardiserede aminosyrefordøjelighed: ST. FK.

³ Relativ aminosyrefordøjelighed: Rel.

2. Analysegrundlag og næringsstofffraktioner

Baggrund

For at kunne angive fodermidlers næringsværdi er det første skridt at gennemføre en opdeling i nogle kemiske hovedgrupper. Den traditionelle fodermiddelanalyse (Weende analyse), der er udviklet for mere end hundrede år siden, har lagt fundament til nutidens fodermiddelanalyse. Et fodermiddel opdeles i en række fraktioner, som for flere af fraktionerne tildeles betegnelsen "Rå", hvilket tilkendegiver, at indholdet ikke er et stof eller en stofgruppe, men det er en andel, der opnås med den givne analyseteknik. I det følgende beskrives de analyser og antagelser, som det nye fodervurderingssystem er baseret på.

2.1. Kemiske analyser

Tørstof: Tørstofbestemmelse udføres på en findelt prøve og tørres indtil konstant vægt ved ca. 105°C.

Råaske: Indholdet af aske bestemmes vægtmæssigt, som den del af fodermidlet der bliver tilbage efter foraskning til konstant vægt ved ca. 500 °C.

Råprotein: Råproteinindholdet ($N \times 6,25$) kan bestemmes efter Kjeldahl- eller Dumasmetsoden. Ved Kjeldahl metoden destrueres prøven med svovlsyre, hvorved mængden af kvælstof omdannes til ammoniak som bestemmes ved titrering efter destillation. Dumasmetsoden er baseret på fuldstændig forbrænding af prøven og efterfølgende bestemmelse af de frigjorte kvælstofgasser.

Råfedt: Råfedt indholdet bestemmes efter den officielle EU metode, hvor fodermidlet/foderet forbehandles ved kogning i saltsyre og efterfølgende ekstraheres med petroleumsæter. Denne metode anvendes, fordi den ekstraherede fedtmængde med denne metode er meget tæt på mængden af triglycerid – se kapitel 5.

Ved at anvende syrehydrolyse sammen med ekstraktionsmidler som diethylæter eller kloroform vil man finde mere "fedt" i foderet, men merindholdet vil ikke kunne tillægges samme energiværdi som triglyceriderne. Anvendes omvendt fedtanalyser uden syrehydrolyse, vil man finde for lidt fedt, så den analyserede fedtmængde er mindre end mængden af triglycerider i foderet.

2.2. In vitro analyser

Ovenstående kemiske analyser suppleres med in vitro analyser, som simulerer fordøjelsesprocesserne i dyrenes fordøjelseskanal. Det nye fodervurderingssystem opererer med to in vitro analyser. Den første simulerer grisenes fordøjelse til ileum, hvorfor betegnelsen enzymfordøjeligt organisk stof ved ileum (EFOSi). Den anden simulerer fordøjeligheden af organisk stof over hele fordøjelseskanalen og betegnes enzymfordøjeligt organisk stof (EFOS). Nedenstående er en kort beskrivelse af princippet bag in vitro analyserne. Hele analyseforskriften findes i appendiks.

EFOSi: Foderprøven (ca. 0,5 g formalet på 1 mm sold) inkuberes med pepsin og saltsyre ved pH 2,0 i 1¼ time, efterfulgt af pancreatin (multi-enzymekstrakt fra grisens bugspytkirtel) ved pH 6,8 i 18 timer. Opløst, men unedbrudt protein fældes med sulfosalicylsyre. Uopløst og fældet prøve-materiale opsamles ved filtrering og tørres. Opløseligheden (fordøjeligheden) af organisk stof beregnes ved at sammenholde bestemmelserne af tørstof og aske efter enzymbehandlingen med tørstof og aske i den oprindelige prøve.

EFOS: Foderprøven inkuberes med pepsin og saltsyre i 1¼ time (pH 2,0), efterfulgt af pancreatin i 3½ time (pH 6,8) og viscozym (multi-enzymekstrakt indeholdende mikrobielle karboanhydraser: arbinase, cellulase, β-glucanase, hemicellulase, xylanase og pectinase) ved pH 4,8 i 18 timer. Uopløst prøvemateriale filtreres fra, tørres og foraskes. Opløseligheden (fordøjeligheden) af organisk stof beregnes ved at sammenholde bestemmelserne af tørstof og aske efter enzymbehandlingen med tørstof og aske i den oprindelige prøve.

EFOS-analyserne er således et udtryk for den potentielle fordøjelighed af foderet, hvilket skyldes, at de måles under et overskud af enzymer og på en meget fint formalet prøve.

2.3. Faste værdier for fordøjelighed af protein og fedt i energiberegningen

EFNi: Enzym fordøjeligt kvælstof ved ileum (EFNi) er ligeledes en in vitro analyse, som simulerer fordøjelsen af kvælstof til ileum. Analyseværdien forventes at svare til proteinets reelle fordøjelighed - se kapitel 3 for definition af fordøjelsesbegreber. Ved EFNi anvendes stort set samme metode som ved EFOSi, blot med den forskel, at man måler kvælstof i stedet for askeindholdet før og efter inkubationen. Det skal dog bemærkes, at inkubationstiden med pepsin er længere i EFNi-metoden end i EFOSi forskriften, og at analysen kun foretages af Danmarks Jordbrugsforskning.

Ved beregning af næringsstoffraktioner sættes EFNi til 91 pct. Det har vist sig, at EFNi kun varierer lidt i foderblandinger og at anvendelse af den aktuelt målte EFNi kun marginalt ændrer energiindholdet – selv i fodermidler med både højt proteinindhold og en EFNi-værdi, som afviger markant fra 91. Det er derfor vurderet, at man kan undvære den aktuelle EFNi-værdi i energiberegningen, da den i praksis ikke kan kontrolleres på de almindelige foderstoflaboratorier.

Fodermiddelspecifikke tabelværdier for EFNi anvendes dog i proteinvurderingssystemet, se kapitel 8.

FKråfedt: Råfedts reelle fedtfordøjelighed betegnes FKråfedt. I beregningen af næringsstoffraktioner anvendes en generel værdi på 90 pct. for fedtfordøjeligheden. Denne værdi er valgt ud fra de mest anvendte fedtkilder (svinefedt og palmeolieprodukter) og ud fra en vurdering af, at den reelle fordøjelighed af fedt i de anvendte vegetabiliske fodermidler vil ligge i intervallet 90-95 pct.

Antagelsen skyldes, at rene planteolier med et smeltepunkt under grisens legemstemperatur har målte reelle fordøjeligheder på 90-95 pct. – og at det forventes, at det samme vil gælde for de 2-15 pct. fedt, der typisk er i vegetabiliske fodermidler. Det skyldes, at triglyceridindholdet i fodermidler udgør 90-100 pct. af den analyserede fedtmængde, og at fedtet i alle anvendte fodermidler i praksis har et smeltepunkt under grisens legemstemperatur - se kapitel 5.

Rene fedtkilder kan have en betydende afvigelse fra den generelle værdi på 90 pct. – og disse fedttyper håndteres med anvendelse af en korrektionsfaktor, se kapitel 1 og 5.

I øvrigt har en test på fodermidler og blandinger vist, at fedt uanset oprindelse fordøjes med 96-99 pct. (gns. 97 pct.) i EFOSi-analysen – og at analysemetoden ikke kan skelne mellem fedttyper, som har forskellig fordøjelighed i grisene.

Valget af værdien 90 pct for reel fordøjelighed betyder, at de vigtigste fedtkilder palmeolie og svinefedt kontrolleres til samme værdi i færdigfoder, som der regnes med på de rene fedtkilder, hvilket er en forudsætning for fuldstændig additivitet fra fodermiddel til blandinger.

2.4. Næringsstoffraktioner

Bestemmelse af næringsstoffraktionernes tilgængelighed er i det nye fodervurderingssystem udelukkende baseret på reelle fordøjeligheder, der udtrykker den andel af en næringsstoffraktion, som reelt absorberes. In vitro fordøjelighederne kan opfattes som den reelt fordøjelige andel af det organiske stof. En detaljeret beskrivelse af sammenhængen mellem reelle fordøjeligheder og tilsyneladende fordøjeligheder (det man direkte kan måle på grisene) er fremstillet i næste kapitel.

På baggrund af kemiske/in vitro analyser kan man beregne næringsstoffraktioner med flg. ligninger:

Organisk stof: Org. stof

Org. stof, [g/kg ts] = 1.000, [g/kg ts] ÷ aske, [g/kg ts]

Reelt fordøjeligt råprotein ved ileum: RFRP

RFRP, [g/kg ts] = råprotein, [g/kg ts] × EFNi = råprotein, [g/kg ts] × 0,91

Reelt fordøjeligt råfedt: RFRF

RFRF, [g/kg ts] = råfedt, [g/kg ts] × FKråfedt = råfedt, [g/kg ts] × 0,90

Fermenterbare kulhydrater: FMK

FMK, [g/kg ts] = Org. stof, [g/kg ts] × (EFOS ÷ EFOSi)/70

Hvor faktoren 70 i ligningen svarer til, at forskellen mellem EFOS og EFOSi kun reelt bestemmer 70 pct. af de fermenterbare kulhydrater. Dette skyldes, at diverse oligosakkarider og andre vandopløselige "fibre" bestemmes fordøjelige ved EFOSi-metoden, da de er for små til at opfanges i sien. Men da disse "fibre" forgæres i grisens mavetarmkanal, skal de medregnes blandt de fermenterbare kulhydrater. Anvendelse af faktoren 70 har vist sig at være brugbar på tværs af fodermidler - da det får de beregnede letfordøjelige kulhydrater til at være lig med målte værdier af stivelse + sukker - se tabel 2.3.

Let fordøjelige kulhydrater: LFK

LFK, [g/kg ts] = Org. stof, [g/kg ts] × EFOS/100 ÷ RFRF, [g/kg ts] ÷ 0,97 × råfedt, [g/kg ts] ÷ FMK, [g/kg ts]

Hvor faktoren 0,97 svarer til, at råfedtfordøjeligheden i EFOS-metoden som nævnt er 97 pct.

Ufordøjeligt tørstof ved ileum: UTSi

UTSi, [g/kg ts] = Org. stof, [g/kg ts] × (100 ÷ EFOS)/100 + FMK, [g/kg ts] + 0,07 × råfedt, [g/kg ts] + 0,3 × aske, [g/kg ts]

Faktoren 0,3 refererer til den ufordøjelige del af askefraktionen, hvor værdien er fastsat med udgangspunkt i den maksimale fordøjelighed af kridt og monocalciumfosfat, og hvor 0,07 er den del af fedtet, som fordøjles i EFOS-metoden, men ikke i grisen. (97 pct. i EFOS-metoden og 90 pct. i grisen).

Fermenterbare kulhydrater til søer: FMKso

FMKso [g/kg ts] = FMK til søer = FMK, [g/kg ts] + 0,18 × Org. stof, [g/kg ts] × (100 ÷ EFOS)/100

Hvor faktoren 0,18 i ligningen korrigerer for, at søer fordøjer 18 pct. mere af den for slagtesvin ufordøjelige organiske rest. Faktoren kan udledes på baggrund følgende:

- Den generelle ligning som beskriver sammenhængen mellem tilsyneladende energifordøjelighed FKenergi og EFOS hos slagtesvin: $FKenergi, \text{ slagtesvin} = \div 14 + 1,106 \times EFOS$ [1].
- I forsøg med fiberrige fodermidler til svin er det fundet, at sammenhængen mellem in vivo energifordøjeligheden for søer og slagtesvin kan beskrives ved:
 $FKenergi, \text{ søer} = 16,6 + 0,82 \times FKenergi, \text{ slagtesvin}$ [2]
- Hvis de to lineære ligninger kombineres fås:
 $FKenergi, \text{ søer} = 16,6 + 0,82 \times (\div 14 + 1,106 \times EFOS) = 5 + 0,91 \times EFOS$.
- Derfor er den merfordøjelige andel for søer (Merford, søer) givet ved:
 $Merford, \text{ søer} = FKenergi, \text{ søer} \div FKenergi, \text{ slagtesvin}$
 $= 5 + 0,91 \times EFOS \div (\div 14 + 1,106 \times EFOS)$
 $= 19 \div 0,196 \times EFOS$
 $= 19,6 \div 0,196 \times EFOS \div 0,6$
 $= 0,196 \times (100 \div EFOS) \div 0,6$
 $\approx 0,18 \times (100 \div EFOS), \text{ for } EFOS \in [50;90]$

Ovenstående approksimation er gjort for at forenkle ligningen for FMKso, da EFOS værdierne i praksis ligger i intervallet fra 50-90 pct. Rimeligheden af approksimation ses i tabel 2.2, hvor det ses, at der er god overensstemmelse mellem "original" ligningen og den tilnærmede ($FKenergi, \text{ søer} = FKenergi, \text{ slagtesvin} + 0,18 \times (100 \div EFOS)$) i intervallet 50-90 pct. EFOS.

Ligeledes kan det bemærkes, at merfordøjeligheden af energi for søer stiger med faldende EFOS-værdi, hvilket skyldes, at søer har en højere fordøjelseskapacitet af specielt fiberfraktionen.

Tabel 2.2. Forskel mellem slagtesvin og søer på in vivo tilsyneladende energifordøjelighed.

EFOS	FKenergi, slagtesvin	FKenergi, søer	FKenergi, søer
	$\div 14 + 1,106 \times \text{EFOS}$	$5 + 0,91 \times \text{EFOS}$	$\text{FKenergi, sl} + 0,18 \times (100 \div \text{EFOS})$
50	41,3	50,5	50,3
60	52,4	59,6	59,6
70	63,4	68,7	68,8
80	74,5	77,8	78,1
90	85,5	86,9	87,3

2.5. LFK-fraktionens sammenhæng til stivelse og sukker

Da LFK-fraktionen er den dominerende energikilde i det nye fodervurderingssystem, er det af interesse at sammenligne LFK-fraktionens mængde med summen af stivelse og sukker, som er nedbrydeligt med grisens egne enzymer. Sammenligningen er vist i tabel 2.3. Det bør bemærkes, at nogle af værdierne for stivelse og sukker er taget fra et hollandsk tabelværk, da det vurderes, at disse i nogle tilfælde er mere repræsentative end danske analyser. For nogle fodermidler foreligger der ikke danske analyser af stivelse og sukker.

Det ses af tabel 2.3, at der generelt er god overensstemmelse mellem LFK-fraktionen og summen af stivelse og sukker på de udvalgte fodermidler. Dette er på trods af, at der er valgt fodermidler med et meget varierende LFK-indhold – det vil sige fra fiskemel med et LFK indhold på næsten 0 til majs med næsten 73 pct. LFK i tørstoffet.

Tabel 2.3. LFK-fraktionens sammenhæng til stivelse og sukker.

	LFK-aktuel ²	LFK-91 ²	Stivelse + Sukker	Reference
	% i tørstof	% i tørstof	% i tørstof	
Vårbyg	65,1	65,0	63,7 ¹	[3] / [4]
Hvede	71,5	71,7	70,4 ¹	[3] / [4]
Tritikale	68,7	68,9	67,6	[5]
Havre	48,5	48,5	47,1 / 45,0	[4] / [5]
Majs	72,8	72,8	70,7 / 72,6	[4] / [5]
Ærter	45,9	47,2	47,6 / 51,9	[4] / [5]
Sojaskrå	10,2	12,1	10,4	[4]
Sojaskrå, afsk.	9,6	12,3	10,0	[5]
Rapsskrå	7,8	5,9	8,4	[4]
Solsikkeskrå	9,3	9,3	10,2	[5]
Fiskemel	-2,2	0,9	0,0	[5]
Hvedeklid	22,8	21,4	22,8 / 17,5	[4] / [5]
Roepiller, umelasserede	4,9	4,2	3,2 / 5,9	[4] / [6]
Roepiller, melasserede	19,6	18,9	18,5	[6]

¹ En middelværdi af 14 sorter, hvor der både er stivelse (NIT = near infrared transmission) og EFOSi-analyser [3], men hvor sukker er hentet fra Bach Knudsen (1993), SH intern rapport nr. 21 [4].

² LFK-aktuel er beregnet med fodermidlets aktuelle EFNi, mens LFK-91 er beregnet på baggrund af den generelle EFNi på 91 pct. på tværs af fodermidler.

Endvidere kan LFK fraktionen anskues som en "organisk rest", der er tilbageværende, når alle andre fraktioner er beregnet efter de kemiske analyser og in vitro analyserne, hvorfor eventuelle analysefejl påvirker LFK-mængden. Dette forklarer delvis den ikke fuldstændige overensstemmelse med værdierne "stivelse + sukker," mens anvendelse af konstant EFNi kun har marginal indflydelse på LFK-fraktionen størrelse.

2.6. Konklusion

Det nye fodervurderingssystem er baseret på velkendte kemiske analyser på råvarerne:

- Tørstof og askebestemmelse
- Råproteinindholdet bestemmes på basis af kvælstof
- Råfedt analyseres efter officiel EU metode

De kemiske analyser suppleres med in vitro analyser, som simulerer grisenes fordøjelse i dele eller over hele mave-tarmkanalen. Disse betegnes enzymfordøjeligt organisk stof på enten ileal eller fækal niveau, hvorfor de forkortes EFOSi og EFOS.

På basis af analyserne kan følgende næringsstoffraktioner beregnes:

- Organisk stof: Org. Stof
- Reelt fordøjeligt råprotein ved ileum: RFRP
- Reelt fordøjeligt råfedt: RFRF
- Fermenterbare kulhydrater: FMK
- Let fordøjelige kulhydrater: LFK
- Ufordøjeligt tørstof ved ileum: UTSi
- Fermenterbare kulhydrater til søer: FMKso

LFK-fraktionen er den primære energikilde til grise, hvorfor denne er sammenholdt med summen af stivelse og sukker fra forskellige tabelværker. Der er god overensstemmelse mellem LFK-fraktionen og summen af stivelse og sukker.

3. Beskrivelse af fordøjelse ud fra in vitro analyser

Baggrund

En forudsætning for, at grisene kan udnytte de tilførte næringsstoffer er, at disse bliver fordøjet - dvs. er til rådighed for grisenes stofskifte. Fordøjelighedsbestemmelse indtager således en hjørnesteen i energivurderingen, da dette er første trin i korrekt fastsættelse af et fodermiddels næringsstofværdi.

I klassisk fodervurdering har fordøjelighedsbestemmelse på de enkelte fodermidler været et omfattende arbejde, og der er udarbejdet både danske og udenlandske tabelværker for næringsstoffernes fordøjelighed i de enkelte fodermidler. Problemet hermed har været manglende mulighed for at håndtere variation i fordøjelighed inden for samme fodermiddel.

Det danske fodervurderingssystem anvender som det eneste in vitro analyser, som udmærker sig ved at være hurtige og billige - og ved ofte at have lavere variation end fordøjelsesbestemmelser på forskellige grise. In vitro målingerne muliggør også en hurtig kontrol af fordøjeligheden på foderblandinger. Men in vitro målingerne kan ikke direkte måle grisens fordøjelsesomkostninger i form af endogene tab. Derfor er formålet med nærværende afsnit at beskrive, hvorledes man relaterer fordøjeligheder målt i reagensglas til fordøjeligheder målt på grise.

3.1. Definition af fordøjeligheder

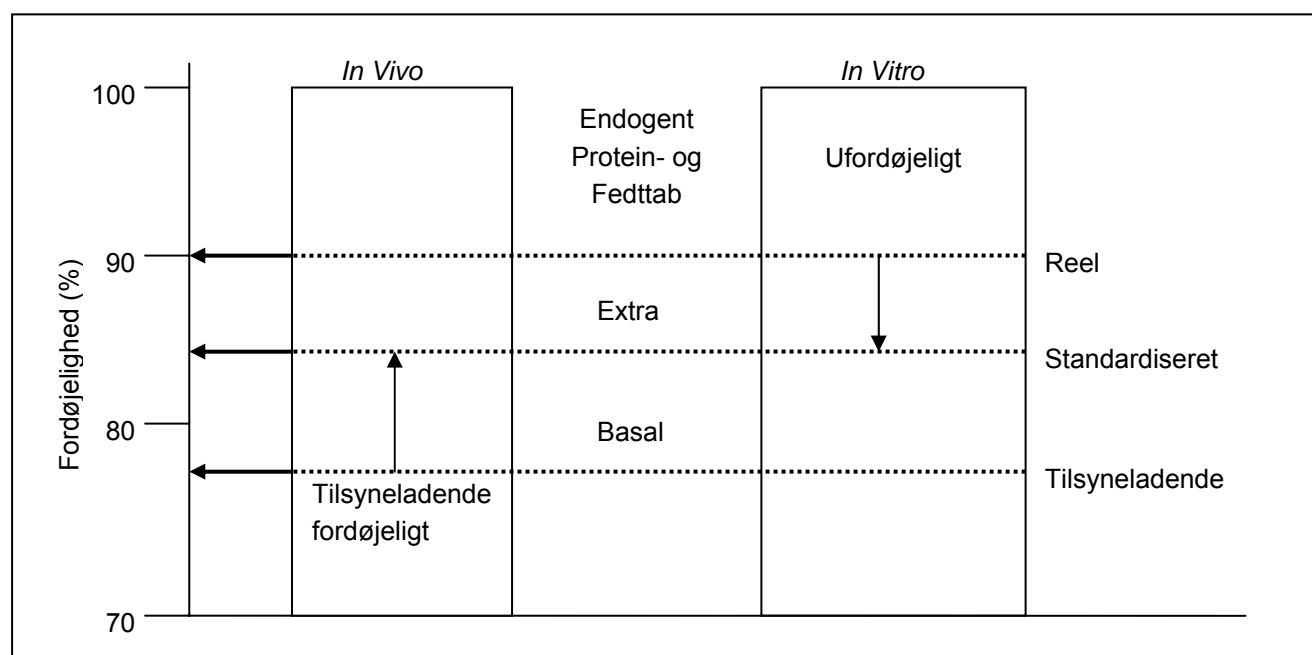
Fordøjelighed kan beskrives ved 4 termer, som defineres i det efterfølgende - og hvor sammenhængerne er vist i figur 3.1.

In vitro fordøjelighed: In vitro fordøjeligheden måles i reagensglas, hvorfor navnet in vitro. In vitro fordøjeligheden er defineret som den andel af en næringsstoffraktion, der kan nedbrydes under overskud af enzymer og ved en formalingsgrad på ca. 1 mm. Ligeledes kan in vitro-fordøjelighed betragtes som en næringsstoffraktionen potentielle reelle fordøjelighed - se nedenstående.

Reel fordøjelighed: Den reelle fordøjelighed er defineret som den andel af en næringsstoffraktion, der reelt absorberes i grisen.

Standardiseret fordøjelighed: Den standardiserede fordøjelighed er et udtryk for den fordøjede andel efter korrektion for dele af det endogene tab. Denne kan beregnes som reelt fordøjet minus det foderspecifikke ("Extra" i figur 3.1) endogene tab eller tilsyneladende fordøjet plus det basale endogene tab.

Tilsyneladende fordøjelighed: Den tilsyneladende fordøjelighed kaldes også "in vivo fordøjeligheden", hvilket skyldes, at det er den fordøjelighed, man direkte kan måle i forsøg. Denne kan beregnes som reelt (in vitro) fordøjet minus det totale endogene tab, hvor det totale endogene tab er givet ved summen af det foderspecifikke (ekstra) og basale endogene tab.



Figur 3.1 Relationer mellem endogene tab og in vitro og in vivo fordøjeligheder.

Ovenstående fordøjelighedsbegreber kan anvendes til både ileale og fækale fordøjeligheder. Det bemærkes, at det principielt kun er for fedt og råprotein, at disse definitioner er gældende, da det endogene tab primært indeholder fedt og protein. I teorien kan tilsyneladende og reel fordøjelighed være helt ens for kulhydrat – men i praksis kan den målte tilsyneladende ileale fordøjelighed af fx stivelse dog godt være lavere end den in vitro bestemte – fx forårsaget af grov formaling.

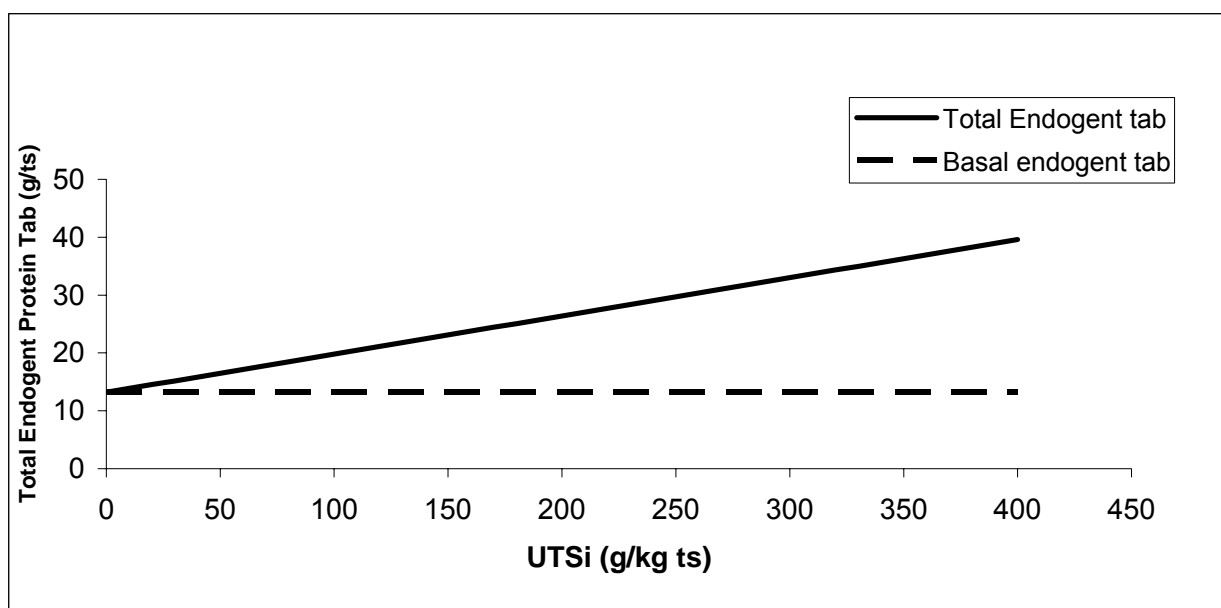
3.2 Endogent proteintab - In vitro/In vivo differensmetoden

In vitro metoden er uafhængig af endogene påvirkninger, hvorfor denne metode behøver et referencemateriale for, at man kan relatere in vitro til in vivo fordøjelighederne. Statens Husdyrbrugsforsøg har gennem mange år opbygget en stor prøvebank, som omfatter mange hundrede prøver, der er detaljeret beskrevet ved kemiske analyser og in vivo fordøjeligheder [7].

Af figur 3.1 fremgår, at forskellen mellem in vitro (reelt) og in vivo (tilsyneladende) fordøjeligt repræsenterer det totale endogene tab. Endvidere er det muligt ud fra in vitro analyserne (EFOS) at beregne mængden af UTSi, som er en indikator for den unedbrydelige fraktion på ileal niveau (se kapitel 2). Størstedelen af det endogene tab kan relateres til tyndtarmen, og det endogene tab øges, når foderet er vanskeligt at fordøje. Det er således fundet, at der er en lineær relation mellem det totale endogene proteintab og mængden af UTSi, hvilket kan udtrykkes i ligningen 3.1 [7].

$$\text{Total endogent protein tab} = 13,2, [\text{g/kg ts}] + 0,066, [\text{g/g UTSi}] \times \text{UTSi}, [\text{g/kg ts}] \quad (3.1)$$

Det totale endogene protein kan splittes op i to komponenter, hvilke kan ses i figur 3.2. Linjens skæring i ligningen (3.1) er det basale endogene tab, mens hældningen (0,066) repræsenterer det endogene protein tab pr. g UTSi, hvorfor leddet $(0,066 \times \text{UTSi})$ benævnes det foderspecifikke endogene tab.



Figur 3.2. Endogent proteintab som funktion af UTSi – gengivet efter [7].

Det basale endogene tab kan betragtes som en uundgåelig omkostning ved fordøjelsen, hvorfor tabet kan anses som en del af grisens vedligeholdelsesbehov, og derfor er uafhængig af UTSi. I figur 3.2 fås det foderspecifikke endogene protein tab som forskellen mellem det totale og det basale, hvorfor dette skal ses som et karakteristika ved det givne fodermiddel og kan betragtes som en ekstra omkostning ved at fordøje det pågældende fodermiddel. Derfor bør det foderspecifikke endogene proteintab debiteres på fodermidlerne for at opnå korrekt værdifastsættelse af disse.

Det basale endogene tab af protein estimeres in vivo ved fx fodring med kvælstoffrie blandinger eller semisyntetiske diæter med stigende proteinniveau og efterfølgende ekstrapolation til et kvælstoffrit niveau. Værdien for basalbidraget af endogent protein (13,2 g/kg ts) i det nye beregningssystem – beregnet ud fra in vitro metoden – er i god overensstemmelse med litteraturværdierne bestemt på grise – se kapitel 8, hvor proteinvurderingssystemet er indgående beskrevet.

3.3. Endogene fedttab i relation til UTSi

Endogene fedttab håndteres i det nye fodervurderingssystem fuldstændigt analogt til endogent protein – dvs. en lineær funktion af UTSi. Det er fundet at endogene fedttab kan beskrives ved ligningen (3.2):

$$\text{Total endogent fedt tab} = 9,0, [\text{g/kg ts}] + 0,025, [\text{g/g UTSi}] \times \text{UTSi}, [\text{g/kg ts}] \quad (3.2)$$

Estimering af endogene fedttab har ikke haft samme interesse som for protein. Dog findes enkelte estimater for det basale endogene fedttab, som er baseret på fodring med fedtfrie blandinger. Det basale endogene fedttab er taget fra Sundstøl, (1974) [8], hvorefter det foderspecifikke er udledt ved sammenligning med in vivo fordøjeligheder fra 556. beretning fra Statens Husdyrbrugsforsøg [9].

3.4. Standardiserede versus tilsyneladende fordøjelighed

Det nye fodervurderingssystem er baseret på standardiserede fordøjeligheder (ST. FK), som anvendes til beskrivelse af næringsstoffilgængeligheden i fodermidler/blandinger.

Fordøjelighedskonceptet kan udtrykkes på følgende vis (3.3):

$$\text{Fordøjelighed} = \frac{\text{Reelt fordøjet} \div \text{Endogent tab}}{\text{Indhold}} \times 100 \quad (3.3)$$

Den standardiserede fordøjelighed findes ved at indsætte det foderspecifikke endogene tab fra ligning (3.1) eller (3.2) i ligning (3.3) – og kan matematisk udtrykkes ved (3.4), hvor fordøjeligheden er i pct.

$$\text{ST FK} = \frac{\text{Indhold}, [\text{g/kg ts}] \times \frac{\text{Reel FK}}{100} \div \alpha, [\text{g/g UTSi}] \times \text{UTSi}, [\text{g/kg ts}]}{\text{Indhold}, [\text{g/kg ts}]} \times 100 \quad (3.4)$$

I (3.4) er "indhold" defineret ved de kemiske analyser af råvarene, og α er hældningen som er defineret i relation til det foderspecifikke endogene tab. (0,066 for protein henholdsvis 0,025 for fedt).

Den tilsyneladende fordøjelighed i pct. (TILS FK) kan beregnes efter ligning (3.5), som fås ved at indsætte det totale endogene tab i ligning (3.3).

$$\text{TILSFK} = \frac{\text{Indhold}, [\text{g/kg ts}] \times \frac{\text{ReelFK}}{100} \div \text{Basal}, [\text{g/kg ts}] \div \alpha, [\text{g/g UTSi}] \times \text{UTSi}, [\text{g/kg ts}]}{\text{Indhold}, [\text{g/kg ts}]} \times 100 \quad (3.5)$$

hvor "basal" repræsenterer enten 13,2 eller 9,0 [g/kg ts] for henholdsvis protein eller fedt, og hvor α er 0,066 for protein og 0,025 for fedt.

For at illustrere forskellen mellem standardiserede og tilsyneladende fordøjeligheder er der konstrueret et beregningseksempel på fedtfordøjelighed i rapskage, som kan ses i tabel 3.1. Det er principielt ligegyldigt, om man betragter fedt eller protein, da princippet er det samme - og der er primært valgt at illustrere princippet for fedt, da denne sammenhæng ofte ignoreres, når man ser på fedtfordøjeligheder.

Beregningseksemplet bygger på følgende forudsætninger: Basalfoderet antages at være 100 pct. fordøjeligt, hvorfor UTSi er lig med 0 (fx varmebehandlet majsstivelse, sucrose mm.). Basalfoderet substitueres (iblandes) derefter med stigende andel af rapskage, der indeholder 164 g råfedt pr. kg ts. som reelt fordøjes med 90 pct. (FKråfedt) og bidrager med 472 g UTSi pr. kg ts. Fordøjelighederne er beregnet efter ligningerne (3.4) og (3.5).

Tabel 3.1. Effekt af stigende iblandingsgrad på standardiseret og tilsyneladende fordøjelighed af råfedt i rapskage.

Iblandingsgrad, (%)	10	20	30	40
Fedtindhold, (g/kg ts)	16,4	32,8	49,2	65,6
Reelt fordøjet fedt, (g/kg ts)	15,1	30,2	45,3	60,4
Foderspecifikt endogent fedttab, (g/kg ts)	1,2	2,4	3,5	4,7
Basalt endogent fedttab, (g/kg ts)	9	9	9	9
ST FK, (%)	85	85	85	85
TILS FK, (%)	30	57	67	71

Det kan konstateres, at den tilsyneladende fordøjelighed er afhængig af iblandingsgraden, da den tilsyneladende fordøjelighed stiger kurvelineært med stigende substitution af basalfoderet med rapskage. Dette er i overensstemmelse med utallige forsøg der har vist, at den tilsyneladende fordøjelighed stiger kurvelineært med råfedtindholdet – eller proteinindholdet. Dette skyldes, at det endogene tab betyder relativt mindre ved stigende råfedt og proteinniveau – det vil sige en fortyndingseffekt.

Derimod er den standardiserede fordøjelighed uafhængig af iblandingsgraden, hvilket betyder, at den er uafhængig af de præcise forsøgsbetingelser. Samtidig er den standardiserede fordøjelighed additiv. Dette er en vigtig egenskab ved den standardiserede fordøjelighed, når der i praksis anvendes lineær programmering til at finde den billigste blanding.

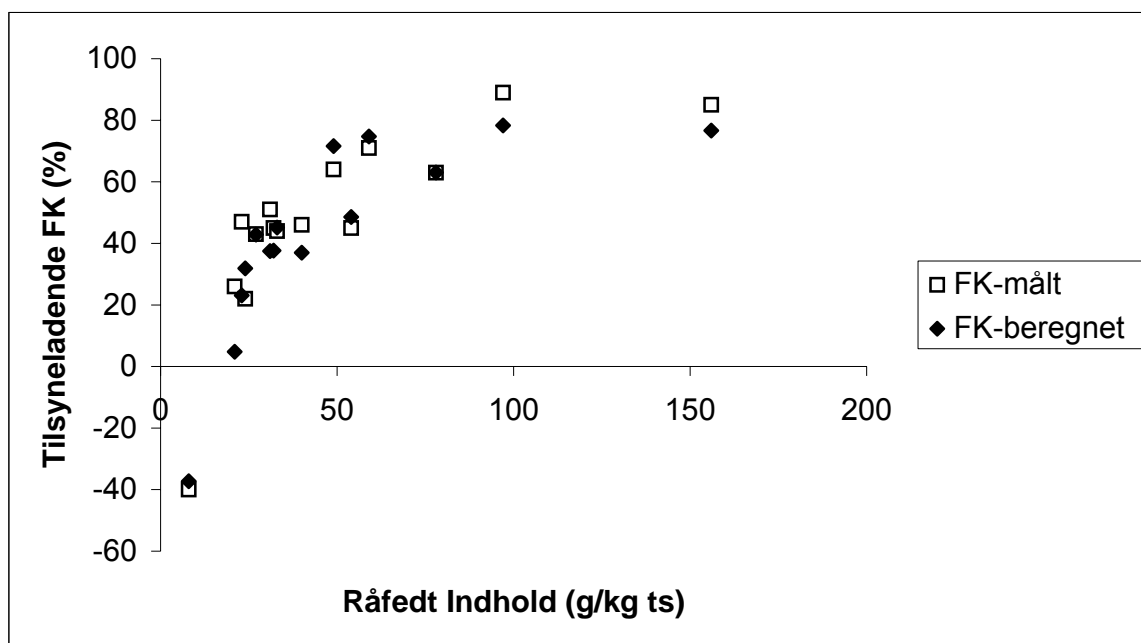
Med andre ord illustrerer beregningseksemplet, at de direkte målte tilsyneladende fordøjeligheder principielt er ubrugelige, da de er stærkt afhængige af grundfoderet (forsøgsomstændighederne), hvorimod den standardiserede fordøjelighed er uafhængig af grundfoderets påvirkning.

Det bemærkes, at der ikke beregnes standardiserede fedtfordøjeligheder i fodervurderingssystemet i praksis, da det foderspecifikke endogene tab indregnes direkte i ligningen til beregning af energi. Tabelmæssigt anvendes kun de reelle fordøjeligheder. Men denne håndtering svarer til, at der anvendes standardiserede fordøjeligheder ved energivurderingen. (Se afsnit 4.6 for uddybning).

3.5. Validering af beregnede mod eksperimentelt bestemte tilsyneladende fordøjeligheder

Beretning 556 fra SH repræsenterer et unikt datamateriale, hvor bl.a. tilsyneladende fækale fedtfordøjeligheder på 92 forskellige fodermidler er målt [9]. Derfor er dette værk velegnet til at validere ligningen (3.5) på tilsyneladende fækale fedtfordøjeligheder.

Der er gjort en række antagelser, da beretningen er fra før EFOS-analysernes indførelse. Det er derfor ikke sikkert, at de partier, som har været i fordøjelighedsforsøg har præcis samme EFOS-værdier som vores nuværende tabelværdier, der er anvendt i beregningen. På alle fodermidler er dog anvendt det oprindeligt målte fedtindhold, som typisk er marginalt højere end nuværende tabelværdier, fordi der er anvendt en metode med diethylæter i beretning 556 i stedet for som nu petroleumsæter ved fedtanalysen. Men det forventes, at ekstraktionsmidlet i fedtanalysen kun har marginal betydning for fedtfordøjeligheden, da der anvendes samme metode på både foder og fæces.



Figur 3.3. Validering af beregnede (3.5) mod målte [9] tilsyneladende fedtfordøjeligheder.

Resultatet af valideringen ses i figur 3.3, hvor det kan bemærkes, at ligningen giver god overensstemmelse til målte gennemsnitlige in vivo fedtfordøjeligheder. Ved første øjekast kan det måske undre, at en fordøjelighed kan være negativ, hvilket er et udtryk for et nettotab af fedt. Dette kan forklares ved en kombineret effekt af en råvare med et lavt indhold af råfedt (eks. skummetmælkspulver) og så det endogene tab, hvor det basale tab har en relativ stor indflydelse i dette tilfælde. For skummetmælkspulver er det endogene tab større end fedtindholdet.

Det skal bemærkes, at måling af in vivo tilsyneladende fedtfordøjelighed er behæftet med stor usikkerhed, fx har tre prøver af rapsskrå med fedtindhold fra 3,6 til 4,6 pct. af tørstof haft en variation i fedtfordøjelighed fra 28 pct. til 65 pct. fra forsøg til forsøg, ligesom bestemmelsen af fedtets fordøjelighed i byg har givet variation fra 20 pct. til 74 pct. på de 110 prøver, som gennem tiden er undersøgt i fordøjelsesforsøg [9]. Gennemsnitsværdien af 110 prøver byg har været 44 pct. [9] – hvor den generelle ligning fra in vitro giver 46 pct.

3.6. Konklusion

Det danske fodervurderingssystem baseres på in vitro/reelle fordøjeligheder, der beskriver andelen af en given næringsstoffraktion, som reelt kan absorberes. Reelle fordøjeligheder er uafhængige af endogene tab, hvorfor man behøver et referencemateriale for at sammenholde disse med in vivo fordøjeligheder (tilsyneladende).

Det endogene tab kan med god tilnærmelse beskrives ved en lineær funktion af UTSi, da UTSi er en indikator for den unedbrydelige fraktion på ileal niveau. Det foderspecifikke endogene tab er givet ved forskellen mellem det totale og det basale endogene tab, hvor det basale kan betragtes som en uundgåelig omkostning ved fordøjelse og derfor tilskrives dyrenes vedligeholdelsesbehov, mens det foderspecifikke tab fratrækkes på fodermidlerne. Derfor baseres vurderingen af næringsstofftilgængelighed i det nye danske fodervurderingssystem på standardiserede fordøjeligheder, hvor de vitro bestemte reelle fordøjeligheder er korrigerede for foderspecifikke endogene tab. Ligeledes er standardiserede fordøjeligheder uafhængige af iblandingsgraden i foderet i et fordøjelsesforsøg, mens tilsyneladende fordøjeligheder er stærkt afhængige af forsøgsbetingelserne.

Validering af beregningssystemet giver god overensstemmelse til målte in vivo fedtfordøjeligheder fra SH-beretning 556. Ydermere illustrerer fedteksemplet fleksibiliteten i beregningssystemet, da dette kan håndtere den kurvelineære sammenhæng mellem fedtfordøjelighed og fedtniveau.

4. Fysiologisk energi

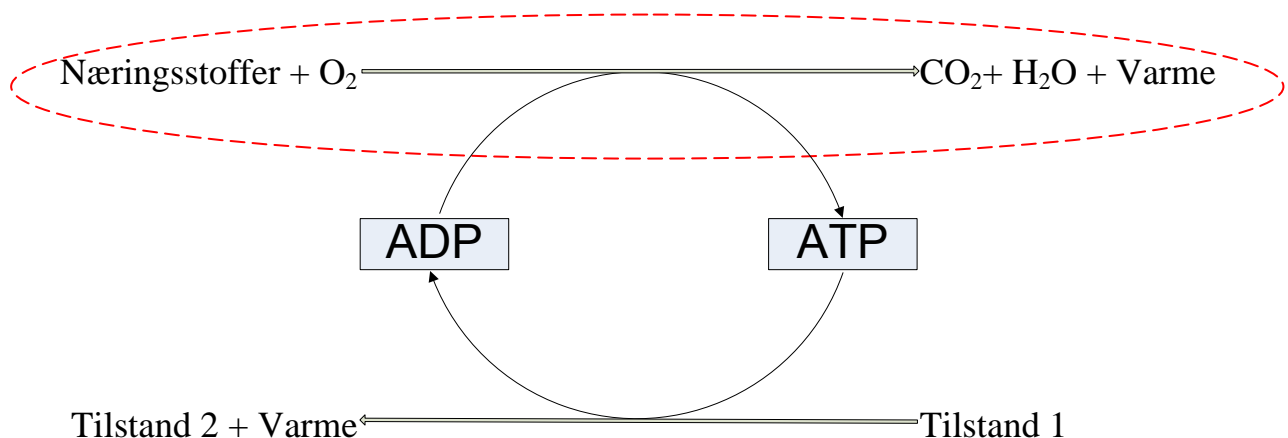
4.1. Baggrund og definitioner

Det har siden 1950'erne været kendt, at adenosine trifosfat (ATP) er det centrale omdrejningspunkt i energiomsætningen hos alle levende organismer. I biologiske systemer kan ATP betragtes som den universelle energetiske møntenhed, hvorfor fastlæggelse af et næringsstofs energiværdi kan anskues som dets evne til at bidrage med ATP.

Antallet af ATP (ATP-potentiale), som et givent næringsstof kan bidrage med, er bestemt af, hvilken biokemisk omsætningsvej det pågældende næringsstof følger i stofskiftet. De biokemiske omsætningsveje er i dag kortlagt på cellulærniveau for forskellige arter, herunder pattedyrene, hvorfor vi er i stand til at beregne antallet af ATP, som tilvejebringes ved oxidation af et givet næringsstof. Ligeledes kan man via de biokemiske omsætningsveje også beregne antallet af ATP som forbruges under syntese af fedt og protein fra forskellige næringsstoffer.

Aflejrede næringsstoffer (fedt og protein) kan betragtes som et ATP-potentiale, da disse kan mobiliseres, hvis dyret skulle have behov for det, og bidrage med nøjagtigt samme antal ATP, som absorberet protein og fedt kan.

Figur 4.1 illustrerer princippet bag ATP's universelle rolle i energiomsætningen, da alle energitransaktioner er linket til ATP gennem enten produktion af ATP (oxidation) eller forbrug ATP (fysiologisk arbejde). ATP-produktionen omdanner ADP til ATP gennem en serie af biokemiske reaktioner, hvor der samtidig dannes CO_2 , H_2O og varme, mens ATP-forbruget er relateret til fysiologisk arbejde og varmedannelse - dvs. Tilstand 1 \rightarrow Tilstand 2. Tilstand 1 kunne i organismen repræsentere puljen af aminosyrer, mens Tilstand 2 er protein puljen; altså proteinsyntesen. Andre eksempler på fysiologisk arbejde kunne være muskelkontraktion, transportprocesser, vedligehold af membranpotentialer mm. Den samlede varmeproduktion for hele cyklussen er lig med næringsstoffets brændværdi udenfor organismen.



Figur 4.1. ATP-turnover og ATP's universelle rolle i energiomsætning.

ATP-potentialet er således bestemmende for fastsættelsen af de forskellige næringsstoffraktioneners fysiologiske energiværdi, hvorfor oxidationsprocessen er det centrale, da energitransaktionen fra ATP \rightarrow ADP er konstant.

For at illustrere næringsstoffraktioneners ATP-potentiale, fysiologiske udnyttelsesgrad og fysiologiske energiværdi vælges glukose som eksempel for kulhydraterne og alanin som eksempel for aminosyrerne. Disse vil blive brugt som eksempler gennem resten af kapitlet. De indgående begreber kan defineres som følger:

- Et næringsstofs ATP-potentiale defineres som antal mol af ATP, der kan tilvejebringes under oxidation af et mol af det pågældende næringsstof.
- Den fysiologiske udnyttelsesgrad defineres som andelen af bruttoenergien som netto kan bindes (genfindes) i ATP-molekylet.
- Fysiologisk energiværdi defineres til: Mængden af energi som er til rådighed efter korrektion for tab i stofskiftet – det vil sige bruttoenergi gange med fysiologisk udnyttelsesgrad.

4.2. Beregning af ATP-potentiale

Et næringsstofs ATP-potentiale (enhed: ATP/mol) kan beregnes ved at betragte den biokemiske omsætningsvej og fastsættelse af de reducerede cofaktorer ATP-potentiale, da ATP kun i mindre antal dannes direkte i de biokemiske reaktioner (substratphosphorylering), hvilket skyldes, at ATP'erne primært dannes via oxidativ phosphorylering i cellernes mitochondrier.

Beregningseksemplet for glukose kan ses i tabel 4.1 og bygger på elementernes (grundstoffernes) bevarelse ligesom i andre kemiske reaktioner. Trin 1 i tabel 4.1 svarer til glykolysen og repræsenterer 10 biokemiske reaktioner. Cofaktorer som dannes i cytosolet kan ikke direkte transporteres til mitochondriet, hvorfor disse går via glycerol-3-phosphat ruten (trin 2). Trin 3 er pyruvat dehydrogenase reaktionen, mens trin 4 er to omgange i Krebs cyklus. Trinene 5 og 6 er regeneration af reducerede cofaktorer i respirationskæden, hvor 1 NADH₂ og 1 FADH₂ repræsenterer henholdsvis 3 og 2 ATP. Trin 8 er nettoreaktionen for glukoses oxidation i organismen, hvor det er udledt, at glukoses ATP-potentiale er 36 mol ATP per mol glukose [10] og [11].

Tabel 4.1. Beregning af glukoses ATP-potentiale efter [10] og [11].

Trin	Biokemisk omsætning
1	1 glukose + 2 ADP + 2 NAD → 2 pyruvat + 2 ATP + 2 NADH ₂
2	2 NADH ₂ + 2 FAD → 2 NAD + 2 FADH ₂
3	2 pyruvat + 2 NAD → 2 acetyl-CoA + 2 NADH ₂ + 2 CO ₂
4	2 Acetyl-CoA + 6 NAD + 2 FAD + 2 GDP → 6 NADH ₂ + 2 FADH ₂ + 2 GTP + 4 CO ₂
5	8 NADH ₂ + 24 ADP + 4 O ₂ → 8 NAD + 24 ATP + H ₂ O
6	4 FADH ₂ + 8 ADP + 2 O ₂ → 4 FAD + 8 ATP + H ₂ O
7	2 GTP + 2 ADP → 2 ATP + 2 GDP
8	1 glukose + 6 O ₂ + 36 ADP → 6 CO ₂ + 36 ATP + H ₂ O

Trin 1 i tabel 4.2 repræsenterer deamineringen af alanin, hvor amino-gruppen (NH₃) frigøres og alanins ketosyre (pyruvat) dannes. Trin 2 i tabel 4.2 er lig med trinene 2 og 3 i tabel 4.1, hvilket betyder, at alanins ketosyre indgår i det sidste trin i glykolysen og følger derefter samme biokemiske omsætningsvej som glukose. Trin 3 repræsenterer nettoreaktionen for urinstofcyklus. Bemærk, at udskillelse af kvælstof koster forholdsvis meget energi (4 ATP per urinstof), hvilket bevirker aminosyrers lavere udnyttelse i forhold til glukose - se senere. Trin 4 i tabel 4.2 er fuldstændig analog til trinene 5 og 6 i tabel 4.1, hvor de reducerede cofaktorer regenereres. Trin 5 er nettoreaktionen for alanins oxidation i organismen, hvor det er udledt, at alanins ATP-potentiale er 16 mol ATP pr. mol alanin [10] og [11].

Tabel 4.2. Beregning af alanins ATP-potentiale efter [10] og [11].

Trin	Biokemisk omsætning
1	1 alanin + 1 NAD → 1 pyruvat + 1 NADH + NH ₃
2	1 pyruvat + 4 NAD + 1 FAD + 1 GDP → 3 CO ₂ + 4 NADH + 1 FADH ₂ + 1 GTP
3	1 NH ₃ + 2 ATP + ½ CO ₂ → ½ urinstof + 2 ADP
4	5 NADH + 1 FADH ₂ + 1 GTP + 18 ADP + 3 O ₂ → 5 NAD + 1 FAD + 1 GDP + 18 ATP + H ₂ O
5	1 alanin + 3 O ₂ + 16 ADP → 2 ½ CO ₂ + H ₂ O + 16 ATP + ½ urinstof

Bemærk, at alanins respiratoriske kvotient (forholdet mellem CO₂ produktionen og O₂ forbruget) er 0,83 som er den klassiske værdi for proteinoxidation målt på husdyr.

Hvis en nærmere gennemgang af stofskiftet ønskes, bør man konsultere relevante biokemiske tekstbøger - fx Metabolism at a glance af Salway [10].

4.3. Beregning af den fysiologiske udnyttelsesgrad

Den fysiologiske udnyttelsesgrad er et udtryk for effektiviteten i ATP-syntesen. Dvs. den potentielle fraktion af energi (bruttoenergi - enhed kJ/g) fra et givet næringsstof, som kan bindes i ATP-molekylet, og derfor er lig med den andel af energien, som er til rådighed for fysiologisk arbejde. Dette kan udtrykkes ved følgende ligning:

$$\text{Fysiologisk udnyttelsesgrad} = \frac{\text{Oxidation i organismen}}{\text{Forbrænding uden for organismen}} \times 100 \quad (4.1)$$

Der kan regnes med, at der under hydrolyse af ATP til ADP afgives 52 kJ/mol [2] som varme i cellerne (under fysiologiske forhold) – det vil sige varmeudviklingen for følgende biokemiske ligevægt (ATP er altid bundet til magnesium i cellerne for at stabilisere molekylet) [11]:



Derfor kan ligning 4.1 omformes til følgende:

$$\text{Fysiologisk udnyttelsesgrad} = \frac{\text{ATP potentiale} \times 52}{\text{Bruttoenergien} \times \text{Mw}} \times 100 \quad (4.2)$$

hvor Mw (g/mol) er molvægten for det givne molekyle og bruttoenergien er kJ/g.

Dvs. at den fysiologiske udnyttelsesgrad af glukose kan beregnes ved indsættelse i (4.2):

$$\text{Fysiologisk udnyttelsesgrad, glukose} = \frac{36 \times 52}{15,6 \times 180} \times 100 \approx 67\%$$

hvor ATP-potentialet, molvægten og bruttoenergien for glukose er henholdsvis 36 ATP/mol, 180g/mol og 15,6 kJ/g.

Dvs. at den fysiologiske udnyttelsesgrad af alanin kan beregnes til (4.2):

$$\text{Fysiologisk udnyttelsesgrad, alanin} = \frac{16 \times 52}{18,2 \times 89} \times 100 \approx 51\%$$

hvor ATP-potentialet, molvægten og bruttoenergien for glukose er henholdsvis 16 ATP/mol, 89 g/mol og 18,2 kJ/g.

Ovenstående beregninger viser, at ca. 67 pct. og 51 pct. af henholdsvis glukoses og alanins bruttoenergi potentielt kan udnyttes til fysiologisk arbejde, mens resten går "tabt" i form af varme og udskillelse af urinstof.

4.4. Beregning af den fysiologiske energiværdi

Den fysiologiske energiværdi er et udtryk for mængden af energi som er til rådighed for fysiologiske processer og kan beregnes på baggrund af den universelle energikilde (ATP) på cellulærniveau hos alle dyr. Den fysiologiske energiværdi kan beregnes efter følgende ligning:

$$\text{Fysiologisk energiværdi, kJ/g} = \text{Fysiologisk udnyttelsesgrad} \times \text{Bruttoenergien, kJ/g} \quad (4.3)$$

Ved at anvende ligning (4.3) på ovenstående eksempler fås følgende fysiologiske energiværdier for glukose og alanin udtrykt ved kJ/g.

$$\begin{aligned} \text{Fysiologisk energiværdi, glukose} &= 0,67 \times 15,6, \text{ kJ/g} \approx 10,5 \text{ kJ/g} \\ \text{Fysiologisk energiværdi, alanin} &= 0,51 \times 18,2, \text{ kJ/g} \approx 9,3 \text{ kJ/g} \end{aligned}$$

Viden om næringsstoffernes opbygning muliggør beregning af disse fysiologiske energiværdier. Fx er stivelse opbygget af en blanding af amylose og amylopectin, hvor amylose er et lineært molekyle opbygget af glukoseenheder, som er forbundet med α -1,4-glukosid bindinger, mens amylopectin er et forgrenet molekyle med strukturen α -1,4-1,6-glukosid-bindinger. Dette betyder, at stivelse fordøjes i grisens tyndtarm til glukose, hvorfor stivelses fysiologiske energiværdi kan beregnes. Lignende betragtninger kan gøres for andre tyndtarmsfordøjelige kulhydrater (sukrose, lactose, mannose mm.).

$$\text{Fysiologisk energiværdi, stivelse} = 0,67 \times 17,5, \text{ kJ/g} \approx 11,7 \text{ kJ/g}$$

Stivelse indeholder således mere energi end glucose pr. gram, hvilket skyldes, at der adderes vand ved spaltning af stivelse til glucose, hvorfor stivelse kan betragtes som glukose "uden vand".

En samlet oversigt over næringsstoffers energetiske karakteristika, udtrykt ved bruttoenergi, ATP potentiale, fysiologiske udnyttelsesgrad og fysiologisk energiværdi, kan ses i tabel 4.3.

Tabel 4.3. Næringsstoffers indhold af fysiologisk energi efter [10] og [11].

Kemiske forbindelser	ATP Potentiale ¹ (ATP/mol)	Molvægt (g/mol)	Brutto ² Energi (MJ/kg)	Fysiologisk Udnyttelsesgrad (%)	Fysiologisk Energiværdi (MJ/kg)
Protein og andre kvælstofforbindelser:					
Råprotein (Gennemsnit)	-	-	23,7	42	9,9
Essentielle AA:					
Lysin, C6	35	146	25,2	49	12,5
Threonin, C4	21	119	17,2	53	9,2
Methionin, C5	18	117	23,8	34	8,0
Cystin, C3	16	89	25,1	37	9,3
Leucin, C6	40	131	27,3	58	15,9
Isoleucin, C6	41	131	27,3	60	16,3
Valin, C5	33	117	25,0	59	14,7
Histidin, C6	21	155	21,7	32	7,0
Fenylalanin, C9	39	165	28,2	44	12,3
Tyrosin, C9	42	180	24,7	49	12,1
Tryptophan, C11	48	204	27,6	44	12,2
Ikke-essentielle AA:					
Glycin, C2	7	75	12,9	38	4,9
Alanin, C3	16	89	18,2	51	9,3
Serin, C3	13	104	13,9	47	6,5
Arginin, C6	29	174	21,5	40	8,7
Aspartat, C4	17	132	12,2	55	6,7
Asparagin, C4	15	125	15,4	40	6,2
Prolin, C5	29	115	23,7	55	13,1
Glutamat, C5	26	117	15,4	60	9,2
Glutamin, C5	24	132	17,4	49	8,5
Kulhydrater og andre metaboliske produkter:					
Stivelse	-	-	17,5	67	11,7
Cellulose	-	-	17,5	0	0
Sucrose	-	-	16,5	67	11,1
Glukose, C6	36	180	15,6	67	10,5
Acetat, C2	10	60	14,6	59	8,7
Propionat, C3	18	74	20,6	61	12,6
Butyrat, C4	27	88	24,8	64	16,0
Lactat, C3	17	74	18,4	65	11,9
Ethanol, C2	16	46	29,7	61	18,1
Methane, C1	-	16	55,6		
Lipid forbindelser:					
Caprylsyre, C8:0	61	144	33,3	67	22,0
Laurylsyre, C12:0	95	200	37,1	67	24,7
Palmitinsyre, C16:0	129	256	39,2	67	26,2
Stearinsyre, C18:0	146	284	39,9	67	26,7
Palmitolinsyre, C16:1	127	254	38,8	67	26,0
Oliesyre, C18:1	144	282	39,6	67	26,6
Tripalmitin	407	806	39,4	67	26,3
Glycerol	20	93	17,8	63	11,2

¹ Salway (2004) [10] & Stryer (1999) [11].² K. Blaxter (1989) [12].

4.5. Fastsættelse af energifaktorer for de anvendte næringsstoffraktioner

Det kan til tabel 4.3 bemærkes, at der for hvert næringsstof eksisterer en tilhørende fysiologisk energiværdi. Der er således behov for at danne en række middelværdier, som kan udtrykke den fysiologiske

energiværdi for klasserne af (makro)næringsstoffer (råprotein, råfedt, let fordøjeligt kulhydrat, fermenterbart kulhydrat) - se kapitel 3.

4.5.1. Energiværdien af protein

Råprotein er defineret til at indeholde 16 pct. N ($N \times 6,25$), som repræsenterer et gennemsnit på tværs af fodermidler. Dette er en teoretisk mængde, som ikke kan genfindes fysisk, men i mange tilfælde er tæt på summen af aminosyrerne.

En teoretisk helt korrekt fysiologisk energiværdi af råprotein bør tage hensyn til:

- Mængden af aminosyrebundet N (renprotein) af total-N
- Aminosyresammensætning
- At renprotein vejer mindre end indholdet af aminosyrer efter hydrolyse
- Råproteinets eventuelle påvirkning af grisenes stofskifte

Det er valgt at regne med en fast værdi for råproteinets fysiologiske energiværdi, da en fodermiddels- og foderblandings-specifik værdi ikke er håndterbar i praksis. Baggrunden for den valgte værdi forklares i det følgende ud fra de nævnte problemstillinger.

Såvel råproteinets aminosyresammensætning som andelen af aminosyrebundet-N varierer mellem fodermidler, hvilket betyder, at energiværdien af råprotein vil variere for forskellige fodermidler. Fx kan aminosyreindholdet i procent af råprotein variere fra ca. 57 pct. i melasse til 118 pct. i kasein som ekstremterne – afhængig af både andelen af kvælstofforbindelser, som ikke er protein (NPN) og N-indholdet i de indgående aminosyrer. I hovedparten af fodermidlerne er summen af aminosyrerne dog tæt på den analyserede mængde råprotein.

NPN vil påvirke estimatet for råproteinindholdet, hvilket skyldes, at man måler kvælstofindholdet i foderet/fodermidlet. NPN omfatter en kvælstoffraktion, som hovedsageligt udgøres af nukleinsyre (DNA og RNA), NO_3 , NH_4^+ mm. NPN kan findes som total-N minus aminosyrebundet N, hvor sidstnævnte er angivet for en række fodermidler i Landsudvalget for Kvægs aminosyretabel [13].

I korn udgør aminosyre-N kun 75-80 pct. af total N, mens aminosyre-N udgør 80-85 pct. af total N i de vegetabiliske proteinfodermidler og fiskemel. I en foderblanding vil omkring 20 pct. af kvælstoffet således stamme fra NPN, som har negativ ernæringsmæssig værdi for grisen, da det koster energi (4 ATP pr. urinstof) at udskille overskydende kvælstof [11].

Under hydrolyse af protein i proteinanalysen adderes der et vandmolekyle til aminosyrerne, hvorfor summen af aminosyrer vejer mere end proteinet gjorde før hydrolysen. (Analogt til stivelse og glukose). Vandindholdet i frie aminosyrer kan estimeres ved følgende betragtning: Antages det, at et gennemsnits aminosyre har en molvægt på 115 til 125 g/mol og vands molvægt er 18 g/mol, kan vandindholdet i frie aminosyrer estimeres til $18/(115 \text{ til } 125) \times 100 = 14\text{-}15$ pct. vand. Således er energiholdet 14-15 pct. mere koncentreret i protein end i frie aminosyrer.

Det er observeret, at en forøgelse af råprotein og aminosyreindholdet i foderet påvirker grisenes stofskifte gennem øget proteinturnover (protein syntese + nedbrydning) og øget enzymkapacitet i urinstofcyklen, hvorfor dette også kunne indgå i fastsættelse af råproteinets energiværdi. Det er dog usikkert om dette har praktisk betydning ved varierende proteinniveau - men med samme indhold af fordøjelige aminosyrer, som er den normale problemstilling ved praktisk foderoptimering.

I det nye fodervurderingssystem er energiværdien af råprotein fastlagt til **9,9 kJ/g råprotein**, hvilket svarer til den fysiologiske energiværdi af aminosyrerne i en typisk blanding af korn og sojaskrå til slagtesvin - beregnet med tabelværdier fra 2002 for både aminosyrernes fysiologiske energiværdi og foderets aminosyresammensætning, se tabel 4.4.

Det betyder således, at det er antaget, at det højere energiindhold i protein i forhold til i aminosyrer pga. kondensering af aminosyrerne "går lige op med" meromkostninger ved udskillelse af overskydende kvælstof fra NPN og et eventuelt øget stofskifte ved stigende råproteinindhold. Tilsvarende er det valgt at se bort fra den præcise sammensætning af råprotein i de enkelte fodermidler - og dermed kun regne med en gennemsnitsværdi.

Eksempler på fysiologisk værdi af aminosyrer er vist i tabel 4.4.

Tabel 4.4. Konsekvens af indhold og sammensætning af aminosyrer i råprotein for fysiologisk energiværdi af råprotein.

Aminosyresammensætning	Fysiologisk energiværdi (kJ/g AS)	Fysiologisk energiværdi (kJ/g råprotein)
Gns. af alle 20 aminosyrer	10,3	-
Gns. af 9 essentielle + 2 semiessentielle	11,3	-
Gns. af 9 ikke essentielle	8,1	-
Vægtet gns. af aminosyrer i sojaskrå	10,1	10
Vægtet gns. af aminosyrer i hvede	10,2	9,8
Vægtet gns. af aminosyrer i skummetmælkspulver	10,8	11,4
Vægtet gns. af aminosyrer i typisk slagtesvinefoder	10,1	9,9

Som det fremgår af ovennævnte, er en præcis definition af "råproteins" fysiologiske energiværdi meget vanskelig, da analyseværdien "råprotein" refererer til en meget variabel stofgruppe. Det har vist sig, at værdien 9,9 kJ giver en energiværdi af proteinfodermidler som sojaskrå, som passer godt med fodringsforsøg (kapitel 7) – og den relative værdi af protein (85 pct.) i forhold til stivelse (100 pct.) er her ved stort set som bestemt i det franske nettoenergiurderingssystem, se kapitel 6.

4.5.2. Energiværdien af fedt

Det er energetisk mere effektivt at aflejre foderfedt (fedtsyrer) som kropsfedt end at opbygge kropsfedt fra stivelse (glukose). Dette kan betragtes som en "ekstra" egenskab ved fedt, hvorfor foderfedtet skal tillægges en merværdi svarende til effektivitetsforskellen mellem de to processer.

De novo (de novo = fra ny) fedtsyntese ud fra glukose kan som alle andre biokemiske processer anskues støkiometrisk. Hvis man betragter fedtsyreprofilen hos slagtesvin, som er fodret på fedtfrit foder, kan man få et indblik i hvilke fedtsyrer, som de novo syntetiseres i størst mængde. Det er i forsøg fundet, at ca. 25 pct., 15 pct. og 45 pct. af fedtsyrerne er henholdsvis palmitin-, stearin- og oliesyre, hvorfor vi tager udgangspunkt i disse tre fedtsyrer, da de bidrager kvantitativt mest [14].

Dog anføres kun støkiometrien for tripalmitin, da palmitinsyre altid er udgangspunktet for videre syntese af stearin og oliesyre - dvs. den principale fedtsyre er altid palmitinsyre, da fedtsyresyntetasekomplekset ikke kan syntetisere fedtsyrer med en kædelængde længere end C:16. Interesserede læsere kan konsultere appendiks 4 for gennemgang af støkiometrien i tristearin og triolieinsyntesen.

Tabel 4.5. Støkiometrien i de novo syntese af tripalmitin efter [10] og [11].

Trin	Biokemisk omsætning
1	4 glukose + 8 ADP + 8 NAD → 8 pyruvat + 8 NADH ₂ + 8 ATP
2	8 pyruvat + 8 NAD → 8 acetylCoA + 8 NADH ₂ + 8 CO ₂
3	8 acetylCoA + 8 oxaloacetat → 8 citrat
4	8 citrat + 8 ATP → 8 acetylCoA + 8 ADP + 8 oxaloacetat
5	8 oxaloacetat + 8 NADH ₂ → 8 malat + 8 NAD
6	8 malat + 8 NADP → 8 pyruvat + 8 NADPH ₂ + 8 CO ₂
7	8 pyruvat + 8 CO ₂ + 8 ATP → 8 oxaloacetat + 8 ADP
8	7 acetylCoA + 7 CO ₂ + 7 ATP → 7 malonylCoA + 7 ADP
9	7 malonylCoA + 1 acetylCoA + 14 NADPH ₂ → palmitat + 14 NADP + 7 CO ₂
10	0.5 glucose + 6 NADP → 3 CO ₂ + 6 NADPH ₂
11	4.5 glukose + 8 NAD + 15 ATP → 8 NADH ₂ + 11 CO ₂ + 15 ADP + palmitat
12	8 NADH ₂ + O ₂ + 24 ADP → 8 NAD + H ₂ O + 24 ATP
Balance ligning:	
13	4.5 glukose + 9 ADP → Palmitat + 9 ATP
3 gange palmitat syntese	
14	13.5 glukose + 27 ADP → 3 palmitat + 27 ATP
Omkostninger ved esterifikation af 3 palmitat	
15	0.5 glukose + ATP + NADH ₂ → glycerol-3-phosphat + ADP + NAD
16	3 palmitat + 6 ATP + 3 CoASH → 3 palmitylCoA
17	3 palmitylCoA + glycerol-3-phosphat → tripalmitin + 3 CoASH
Balance ligning:	
18	14 glukose + 18 ADP → tripalmitin + 18 ATP
Input	
19	14 glukose (a 36 ATP) → 1 tripalmitin + 18 ATP
Output	
20	13,5 Glucose → 1 tripalmitin

Palmitinsyresyntesen kræver kulstof (AcetylCoA) og energiækvivalenter (ATP, NADH₂ og NADPH₂) som dannes/forbruges i en række af biokemiske reaktioner, hvilke kan ses i tabel 4.5.

Trinene 1 til 3 er fuldstændig identiske med oxidationen af glukose, hvorfor 8 citrat dannes i mitochondriet. Disse translokteres til cytosolet, da fedtsyresyntesen er en cytosolisk proces, hvor 8 acetyl-CoA og 8 oxaloacetat formes ud fra citrat under forbrug af 8 ATP (trin 4). Trinene 5 til 7 er recirkulering af oxaloacetat til mitochondriet under hvilken størstedelen af NADPH₂ dannes.

Trin 8 er acetylCoAcarboxylase reaktionen, som producerer malonylCoA, der er substratet for fedtsyresyntetasekomplekset og er det hastighedsbegrænsende trin i fedtsyresyntesen. Trin 9 repræsenterer syv omgange i fedtsyresyntetasekomplekset, hvor acetylCoA anvendes som primer og palmitinsyre produceres. Behovet for NADPH₂ balanceres med oxidation af glukose via pentosephosphatvejen, som netto giver 12 NADPH₂ per glukose (trin 10) [10].

Nettoreaktion for syntese af palmitin er trin 13, som gentages tre gange. Omkostningerne til esterifikation af palmitinsyrerne er: 1) glycerol-3-phosphat, som dannes i glykolysen ved reduktion af dihydroxyacetone-phosphat; 2) aktivering af palmitinsyrerne, som kræver 2 ATP pr fedtsyre (trinene 15-17). De samlede omkostninger ved esterifikation repræsenterer 9 ATP, da NADH₂-forbruget (cytosolisk) til reduktion af dihydroxyacetone-phosphate repræsenterer et ATP potentiale på 2 ATP.

Det er således udledt, at bruttoligningen for tripalmitinsyntese forbruger 14 mol glukose og danner 18 mol ATP (trin 19). Det svarer til et forbrug på 13,5 mol glukose, da de 18 mol ATP svarer til 0,5 mol glukose (trin 20).

Effektiviteten i de novo fedtsyntesen beregnes på følgende vis:

$$\text{Effektivitet} = [\text{output i fysiologisk energiværdi}] / [\text{input i fysiologisk energiværdi}] \quad (4.4)$$

Ud fra fysiologisk energi er effektiviteten i tripalmitinsyntesen =

$$[1 \text{ mol tripalmitin a } 806 \text{ g} \times 26,3 \text{ kJ/g}] / [13,5 \text{ mol glukose af } 180 \text{ g a } 10,5 \text{ kJ/g}] \times 100 = 83 \%$$

En anden formulering er følgende: 13,5 Mol glukose = 2430 g glukose omdannes til 806 gram tripalmitin. Herved reduceres vægten til 33 pct., men alligevel fastholdes 83 pct. af den oprindelige energi fra glukose.

Fedts reelle fysiologiske energiværdi kan beregnes på baggrund af:

- Bruttoligningen for glukoseforbruget til syntese af et givet triglycerid
- Korrektion for ATP-produktion under triglycerid syntesen, hvorved det reelle forbrug af glukose beregnes
- At glukoses fysiologiske energiværdi er 10,5 kJ/g
- Enhedskonvertering fra mol triglycerid til gram triglycerid - hensyntag til triglyceridets molvægt
- Det antages, at reelt fordøjet fedt aflejres med en effektivitet på 100 pct, hvor energieffektiviteten ved syntese af fedt fra glukose som nævnt kun er ca. 83 pct.

Fedts fysiologiske energiværdi fastlægges altså relativt til glukose – som i praksis primært kommer fra stivelse, der er den største energikilde i svinefoder.

Effekten af fedtsyrens kædelængde og antal dobbeltbindinger på fedts fysiologiske energiværdi ses i tabel 4.6. Det ses, at fedtets fysiologiske energiværdi ændres marginalt med stigende kædelængde eller introduktion af en dobbeltbinding, hvilket hænger sammen med, at energien opkoncentreres med stigende kædelængde - og at der skal bruges energi på at introducere en dobbeltbinding.

Fedtets fysiologiske energiværdi er fastsat til **31,7 kJ/g = 31,7 MJ/kg** svarende til forbruget af fysiologisk energi fra glucose til fremstilling af tripalmitat. Denne værdi er fastlagt ud fra en betragtning om, at palmitinsyre er central i de novo fedtsyntesen - og at en marginal merværdi af fedt med længere kædelængde "går lige op med" med, at den direkte indlejring af fedtsyrer i praksis vil være marginalt under 100 pct.

Tabel 4.6. Effekt af fedtsyrens kædelængde på dens fysiologiske energiværdi af fedt, hvor energiværdien er sat lig med forbrug af fysiologisk energi ved syntese fra glucose.

Triglycerid	Molvægt g/mol	Brutto glukose forbrug mol	Netto glukose forbrug ¹ mol	Energiværdi MJ/mol	Energiværdi ² MJ/kg
Tripalmitin	806	14,0	13,5	25,5	31,7
Tristearin	890	15,8	15,2	28,7	32,3
Triolein	884	15,8	15,4	29,1	33,0

¹ Netto glukose forbrug = 14 mol - (18ATP / 36 ATP) = 13,5 mol. Energiværdi = 13,5 mol x 180 g/mol x 10,5 kJ/g = 25.515 kJ/mol = 25,5 MJ/mol.

² Energiværdi tripalmitin = 25.515 kJ pr. mol / 0,806 kg /mol = 31.7 MJ/kg.

4.5.3. Energiværdien af let fordøjelige kulhydrater (LFK)

Den fysiologiske energiværdi af LFK er fastsat til **11,7 kJ/g**, som er svarende til energiværdien for stivelse. Dette skyldes, at over 90 pct. af LFK-fraktionen normalt er stivelse – og den resterende del er mono – og disakkarider, som har næsten samme værdi. Begge fraktioner absorberes fra tyndtarmen som monosakkarid efter at grisens enzymer har nedbrudt stivelse og disakkarider. Ydermere er der i afsnit 2 redegjort for, at LFK fraktionen er meget tæt på summen af stivelse og sukker på tværs af fodermidler.

Der er en ikke uvæsentlig mikrobiel omsætning af kulhydrater (oligosaccharider, β -glukaner mm.) i tyndtarmen hos grise, men absorptionsprodukterne er kortkædede fedtsyrer (acetat, propionat, butyrat og lactat mm.), hvorfor de medregnes blandt fermenterbare kulhydrater uafhængigt af fordøjelsesstedet [15].

4.5.4. Energiværdien af fermenterbare kulhydrater (FMK) til vækst eller vedligehold

Man kan ikke direkte fra biokemien udlede en fysiologisk udnyttelsesgrad for FMK, da den mikrobielle omsætning samlet resulterer i mikrobielt organisk stof, fermentationsgasser (CH_4 , CO_2 og H_2), kortkædede fedtsyrer og varmeproduktion, hvor det kun er de kortkædede fedtsyrer, som er til rådighed for grisens stofskifte [15].

Den fysiologiske energiværdi af FMK er afhængig af grisens fysiologiske status (grise i vækst henholdsvis søer). Dette skyldes, at større mængder FMK i sofoderet ofte påvirker søernes adfærd i form af et lavere aktivitetsniveau. Endvidere kan varmeproduktionen forbundet med den mikrobielle omsætning være til gavn for søerne, da det reducerer behovet for nedbrydning af næringsstoffer alene for at opretholde legemstemperaturen. Den samlede effekt er, at søernes vedligeholdelsesbehov falder. Effekten vil være størst for drægtige søer og uden for den varme sommerperiode.

Dette håndteres i energiberegningen ved at differentiere udnyttelsesgraderne, således, at der anvendes en udnyttelsesgrad relativt til stivelse på 60 pct. for grise i vækst og 77 pct. for søer.

Energiværdien af FMK til grise i vækst = $0,6 \times 11,7 \text{ kJ/g} = 7 \text{ kJ/g}$

Energiværdien af FMK til søer = $0,77 \times 11,7 \text{ kJ/g} = 9 \text{ kJ/g}$

Ovenstående udnyttelsesgrad for grise i vækst er et gennemsnit af litteraturværdier for udnyttelse af forgærede kulhydrater relativt til stivelse - og de 60 pct. er lig med værdien anvendt i det franske nettoenergiurderingssystem. Værdien på 9 kJ/g (og udnyttelsesgraden på 77 pct.) er skønsmæssigt ansat ud fra ovennævnte overvejelser, da der ikke er forsøgsmæssigt grundlag for en præcis værdisættelse for søer. Der anvendes en fast værdi for søer i hele cyclus, selv om værdien primært er fastsat ud fra den forventede effekt i drægtighedsperioden.

Ligeledes kan der fra et biokemisk synspunkt argumenteres for, at udnyttelsesgraden af FMK bør være lavere relativt til stivelse. Hvis man indekserer den fysiologiske udnyttelsesgrad af stivelse til 100, fås 88, 91, 94 og 97 for henholdsvis acetat, propionat, butyrat og laktat – se tabel 4.3. Dog kan det bemærkes, at den lavere energiudnyttelse af organiske syrer i stofskiftet langt fra forklarer de forsøgsbestemte værdier, hvilket skyldes, at den mikrobielle omsætning forbruger en større del af energien end forskellen mellem energiværdien af stivelse og organiske syrer.

4.5.5. Energital ved fordøjelse - herunder endogent energital

Man kan direkte estimere det foderspecifikke endogene næringsstoffab, som er relateret til mængden af ufordøjet tørstof ved ileum (UTSi) - se kapitel 3:

$$\begin{aligned}\text{Foderspecifikt endogen proteintab (g/kg ts.)} &= 0,066 \times \text{UTSi, (g/kg ts.)} \\ \text{Foderspecifikt endogen fedttab (g/kg ts.)} &= 0,025 \times \text{UTSi, (g/kg ts.)} \\ \text{Foderspecifikt endogen energital (g/kg ts.)} &= (0,025 \times 31,7 + 0,066 \times 9,9) \times \text{UTSi, (g/kg ts.)} \\ &= 1,4 \text{ (kJ/g)} \times \text{UTSi, (g/kg ts.)}\end{aligned}$$

Det endogene tab af protein og fedt repræsenterer kun omkring 25 pct. af den samlede endogene sekretion, hvilket skyldes, at hovedparten reabsorberes (75 pct.) – det vil sige at der reelt syntetiseres fire gange så meget endogent organisk stof, som der tabes. Derfor må man forvente, at det foderspecifikke endogene tab har en relativ stor indflydelse på synteseomkostningerne i mave-tarmkanalen.

Slagteforsøg har demonstreret, at fodring med stigende mængder fiber (FMK), øger mave- tarmkanalens vævsmasse [16]. Selvom mave-tarmkanalens masse udgør en proportional lille andel af den samlede kropsvægt, bidrager den til en signifikant andel af det totale energiforbrug [7]. Det er estimeret, at mave-tarmkanalen optager ca. 25 pct. af det samlede oxygenforbrug hos grise i vækst, hvorfor en mindre ændring i mave-tarmkanalens vævsmasse, vil påvirke grisenes vedligeholdelsesbehov væsentligt [17]. Yderligere tillægges mave-tarmkanalen ingen økonomisk værdi ved slagting.

Det er forventeligt, at stigende mængder ufordøjet foder kræver mere fysisk arbejde af fordøjelseskanalen. Dog foreligger der ingen estimater for dette i litteraturen.

Det antages, at den samlede energiomkostning ved at omsætte tungere fordøjelige foderkomponenter er ca. det dobbelte af det direkte foderspecifikke endogene energital. Det er ikke muligt at opnå et mere præcist estimat for dette energiforbrug ud over ovenstående overvejelser, hvorfor det endelige estimat kan anføres til:

$$\text{Foderspecifikt endogent energital (kJ/kg ts.)} = 2,8 \text{ (kJ/g)} \times \text{UTSi, (g/kg ts.)}$$

4.6. Samlet ligning til beregning af indhold af fysiologisk energi

En foderblandings eller et fodermiddels indhold af fysiologisk energi kan herefter findes ved at kombinere næringsstoffractionerne fra kapitel 3 med de fysiologiske energiværdier fra kapitel 4 – hvilket giver følgende ligninger:

$$\text{Indhold af fysiologisk energi til slagtesvin, kJ pr. kg ts} = \text{RFRP, [g/kg ts]} \times 9,9 \text{ kJ/g} + \text{RFRF, [g/kg ts]} \times 31,7 \text{ kJ/g} + \text{LFK, [g/kg ts]} \times 11,7 \text{ kJ/g} + \text{FMK, [g/kg ts]} \times 7,0 \text{ kJ/g} + \text{UTSi, [g/kg ts]} \times 2,8 \text{ kJ/g}$$

$$\text{Indhold af fysiologisk energi til søer, kJ pr. kg ts} = \text{RFRP, [g/kg ts]} \times 9,9 \text{ kJ/g} + \text{RFRF, [g/kg ts]} \times 31,7 \text{ kJ/g} + \text{LFK, [g/kg ts]} \times 11,7 \text{ kJ/g} + \text{FMKso, [g/kg ts]} \times 9,0 \text{ kJ/g} + \text{UTSi, [g/kg ts]} \times 2,8 \text{ kJ/g}$$

Med denne formulering tages udgangspunkt i de in vitro bestemte reelle fordøjeligheder.

De ovennævnte ligninger er de valgte ligninger i praksis - hvor indholdet af fysiologisk energi dog omregnes til foderenheder ved at dividere med 7.380 kJ for FEsv og 7.700 kJ for FEso - se kapitel 1.

Man kunne i stedet for have valgt at anvende de samme ligninger på basis af de standardiserede fordøjeligheder, da de kan omskrives til:

$$\text{Indhold af fysiologisk energi til slagtesvin, kJ pr. kg ts} = \text{St.f.råpr, [g/kg ts]} \times 9,9 \text{ kJ/g} + \text{st.f.råfedt, [g/kg ts]} \times 31,7 \text{ kJ/g} + \text{LFK, [g/kg ts]} \times 11,7 \text{ kJ/g} + \text{FMK, [g/kg ts]} \times 7,0 \text{ kJ/g} + \text{UTSi, [g/kg ts]} \times 1,4 \text{ kJ/g}$$

$$\text{Indhold af fysiologisk energi til søer, kJ pr. kg ts} = \text{st.f.råpr, [g/kg ts]} \times 9,9 \text{ kJ/g} + \text{st.f.råfedt [g/kg ts]} \times 31,7 \text{ kJ/g} + \text{LFK, [g/kg ts]} \times 11,7 \text{ kJ/g} + \text{FMKso, [g/kg ts]} \times 9,0 \text{ kJ/g} + \text{UTSi, [g/kg ts]} \times 1,4 \text{ kJ/g}$$

Hvor

$$\text{St.f. råprotein [g/kg ts]} = \text{råprotein [g/kg ts]} \times 0,91 + 0,066 \times \text{UTSi [g/kg ts]}$$

$$\text{St.f. råfedt [g/kg ts]} = \text{Råfedt [g/kg ts]} \times 0,90 + 0,025 \times \text{UTSi [g/kg ts]}$$

Sidstnævnte er alene medtaget for at vise, at håndteringen i praksis faktisk har udgangspunkt i konceptet omkring standardiserede fordøjeligheder - selv om der regnes med reelle fordøjeligheder.

Ved at bruge ligningssystemet baseret på de reelle fordøjeligheder forenkles håndteringen, da man ikke behøver at lave mellemregningerne, som viser standardiseret fordøjet protein og fedt. Ligninger baseret på in vitro bestemte standardiserede fedt- og proteinfordøjeligheder kunne nemt give unødigt forvirring omkring proteinfordøjelighederne, da man i proteinvurderingssystemet (se kapitel 8) ikke kan nøjes med in vitro fordøjeligheder baseret på fast EFNi - selv om dette har vist sig præcist nok i energivurderingen.

4.7. Konklusion

Fysiologisk energi er et udtryk for næringsstoffernes ATP-potentiale, som kan beregnes ved at betragte næringsstoffets biokemiske omsætningsvej. Energitransaktionen, som er forbundet med hydrolyse af ATP til ADP (ATP-forbrug), er konstant, hvorfor den fysiologiske udnyttelsesgrad kan beregnes. Den fysiologiske energiværdi er således mængden af energi, som er til rådighed for fysiologisk arbejde efter korrektion for den fysiologiske udnyttelsesgrad (effektiviteten i ATP syntesen). Der eksisterer en fysiologisk energiværdi for hvert næringsstof, hvorfor der er gjort en række middelværdibetragtninger for at tilpasse disse til klasserne af (makro)næringsstoffer (råprotein, råfedt, LFK og FMK).

Proteinets energiværdi svarer til den fysiologiske energiværdi af aminosyrerne pr g råprotein i en korn- og sojaskråblanding. Fedtet er tillagt en merværdi, hvilket skyldes, at det er energetisk mere effektivt at aflejre fedt direkte fra foderfedt end at opbygge fedt fra stivelse. LFK værdifastsættes til stivelses fysiologiske energiværdi, mens FMK-værdien er fastlagt relativt til stivelse ud fra effektiviteten fundet i forsøg med grise. Dog er FMKs værdi afhængig af dyrets fysiologiske stade, da det vurderes, at varmeproduktionen forbundet med den mikrobielle omsætning af FMK er til gavn for søerne.

Endvidere indføres en korrektion for det foderspecifikke endogene tab af fysiologisk energi, som er relateret til UTSi. Tabet sker dels i form af det direkte endogene tab af næringsstoffer, dels ved tab ved de fysiologiske processer, der producerer de endogene næringsstoffer og dels ved, at tungt fordøjelige foderkomponenter påvirker mavetarmkanalen gennem øget vævs-masse og fysisk arbejde. Energitalet relateret til UTSi er fastlagt til 2 gange energiindholdet i det direkte foderspecifikke endogene tab.

I tabel 4.7 ses de fastlagte fysiologiske energiværdier for de forskellige næringsstoffraktioner i det danske energivurderingssystem til grise. Der eksisterer således to energiligninger – den ene hørende til grise i vækst og den anden til søer.

Tabel 4.7. Næringsstoffraktioners fysiologiske energiværdier i det danske energivurderingssystem.

Næringsstoffraktion	FEsv kJ/g	FEso kJ/g
RFRP = Reelt fordøjeligt råprotein - [g/kg ts]	9,9	9,9
RFRF = Reelt fordøjet råfedt - [g/kg ts]	31,7	31,7
LFK = Letfordøjeligt kulhydrat - [g/kg ts]	11,7	11,7
FMK = Fermenterbart kulhydrat - [g/kg ts]	7,0	-
FMKso = Fermenterbart kulhydrat, Søer - [g/kg ts]	-	9,0
Energitalet ved fordøjelse pr. gram UTSi	2,8	2,8

5. Fedtvurdering i fodervurderingssystemet

Baggrund

Det danske fodervurderingssystem håndterer fedt anderledes end andre energivurderingssystemer, da det danske system tager udgangspunkt i reelle fedtfordøjeligheder, mens andre systemer typisk tager udgangspunkt i tilsyneladende fedtfordøjeligheder, der, som det er vist i kapitel 3, er meget afhængige af forsøgsbetingelserne ved fordøjelsesforsøgene.

I nærværende kapitel redegøres for den viden om fedt, som er baggrunden for, at der generelt regnes med en reel fedtfordøjelighed på 90 pct. for alle fodermidler – mens det principielle om fedtfordøjelighedsbegreber findes i kapitel 3. I nærværende kapitel redegøres endvidere for håndtering af fedtkilder, som har en anden fordøjelighed end 90 pct.

5.1. Fedtanalysen

I den officielle analysemetode til bestemmelse af fedt i foder anvendes syrehydrolyse kombineret med ekstraktion med petroleumssæter. Det betyder, at fedt i princippet er alle stoffer, som ekstraheres med denne metode. Ekstraktionsmetoden er valgt, fordi den analyserede fedtmængde herved i gennemsnit bliver meget tæt på mængden af triglycerid i foderet – og derfor er et godt mål for, hvor meget fedt der skal indregnes til triglyceridværdi.

En ekstraktion uden syrehydrolyse finder mindre fedt i fodermidler og færdigfoder, mens kombination af syrehydrolyse med en ekstraktion med diethylæter (stoldt fedt) eller kloroform finder mere fedt end den officielle metode [18].

Målemetoden for fedt har stor betydning ved bestemmelse af tilsyneladende fedtfordøjelighed, hvor det specielt er vigtigt, at gødningen måles med syrehydrolyse for at få opløst calciumsæber af fedtsyrerne. I Danmark er fordøjeligheder primært målt med "Stoldt fedt", som er syrehydrolyse kombineret med ekstraktionsmidlet diethylæter.

At den officielle EU-metode er godt korreleret til indhold af fedtsyrer og dermed triglycerid, er vist i tabel 1, hvor der fra et stort analysearbejde på DJF [18] er vist eksempler på fodermidlers indhold af fedt målt med EU-metode og de samme fodermidlers indhold af fedtsyrer. Fedtsyreindholdet i tabel 1 er et gennemsnit af fedtsyreindhold, når der er brugt de mest effektive fedt ekstraktionsmetoder, nemlig syrehydrolyse kombineret med diethylæter og kloroform. Samme publikation viser forskellene mellem de forskellige ekstraktionsmetoder på en række fodermidler, men dette er ikke medtaget i tabel 5.1.

Tabel 5.1. Sammenhæng mellem totalindhold af fedtsyrer og fedtmængde målt med den officielle EU-metode til fedtanalyse [18].

Fodermiddel	% fedt i tørstof med EU-metode	Fedtsyrer % af tørstof*	Fedtsyrer i % af fedt med EU-metode
Byg	2,91	2,75	95
Hvede	2,35	2,12	90
Havre	4,55	4,30	94
Rug	1,78	1,48	83
Hvedeklid	5,18	4,70	91
Sojaskrå, parti 1	1,94	1,72	89
Sojaskrå, parti 2	2,55	2,27	89
Rapsskrå	3,88	3,92	101
Rapskage/skrå	5,89	5,46	93
Rapskage	8,95	8,56	96
Roepiller	1,03	0,98	95
Fiskemel	10,13	8,67	86
Rapsfrø	41,74	39,4	94
Gns.			92

* Det målte fedtsyreindhold i pct. af tørstof er gennemsnit af de 2 metoder, som målte højest fedtsyreindhold, nemlig syrehydrolyse kombineret med ekstraktion med kloroform henholdsvis diethylæter.

Det fremgår af tabel 5.1, at fedtsyreindholdet i typiske fodermidler, som ikke er rene fedtkilder udgør fra 83-101 pct. af fedtmængden målt med den officielle metode. I gennemsnit har fedtsyremængden udgjort 92 pct. af fedtmængden – svarende til, at triglyceridindholdet i fodermidlerne i gennemsnit har udgjort 96-97 pct. af det målte fedtindhold.

I meddelelsen [18] er den præcise metode til selve fedtsyrebestemmelsen ikke angivet.

5.2. Planteolier - rå og raffinerede

Rå Planteolier indeholder normalt ca. [19]

- 98 -99 pct. fedtsyrer og triglycerid
- 0,5 pct. fosfolipider (lecithin)
- 0,5 pct. steroler
- 0,1-1 pct. karotenoider, klorofyl og andre farvestoffer
- 0,1-0,2 pct. tokoferoler
- Diverse oxidationsprodukter og stærkt smagende komponenter i små mængder.

De oprindelige triglycerider kan dog være mere eller mindre spaltede i frie fedtsyrer, monoglycerider og diglycerider. Rå palmeolie indeholder en stor andel frie fedtsyrer, mens andelen af frie fedtsyrer er lille i rå raps- og sojaolie. Rå palmeolie er også rig på karotenoider [19].

Ved raffinering af olier er det formålet at fjerne fosfolipider, frie fedtsyrer, monoglycerider og alle flygtige smagsstoffer. Herved øges holdbarheden – olien får en neutral smag og problemer med bundfald minimeres.

Det tilstræbes, at den raffinerede olie primært består af triglycerider – dog ønskes indholdet af steroler og fedtopløselige vitaminer tilbageholdt i olien, bl.a. fordi E-vitamin både stabiliserer olien og er gavnlig for ernæringen. En raffineret olie vil derfor normalt indeholde minimum 99 pct. triglycerid. I palmeolie kan der dog være en del diglycerider tilbage i den raffinerede olie – angivet til typisk ca. 6 procent [19].

Første step ved raffinering af olie kan ske med kemisk behandling eller ved gennemblæsning med damp. Der følges op med en "deodorisation", hvor de flygtige komponenter fjernes med vanddamp og vakuum. Dette fjerner smagsstoffer og øger holdbarheden markant.

Afdestillering af frie fedtsyrer er det normale ved raffinering af palmeolie, hvor den rå olie indeholder mange frie fedtsyrer. Den afdestillerede fedtsyreblending kalder PFAD, Palm Fatty Acid Destillate [19]. PFAD har stort set samme fedtsyresammensætning som palmeolie. Indholdet af fedtsyrer vil normalt være ca. 90 pct. og indholdet af frie fedtsyrer er 70-75 pct. af råfedt. PFAD indeholder desuden mono-, di- og triglycerider, og 1-2 pct. karotenoider + lidt tocopheroler og steroler. Det er ikke oplyst, om der er fri glycerol [19, 22, 23, 28].

5.3. Smeltepunkt af forskellige fedtkilder

En fedtkilde, som er flydende ved stuetemperatur betegnes oftest "olie", men for nogle fedttyper bruges betegnelserne olie og fedt i flæng, fx kokosfedt/kokosolie og palmefedt/palmeolie. Svinefedt smelter ved 34-38 °C afhængig af den aktuelle fedtsyresammensætning – men har altid betegnelsen "fedt".

I planter fra tempererede klimazoner er olien flydende ved stuetemperatur, og de fleste planteolier er flydende ved 0 °C (Raps-, soja-, solsikke-, majs- og olivenolie) [19]. Det samme gælder for det fedt/olie, som findes i korn og proteinfødemidler fra tempererede klimazoner.

Olie/fedtstoffer fra tropiske kan have højere smeltepunkt. Palmekerneolie og kokosolie smelter ved 20-30 °C og palmeolie ved 33-42 °C. Smeltepunktet er ikke så veldefineret som for vand, fordi olier indeholder mange forskellige triglycerider med hvert sit smeltepunkt. Variation i smeltepunkt kan udnyttes til fraktionering af olier, fx er det almindeligt at dele palmeolie i "Palm Olein" med et smeltepunkt på ca. 23 °C og "Palm Stearin" med et smeltepunkt på ca. 52 °C [19]. Sidstnævnte har formentlig lavere fordøjelighed end den oprindelige olie.

Fedtsyrers smeltepunkt stiger med stigende kædelængde, men falder med stigende grad af umættethed. Triglycerider, som består af forskellige fedtsyrer bundet til glycerol, har et lavere smeltepunkt end gennemsnittet af de indgående fedtsyrers smeltepunkt, fordi uregelmæssigheden i den fysiske opbygning af de varierende triglycerider gør det vanskeligere at krystallisere [19].

Blandinger af frie fedtsyrer fra sojaolie smelter således ved 20-30 °C, mens sojaolie smelter under 0 °C. PFAD's smeltepunkt (ca. 42 °C) er ca. 5 °C højere end palmeolies (ca. 37 °C) [19, 23].

Det lave smeltepunkt og de mange dobbeltbindinger i mange olier giver problemer med holdbarhed og konsistens i fødevarer. Man kan derfor "hærde" fedt ved at blæse brint igennem – normalt med nikkel som katalysator. Brintatomerne reagerer derved med dobbeltbindinger, og sænker graden af umættethed i følgende rækkefølge: polyumættede, di-umættede, mono-umættede og mættede fedtsyrer. Hærdningen kan stoppes på mange trin i processen, og man kan derfor opnå præcis det ønskede smeltepunkt [19].

Ulempen ved hærdningen er, at der dannes transfedtsyrer – hvor der i naturlige olier stort set kun er Cis-fedtsyrer [19]. Transfedtsyrer menes at øge risikoen for hjerte-karsygdomme og kræft. Transfedtsyrer kan findes i restfedtprodukter fra fødevarerindustrien.

Køres hærdningen helt til ende, så der kun er mættede fedtsyrer, kan fedtet blive helt ufordøjeligt, mens delvis hærkede oliers fordøjelighed er afhængig af smeltepunkt. Graden af hærdning kan måles med jodtallet, som er et mål for antallet af dobbeltbindinger i fedtet. Et forsøg har således vist 10 pct højere fordøjelighed ved et jodtal på 50 (ren oksetalg) i forhold til et jodtal på 30, hvor produktet med et jodtal på 30 var delvis hærde oksetalg. I samme forsøgsrække fandt man endvidere, at fuldt hærde oksetalg var helt ufordøjeligt [20].

Svinefedt har et smeltepunkt lige under grisens legemstemperatur. Oksetalg smelter ved lidt højere temperatur end svinefedt og har som gennemsnit ca. 5 pct. lavere tilsyneladende fordøjelighed [21].

5.4. Fedtfordøjelighed

En udførlig beskrivelse af fordøjelsesbegreber findes i kapitel 3, hvor det fremgår, at den målte tilsyneladende fedtfordøjelighed er stærkt afhængig af fedtprocenten i foderet, fordi det endogene tab af fedt betyder meget ved lavt fedtindhold. I det følgende vises et eksempel på beregnede (forventede) teoretiske tilsyneladende fordøjeligheder i slagtesvinefoder og smågrisefoder svarende til det foder, som er anvendt i et fordøjelsesforsøg på DJF i 2005 [21,23], se tabel 5.2. Beregningen er gennemført ved to eksempler på reel fordøjelighed (90 og 95 pct.)

Til beregningen anvendes ligningen 3.5 fra kapitel 3:

$$\text{Tilsyneladende fordøjelighed af råfedt} = (\text{Råfedt [g/ kg ts]} \times \text{Reel FK/100} \div 9 \text{ [g/ kg ts]} \div 0,025 \times \text{UTSi [g/ kg ts]}) / \text{råfedt} \quad (5.1)$$

Det fremgår af ligningen 5.1, at det endogene tab er afhængig af mængden af ufordøjeligt tørstof, hvorfor den tilsyneladende fordøjelighed af samme fedtkilde vil måles lidt lavere i foder med meget ufordøjeligt tørstof.

Tabel 5.2. Teoretisk beregnet tilsyneladende fordøjelighed afhængig af foderblandingsens indhold af UTSi og fedtets reelle fordøjelighed.

Fodertype	Slagtesvin	Slagtesvin	Smågrise	Smågrise
UTSi, g/kg ts	240	240	150	150
Reel fordøjelighed,%	90	95	90	95
Fedt, % i tørstof				
1,0	÷ 60	÷ 55	÷ 38	÷ 33
2,0	15	20	26	31
4,0	53	58	58	63
6,0	65	70	69	74
7,4 ³	70 (66 ¹)	75 (74 ²)	73	78
8,4 ⁴	74	79	75 (75 ¹)	80 (80 ¹)
10,0	76	81	77	82

¹ Målt i fordøjelighedsforsøg med svinefedt [21].

² Målt i fordøjelighedsforsøg med rapsolie [21].

³ Gennemsnitlig analyseret totalfedtindhold i slagtesvinefoder tilsat 5 % af aktuell fedtkilde.

⁴ Gennemsnitlig analyseret totalfedtindhold i smågrisefoder tilsat 5 pct. af aktuell fedtkilde.

Smågrisefoderet indeholdt ca. 10 pct. fiskemel og dermed ca. 1 pct. fiskeolie i basalfoderet, hvilket er årsagen til, at der var ca. 1 pct. mere fedt i smågrisefoderet end i slagtesvinefoderet.

Af tabel 5.2 fremgår, at det er sandsynligt, at den reelle fedtfordøjelighed for foderblandingerne med rapsolie har været ca. 95 pct., mens den reelle fordøjelighed af totalfedt i foderet med 5 pct. svinefedt

har været 90 pct. for smågrisefoder og ca. 86 pct. for slagtesvinefoderet (Indsættes 86 pct. for reel fordøjelighed for slagtesvinefoderet beregnes en tilsyneladende fordøjelighed på 66 pct). Ved vurdering af tabel 5.2 skal man være opmærksom på, at det tilsatte fedt (50 g pr. kg) kun udgør ca. 68 pct. af totalfedt i slagtesvinefoderet og ca. 60 pct. af totalfedt i smågrisefoderet. Det betyder, at de målte forskelle i fedtfordøjeligheder bør divideres med ca. 0,7 i slagtesvineforsøget og med ca. 0,6 i smågrise-forsøget – når man skal se på forskelle i det tilsatte fedts fordøjelighed. En målt forskel i fordøjelighed på 5 pct. på totalfedt i foderet svarer således til en forskel mellem de tilsatte kilder på 7-8 pct.

De forsøgsbestemte tilsyneladende fordøjeligheder i forsøget [21] er vist i tabel 5.3, og der er desuden vist et estimat på de reelle fordøjeligheder. De reelle fordøjeligheder kunne have været estimeret direkte fra forsøget, hvis man havde målt fordøjeligheden af fedt i basisblandingen uden fedttilsætning.

Tabel 5.3 Målte tilsyneladende fordøjeligheder i fordøjelsesforsøg [21] og estimerede reelle fordøjeligheder ud fra generel ligning.

Fordøjelighed	Smågrise	Smågrise	Slagtesvin	Slagtesvin
	Tilsyneladende	Estimeret reel ¹	Tilsyneladende	Estimeret reel ¹
Svinefedt	75,1	89	65,5	84
Rapsolie	80,2	97	73,5	96
Palmeolie	76,4	90	64,0	82
PFAD	77,0	92	67,8	88
Palmeolie/PFAD	72,8	86	59,1	75
Kokosolie	80,0	97		
² Blandingsfedt			62,1	79

¹ Hvilken værdi for reel fordøjelighed giver den målte tilsyneladende fordøjelighed, når det antages, at fedt fra korn og sojaskrå og fiskemel har en reel fordøjelighed på 90, 90 og 95 pct., og man indsætter i ligningen:

Tils. FK = (Råfedt, [g/kg ts] × Reel FK/100 ÷ 9 [g/kg ts] ÷ 0,025 × UTSi [g/ kg ts])/ råfedt, se eksempel i tekst.

² Blandingsfedt fra firmaet Scanfedit – S (15 % PFAD, 20 % industrifedtsyrer, 65 % palmeolie).

Eksempel på beregning af reel fordøjelighed ved tilsætning af 5 pct. palmeolie til slagtesvin:
(Se tabel 5.2 og 5.3 for data)

Tilsyneladende fordøjet = 74 g fedt/kg ts × 0,64 FK(målt i forsøget)	=	47,4 g
Basalt endogent tab fra generel ligning	=	+ 9,0 g
Foderspecifik endogent tab = 0,025 × 240 g UTSi (generel ligning)	=	+ 15,0 g
Reelt fordøjet	=	62,4 g
Heraf fra korn og sojaskrå = 24 × 0,9 (90 pct. reel fordøjelighed)	=	÷ 21,6 g
Reelt fordøjet gram fra palmeolie	=	40,8 g
Reel fordøjelighed af palmeolie = 40,8 g / 50 g tilsat palmeolie	=	82 pct.

De estimerede reelle fordøjeligheder af rapsolie er i dette forsøg stort set identiske for smågrise og slagtesvin, mens der er en betydelig forskel mellem smågrise og slagtesvinefoder for fedtkilder med lavere fordøjelighed. Det kan måske skyldes, at fiskeolieindholdet i smågrisefoderet gavner fordøjeligheden af fedttyper med højt smeltepunkt, da fedtets gennemsnitlige smeltepunkt har været lavere i smågrisefoder.

Der er selvfølgelig en ikke ubetydelig usikkerhed, når den reelle fedtfordøjelighed estimeres som angivet ovenfor, da alle usikkerheder på estimater for endogent fedttab og reelle fordøjeligheder af fodere-basalfedt påvirker den estimerede reelle fordøjelighed af den undersøgte fedtkilde. Men beregningsmetoden illustrerer, hvordan de forskellige fordøjeligheder hænger sammen – og beregningen viser, hvordan måling af tilsyneladende fordøjelighed kan tolkes i relation til fodervurderingssystemet.

Det ideelle er dog direkte at måle de reelle fordøjeligheder som marginal fordøjelighed med stigende fedtiblanding. Det er gjort i tidligere forsøg med slagtesvin [22]. Med denne metode fandt man reelle fordøjeligheder på 91, 90 og 86 pct. for sojaolie, svinefedt henholdsvis palmeolie.

Fedtfordøjelighed har endvidere været målt i mange udenlandske forsøg [21]. Generelt tyder forsøgene på, at plantefedt som er flydende ved 30 grader har en fordøjelighed, som er ca. 5 pct. højere end svinefedt, som igen er ca. 5 pct. mere fordøjelig end oksetalg.

I Holland er tabelværdierne for fordøjelighed 95 pct. for vegetabilsk fedt og 89 pct. for animalsk fedt.

På baggrund af de forskellige forsøgsresultater vurderes det, at det bedste bud på reelle fedtfordøjeligheder er ca. 90 pct. for svinefedt og palmeolie og ca. 95 pct. rene fedttyper, som er flydende ved 30 °C – se i øvrigt tabel 5.4, som opsummerer den samlede vurdering af fedtkilders værdi.

5.5. Vurdering af PFAD

PFAD har vist varierende resultater i både produktions- og fordøjelighedsforsøg.

De nye forsøg [21] og [23] viste resultater på niveau med svinefedt, mens to ældre forsøg har vist vidt forskellige resultater, hvor man i det ene forsøg fandt fodringsværdi på niveau med animalsk fedt [33], mens det andet forsøg viste meget dårlig produktivitet [28]. Et tilsvarende parti som sidstnævnte (eller sandsynligvis det samme parti vurderet ud fra fedtsyreprofil og andel frie fedtsyrer) viste endvidere en reel fordøjelighed på kun 72 pct. [22].

Det er svært at afdække forskellene mellem de gode og de dårlige partier af palmeoliefedtsyrer, men det sandsynlige er, at det dårlige parti ikke har været ren 1. generations palmeoliedestillat. Det dårlige parti havde således lavere indhold af umættet fedt og lidt lavere total fedtsyreindhold (84-88 pct. fedtsyrer og 79-80 pct. frie fedtsyrer af råfedt) end de to partier, som har givet gode resultater. Dette kunne tyde på, at det dårlige parti kunne være tilblandet et restfedtprodukt fra industrien. Da frie fedtsyrer har udgjort minimum 90 pct. af fedtsyreindholdet i det dårlige parti, har indholdet af tri-, di- og monoglycerider været lavere end i normal PFAD - og smeltepunktet har sandsynligvis været højere. Kombinationen heraf kan måske forklare den lavere målte reelle fordøjelighed på kun 72 pct.

PFAD uden tilblanding af andre fedtkilder indeholder som nævnt normalt 70-75 pct. frie fedtsyrer og minimum 90 pct. fedtsyrer af råfedt og en vis mængde mono, di og triglycerider, som "bliver revet med" af vanddampen ved destillationen. Sidstnævnte kan være en forudsætning for både emulgering i tarmen og for, at smeltepunktet ikke bliver for højt.

Sammenfattende ser det ud til, at PFAD af normal kvalitet er meget tæt på palmeolie og svinefedt i foderværdi og fordøjelighed - selv om smeltepunktet på ca. 42 °C kunne indikere lavere fordøjelighed.

Det er uklart, hvorfor en blanding af PFAD og palmeolie har lavere fordøjelighed end kilderne hver for sig, men da det blev fundet i både smågrise- og slagtesvineforsøg, er det noget man skal tage hensyn til. En hypotese er, at det højere smeltepunkt i fedtblandingen kan gå ud over palmeoliens fordøjelighed.

De gode resultater med PFAD til smågrise er opnået i pelleteret foder med fiskemel og dermed ca. 1 pct. fiskeolie [21]. Det er muligt, at pelleteringsprocessen har fået blandet PFAD så godt med det øvrige fedt i foderet, at smeltepunktet er kommet under grisens legemstemperatur. Det kan være medvirkende til den høje fordøjelighed.

5.6. Fedtsyreindhold

Indholdet af frie fedtsyrer bestemmes ofte som frie fedtsyreender omregnet som oliesyre. Men omregning kan også ske på basis af palmitinsyre. Omregning som oliesyre overvurderer indholdet af frie fedtsyrer i fedttyper med lavere kædelængde. En analyse af fedtsyrer ud fra frie fedtsyreender er med andre ord ikke en særlig præcis analyse.

Totalindhold af fedtsyrer bestemmes dog normalt ved en analyse af alle fedtsyrer – hvor summen af de individuelle fedtsyrer er lig med fedtsyreindholdet. Dette giver en mere præcis bestemmelse.

Der kan laves en teoretisk beregning af fedtsyreindholdet i triglycerider ud fra molvægten, som viser, at fedtsyreprocenten i ren triglycerid er lidt afhængig af kædelængden.

Fedtsyreindhold i triolein

1 mol triolein á 884 g + 3 mol vand á 18 g → 3 mol oliesyre á 282 g + 1 mol glycerol á 93 g

Indholdet af fedtsyrer udgør $3 \times 282/884 = 95,7$ pct. af triglyceridmængden.

Vær opmærksom på, at vægten øges pga. vandtilsætningen, og at fedtsyreprocenten falder, når triglycerid omdannes til FFA. Derfor vil fedtsyreprocenten af en blanding af fri oliesyre og glycerol være: $3 \times 282/(3 \times 282 + 93) = 90,1$ pct.

Fedtsyreindholdet er tilsvarende lavere i mono- og diglycerider end i triglycerider, da glycerolmolekylet udgør en større andel. I rent monoglycerid er fedtsyreprocenten 79 pct., hvis fedtsyren er oliesyre. Der er som nævnt betydelige mængder mono- og diglycerider i PFAD.

Fedtsyreindhold i trilaurin (3 x C12)

1 mol Trilaurin a 639 g + 3 mol vand af 18 g → 3 mol laurinsyre a 200g + 1 mol glycerol a 93 g

Fedtsyrerne udgør $3 \times 200 / 639 = 93,9$ % af fedtsyremængden.

Teoretisk set vil triglycerider derfor kunne indeholde fra 94-96 pct. fedtsyrer - afhængig af fedtsyrernes kædelængde. I den raffinerede olie vil indholdet være ca. 1 pct. lavere og i rå olie 1-2 pct. lavere pga. indholdet af steroler, karotenoider mm.

Fedtsyreblandinger

I en fedtsyreblending vil indholdet af fedtsyrer være lavere, hvis fedtsyreblendingen også indeholder glycerol og monoglycerider. En fedtsyreblending er i princippet triglycerider fortyndet med vand, da der adderes vand, når esterbindingen omdannes til alkohol (Glycerol) og syre i FFA. Er fedtsyreblendingen fri for glycerol, mono-, di- og triglycerider kan fedtsyrerne udgøre 100 pct.

Som nævnt indeholder PFAD typisk ca. 90 pct. fedtsyrer af råfedt.

5.7. Energiindhold og håndtering i fodervurderingssystemet

I energivurderingen indregnes en reel fordøjelighed på 90 pct. for fedt, når foderet kontrolleres for energiindhold. Afvigende fedttyper håndteres med en korrektionsfaktor, men der skal dog være en betydelig afvigelse, før der indføres en korrektionsfaktor. Baggrunden for valg af korrektionsfaktorer gennemgås i det følgende.

Det antages, at energiindholdet stammer fra triglycerider og frie fedtsyrer, mens steroler, farvestoffer og vitaminer ikke bidrager med energi. Om denne antagelse holder stik er dog uden praktisk betydning, da disse stoffer normalt kun udgør maks. 2 pct. Desto længere kædelængden er, desto mere energi er der opkoncentreret i fedtet. Den fysiologiske udnyttelse af bruttoenergien antages stort set ens (67 pct.), mens bruttoenergien stiger fra 37,1 MJ pr. kg for laurinsyre over 39,2 for palmitinsyre til 39,6 for oliesyre. Laurinsyres energiindhold er derfor kun 94 pct. af oliesyrens.

Teoretisk set er energiindholdet i kokosolie (og palmekerneolie) med meget C12 kun ca. 96 pct. af andre relevante fedtkilder som svinefedt, palmeolie, sojaolie og rapsolie, der til gengæld er næsten ens i bruttoenergiindhold - og i hvert fald praktisk talt ens i indhold af fysiologisk energiværdi, da de indlejrede langkædede fedtsyrer i alle tilfælde erstatter de novo syntese af C16- og C18-fedtsyrer. For en gris i vækst er det således ikke relevant, at linolensyre indeholder mindre bruttoenergi end oliesyre, da begge kan erstatte syntese af oliesyre. Omvendt bliver kun en lille del af laurinsyre indlejret direkte [33] - og den bliver formentlig kædeforlænget til palmitin- eller oliesyre, før den aflejres i fedtet.

Sammenvejes fordøjelighed og energiindhold vil fx merfordøjeligheden af kokosfedt i forhold til palmeolie gå lige op med, at energiindholdet er lavere i kokosfedt. Ud fra dette vil det kun være de langkædede umættede fedttyper, som har merværdi for grisene i forhold til svinefedt/palmeolie.

Energiindholdet i PFAD er lidt lavere end i palmeolie, da fedtsyreindholdet er lavere. Det lavere energiindhold i PFAD opvejes så af en lidt højere fordøjelighed end for palmeolie, således at palmeolie og PFAD er stort set ligeværdige for grisen.

En oversigt over forskellige fedtkilders data og den heraf udledte korrektionsfaktor er vist i tabel 5.4. Det ses, at 5 pct. højere fordøjelighed medfører en korrektionsfaktor på 1,06, hvilket opnås ved indsættelse i ligningen til beregning af foderenheder.

Er fedtsyreindholdet under 90 pct. vil energiindholdet være lavere end angivet i tabel 5.4. Et lavere fedtsyreindhold kan skyldes dannelse af polymere fedtsyrer pga. kraftig opvarmning, eller at fedtet er et restprodukt, hvor fedtsyrerne er rensset fra. Energiindholdet vil minimum skulle korrigeres for fedtsyreindholdet.

Tabel 5.4. Vurdering af fedtkilders energiværdi i fodervurderingssystemet.

Fedtkilde	Energi-indh. relativ, % ¹	Smeltepunkt, °C	Fedtsyre, %	Reel fordøjelighed, % ²	Fordøjet energi relativ, % ³	Korrektionsfaktor ⁴
Soja+solsikkeolie	100	< 0	94	95	95	1,06
Rapsolie	100	< 0	94	95	95	1,06
Kokosfedt	96	25	91	95	91	1,0
Palmeolie	100	33-42 (37)	94	90	90	1,0
Svinefedt	98	34-38	91-92	90	88	1,0
PFAD	97	42-44	90-91	92	89	1,0
Palmeolie + PFAD	99	40?	92	86	85	0,94

¹ Ud fra andel af triglycerider og disses indhold af fysiologisk energi

² Vurderet ud fra forsøgsdata, se teksten

³ Energiindhold × reel fordøjelighed – den "andel" af fedtet som har værdien 31,7 kJ/g

⁴ Korr. faktor = (RFRF × 31,7 ÷ UTSi × 2,8) / 28.107, hvor RFRF fås som fedtindhold × "fordøjet energi, relativ"/100 og hvor UTSi findes som: råfedt × (100 ÷ reel fordøjelighed)/100

Eksempel for raps-, soja- og solsikkeolie =

(995 råfedt, [g/kg ts] × 95 / 100) × 31,7 [kJ/g] ÷ 50 g UTSi pr. kg ts × 2,8 [kJ/g] / 28.107 kJ = 1,06, hvor

28.107 kJ er energiindholdet for standardfedt med en fordøjelighed på 90 pct. og med 99,5 pct. råfedt i tørstof.

For palmeolie + PFAD indsættes FKråfedt = 85 og UTSi = 140 g, hvorved findes 0,94.

Eksempelvis kan et restfedtprodukt med et fedtsyreindhold på 70 pct. af råfedt vurderes som følger - idet fordøjeligheden antages lig med fedtsyreprocenten og fedtindholdet er 99,5 pct. af tørstoffet, og der indsættes i ligningen til bestemmelse af FEsv.

$$\text{FEsv/kg ts} = \text{råfedt[g/kg ts]} \times \text{FKråfedt}/100 \times 31,7 \text{ [kJ/g]} \div \text{UTSi} \times 2,8 \text{ [kJ/g]}$$

Standardfedt med 90 pct fordøjelighed:

$$\text{FEsv/kg ts} = 995 \text{ [g/kg ts]} \times \mathbf{90/100} \times 31,7 \text{ [kJ/g]} \div 100 \times 2,8 \text{ [kJ/g]} = 28.107 \text{ kJ} = 28.107 / 7.380 = 3,81 \text{ FEsv/kg ts}$$

Restfedt med 70 pct. fedtsyrer af råfedt:

$$\text{FEsv/kg ts} = 995 \times \mathbf{70/100} \times 31,7 \div 300 \times 2,8 = 21.239 \text{ KJ} = 2,88 \text{ FEsv/kg ts}$$

$$\text{Korrektionsfaktor} = 21.239 / 28.107 = 0,76$$

Hvis smeltepunktet for et sådant restfedtprodukt er over 40 °C, vil korrektionsfaktoren skulle være lavere - men det er reelt umuligt at komme med et bud. Højere smeltepunkt kan bl.a. opstå for fraktioneret fedt, blandinger af frie fedtsyrer, polymeriseret fedt og hærdet fedt. Hærdet fedt har dels tvivlsom fordøjelighed, dels vil det medføre transfedtsyrer i svinespækket – en "kvalitets"-parameter, som svinekød skal undgå! (Svinefedt er normalt fri for transfedtsyrer). Det er muligt, at fedttyper med smeltepunkt over 45 °C kan anvendes, hvis der er iblandet en betydelig mængde emulgator.

6. Sammenligning med andre energivurderingssystemer

Baggrund

Det nye energivurderingssystem er en radikal anderledes måde at energivurdere fodermidler/blandinger end tidligere energivurderingssystemer. I det følgende sammenlignes den praktiske betydning af energivurderingssystemer for næringsstofferne relative energiværdi.

Energivurdering har traditionelt været baseret på den klassiske forståelse af energiomsætningen hos husdyrene dvs. bruttoenergi (GE) → fordøjelig energi (DE) → Omsættelig energi (ME) → Nettoenergi (NE). Derfor er formålet med nærværende afsnit at sammenholde det fysiologisk baserede energivurderingssystem med andre energivurderingssystemer og specielt det tidligere danske.

6.1. Kort om klassisk energivurdering

Klassisk energivurdering er baseret på kemiske analyser af relevante næringsstoffraktioner samt fastsættelse af deres respektive energiværdier, hvorved den samlede energiværdi kan beregnes. Karakterisering af relevante næringsstoffer har traditionelt været baseret på Weende analyserne, som er blevet udvidet med en mere detaljeret beskrivelse af kulhydratfraktionen i nogle systemer. Denne opdeles fx i det hollandske og franske system i stivelse + sukker samt en organisk rest, som hovedsageligt består af kostfibre [24] og [25].

Vurderingssystemer baseret på fordøjelig energi antager, at effektiviteten i energiudnyttelsen er identisk for de forskellige fækkalt fordøjelige næringsstoffer, hvilket fra et biokemisk synspunkt ikke er korrekt, hvorfor disse ikke omtales yderligere - se evt. kapitel 2.

Vurderingssystemer baseret på omsættelig energi (ME) er baseret på korrektion af fækkalt fordøjelig energi for energitabet i urin og fermentationsgas (metan og hydrogen). Selvom ME-systemerne korrigerer for udskillelse af overskudskvælstof, giver systemerne ingen korrektion for de ekstra synteseomkostninger forbundet med udskillelsen af "ekstra" urea samt den lavere udnyttelsesgrad af fermentationsprodukterne (kortkædede fedtsyrer).

NE-vurderingssystemer forsøger at korrigere for energitab (varme), når fordøjede næringsstoffer omdannes til "metabolsk tilgængelig energi" eller aflejres som protein eller fedt. Dette skyldes, at NE er defineret som summen af NE til vedligehold og NE til produktion, hvor NE til vedligehold er et udtryk for basalstofskiftet, der i reglen måles på fastende ikke lakterende grise, mens NE til produktion er bruttoenergien i produkterne (fx kød, fedt, mælk mm.).

6.2. Sammenligning med andre energivurderingssystemer

Det nye danske fodervurderingssystem sammenholdes med følgende energivurderingssystemer:

- 1) Rostock NE-systemet er udviklet i begyndelsen af 1970'erne ved Oscar Kellner instituttet i Rostock og bygger på indirekte kalorimetri målinger på galtgrise i vægtintervallet fra 95 kg til 175 kg, hvorfor de hovedsageligt har aflejret fedt [26].
- 2) Det hollandske NE-system bygger på Rostock ligningerne, men bestemmelsen af fordøjelige næringsstoffraktioner (råprotein, råfedt, stivelse + sukker og organisk rest) er udført på grise af moderne genotype fodret 2,4 gange vedligehold [24]. Det oprindelige Rostock system er endvidere udbygget med detaljerede ligninger for alle næringsstoffer, hvor næringsstoffer forgæret i tyktarmen vurderes til en værdi på 70 pct. af tyndtarmsfordøjelige næringsstoffer.
- 3) Det franske NE-system er baseret på indirekte kalorimetri målinger på hangrise på ca. 45 kg af moderne genotype, hvorfor de har aflejret nogenlunde lige meget fedt og protein. Ligeledes er næringsstoffraktionerne defineret ved Weende analysen suppleret med stivelse + sukker [25].
- 4) Det tidligere danske ME / NE-system er udviklet på baggrund af målinger på so- og galtgrise i vægtintervallet fra 20 til 90 kg. Systemet var baseret på beregning af ME indholdet (kJ/ kg ts) ud fra fordøjelige næringsstoffraktioner (g/kg ts), som derefter var omregnet til NE via den generelle ligning $NE, [kJ/ kg ts] = 0.75 \times ME, [kJ/ kg ts] \div 1.880 [kJ/ kg ts]$, hvorfor en mere korrekt betegnelse ville være et korrigeret ME-system [27].

De forskellige energikoefficienter, som anvendes i ovennævnte energivurderingssystemer, kan ses i tabel 6.1. Der synes at være en overordentlig stor variation på energikoefficienter mellem de forskellige systemer, hvilket i nogen grad skyldes de kemiske analysemetoder, som systemerne er baseret på. Ligeledes må man også forvente, at de eksperimentelle omstændigheder og valget af forsøgsdyrene (køn, genotype mm.) influerer på estimerne. For NE/ME-systemerne er energi-koefficienterne fremkommet ved multiple lineære regressionsanalyser; altså empiriske. Den fysiologiske energiværdi

er derimod et mekanistisk udtryk for energikoefficienterne, hvorfor disse er uafhængige af praktiske forsøgsbetingelser, da de er baseret på næringsstoffernes omsætning på cellulært niveau.

Tabel 6.1. Energikoefficienter i de forskellige energivurderingssystemer til prædiktion af energiværdien (kJ/kg ts) fra forskellige næringsstoffraktioner.

System	Næringsstoffraktion					NFE ¹	
	Råprotein	Råfedt	Træstof	Stivelse	Sukker		OR ²
Rostock	10,7	35,8	12,4			12,4	
Holland	10,8	36,1		13,5	12,2 ⁴		9,5
Frankrig	12,1	35,0		14,3	11,9		8,6
Dansk ME	21,3	37,7	17,2			17,2	
Dansk NE ³	13,2	23,4-26,4 ⁵	10,7			10,7	
Fysiologisk Energi	9,9	31,7		11,7			7,0

¹ Nitrogen frie ekstrakt stoffer = NFE.

² Organisk rest (OR = organisk stof ÷ råprotein ÷ råfedt ÷ stivelse ÷ sukker) dvs. fermenterbare kulhydrater (FMK).

³ Hvis det antages, at en standard foderblanding indeholder 14.5 MJ ME/kg ts, medfører dette et NE indhold på 9 MJ/kg ts, (14.5MJ/kg ts × 0,75 ÷ 1.88 MJ/kg ts), hvilket resulterer i en standard omsætningsfaktor på 0.62 fra ME til NE for alle næringsstoffraktionerne [27].

⁴ I det hollandske system analyseres sukkerfraktionen som glukoseækvivalenter.

⁵ I rene fedtkilder er værdien højest, da konstantleddet (1,88) betyder mindre i ligningen $NE = 0,75 \times ME \div 1,88$

6.3. Relativ energiværdi

Energiværdien af de forskellige næringsstoffraktioner relativt til stivelse ses i tabel 6.2. Stivelse er sat til 100 pct. på tværs af systemerne. Det ses, at den relative energiværdi af fermenterbart kulhydrat er varierende. Dog er der nogenlunde overensstemmelse mellem det hollandske NE, franske NE og danske fysiologisk energi. Råproteinets værdi er i det tidligere danske energivurderingssystem stærkt afvigende fra de andre systemer, hvor der til gengæld er en høj grad af overensstemmelse mellem de øvrige systemer. Det samme er gældende for råfedt.

Tabel 6.2. Relative energiværdier i de forskellige energivurderingssystemer.

Fraktion	Rostock NE	Holland NE	Frankrig NE	Dansk ME	Dansk NE	Fysiologisk energi
Stivelse	100	100	100	100	100	100
Fermenterbare fibre	100 ²	70 ¹	60 ¹	100 ²	100 ²	60
Råprotein	86	80	85	123	123	85
Råfedt	289	267	245	219-247 ³	219-247 ³	271

¹ Organisk rest - se tabel 5.1.

² Træstof fraktion - se tabel 5.1.

³ Højeste værdi i rene fedtkilder.

Det tidligere danske energivurderingssystem giver en "omvendt" vurdering af næringsstoffraktioner i forhold til de øvrige systemer, da systemet vil forvente et relativt højere energiindhold med stigende protein eller fiberindhold – det vil sige stivelses- og fedtfraktionerne undervurderes, hvorimod protein- og fiberfraktioner overvurderes med det gamle system.

De relative energiværdier er principielt bestemmende for, hvorledes fodermidlerne rangeres i forhold til hinanden. Dette kan betragtes i tabel 6.3, som illustrerer konsekvensen af energiværdierne relativt til stivelse for energiindholdet af FEs (dansk "NE"), FEsV (fysiologisk energi), EW (hollandsk NE) og fransk NE ("relative enheder") i tilfældigt udvalgte fodermidler.

Energiangivelsen for det franske NE system er transformeret således, at energiindholdet er angivet relativt til sojaskrå, da sojaskrå i de forskellige lande forventes at have samme oprindelse og sammensætning, og derfor stort set er samme fodermiddel. Transformation er gjort, for at man kan sammenligne fodermidlernes energiværdi på tværs af systemerne.

Kombinationerne af energiværdi og skaleringsfaktoren for FEsV og EW betyder, at der er forbavsende god overensstemmelse mellem fodermidlerne på de absolutte energiværdier. Altså er der stort set lige mange EW og FEsV i fodermidlerne. Ligeledes er der høj grad af enighed på fodermidlernes rangering mellem systemerne FEsV, EW og fransk nettoenergi, hvor stivelsesrige fodermidler har en højere energetisk værdi end sojaskrå, mens det tidligere danske system (FEs) finder det modsatte.

Tabel 6.3. Forskellige fodermidlers energiværdi beregnet efter forskellige energivurderingssystem

Fodermiddel	Dansk "NE" (FEs pr. kg vare)	Fysiologisk energi (FEsv pr. kg vare)	Holland ¹ (EW pr. kg vare)	Frankrig ²
Animalsk fedt	3,21	3,79 ³	3,65	3,24
Majs	1,14	1,25	1,21	1,21
Hvede	1,09	1,15	1,12	1,14
Byg	0,98	1,04	1,05	1,04
Sojaskrå	1,14	0,88	0,90	0,88
Rapsskrå	0,91	0,71	0,71	0,69
Ærter	1,08	1,01	1,09	1,06
Hvedeklid	0,63	0,61	0,7	0,68

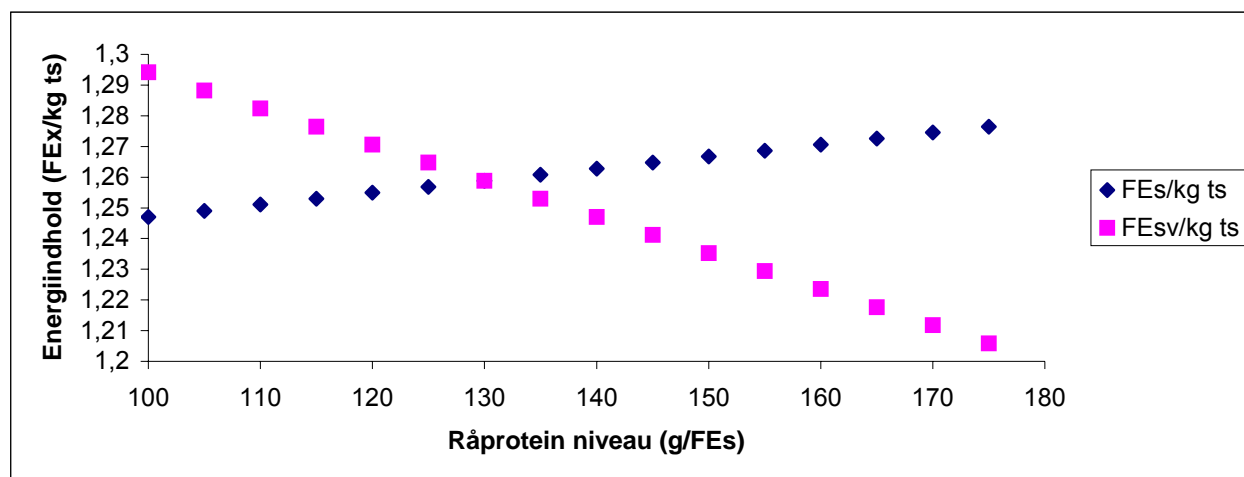
¹ I det hollandske system er 1 energiwaarde Varkens = EW = 8,8 MJ NE [24]

² I det franske system er energienheden joule, hvorfor energiindgivelsen er transformeret således, at energiindholdet er relativt til sojaskrå på tørstofbasis (1,0 ved 100 pct. tørstof) - dvs. sojaskrås relative værdi udtrykt pr. kg vare er 0,88 da tørstofindholdet er 88 pct. [25].

³ FKråfedt = 90 pct.

6.4 Fysiologisk energi i forhold til dansk "nettoenergi"-vurderingssystem

I figur 6.1 er vist energiindholdet udtrykt ved enten det danske "NE"-system (FEs/kg ts) eller det fysiologisk baserede energivurderingssystem (FEsv/kg ts) som funktion af råprotein niveauet i g pr. FEs. Som baggrund for figuren er anvendt beregninger med stigende sojaskråmængde på bekostning af korn. Det faldende energiindhold i FEsv med stigende proteinindhold er en konsekvens af en lavere vurdering af protein og fermenterbare kulhydrater fra sojaskrå. Når energiindholdet steg i det gamle system (FEs) skyldes det, at protein var vurderet højere end stivelse, mens fermenterbare kulhydrater var ligestillet med stivelse.



Figur 6.1. Energiindholdet (FE/kg ts) i som funktion af råprotein niveauet (g/FEs).

6.5. Konklusion

Det nye energivurderingssystem er en radikal anderledes måde at energivurdere fodermidler/blandinger, som i dette kapitel er sammenlignet med øvrige energivurderingssystemer. Energivurdering har traditionelt været baseret på den klassiske forståelse af energiomsætningen hos husdyrene, dvs. GE → DE → ME → NE. Derfor er det nye system sammenlignet med Rostock, hollandsk, fransk og dansk nettoenergivurderingssystem, hvor de absolutte energikoefficienter er meget varierende mellem systemerne. Dette skyldes, at NE systemerne er baseret på forskellige kemiske analysemetoder, dyremodeller samt multiple lineære regressioner, hvorfor energikoefficienterne må betragtes som empiriske, hvorimod fysiologisk energi er et mekanistisk udtryk for energikoefficienterne.

Stivelse er den vigtigste energikilde i svinefoder og er samtidig klart defineret, hvorfor alle andre næringsstoffraktioners energiværdi kan relateres til stivelse. Der er god overensstemmelse mellem Rostock, hollandsk, fransk NE-system og det fysiologisk baserede energivurderingssystem på de relative energiværdier, mens det tidligere danske "netto"-energivurderingssystem er kraftigt afvigende.

De relative energiværdier er betydende for rangering af fodermidlerne, hvorfor en direkte sammenligning af det danske "NE"-system med fysiologisk energi viser, at stivelse og fedtrige fodermidler generelt opvurderes, mens proteinrige fodermidler nedjusteres i det nye system.

7. Vurdering af energivurderingssystemets nøjagtighed ud fra fodringsforsøg

Baggrund

Der er gennem tiden gennemført en række forsøg med forskellige fodermidler for at vurdere foder-værdien. I en del forsøg er der tilstrækkelig data til at revurdere forsøget i relation til det nye fodervurderingssystem. En hel præcis vurdering er dog ikke mulig, da der ikke findes analyseværdier for EFOS og EFOSi på fodermidler fra ældre forsøg – og da de partier af fodermidler, som man har anvendt ikke behøver at svare til nutidige tabelværdier. I det følgende er udelukkende brugt tabelværdier for fodermidlernes indhold af næringstoffer og EFOS og EFOSi fra 2005 [InfoSvin]. Ud fra disse tabelværdier er indholdet af FEsv beregnet med de nye ligninger fra nærværende rapport, ligesom indholdet af FEs er beregnet med den officielle ligning brugt i perioden 1994 til 2004 ved kontrol af foder. Da fodermidlernes indhold af FEs derfor kan være forskellig fra den oprindeligt publicerede værdi, er FEs pr. kg tilvækst lidt forskellig fra de oprindelige rapporter. Men for sammenligningen er det vigtigt, at der tages udgangspunkt i samme tabelværdier for fodermidler både ved beregningen af FEsv og FEs.

I de ældre forsøg har man ved brug af det gamle fodervurderingssystem bl.a. kunnet konkludere flg.:

- Substitution af sojaskrå (eller andre vegetabiliske proteinkilder) med korn og syntetiske aminosyrer gav bedre foderudnyttelse
- Iblanding af fedt gav tendens til bedre foderudnyttelse
- Anvendelse af rug og roepiller gav dårligere foderudnyttelse.

Et vigtigt formål med det nye fodervurderingssystem er at sikre, at foderforbruget pr. kg tilvækst bliver uafhængig af fodersammensætning under forudsætning af, at normerne for næringsstoffer pr. foderenhed er overholdt. Sidstnævnte forudsætning begrænser antallet af forsøg, som egner sig til en evaluering af det nye kontra det gamle system, bl.a. fordi forsøgene jo er planlagt til at have samme indhold pr. FEs og ikke pr. FEsv. I mange tilfælde har de ældre forsøg anvendt lavere indhold af aminosyrer end nuværende normer - og der kan have været forskelle mellem forsøgs- og kontrolhold, bl.a. fordi man kun tog hensyn til protein- eller lysinindhold pr. FEs.

I de valgte forsøg i den følgende gennemgang er det vurderet, at forskelle i aminosyreindhold pr foderenhed mellem forsøgshold har været uden praktisk betydning for denne sammenligning af energivurderingssystemerne – enten fordi aminosyreforsyningen har været rigelig, eller fordi forskellen mellem forsøgshold har været lille.

7.1. Anvendte forudsætninger ved genberegning af ældre forsøg

I det følgende vises foderforbruget pr. kg tilvækst udtrykt i henholdsvis FEs/kg tilvækst og FEsv pr. kg tilvækst for en række fodringsforsøg. Ved genberegningen af forsøgene er der forudsat værdier som angivet i tabel 7.1.

Tabel 7.1. Forudsætninger ved evaluering af forsøg.

Fodermiddel	FEs pr. kg vare	FEsv pr. kg vare
Byg	0,98	1,04
Hvede	1,09	1,15
Rug	1,07	1,10
Sojaskrå	1,14	0,88
Rapsskrå	0,90	0,71
Teknisk svinefedt	2,95 ¹	3,79 ²
Fedtsyreblanding med 50% palmekerneoliefedtsyrer + 50% palmeoliefedtsyrer	2,95 ¹	3,79
Palmeolie	2,95 ¹	3,79
Roepiller, umellaserede	0,95	0,55
Lysin – HCL	1,36	1,06
Methionin, 100%	1,58	1,34
Treonin 99%	1,62	1,34
Mineraler	-0,24	-0,11

¹ Værdien 2,95 svarer til kontrolleret værdi i en foderblanding med EFOS = 90. Fedtets fordøjelighed er ved kontrol af FEs sat lig med den gennemsnitlige fordøjelighed af blandingens energi ud fra en ligning baseret på EFOS uanset reel værdi. I det gamle system er der i øvrigt anvendt mange værdier af fedt. Følgende kan nævnes:

Animalsk fedt, 556. beretning 1983 [9], Tilsyneladende fordøjelighed på 84 pct. og FEs pr. kg vare = 2,83

Animalsk fedt, 611. beretning, 1986 [28], FEs pr kg vare = 2,96

Vegetabilisk fedt 611 beretning, 1986 [28], FEs pr kg vare = 3,27

Vejledende ligning, Info Svin: FEs pr. kg fedt = 3,09 + 0,04×(fedtsyrepct.+85), hvor en fedtsyrepct. på fx 90 giver en værdi på 3,29

² I det nye system regnes med en fordøjelighed på 90 pct. for de i dette kapitel undersøgte fedttyper.

I den følgende gennemgang af en række forsøg opgøres foderforbruget uden en statistisk vurdering af sikkerheder. Det skyldes dels manglende data til en statistisk vurdering – og så den problemstilling, at det er numerisk næsten umuligt at vise nul forskel. Men forsøgsresultaterne er velegnede til at vise, hvordan vurderingen af foderforbruget ændres med det nye fodervurderingssystem.

7.2. Forsøg med proteinfodermidler

Substitution af sojaskrå med aminosyrer - 646. Beretning, SH

I denne beretning er der vist et stort forsøg med mange forskellige forsøgshold, men en del af forsøget er velegnet til at illustrere problemstillingen med fejlvurdering af sojaskrås energiværdi i det gamle system. I forsøget sammenlignes en forskel på 35 g ford. råprotein pr. FEs ved samme aminosyreindhold pr. FEs. Et tilsvarende forsøgsudslag af forskel i proteinindhold (155 g kontra 130 g ford. råprotein/FEs) er fundet i medd. 307 fra Den rullende Afprøvning [29], men her er datagrundlaget ikke fuldt tilstrækkeligt til genberegning efter det nye system.

I 646. Beretning var der et kontrolhold med 165 g ford. råprotein pr. FEs og to forsøgshold med 130 g ford. råprotein pr. FEs, men med tilsætning af syntetiske aminosyrer, så indholdet af begrænsende aminosyrer i de tre hold var væsentligt over normen til grise i det aktuelle vægtinterval [30]. Forsøget indgik i en afprøvning af det ideelle forhold mellem treonin og lysin ved forskelligt indhold af protein i foderet. Et uddrag af forsøgsresultaterne er vist i tabel 7.2.

Tabel 7.2. Effekten af 165 g kontra 130 g fordøjelig råprotein pr. FEs på foderudnyttelsen beregnet efter FEs og FEs^v.

Forsøgshold	Kontrol	Treonin	Treonin
		65 pct. af lysin	80 pct. af lysin
Beregnet indhold			
Ford. råprotein, g/FEs	165	130	130
Ford lysin, g/FEs	8,8	8,9	8,9
Resultater			
Startvægt, kg	25,3	25,1	25,2
Slagtevægt	67,8	67,8	67,8
Slagtevægt × 1,31	88,8	88,8	88,8
Tilvækst levende vægt, kg	63,5	63,7	63,6
Daglig tilvækst	753	788	790
Kødprocent	56,6	55,8	56,3
Foderbrug pr. svin			
Sojaskrå, kg	56,6	30,9	30,8
Byg, kg	128,5	147,8	147,2
80 pct. lysin, kg	0	0,62	0,62
100% methionin, kg	0	0,19	0,19
100% treonin, kg	0	0,2	0,45
Mineral og vit. blanding, kg ¹	4,6	4,8	4,7
FEs pr. svin	189,3	180,3	180,2
FEsv pr. svin	182,9	181,6	181,2
FEs/kg foder	1,00	0,98	0,98
FEsv pr. kg foder	0,96	0,98	0,98
FEs/kg tilvækst	2,98	2,83	2,83
FEsv pr. kg tilvækst	2,88	2,85	2,85

¹ FEs og FEs^v er i mineralfoderet sat til henholdsvis ±0,24 og ±0,11.

Det fremgår af tabel 7.2, at foderforbruget pr. kg tilvækst er næsten ens i de tre forsøgshold målt i FEs^v, mens der er ca. 5 pct. fejlvurdering med FEs. Grisene er fodret efter norm for tildeling af FEs pr. dag. Tilvæksten er lavest på kontrolholdet, fordi grisene med samme tildeling af FEs pr. dag har fået færre FEs^v pr. dag end forsøgsholdene og dermed lavere daglig tilvækst.

Forholdet mellem sojaskrå og byg til slagtesvin - 635. Beretning, SH, 1988

Formålet med 635. Beretning var at finde den optimale mængde sojaskrå, der før og efter 50 kg levende vægt bør være i en foderblanding, når sojaskrå er eneste proteintilskudsfordermiddel, og der ikke gives tilskud af syntetiske aminosyrer [31].

Der bringes kun et uddrag af produktionsresultaterne fra 635. Beretning, da grisene i dele af forsøgene har været underforsynede med lysin eller andre essentielle aminosyrer. Derfor anvendes udelukkende resultaterne fra forsøgsgrupper med samme blanding i hele perioden og hvor behovet for aminosyrer var dækket. Det samlede foderforbrug er opgjort over hele vækstperioden fra 20 til 90 kg levendevægt.

Resultaterne af genberegningen ses i tabel 7.3a og 7,3b, hvor man bemærker, at foderudnyttelsen er mere konstant, når energiindholdet er beregnet efter det nye system. De to delforsøg er ikke kørt samtidigt, hvorfor resultaterne bringes i to separate tabeller.

Tabel 7.3a. Effekten af forholdet mellem sojaskrå og byg på foderudnyttelsen hos slagtesvin beregnet efter FEs og FEsv, delforsøg 1 [31].

Vægt interval	Pct. Sojaskrå	
20-50 kg	35,5	20,5
50-90 kg	35,5	20,5
Beregnet indhold		
Ford. råprotein, g/FEs	179,0	139,0
Ford. lysin, g/FEs	9,8	6,9
Resultater		
Startvægt, kg	21,0	20,8
Slutvægt, kg	92,4	92,2
Slagtevægt, kg	66,7	67,0
Vækst i perioden, kg ¹	71,4	71,4
Daglig tilvækst, g/dag	767	786
Kødprocent	56,9	56,0
Foderforbrug pr. svin		
Sojaskrå, kg	69,2	38,3
Byg, kg	120,9	143,7
Min. og vit. blanding, kg	4,9	4,8
FEs pr. svin	196,2	183,3
FEsv pr. svin	186,1	182,6
FEs pr. kg foder	1,00	0,98
FEsv pr. kg foder	0,96	0,98
FEs pr. kg tilvækst	2,75	2,57
FEsv pr. kg tilvækst	2,61	2,56

¹ Foderforbruget er opgjort over perioden 20-90 kg levende vægt.

Tabel 7.3b. Effekten af forholdet mellem sojaskrå og byg på foderudnyttelsen beregnet efter FEs og FEsv, delforsøg 2. [31].

Vægt interval	Pct. Sojaskrå	
20-50 kg	28	20,5
50-90 kg	28	20,5
Beregnet indhold		
Ford. råprotein, g/FEs	159,0	139,0
Ford. lysin, g/FEs	8,4	6,9
Resultater		
Startvægt, kg	20,9	20,7
Slutvægt, kg	91,2	91,5
Slagtevægt, kg	66,8	66,9
Vækst i perioden, kg ¹	70,5	70,5
Daglig tilvækst, g/dag	805	821
Kødprocent	56,7	56,2
Foderforbrug pr. svin¹		
Sojaskrå, kg	51,9	37,5
Byg, kg	128,9	140,7
Min. og vit. blanding, kg	4,6	4,9
FEs pr. svin	184,4	179,5
FEsv pr. svin	179,2	178,9
FEs pr. kg foder	0,995	0,980
FEsv pr. kg foder	0,967	0,977
FEs pr. kg tilvækst	2,62	2,55
FEsv pr kg tilvækst	2,54	2,54

¹ Foderforbruget og tilvækst er korrigeret til samme vægtinterval.

Ovenstående eksempler illustrerer problemstillingen vedrørende proteinets (sojaskrå's) energetiske værdi i det gamle system, hvor foderudnyttelsen blev forringet med overskud af protein i foderblandingen.

Stigende mængder af rapsskrå til slagtesvin, medd. 463, 2000

Formålet med afprøvningen [32] var at undersøge effekten af stigende mængder af rapsskrå på daglig tilvækst, foderoptagelse, kødprocent og foderudnyttelsen. Det kunne bl.a. konkluderes, at foderudnyttelse og tilvækst blev forringet kurvelineært med stigende iblanding af rapsskrå. Faldet i tilvækst skyldtes en kombination af reduceret foderoptagelse og forringet foderudnyttelse.

Genberegningen (se tabel 7.4) af produktionsresultaterne viste, at foderudnyttelsen udtrykt i FEsv pr. kg tilvækst er konstant op til 15 pct. rapsskrå i foderet - og kun stiger marginalt ved de høje iblandingsprocenter. Det skal dog bemærkes, at der i dette tilfælde kun er marginal forskel mellem det gamle og det nye fodervurderingssystem, hvilket skyldes, at den relative værdi af rapsskrå i forhold til sojaskrå er næsten uændret, mens begge kilder er faldet meget i forhold til korn.

Konklusionen af tabel 7.4. er, at fodervurderingssystemet giver en korrekt værdi af rapsskrå op til ca. 15 procent iblanding, men at rapsskrå i højere dosering giver forringet foderudnyttelse. Energivurderingssystemet kan med andre ord ikke tage højde for effekten af overbelastning med glucosinolater.

Tabel 7.4. Effekten af stigende mængder af rapsskrå på foderudnyttelsen hos slagtesvin beregnet efter FEs eller FEsv.

Hold	1	2	3	4	5	6
Foderets indhold, pct.						
Hvede	47,62	46,70	45,06	43,44	42,09	40,67
Byg	23,82	23,35	22,54	21,72	21,05	20,34
Sojaskrå	21,49	18,99	16,22	13,45	10,22	7,10
Rapsskrå	-	5,00	10,00	15,00	20,00	25,00
Melasse	3,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Animalsk fedt	1,00	1,10	1,40	1,70	2,01	2,32
Vitaminer og mineraler	2,67	2,52	2,44	2,37	2,29	2,21
Lysin 100%	0,19	0,19	0,20	0,21	0,24	0,26
Methionin 40%	0,12	0,09	0,08	0,06	0,05	0,05
Treonin 50%	0,09	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05
Resultater						
Daglig tilvækst	929	935	922	912	874	859
Kødprocent	60,1	60,3	60,4	60,5	60,5	60,5
Daglig foderoptagelse, FEs	2,51	2,52	2,52	2,49	2,42	2,42
Beregnet FEs/kg	1,06	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
FEs pr. kg tilvækst	2,70	2,70	2,73	2,73	2,77	2,82
Daglig foderoptagelse, FEsv	2,51	2,51	2,50	2,47	2,39	2,38
Beregnet FEsv/kg	1,06	1,05	1,05	1,04	1,04	1,03
FEsv pr. kg tilvækst	2,70	2,69	2,71	2,71	2,74	2,78

7.3. Forsøg med fedtkilder

Fedt og fedtsyrer til slagtesvin, 540. Beretning, SH, 1983

Formålet med 540. Beretning var at belyse indflydelsen af forskellige mængder af animalsk eller vegetabilsk fedt samt vegetabiliske fedtsyreblandinger på daglig tilvækst, foderudnyttelse, slagte kvalitet, smag i bacon og koteletter samt rygspækkets jodtal og fedtsyresammensætning [33]. Dog ses kun på foderudnyttelsen i nærværende kapitel.

Forsøgene, som har interesse i denne sammenhæng, er følgende to fodringsforsøg:

- Stigende mængder af svinefedt
- Stigende mængde af en 50/50 pct. blanding af palmeoliefedtsyrer og palmekerneoliefedtsyrer.

Resultatet af genberegningen af forsøgene kan ses i tabel 7.5 og 7.6.

Tabel 7.5. Forsøg med stigende iblanding af svinefedt, 540. Beretning, SH, 1983.

	Teknisk svinefedt, pct			
	0	4	8	13
Beregnet indhold				
Ford råprotein, g/FEs	134	128	124	120
Ford. lysin, g /FEs	6,5	6,4	6,4	6,4
Resultater				
Daglig tilvækst	695	717	711	721
Kødprocent, opskåret	56,3	55,5	56	55,4
Foderdage	100	98	98	97
Tilvækst, 20-90 kg	69,5	70,3	69,7	69,9
Foderforbrug pr. svin				
Bygblanding, kg	177,7	150,5	125,6	98,9
Heraf byg	171,7	144	118,7	91,4
Heraf mineral og vit. blanding	6	6,5	7	7,5
Sojaskrå	34,8	37,2	40,5	42,7
Fedt, kg	0	7,2	14,3	20,8
FEs i alt ¹	206,5	203,2	203,0	197,8
FEs/kg tilvækst ¹	2,97	2,89	2,91	2,83
FEsv i alt ¹	208,5	209,1	212,5	210,6
FEsv pr. kg tilvækst ¹	3,00	2,98	3,05	3,01

¹ Fedt sat til 2,95 FEs og 3,79 FEsv.

Tabel 7.5 viser, at foderudnyttelsen i FEs var væsentligt bedre på blandingen med højt indhold af svi- nefedt, mens foderudnyttelsen målt i FEsv var næsten ens for kontrolholdet og holdet med 13 pct. fedt i foderet.

Tabel 7.6. Stigende andel af palmekerneoliefedtsyre- og palmeoliefedtsyreblanding til slagtesvin.

	Fedtsyreblanding, pct			
	0	4	8	13
Beregnet indhold				
Ford råprotein, g/FEs	133	127	122	116
Ford. lysin, g /FEs	6,5	6,4	6,3	6,2
Resultater				
Daglig tilvækst	689	724	740	716
Kødprocent, opskåret	56,4	56,0	55,7	56,2
Foderdage	101	96	95	97
Tilvækst, 20-90 kg	69,6	69,5	70,3	69,5
Foderforbrug pr. svin				
Bygblanding, kg	179,9	147,4	119,9	99,9
Heraf byg, anslået	171,9	140,9	112,9	92,4
Mineral og vit. Blanding	6	6,5	7	7,5
Sojaskrå	35,2	36,6	39,3	42,7
Fedt, kg	0	7,1	13,7	20,9
FEs i alt ¹	207,1	199,2	194,2	199,1
FEs/kg tilvækst ¹	2,98	2,87	2,76	2,86
FEsv i alt ¹	209,1	204,9	203,15	212,1
FEsv pr. kg tilvækst ¹	3,00	2,95	2,89	3,05

¹ Fedt sat til 2,95 FEs og 3,79 FEsv.

Foderudnyttelsen i FEs var væsentlig forbedret med stigende mængder af palmeolie og palmekerneoliefedtsyreblanding, hvilket kan ses i tabel 7.6. Anvendes 3,79 FEsv pr. kg fedtsyreblanding, er foderudnyttelsen mere konstant, men der er betydelig variation mellem forsøgsholdene. Det ser dog ud til, at denne fedtsyreblanding i gennemsnit fint "kan leve op til" de indregnede 3,79 FEsv pr. kg. Det bemærkes, at palmekerneolie har et smeltepunkt på under 30 grader.

12 pct. palmeolie, 611. Beretning, SH, 1986

I 611. Beretning findes forsøg med flere fedtkilder [28], nemlig animalsk fedt med 85 pct. fedtsyrer, palmeolie med 93 pct. fedtsyrer, restfedt med 53 pct. fedtsyrer og paracid (PFAD) med 88 pct. fedtsyrer og 80 pct. frie fedtsyrer. I tabel 7.7 er kun vist delresultaterne for kontrol og ren palmeolie, da de andre fedttyper i forsøget vurderes til ikke at være af relevant handelskvalitet.

Tabel 7.7. Forsøg med palmeolie, 611. Beretning, SH, 1986.

Feddtype	0	12 % palmeolie
Beregnet indhold		
Ford. lysin, g/FEs	6,4	6,5
Ford. råprotein, g/FEs	126	118
Resultater		
Daglig tilvækst	752	753
Kødprocent	57,3	58,4
Foderforbrug pr. svin		
Bygblanding, kg	156	86
Heraf byg	151	79
Heraf mineraler	5	7
Sojaskrå	39,6	48,1
Palmeolie	0	18
FEs i alt	191,9	183,6
FEs/kg tilvækst	2,74	2,62
FEsv i alt	191,3	192,1
FEsv/kg tilvækst	2,73	2,74

Det fremgår af tabel 7.7, at anvendelse af foderværdierne fra det nye fodervurderingssystem giver samme foderudnyttelse mellem kontrolfoder og foder tilsat palmeolie.

Konklusion på forsøg med fedtkilder

Overordnet viser forsøgene med fedt, at indregning af en værdi på 3,79 FEsv pr. kg fedt fungerer fint for svinefedt, palmeolie og en blanding af palmeoliefedtsyrer og palmekerneoliefedtsyrer. Sidstnævnte er kendetegnet ved, at smeltepunktet er lidt lavere end for svinefedt. Forsøgene tyder dermed på, at det nye fodervurderingssystem vil vise samme foderudnyttelse i blandinger med og uden fedttilsætning – hvilket jo netop er målet.

7.4. Rug kontra hvede

Medd. 374. Landsudvalget for Svin, Den rullende Afprøvning, 1997

I dette forsøg [34] blev der anvendt stigende ombytning af rug mod hvede. Der var lineær effekt og i det følgende er kun vist resultatet fra holdene 1, 2, 5 og 6.

Det fremgår af tabel 7.8, at foderforbruget pr. kg tilvækst er næsten ens for holdene, når det måles som FEsv pr. kg tilvækst, mens anvendelse af rug gav dårligere foderudnyttelse i det gamle fodervurderingssystem.

Tabel 7.8. Rug kontra hvede, Den rullende Afprøvning, 1997.

Hold	1	2	5	6
Foderets indhold, pct.				
Hvede	76,35	60,69	14,68	0
Rug	0	15,17	58,69	72,79
Sojaskrå	19,4	20,07	22,65	23,36
Animalsk fedt	1,15	1	1	0,9
Vitaminer og mineraler	2,55	2,55	2,56	2,57
Lysin 100%	0,25	0,22	0,17	0,13
Methionin 40%	0,15	0,16	0,17	0,18
Treonin 50%	0,15	0,14	0,11	0,07
Resultater				
Daglig tilvækst	927	903	865	877
Kødprocent	59,8	59,8	59,9	60
Kg foder/kg tilvækst	2,30	2,38	2,44	2,46
Beregnet FEs/kg	1,09	1,08	1,08	1,07
FEs pr. kg tilvækst	2,51	2,58	2,62	2,64
Beregnet FEsv/kg	1,10	1,08	1,05	1,04
FEsv pr. kg tilvækst	2,53	2,57	2,57	2,57

Med det nye system kan man således forvente, at foderforbruget i FEsv/kg tilvækst er stort set uafhængig af procent rug i blandingen. Men man vil fortsat finde, at anvendelse af rug kan reducere den daglige tilvækst ved ad libitum fodring, fordi foderoptagelsen målt i FEsv falder med stigende rugandel. Den reducerede foderoptagelse med rug kan dels skyldes det lavere energiindhold pga. den større andel fermenterbare kulhydrater, dels det produktionshæmmende stof alkylresorcinol, som hæmmer foderoptagelsen.

7.5. Forsøg med roepiller

Roepillers værdi er sænket betydeligt med det nye fodervurderingssystem, fordi en meget stor del af roepillerne fordøjes i tyktarmen. Værdien af roepiller afhænger til en vis grad af melasseindholdet, idet værdien stiger med melasseindholdet.

Muligvis vil værdien for grisene afhænge af om grisene fodres restriktivt eller ad libitum, fordi roepiller ved restriktiv fodring kan sænke grisenes aktivitet, fordi de føler sig mætte pga. den effekt, som roepiller har på tarmsystemets fyldningsgrad. Det kan derfor tænkes, at værdien er størst ved moderat restriktiv fodring, hvis iblandingen netop sikrer, at grisene bliver mætte.

En sidste faktor, som kan påvirke værdien, er forsøgsperiodens længde. Det skyldes, at grisene skal tilpasse tarmsystemet til roepillerne. Det betyder, at udnyttelsen kan stige med længere forsøgsperio-

de. Samtidig vil man med korte forsøgsperioder opleve, at væksten i tarmstørrelsen kan påvirke resultatet betydeligt. Måler man slagtet vægt efter en kort forsøgsperiode, vil den øgede tarmstørrelse måles som tabt, mens man ved måling af levendevægt vil finde en urealistisk god værdi af roepiller, fordi væksten i tarm og tarmindhold bliver målt med som tilvækst.

I det følgende vises to forsøg, som repræsenterer to vidt forskellige situationer, nemlig henholdsvis restriktiv fodring i hele vækstperioden i medd. 298 fra SH [35] og ad libitum fodring i perioden 53-98 kg i Erfaring 9808, Den rullende Afprøvning [36]. I Erfaring 9808 anvendtes umellaserede roepiller, mens typen ikke er angivet i medd. 298.

Tabel 7.9. To forsøg med roepiller.

Kilde	Medd. 298, SH		Erfaring 9808, Den rull. Afpr.	
	Kontrol	20% roepiller	Kontrol	15% roepiller
Forsøgshold				
Startvægt, kg	20	20	53	53
Slagtevægt x 1,31	85	84,8	98	98
Daglig tilvækst	596	580	1012	920
Kødprocent	54,6	54,8	59,6	60,2
Kg foder i alt	222	234	111	120
Heraf				
Roepiller, kg	0	46,8	0	18
Byg, kg	176,3	137,4	33,3	25,8
Hvede, kg			46,2	37,2
Sojaskrå, kg	40	44,5	27,5	33,7
Animalsk fedt, kg			0,7	2,3
Min+vit, kg	5,8	5,4	3,1	3
Aminosyrer, kg			0,2	0,1
FESv i alt ekskl. roepiller ¹	218	182	114,5	107,8
Rest til roepiller, FE ²		36		6,7
FE pr. kg i roepiller, beregnet ²	0,77		0,37	

¹ Kg af råvarer ganget med FESv-indhold fra tabel 7.1. Fedt regnet med 3,79 FESv pr. kg.

² Den værdi, som ville give uændret FESv pr. kg tilvækst.

Værdien af roepiller er vist i tabel 7.10:

Tabel 7.10 Tabelværdier for roepiller

	FES/kg	FESv/kg	FESo/kg
Umellaserede roepiller, pulpetter	0,98	0,50	0,65
Mellaserede roepiller, kosetter	1,00	0,65	0,76

Det fremgår af tabel 7.9, at der forsøgsmæssigt er en betydelig usikkerhed omkring roepillers fodringsværdi - og det fremgår af tabel 7.10, at vores tabelværdier for FESv ligger mellem de to værdier, som fremkommer ud fra de to fodringsforsøg.

7.6. Konklusion

Fodervurderingssystemernes evne til at sikre konstant foderudnyttelse uanset råvarevalg er vurderet i ni fodringsforsøg, som enten er gennemført af Statens Husdyrbrugsforsøg eller Den Rullende Afprøvning. Basis for genberegning er 2005 tabelværdier for de forskellige fodermidler.

Overordnet kan det således konkluderes, at foderudnyttelsen i det tidligere danske fodervurderingssystem (FES) var stærkt afhængig af råvarevalget, mens det nye system (FESv) langt bedre sikrer konstant foderudnyttelse uanset råvarevalg.

Nogle fodermidler som rapsskrå, rug og roepiller kan ved høj iblanding reducere foderoptagelsen målt i FESv, hvorved tilvæksten falder. Det kan dels skyldes, at foderblandingsenergiindhold bliver lavere, dels at nogle fodermidler indeholder væksthæmmende stoffer (glucosinolat/alkylresorcinol). Konklusionen heraf er, at selv om indholdet af FESv i en foderblanding er et godt mål for værdien, så skal der alligevel sættes krav til maksimal iblanding af visse råvarer, hvis man vil sikre maksimal tilvækst.

8. Proteinvurderingssystemet

Baggrund

Det tidligere proteinvurderingssystem til danske svin var baseret på fordøjeligheder målt som tilsyneladende fækale proteinfordøjeligheder. Der var én fækal fordøjelighed pr fodermiddel, og den fækale fordøjelighed for protein blev anvendt for alle aminosyrer.

Forsøg har vist, at infusion af protein eller essentielle aminosyrer i blind- og tyktarm ikke bidrager til grisenes forsyning med essentielle aminosyrer, da aminosyrerne ikke absorberes fra blind- og tyktarm, men omsættes mikrobielt. Regressionsanalyser har ligeledes vist, at proteinaflejring i højere grad er korreleret til ileale proteinfordøjeligheder end fækale.

Estimering af ileale fordøjeligheder kræver, at man indsætter en kanyle ved den terminale ileum hos grisen, hvorfor opbygning af et solidt datagrundlag på tværs af fodermidler har været en årelang proces, som først er kommet på plads inden for de seneste år.

Da datagrundlaget i 2002 blev vurderet til at være tilstrækkeligt, blev det besluttet at indføre et nyt proteinvurderingssystem baseret på standardiserede ileale aminosyrefordøjeligheder samtidig med indførelsen af det nye energivurderingssystem.

8.1. Fastlæggelse af protein- og aminosyretilgængelighed

Det er i kapitel 3 vist, hvorfor standardiserede fordøjeligheder er at foretrække frem for tilsyneladende, da disse er uafhængige af forsøgsmæssige omstændigheder (fx iblandingsgraden i grundfoderet) og derfor reflekterer de fundamentale egenskaber ved fodermidlerne, hvorfor man kan antage, at standardiserede fordøjeligheder er additive. Man kan vælge flere fremgangsmåder til bestemmelse af standardiserede fordøjeligheder for protein og aminosyrer, hvor vi i det følgende afsnit vil beskrive to beregningsmetoder, som dels tager udgangspunkt i in vitro bestemmelser, dels tager udgangspunkt i fordøjelsesforsøg med grise (in vivo bestemmelser).

Beregningsmetode 1, som anvendes til korn og kornbiprodukter: Denne baseres på in vitro - in vivo differens metoden [7], som bygger på, at man måler den reelle nitrogen fordøjelighed (EFNi) og derefter korrigerer for det foderspecifikke endogene proteintab, hvorved den standardiserede proteinfordøjelighed (ST FK, Råprot.) kan beregnes [1]. Ligningen er udledt af ligning 3.4 og er som følger (8.1):

$$\text{ST FK, Råprot.} = \frac{\text{Råprotein, [g/kg ts]} \times \frac{\text{EFNi}}{100} \div 0,066, [\text{g/g UTSi}] \times \text{UTSi, [g/kg ts]}}{\text{Råprotein, [g/kg ts]}} \times 100 \quad (8.1)$$

hvor

$\text{Råprotein, [g/kg ts]} \times \text{EFNi}/100 =$ reelt fordøjet råprotein

$0,066, [\text{g/g UTSi}] \times \text{UTSi, [g/kg ts]} =$ det foderspecifikke endogene tab

For aminosyrer er fremgangsmåden principielt den samme. Dog antages det, at den reelle fordøjelighed af aminosyrerne er lig med EFNi, og at aminosyreprofilen af det foderspecifikke endogene protein er konstant. Dette betyder, at der er en konstant pr. aminosyre, fx er det foderspecifikke tab af lysin 2,11 mg pr. g UTSi - se tabel 8.1.

Den standardiserede aminosyrefordøjelighed (ST FK, AA) kan udtrykkes i følgende ligning (8.2):

$$\text{ST FK, AA} = \frac{\text{Indhold AA, [g/kg ts]} \times \frac{\text{EFNi}}{100} \div \text{konstant, [g/g UTSi]} \times \text{UTSi, [g/kg ts]}}{\text{Indhold AA, [g/kg ts]}} \times 100 \quad (8.2)$$

hvor

$\text{Indhold AA, [g/kg ts]} \times \text{EFNi}/100 =$ reelt fordøjet g pr. kg tørstof af aktuel aminosyre

Konstant, [g/g UTSi] × UTSi, [g/kg ts] = det foderspecifikke endogene tab i gram pr. kg tørstof af den aktuelle aminosyre, se tabel 8.1 for konstanter for de enkelte aminosyrer. Før indsættelse i ligningen skal konstanter opgivet i mg i tabel 8.1 dog omregnes til gram.

Fordelen ved anvendelse af in vitro metoden er, at man kan få et estimat for aminosyretilgængeligheden på et aktuelt parti af et givet fodermiddel. Ligeledes har det den fordel, at nye fodermidler let kan anvendes, da man ikke behøver at udføre bekostelige fordøjelighedsforsøg. Man behøver bare gennemføre en kemisk og en in vitro analyse som beskrevet i kapitel 3 for at værdisætte fodermidlet.

Ulempen ved in vitro metoden er, at parametrene i ligning 8.2 antages at være alment gyldige på tværs af fodermidler/blandinger, hvorfor veldokumenteret viden vedrørende antinutritionelle faktorer og deres effekt på endogene sekretioner delvis overses. Dette betyder i nogle tilfælde (fx rug, ærter, ubehandlet sojaskrå mm.), at det endogene tab underestimeres ud fra den generelle ligning. Tilsvarende kan de reelle fordøjeligheder af de enkelte aminosyrer være lidt forskellige, hvis fx nogle aminosyrer er overrepræsenteret i en tungt fordøjelig proteinfraktion. For korn er lysinandelen således højere i skalproteinet end i den gennemsnitlige proteinfraktion, hvilket er årsagen til, at lysin fra korn fordøjes dårligere end proteinet som gennemsnit.

Beregningsmetode 2, som anvendes for alle fodermidler undtagen korn og kornbiprodukter: Denne beror på indsamling af publicerede værdier for in vivo protein- og aminosyrefordøjeligheder på forskellige fodermidler samt basale endogene protein- og aminosyretab. Datamaterialet underkastes en "metaanalyse", som muliggør korrektion for de forskellige fistuleringsteknikker (Re-entrant, ileo-rectal anastomosis, T-kanyle, steered ileocaecal valve kanyle og post-valve T caecal) og forsøgsmetoder (kvælstoffri, kasein og regression), der er anvendt i de mange studier. På baggrund af metaanalysen er der dannet justerede gennemsnit for in vivo fordøjelighederne på fodermidlerne samt estimater for de basale endogene protein- og aminosyretab. Ud fra metaanalysen kan de standardiserede fordøjeligheder beregnes efter ligningerne 8.3 og 8.4:

$$ST\ FK, \text{ råprotein} = \frac{\text{råprotein, [g/kg ts]} \times \frac{\text{in vivo FK}}{100} + \text{Basal råprotein, [g/kg ts]}}{\text{råprotein, [g/kg ts]}} \times 100 \quad (8.3)$$

$$ST\ FK, AA = \frac{\text{Indhold AA, [g/kg ts]} \times \frac{\text{in vivo FK}}{100} + \text{Basal AA, [g/kg ts]}}{\text{Indhold AA, [g/kg ts]}} \times 100 \quad (8.4)$$

Det basale endogene proteintab (Basal råprotein) og det basale endogene aminosyretab (Basal AA) er tidligere defineret som det minimale tab af henholdsvis protein og de enkelte aminosyrer for at fordøje et kg tørstof – se evt. figur 3.1 i afsnit 3.

Styrken ved denne metode er, at der ligger et stort datamateriale bag, som bygger på 79 videnskabelige publikationer og i alt 203 in vivo fordøjeligheder på forskellige fodermidler. Det basale endogene proteintab er estimeret på grundlag af 45 observationer i 36 publikationer, mens aminosyreprofilen er baseret på 10 til 31 observationer afhængig af den pågældende aminosyre. Disse er samlet og analyseret i en dansk ph.d. afhandling af Pedersen (2001) [37].

Ulempen ved metoden er, at der ikke kontrolleres for det aktuelle partis protein- og aminosyrefordøjelighed.

En sammenligning af de to beregningsmetoder findes i tabel 8.1.

Det fremgår af tabel 8.1, at de to metoder giver estimater for det basale endogene proteintab, som er næsten identiske, nemlig 11,7 g henholdsvis 13,2 g pr. kg fodertørstof.

Tabel 8.1. Aminosyreprofil af endogent protein samt basale og foderspecifikke endogene protein/aminosyretab for de to beregningsmetoder

	Aminosyreprofil ¹ (g/160 g N)	Beregningsmetode 1		Beregningsmetode 2
		Basal (g/kg ts)	Foderspecifikke (mg/g UTSi)	Basal (g/kg ts)
Protein	1000	13,2	66,0	11,7
Lysin	32	0,42	2,11	0,37
Threonin	45	0,59	2,97	0,53
Methionin	10	0,13	0,66	0,12
Cystin	16	0,21	1,06	0,19
Tryptofan	12	0,16	0,79	0,14
Isoleucin	28	0,37	1,85	0,33
Leucin	44	0,58	2,90	0,51
Histidin	15	0,20	0,99	0,18
Fenylalanin	30	0,40	1,98	0,35
Tyrosin	25	0,33	1,65	0,29
Valin	39	0,51	2,57	0,46

¹ Efter Pedersen, 2001 [37] - se tekst for beregning af endogent aminosyretab pr. kg ts og pr. g UTSi.

Hvis det antages, at aminosyreprofilen af det endogene protein har en konstant sammensætning, kan man beregne det endogene tab af essentielle aminosyrer. Man kan således estimere det basale endogene tab af en aminosyre som: Basalt endogent tab af protein × indhold af aminosyren i endogent protein. Fx er basalt endogent lysintab for metode 2:

$$11,7 \text{ [g protein/kg ts]} \times 32/1.000 \text{ [g lysin/g protein]} = 0,37 \text{ g lysin /kg ts}$$

Det foderspecifikke endogene tab af en bestemt aminosyre (pr. g UTSi) findes ved at gange proteintabet pr. g UTSi med det endogene proteins indhold af den aktuelle aminosyre. For treonin er beregningen eksempelvis givet ved:

$$0,066 \text{ [g protein/g UTSi]} \times 45/1.000 \text{ [g treonin/g protein]} = 0,00297 \text{ [g treonin/g UTSi]} = 2,97 \text{ [mg treonin/g UTSi]}$$

Værdierne for det foderspecifikke endogene aminosyretab pr. g UTSi kan anvendes til beregning af standardiserede aminosyrefordøjeligheder efter ligningen (8.2).

8.2. Relativ aminosyrefordøjelighed

Man kan kombinere ovenstående for aminosyrerne således, at man udtrykker den standardiserede aminosyrefordøjelighed relativt til den standardiserede proteinfordøjelighed, som er bestemt ud fra beregningsmetode 2. Den relative aminosyrefordøjelighed kan udtrykkes i følgende ligning (8.5):

$$\text{Relativ FK, AA} = \frac{\text{ST FK, AA}}{\text{ST FK, råprotein}} \times 100 \quad (8.5)$$

Hvis man kun anvender tabellerede værdier for proteinfordøjeligheden har det ingen betydning, om man bruger absolutte eller relative aminosyrefordøjeligheder. Men valget af en beregningsmodel med relative værdier skyldes, at det er valgt at beregne den standardiserede proteinfordøjelighed for en række kornarter og kornbiprodukter ud fra aktuelle analyser - for at kunne tage hensyn til variation mellem kornpartier i både proteinindhold og EFOS-fordøjelighed. Den valgte model betyder således, at aminosyrefordøjelighederne automatisk ændres, hvis proteinfordøjeligheden ændres.

Hvis den relative aminosyrefordøjelighed er mindre end 100 pct. er det et udtryk for, at aminosyren er mindre tilgængelig end råprotein, hvilket fx er tilfældet for byg (94 pct.). Dette er en forbedring i forhold til det gamle system, hvor alle aminosyrerne havde en relativ fordøjelighed på 100 pct.

8.3. In vitro fordøjeligheder kontra faste tabelværdier

For at illustrere fleksibiliteten og konsekvensen af at vælge in vitro frem for tabelværdier i det nye proteinvurderingssystem tages udgangspunkt i fodermidlet byg, se tabel 8.2. Det er kendt, at råproteinindholdet i byg varierer med kvælstofgødskningen, hvorfor udenlandske bygpartier generelt har et højere råproteiniveau - end det aktuelle danske, hvor man skal gøde under optimum. Derfor kan udenlandske tabelværdier for in vivo bestemte fordøjeligheder overestimerer fordøjeligheden.

Basis for beregningerne er "byg 9 pct." (råproteinindholdet er 9 pct. i varen), som svarer til danske bygpartier, mens udenlandske bygpartier har et råproteinniveau svarende til "byg 11,5 pct." eller "byg 14 pct."

Det antages nu, at stivelse (100 pct. fordøjeligt) substitueres med råprotein, som er 90 pct. fordøjeligt i EFOS-analyserne, hvorfor EFOS-værdierne er svagt faldende med stigende råproteinniveau. Det betyder således, at UTSi er marginalt stigende med stigende proteinniveau, hvorfor det endogene proteintab også vil påvirkes marginalt. Standardiseret fordøjeligt råprotein og lysin er beregnet efter ligningerne 8.1, 8.2 og 8.5. Det ses, at protein- og aminosyrefordøjeligheden stiger med råproteinniveauet i byg, når der regnes ud fra in vitro ligningerne.

Der er tidligere blevet argumenteret for, at de standardiserede fordøjeligheder er uafhængige af råproteinniveauet i fordøjelsesforsøget. I beregningseksemplet stiger fordøjeligheden dog med proteinniveauet, hvilket skyldes, at vi i princippet har at gøre med tre forskellige fodermidler, hvilket anskueliggøres fx ved UTSi værdierne. Den konstante standardiserede fordøjelighed gælder kun, hvis man i et forsøg anvender forskellig fortynding med basalfoder på samme parti af et fodermiddel.

Hvis man sammenligner standardiseret fordøjeligt råprotein eller lysin med værdierne fundet i meta-analysen af Pedersen (2001) – henholdsvis råprotein 78 pct. og lysin 73 pct. - ses der at være god overensstemmelse med "byg 11,5 pct." Det skyldes, at datamaterialet hovedsageligt stammer fra udenlandske forsøg, hvor der har været anvendt byg med højere råproteinindhold end det nuværende danske - men det præcise proteinindhold er ikke kendt. Indtil 1983 var det gennemsnitlige proteinindhold i 110 prøver byg [9] således 10,9 pct. i varen.

Tabel 8.2. Effekt af råproteinindhold i byg på råprotein- og lysintilgængelighed.

	Byg 9 %	Byg 11,5 %	Byg 14 %
Råprotein, (% i ts)	10,8	14,7	16,5
EFOS, (%)	83,8	83,5	83,2
EFOSi, (%)	79,0	78,7	78,4
EFNi-tabel, (%)	90	90	90
UTSi, (% i ts)	23,2	23,6	23,8
ST. FK. råprotein, (%)	75,8	78,5	80,5
Lysin ¹ , (% i råprotein)	3,8	3,4	2,9
ST. FK. lysin ² , (%)	71,3	73,8	75,6

¹ Lysinindholdet beregnes efter ligningen: $5,41 - 0,15 \cdot \text{råprotein pct. i ts}$.

² Lysins relative fordøjelighed er 94 pct. af råproteinets.

Det kan rent teoretisk beregnes, at endogene tab har relativ mindre betydning i fodermidler med højt råproteinindhold. Derfor må det forventes, at tabellerede værdier for proteinfodermidlerne giver den bedste beskrivelse, da en markant ændring af råproteinindholdet kun har marginal effekt på proteinfordøjeligheden pga. det allerede høje råproteinindhold.

Hovedparten af fodermidlerne har en fastlagt tabelværdi ud fra in vivo forsøg (beregningsmetode 2), da dette på nuværende tidspunkt må anses for at være det bedste estimat på protein- og aminosyrefordøjeligheden.

For kornfodermidlerne (byg, hvede, havre og tritikale) og biprodukter heraf anvendes beregningsmetode 1 til bestemmelse af standardiserede proteinfordøjeligheder, da denne metode bedre er tilpasset danske forhold og kan tage hensyn til den betydelige variation i kornprodukterne i både proteinindhold og i UTSi, som bestemmer det foderspecifikke endogene tab. I praksis anvendes der tabelværdier for EFNi, da EFNi er meget konstant inden for fodermidler, mens UTSi beregnes efter EFOS-analyserne.

8.4. Bestemmelse af protein- og aminosyretilgængelighed i ukendte fodermidler / blandinger

For ukendte fodermidler, som ikke har en forsøgsbestemt tabelværdi, estimeres protein- og aminosyretilgængeligheden ud fra beregningsmetode 1, da man blot skal kende råprotein, aminosyreindhold, EFNi og UTSi. EFNi kan dog kun bestemmes på DJF.

I tabel 8.3 er der konstrueret et beregningseksempel, som anskueliggør anvendelsen af in vitro metoden til fastsættelse af proteinværdien i en ukendt foderblanding. Basis for beregningerne er en konkret færdigblanding med følgende beregnede analyser:

Råprotein = 19,9 pct. i tørstof
 EFNi = 91 pct.
 UTSi = 23,1 pct. i tørstof
 1,24 FEsv/kg tørstof

Aminosyreindholdet forudsættes også analyseret og er udtrykt relativt til råproteinindholdet, hvilket kan ses i tabel 8.3.

Ligningerne 8.1, 8.2 og 8.5 er anvendt til at beregne de standardiserede og relative fordøjeligheder, hvor konstanterne for det foderspecifikke endogene aminosyretab pr. g UTSi er hentet fra tabel 8.1 - se tabeltekst for konkret gennemgang af beregninger.

Tabel 8.3. Beregning af protein- og aminosyretilgængelighed i en ukendt foderblanding.

	Indhold % i råprotein	Reelt Ford. ¹ g/kg ts	St. Ford. ² g/kg ts	St. Ford. ³ %	Relativ Ford. ⁴ %	St. Ford. ⁵ g/FEsv
Protein	100	181	166	83,4	100	133
Lysin	5,44	9,9	9,4	86,5	104	7,5
Methionin	1,61	2,9	2,8	86,2	103	2,2
Cystin	1,85	3,4	3,1	84,4	101	2,5
Treonin	3,79	6,9	6,2	81,9	98	5,0
Tryptofan	1,25	2,3	2,1	83,7	100	1,7
Isoleucin	4,00	7,2	6,8	85,6	103	5,5
Leucin	7,08	12,8	12,2	86,3	103	9,8
Histidin	2,47	4,5	4,2	86,4	104	3,4
Fenylalanin	4,70	8,5	8,1	86,1	103	6,5
Tyrosin	3,32	6,0	5,6	85,2	102	4,5
Valin	4,69	8,5	7,9	84,7	102	6,3

¹ Reelt fordøjeligt lysin, [g/kg ts] = $(19,9 \times 5,44 \times 91/1000)$, [g/kg ts] = 9,9 [g/kg ts], jvnf. formel 8.2

² Standardiseret fordøjeligt lysin, [g/kg ts] = $(9,9 - (2,11 \times 23,1)/100)$, [g/kg ts] = 9,4 [g/kg ts], jvnf. formel 8.2

³ Standardiseret lysinfordøjelighed, pct. = $9,4/(19,9 \times 5,44) \times 1000 = 86,5$ pct., jvnf. formel 8.2

⁴ Relativ lysinfordøjelighed, pct. = $86,5/83,4 \times 100 = 104$ pct., jvnf. formel 8.5

⁵ Standardiseret fordøjeligt lysin, [g/FEsv] = $(9,4 / 1,24)$, [g/FEsv] = 7,5 [g/FEsv]

In vitro metoden kan således anvendes til vurdering af et ukendt fodermiddel/blanding for både energi og proteinværdi uden at skulle udføre forsøg.

8.5. Konklusion

Beregning af protein- og aminosyretilgængelighed for fodermidlerne sker i det nye proteinvurderings-system ud fra følgende kriterier:

1. Kemisk analyse af proteinmængden kombineret med enten tabelværdier for aminosyreindholdet i procent af råprotein (hovedparten af fodermidlerne) eller regressionsligninger, der beskriver aminosyremængden i procent af råprotein som funktion af råproteinindholdet. (byg og hvede)
2. Der anvendes tabelværdier for den standardiserede proteinfordøjelighed på hovedparten af fodermidlerne. Tabelværdierne er fastlagt ud fra en metaanalyse af publicerede værdier for in vivo protein- og aminosyrefordøjeligheder, der er korrigeret for det basale endogene proteintab.[37]
3. Den standardiserede proteinfordøjelighed beregnes for korn og kornbiprodukter (byg, hvede, havre og tritikale) ud fra den generelle ligning (8.1), hvor der anvendes tabelværdier for EFNi, mens UTSi beregnes ud fra EFOS-analyserne.
4. For aminosyrerne anvendes for alle fodermidler tabelværdier for relative aminosyrefordøjeligheder, som udtrykker den standardiserede aminosyrefordøjelighed relativt til den standardiserede proteinfordøjelighed. Disse er fastlagt ud fra publicerede værdier for in vivo fordøjeligheder af protein og de enkelte aminosyrer – som er omregnet til standardiserede fordøjeligheder ved at korrigere for det basale endogene protein- og aminosyretab.
5. Indholdet af standardiseret fordøjelig aminosyre beregnes som: indhold af aminosyre \times standardiseret proteinfordøjelighed, pct. / 100 \times relativ aminosyrefordøjelighed, pct. / 100

Appendiks 1.a. Fodervurderingssystemet fra 2002 til 2006

En færdig udgave af det nye fodervurderingssystem blev første gang beskrevet i notat 0217 fra maj 2002 [38]. På dette tidspunkt var systemet dog allerede introduceret for foderstofbranchen i form af kurser i vinteren 2002. Det nye system blev allerede taget i brug som et frivilligt beregningssystem i sommeren 2002 af det meste af foderstofbranchen, men den officielle kontrol af energi fortsatte med de gamle FEs.

I forbindelse med indførelse af analysen af tyndtarmsfordøjelighed i praksis viste der sig analysetekniske problemer med at anvende EFTSi = enzymfordøjelig tørstof ved ileum. EFTSi var oprindelig valgt, fordi EFTSi-værdien blev antaget for at være lig med fordøjeligheden af organisk stof ved ileum – og fordi prøveresten efter tørstofbestemmelsen evt. kunne anvendes til at bestemme den ileale kvælstoffordøjelighed (EFNi). Det viste sig ved en indledende ringtest mellem laboratorier, at der var to problemer ved at anvende EFTSi:

1. I nogle tilfælde kunne diglerne tabe lidt materiale under filtreringen af prøveresten, hvilket blev målt som tab af tørstof fra prøven. Herved blev der målt en højere fordøjelighed. Ved alene at måle fordøjeligheden af organisk stof blev analysen uafhængig af dette "slid" på diglerne.
2. Når råvarer blev blandet med mineralfoder i tilskudsfoder, påvirkede mineralstoffernes fordøjelighed EFTSi – ligesom det generelt viste sig, at vegetabiliske fodermidler med et højt mineralindhold havde højere værdier for EFTSi end for EFOSi. Dette skyldes, at mineralstofferne fordøjes med ca. 90 pct. i EFTSi-analysen.

Begge problemer blev løst ved at skifte fra EFTSi-analysen til EFOSi-analysen, hvor den målte fordøjelighed alene er målt på det organiske stof.

I forbindelse med implementeringen af EFOSi-analysen blev der endvidere lavet en lille ændring i analysetider, så EFOSi passede sammen med EFOS-analysen i den praktiske laboratoriehåndtering.

Ændring af ligninger efter skift til EFOSi er beskrevet i notat 0327 fra 2003 [39].

Fodermiddelspecifikke faktorer og seks ligninger til foderenheder

I de første versioner af energivurderingssystemet blev der anvendt tre fodermiddelspecifikke faktorer, nemlig

1. EFNi (enzymfordøjelig - N ved ileum)
2. FKråfedt (Den reelle fedtfordøjelighed)
3. Kulhydratfaktoren, som angav den fodermiddelspecifikke værdi (kJ/g) af kulhydraterne i LFK-fraktionen.

Sidstnævnte kulhydratfaktor blev vurderet som nødvendig, fordi "sien" ved EFOSi-analysen målte oligosakkarider og andre letopløselige stoffer som tyndtarmsfordøjelige, selv om de fermenteres af mikroorganismer i tarmen. Kulhydratfaktoren var beregnet ud fra kendskab til LFK fraktionens indhold af stivelse, disakkarrider, monosakkarider og ukendt rest, som blev antaget fermenterbart.

Problemet med disse faktorer var, at de ikke var kontrollerbare i færdigfoder - og at man derfor måtte anvende gennemsnitsværdier for foderblandinger. Ved kontrol af foder blev anvendt værdierne EFNi = 91, FKråfedt = 90 og kulhydratfaktor = 11,35 i færdigfoder og 9,3 i tilskudsfoder.

Herved opstod der mulighed for, at der kunne være både en "rigtig" foderenhed og en kontrollfoderenhed - hvor der specielt i tilskudsfoder med høj kornandel kunne være betydende forskel. I praksis opstod der seks forskellige beregningssligninger til foderenheder, nemlig

1. FESv med alle fodermiddelspecifikke faktorer
2. FESv med ligning til færdigfoder (faste faktorer)
3. FESv med ligning til tilskudsfoder (faste faktorer)
4. FEDr med alle fodermiddelspecifikke faktorer
5. FEDr med ligning til færdigfoder (faste faktorer)
6. FEDr med ligning til tilskudsfoder (faste faktorer)

Det viste sig endvidere, at anvendelsen af to forskellige foderenheder til søer, henholdsvis FE_{Dr} for drægtighedsfoder og FE_{Sv} for diegivningsfoder fungerede uhensigtsmæssigt i praksis.

Forenklinger med 2006 versionen

I praksis var det primært variationen i kulhydratfaktor, der voldte problemer og nødvendiggjorde de forskellige ligninger.

Det egentlige problem var, at

- TFK (tungt fordøjelige kulhydrater) ikke indeholdt alle fermenterbare kulhydrater.
- LFK (letfordøjelige kulhydrater) både indeholdt enzymfordøjelige kulhydrater og fermenterbare kulhydrater med kort kædelængde.

Det viste sig, at der på tværs af fodermidler kunne laves en simpel korrektion, som bevirkede, at man ud fra de samme analyser kunne adskille fermenterbare kulhydrater fra de enzymfordøjelige (LFK). Korrektionen svarer til, at man antager, at forskellen mellem EFOS og EFOS_i kun repræsenterer 70 pct. af de fermenterbare kulhydrater.

Der er derfor besluttet at erstatte den hidtidige fraktion TFK med en ny fraktion, nemlig FMK = TFK/0,7 eller FMK = TFK × 1,43.

Korrektionen betyder samtidig, at LFK-fraktionen bliver nedjusteret lige så meget, som FMK er større end TFK. Samtidig er det besluttet at værdisætte den nye LFK-fraktion som stivelse (fast værdi).

Ændringen betyder endvidere, at UTS_i (ufordøjelig tørstof ved ileum) tilsvarende bliver opjusteret med de ekstra fermenterbare kulhydrater, som nu medregnes i den ikke tyndtarmsfordøjelige fraktion.

I forbindelse med justeringen af energivurderingssystemet er det endvidere besluttet, at de faste faktorer for EF_{Ni} og FK_rafedt fra de hidtidige kontrolligninger fastholdes og anvendes generelt på alle fodermidler. Der vil kun være enkelte fodermidler, som kan håndteres som undtagelser fra de generelle ligninger.

En sidste væsentlig ændring er, at FE_{Dr} er erstattet af FE_{So}. FE_{So} er tænkt anvendt i hele soecyclus og anvender de højere fordøjeligheder og værdifaktorer for fermenterbare kulhydrater fra den hidtidige FE_{Dr} - sammen med samme værdi for fedt som i FE_{Sv}. Samtidig er ligningen justeret ud fra de samme ændringer af næringsstoffraktioner som beskrevet ovenfor for FE_{Sv}. Det vurderes, at denne nye håndtering er lige så faglig korrekt – og i praksis er det enklere med kun en foderenhed til søerne.

Ændringerne i ligningerne til beregning af FE_{Sv} betyder, at de fleste fodermidler får næsten uændret værdi, selv når det fastholdes, at FE_{Sv} = 7,38 MJ. Det er endvidere vist, at FE_{Sv} med den nye ligning = de gamle FE_{Sv} i en standardblanding fra 2002, se appendix 1.b. *Forenklingen medfører små justeringer af foderblandingers indhold af FE_{Sv}, men ændringen er i de fleste tilfælde under 1 pct. – og derfor uden praktisk betydning. For diegivningsfoder vil man normalt finde, at der er ca. 1 pct. mindre FE_{So} end FE_{Sv} – mens indhold af FE_{So} og FE_{Dr} er stort set identisk i drægtighedsfoder.*

Omregningen til FE_{So} fra fysiologisk energi er fastlagt ud fra, at der skal være lige mange FE_{So} og FE_{Sv} i byg. Opvurderingen af fedt i ligningen betyder, at 1,0 FE_{So} = 7,7 MJ, hvor 1,0 FE_{Dr} var lig med 7,54 MJ [38].

Ændringen med version 2006 betyder især:

- Der kan bruges samme ligning til beregning af FE_{Sv} i fodermidler, færdigfoder og tilskudsfoder - hvor kun nogle få fodermidler har undtagelser. Undtagelserne er primært relevante i hjemmeblandet foder.
- Tilsvarende kan der anvendes en fælles ligning for FE_{So} for fodermidler og blandinger.
- Ved analyse af fodermidlers værdi skal der bruges ligninger med faste faktorer, hvilket gør håndteringen meget enklere på analyselaboratorier - og eliminerer fejl forårsaget af anvendelse af forkerte fodermiddelspecifikke faktorer.

Appendisk 1.b. Fastlæggelse af skaleringsfaktor fra fysiologisk energi til foderenheder

I år 2002 blev omregningsfaktoren fra fysiologisk energi fastlagt som følger [38]:

1. Så indholdet af FEs og FEsv var ens i en standardblanding til slagtesvin
- herved blev 1,0 FEsv = 7.375 MJ Fysiologisk energi til grise i vækst
2. Så indholdet af FEdr var lig med indholdet af FEsv i byg
- herved blev 1,0 FEdr lig med 7.540 MJ fysiologisk energi til drægtige søer

I mellemtiden er formlerne til beregning af FEsv blevet ændret og kJ pr. FEsv er justeret til 7.380. FEdr er blevet erstattet af FEso, som gælder for søer i hele cyclus - og i øvrigt for alle dyr over normal slagtevægt. Det gælder nu, at FEso = FEsv i gennemsnitlig vårbyg fra høst i 2003 og 2004, hvorved FEso er fastlagt til 7,70 MJ.

I det følgende sammenlignes indholdet af FEs og FEsv – version 2006 i en standardblanding til slagtesvin – med proteinindhold svarende til minimumsanbefalingen i det gamle fodervurderingssystem, hvilket var typisk praksis i 2002. Blandingen er vist i tabel app.1.b.1.

Tabel appendix 1.b.1. Standardfoderblanding til fastlæggelse af kJ pr. FEsv.

Fodermiddel	Pct.	Analyse	Beregnet Indhold
Vårbyg, gns. af 2003 og 2004 høst	25,00	Fæces ford. råprotein, g/FEs	130
Hvede, gns. af 2003 og 2003 høst	46,46	Ford. Lysin, g/FEs	7,3
Sojaskrå,	19,95	Tørstof, %	86,3
Rapsskrå,	2,00	Råprotein, % i vare	17,0
Solsikkeskrå, d.afsk., 14 % træstof	2,00	Råfedt, % i vare	4,22
Animalsk fedt	2,00	Råaske, % i vare	5,15
Kridt	1,37	EFOS, %	89,2
Monocalciumfosfat	0,48	EFOSi, %	81,2
Salt	0,35		
Vitamin og mineralforblanding	0,17	FEs pr. kg ved kontrol*	1,074
Lysin, HCL 78 % lysin	0,14	FEsv pr. kg ved kontrol*	1,074
Methionin, 99 %	0,02	FEso pr. kg ved kontrol *	1,071
Treonin, 98,5 %.	0,04		

* Ved anvendelse af kontrolformler på det beregnede næringsstofindhold i blandingen og faktoren 7.380 KJ pr. FEsv og 7.700 KJ pr. FEso.

Ved beregning af FEs-indholdet i det gamle system var der det problem, at fedt i beregningssystemet blev værdisat uafhængigt af EFOS-analyserne - men at fedtets værdi blev bestemt af EFOS ved kontrol af blandingen. Det samme fedt fik dermed forskellig værdi i forskellige blandinger.

Det ses af tabel 6.1, at indholdet af FEs ud fra kontrol var meget tæt på at være lig med indholdet af FEsv, når der anvendes 7.375 KJ pr. FEsv.

Appendiks 1.c. Fastsættelse af korrektionsfaktorer for valle og melasse

Baggrund

For valle og melasse vil anvendelse af den generelle ligning overvurdere energiindholdet, da en del af den analyserede LFK-fraktion for disse 2 fodermidler fermenteres i tyktarmen. Årsagen er for valle's vedkommende, at laktasekapaciteten er begrænsende, mens årsagen for melasse er, at LFK-fraktionen indeholder andre stoffer end stivelse og sukker. Afvigelsen håndteres ved at indføre en korrektionsfaktor - og baggrunden for de valgte korrektionsfaktorer fremgår af det følgende.

1.c.1. Foderværdi af mælkeprodukter, herunder valle

Mælkeprodukter indeholder laktose, som udnyttes optimalt lige efter fravæning, mens forsøg har vist, at slagtesvins kapacitet for hydrolyse af laktose er begrænset.

I praksis håndteres det på følgende måde:

1. I valle- og mælkepulver anvendes kontrolværdien på 11,7 for LFK-fraktionen svarende til at laktose antages at have samme værdi som stivelse. Disse fodermidler anvendes i praksis kun i perioden lige efter fravæning, hvor laktosen for grisene har mindst samme værdi som stivelse. Stigende mængder vallepulver til smågrise er afprøvet i medd. 680 [40]. I denne meddelelse er laktosens værdi i vallepulver ansat til 11,1 kJ/g, hvilket gav forbedret foderudnyttelse med stigende mængde vallepulver. Anvendelse af energiværdien for stivelse (11,7 kJ) vil derfor bedre kunne sikre samme foderudnyttelse ved iblanding af vallepulver i fravænningsfoder end anvendelse af energiværdien 11,1 kJ/g.
2. For valle som anvendes til slagtesvin og søer anvendes værdien:
 $FESv \text{ i valle} = 0,86 \times FESv\text{-kontrolligning} = 0,86 \times \text{ca. } 1,40 = \text{ca. } 1,20 \text{ FESv pr. kg tørstof afhængig af valletype.}$

Denne værdi er fundet som en gennemsnitsværdi for flere forsøg med op til ca. 20 pct. valletørstof i procent af tørstof for foderblandingen [41,42,43]. Værdien er fundet ved at genberegne forsøgs- og kontrolhold, hvor der er anvendt indholdet af FESv i byg (1,04), sojaskrå (0,88) og mineraler ($\div 0,11$) som i det nye system - og så finde den værdi for valletørstof, som giver samme foderudnyttelse i forsøgs- og kontrolhold.

De på denne måde forsøgsmæssigt bestemte værdier er vist tabel app. 1.c.1.

Det fremgår af tabel appendix 1.c.1, at værdierne varierede fra ca. 1,04 FESv til 1,27 FESv pr. kg tørstof, når indholdet af valle var under ca. 25 pct. af tørstof. Det er vurderet, at en korrektionsfaktor på 0,86 er et godt bud - som et gennemsnit for de efterhånden mange forsøg med valle til slagtesvin. Herved bliver værdien af valle reelt uændret i forhold til den værdi, der har været anvendt i fodervurderingssystemet fra 2003-2006. Anvendes mere end ca. 20 pct. valletørstof, falder værdien markant, fordi slagtesvins laktasekapacitet er for lille.

Tabel Appendix 1.c.1. Energiindhold i valleprodukter til slagtesvin ved konstant foderudnyttelse.

Forsøg/reference	Valletype	Iblanding, %	FESv pr kg ts.
SH, 584. beretning [41]	Permeatpulver, 97 % ts.	20 % af foder	1,27
		40 % af foder	0,89 ¹
		60 % af foder	0,72 ¹
	Permeatkonc, 20 % ts.	Ca. 20 % af tørstof	1,17
	Vallepulver, 95 % ts.	Ca. 25 % af tørstof	1,19
	Ostevalle, 5,5 % ts.	Ca. 25 % af tørstof	1,14
SH medd. 648 [42]	Tørret kaseinvalle 95,5 % ts.	11 % af foder	1,09
		15 % af foder	1,12
		19 % af foder	1,04
Medd. 703, Den rullende afprøvning [43]	Perlac 7	Ca. 20 % af FESv	1,20 ²

¹ Marginalværdien fra 20-40 pct. har været 0,58 FESv/kg ts og fra 40-60 pct. har den været 0,52 FESv/kg ts – men sidstnævnte bestemmelse er præget af stort fald i tilvækst.

² Den anvendte værdi ved opgørelse af forsøget var 1,20 FESv pr. kg ts, som faktisk gav samme foderudnyttelse for valle som for kontrolfoder.

I medd. 610 [44] er der refereret en udenlandsk undersøgelse, som angiver, at slagtesvins laktosehydrolysekapacitet er ca. 275 g laktose pr. døgn – som ved 75 pct. laktose i valletørstof svarer til ca. $275/0,75 = 367$ g valletørstof. Dette overstiges ved ca. 20 pct. valletørstof i foderet kombineret med en gennemsnitlig foderoptagelse på ca. 2,3 FEsv pr. dag. (1,8 kg fodertørstof pr. dag).

Anvendes valle med mere end 20 pct. af tørstof, er den marginale værdi fundet til 0,58 FEsv pr. kg tørstof - se tabel appendix 1.c.1. Marginalværdien svarer til energiværdien af et fodermiddel med 100 pct. fermenterbare kulhydrater (0,57 FEsv pr. kg tørstof). Det kunne tyde på, at al laktose ud over 20 pct. valletørstof fermenteres i tyktarmen.

Generelt anbefales det at holde sig under 20 pct. valletørstof i foder til svin. Anvendes alligevel højere iblandingsprocenter, kan vallens gennemsnitlige foderværdi bestemmes med følgende ligning:

$$\text{FEsv pr. kg valle tørstof} = [1,20 \times 20 + 0,6 \times (\text{iblanding, procent af tørstof} \div 20)] / \text{iblandingsprocent.}$$

Ligningen forventes at gælde i intervallet 20-40 pct. valle tørstof – og ved fx 30 pct. valletørstof er vallens værdi:

$$(1,20 \times 20 + 0,6 \times 10) / 30 = 1,00 \text{ FEsv pr. kg tørstof.}$$

1.c.2. Foderværdi af melasse

Foderværdi ud fra standardligning til beregning af energiindhold

På baggrund af næringsstofanalyserne i det nye fodervurderingssystem er følgende værdier for melasse fundet:

Tørstof = 74 pct.

I pct. af tørstof:

Råprotein = 13,0 pct.

Aske = 12,7 pct.

Råfedt = 0,1 pct.

EFOS = 99,8 pct.

EFOSi = 97,5 pct.

RFRP = 11,8 pct.

RFRF = 0,1 pct.

LFK = 72,3 pct.

FMK = 2,9 pct.

UTSi = 6,9 pct.

$$\text{FEsv} = 9.670 \text{ kJ} / 7.375 \text{ kJ pr. FEsv} = 1,31 \text{ FEsv pr. kg tørstof med standardformlen.}$$

Foderværdi ud fra de faktiske indholdsstoffer

For melasse udgør aminosyre-N kun ca. 38 pct. af total N, og der er derfor en høj andel NPN. (I korn udgør aminosyre N ca. 75 pct. af total N og i sojaskrå udgør aminosyre-N ca. 85 pct. af total N). Summen af aminosyrer i roemelasse svarer til ca. 57 pct. af råprotein og glutaminsyre udgør faktisk ca. 72 pct. af aminosyrerne. Råprotein beregnes som $N \times 6,25$ og er normalt stort set lig med summen af aminosyrer, hvilket ikke er tilfældet for roemelasse.

På melasseprøver fra 2003 er sukrose analyseret til ca. 60 pct. af tørstof med den officielle EU-forskrift.

Problemet med melasse er, at fermenterbare ukendte kulhydrater "smutter gennem sien" i EFOSi metoden – og at NPN medregnes med fuld proteinværdi i den generelle formel.

For melasse kan den reelle værdi pr. kg tørstof estimeres som følger:

$130 \times 0,57 \text{ g aminosyrer} \times 0,91 \times 9,9 \text{ kJ/g} =$	668 kJ
$130 \times 0,43 \text{ g NPN (råprotein - aminosyrer) indgår i FMK, nedenfor}$	
$1 \text{ g råfedt} \times 0,9 \times 31,7 \text{ kJ/g} =$	29 kJ
$600 \text{ g sucrose} \times 11,1 \text{ kJ/g} =$	6600 kJ
$156 \text{ g fermenterbare kulhydrater}^* \times 7,0 \text{ kJ/g} =$	1092 kJ
$- 211 \text{ g UTSi}^{**} \times 2,8 \text{ kJ/g} =$	÷ 591 kJ
I alt energi pr. kg ts =	7798 kJ
$\text{FEsv} = 7.798 \text{ kJ} / 7.380 \text{ [kJ/FEsv]} = 1,057 \text{ FEsv}$	

hvor

* fermenterbare kulhydrater = org. Stof \times EFOS/100 ÷ aminosyrer \times 0,91 ÷ råfedt \times 0,97 ÷ sukrose

** UTSi = org stof \times (100 ÷ EFOS)/100 + fermenterbare kulhydrater + aske \times 0,3.

Korrektionsfaktor = fysiologisk energi alle detaljer/fysiologisk energi med kontrolligning
 $= 7.798/9.670 = 0,806$.

Korrektionsfaktoren afrundes til 0,80, hvorved værdien af melasse bliver $1,31 \times 0,80 = 1,05 \text{ FEsv}$ pr. kg ts.

Foderværdien af melasse i fodringsforsøg

Melasse er bl.a. undersøgt i medd. 330 fra Statens Husdyrbrugsforsøg fra 1980 [45]. I denne meddelelse var der bl.a. et kontrolhold og en gruppe 2, som fik 15 pct. melasse i hele forsøgsperioden, 30-100 kg. Grisene havde samme daglige tilvækst, kødprocent, indgangsvægt og slagtevægt, hvorfor foderforbruget ideelt set skal være det samme. Ved at sætte foderforbruget i de to hold til det samme fås følgende ligning:

Foderforbrug, kontrol = $171 \text{ kg byg} \times 1,04 + 38,8 \text{ kg sojaskrå} \times 0,88 + 4,3 \text{ kg mineraler} \times \div 0,11 =$ foderforbrug forsøg = $29,7 \text{ kg melasse} \times \text{FEmelasse} + 146,3 \text{ kg byg} \times 1,04 + 39,5 \text{ kg sojaskrå} \times 0,88 + 4,7 \text{ mineraler} \times \div 0,11$.

Ved løsning af ligningen fås: FEmelasse pr. kg vare med 75,6 pct. tørstof = 0,86.

Omregnes til 1,14 FE pr. kg tørstof.

Melasse er undersøgt i forsøg i praksis i medd. 130 fra Den Rullende Afprøvning fra 1987 [46], hvor man fandt lidt forringet foderudnyttelse med melasse. Genberegning af forsøget tyder på, at foderværdien af melassetørstof i dette forsøg var ca. 70-75 pct. af værdien af hvede - som omregnet til det nye system svarer til 0,95-1,01 FEsv pr. kg ts.

De to forsøg understøtter, at den teoretisk udledte værdi på 1,05 FEsv pr. kg tørstof er et godt estimat på melasses værdi, og at den ukorrigerede værdi på 1,31 FEsv pr. kg tørstof overvurderer værdien. Derfor fastholdes den teoretisk udledte korrektionsfaktor på 0,80.

For rørmelasse er der ikke datagrundlag for at lave den samme udledning. Det foreslås at anvende samme korrektionsfaktor som for roemelasse (0,80).

I praksis anvendes melasse kun med 1-2 pct. i foderet i pelleteret foder - og her har fejlestimeringen med den generelle kontrolligning ingen praktisk betydning. Korrektionsfaktoren er derimod relevant, hvis man fristes til at anvende større mængder melasse i vådfoder.

Appendiks 1.d. Analysenøjagtighed på foderenheder

I sommeren 2003 blev der gennemført en ringanalyse på syv foderstoflaboratorier for at få den nye analyse af foderenheder ved hjælp af EFOSi til at fungere i praksis. Samme ringanalyse blev anvendt til at vurdere, hvor stor latituden skulle være ved kontrol af færdigfoder, da den nye metode til bestemmelse af foderenheder blev taget i officiel brug den 1. april 2004.

Ringanalysen viste, at den nye metode var lidt mere præcis end den gamle metode, men det blev besluttet at anvende en uændret latitude på fire foderenheder ved kontrol af færdigfoder, bl.a. begrundet i, at der også skulle være plads til de små afvigelser som kunne opstå, fordi kontrolligningen regnede lidt anderledes end ligningen til fodermidlerne.

Datagrundlaget i denne ringanalyse er blevet genberegnet med de nye ligninger for næringsstoffraktionerne. Den overordnede konklusion er, at analysevariationen i foderenheder stort set er uændret - og at ændring af ligningerne til beregning af foderenheder ikke giver anledning til ændring af latituden. I de nye ligninger har analysesikkerheden på EFOSi en lidt større effekt på indholdet af foderenheder, til gengæld har unøjagtigheden på EFOS mindre effekt.

I det følgende er resultaterne fra ringanalyserne i sommeren 2003 for EFOSi og foderenheder vist, hvor foderenhederne er beregnet med de nye ligninger for næringsstoffraktionerne. De deltagende laboratorier var Plantedirektoratet; Danmarks JordbrugsForskning, Foulum; AnalyCen; Steins Laboratorium; Dansk Landbrugs Grovvarereselskab; Aarhusegnens Andel og HEDEGAARD agro, men deltagerne er anonyme i følgende opgørelse.

I tabel appendix 1.d.1 ses analysenøjagtighed på FEsv i ringanalysen. Der indgik fire fuldfoderblandinger, to tilskudsblandinger og seks råvarer. På baggrund af ringanalysen er middelværdi, standardafvigelse min., maks. og variationskoefficienten beregnet på basis af syv observationer – det vil sige en pr. observation pr. laboratorium. Grundlaget for observationerne er en dobbelt bestemmelse på alle kemiske og begge in vitro analyser.

Tabel Appendix 1.d.1. Analysenøjagtighed i ringanalyse på FEsv for hhv. foderblandinger og råvarer.

Kategori		Middelværdi	Std.afv. ¹	CV ²	Min.	Maks.
		FEsv kg vare	FEsv kg vare	%	FEsv kg vare	FEsv kg vare
Foderblandinger	Smågrise	1,16	0,005	0,40	1,15	1,16
	Slagtesvin 1	1,06	0,011	1,01	1,04	1,07
	Slagtesvin 2	1,02	0,018	1,76	0,99	1,05
	Drægtighedsfoder	0,92	0,012	1,32	0,91	0,94
	Smågrisetilskud	1,09	0,011	0,99	1,08	1,10
	Slagtesvinitilskud	0,84	0,011	1,35	0,83	0,86
Råvarer	Fiskemel	1,24	0,021	1,66	1,21	1,27
	Sojaskrå	0,88	0,024	2,78	0,84	0,91
	Rapskage	0,98	0,013	1,33	0,97	1,00
	Hvede	1,15	0,029	2,56	1,10	1,18
	Hvedeklid	0,62	0,019	3,00	0,59	0,64
	Roepiller	0,49	0,038	7,77	0,46	0,55

¹ Std.afv.: Standardafvigelse.

² Variationskoefficient: CV = (standard afvigelse/middelværdi) × 100.

Min. og maks. angiver henholdsvis laveste og højeste analyserede værdi (FEsv) på de 12 fodermidler/blandinger, mens variationskoefficienten er standardafvigelsen relativt til middelværdien mellem de syv laboratorier.

Generelt kan det bemærkes, at analysesikkerheden er højere for foderblandingerne end for råvarerne. Ingen af de analyserede foderblandinger afviger mere end 3 FEsv pr. 100 kg fra middelværdien. Ligeledes er variationen mellem laboratorier på foderblandingerne lav, da ingen af de analyserede blandinger varierede mere end 2 pct. relativt til middelværdi, hvilket er udtrykt i variationskoefficienten.

Ringanalysen viste endvidere, at analysesikkerheden på FEsv var en smule bedre end analysesikkerheden på FEso. Ydermere er analysesikkerheden af samme størrelse på FEso. Analysegrundlaget er det samme og kun beregningsmetoden er ændret, hvorfor data ikke er vist.

Analysesikkerheden på råvarer er dårligere end for foderblandingerne, hvilket delvis kan skyldes, at det er svært at udtage en repræsentativ analyseprøve (0,5 g). Ligeledes må man også forvente, at råvarerne generelt har en mere heterogen struktur end pelleterede foderblandinger. Dog er der kun to af råvarerne (hvede og roepiller), hvor der er laboratorier, som afviger mere end 4 FEsv pr. 100 kg ts fra laboratoriernes middelværdi. Variationen mellem laboratorierne på råvarerne er omkring 2,5 pct. relativt til middelværdien med udtagelse af roepiller, som afviger kraftigt. Roepiller afviger, fordi det er vanskeligt at filtrere efter EFOSi-analysen på grund af den store mængde unedbrudt organisk stof. Roepiller er medtaget som et ekstremt fodermiddel med en lav EFOSi-fordøjelighed.

1.d.1. Analysesikkerhed på EFOSi

Det nye fodervurderingssystem inkorporerer yderligere en in vitro analyse, hvorfor denne omtales i det efterfølgende, mens der refereres til ringanalysen fra 1994 for analysesikkerheden på EFOS.

Resultat af ringanalysen ses i tabel App.1.d.2., hvor det fremgår, at der generelt er en højere grad af variabilitet blandt råvarerne end foderblandingerne.

Under indførelse af nye analysemetoder er man ofte interesseret i at kende størrelserne: Repeterbarhed og reproducerbarhed. Disse kan estimeres på baggrund af data fra ringanalysen, hvor data fittes til en mixed lineær model. I modellen er laboratorium en tilfældig faktor med syv niveauer og foder er en systematisk faktor med seks niveauer hørende til hver kategori (foderblanding eller råvarer). Ligeledes er produktfaktoren mellem laboratorium og foder tilfældig med 42 niveauer.

Repeaterbarhed og reproducerbarhed er estimeret ved flg. mixed lineære model:

$$Y_{ijk} = \varphi_i + L_j + FL_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

hvor $i = 1, \dots, 6$ (foder); $j = 1, \dots, 7$ (laboratorium); $k = 1, 2$ (gentagelser)

φ_i systematisk effekt af foder

L_j tilfældig variation af laboratorium $\sim N(0, \sigma_L^2)$

FL_{ij} tilfældig variation af laboratorium og foder kombinationen $\sim N(0, \sigma_{FL}^2)$

ε_{ijk} Residual variation $\sim N(0, \sigma^2)$

Derfor defineres repeterbarhed og reproducerbarhed til følgende:

- Repeterbarhed (r) betegner variationen mellem målinger fra det samme laboratorium på samme foder:
Denne fås ved at betragte $P(|Y_{ijk} - Y_{ijk'}| < r) \approx 0,95$ - dvs. sandsynligheden for, at to målinger fra samme laboratorium på samme foder afviger mindre end r , er omkring 95 pct., hvor Y_{ijk} og $Y_{ijk'}$ betegner to målinger fra det samme laboratorium og på samme foder. σ^2 er residual variationen, hvorfor r er givet ved $r = 2.83 \cdot \sigma$.
- Reproducerbarhed (R) betegner variationen mellem *enkelt*bestemmelser fra to forskellige laboratorier på samme foder:
 $R = 2,83 \times \sqrt{\sigma_L^2 + \sigma_{FL}^2 + \sigma^2}$ som fås ved at betragte $P(|Y_{ijk} - Y_{ijk'}| < R) \approx 0,95$ - dvs. sandsynligheden for, at to målinger fra to forskellige laboratorier på samme foder afviger mindre end R , er omkring 95 pct, hvor Y_{ijk} og $Y_{ijk'}$ betegner to *enkelt*bestemmelser på samme foder, men ikke samme laboratorium.

Vi har derfor med 95 pct. sandsynlighed bestemt, at to målinger (enkeltbestemmelser) foretaget af samme laboratorium på samme foderblanding afviger med maks. 1,17 pct. EFOSi (repeaterbarhed), hvorimod repeterbarheden er 1,75 pct. for EFOSi for råvarerne. Ligeledes er det med 95 pct. sandsynlighed bestemt, at to målinger (enkeltbestemmelser) foretaget af to forskellige laboratorier på samme foderblanding afviger med maks. 1,66 pct. EFOSi (reproducerbarhed), mens reproducerbarheden er 4,80 pct. EFOSi for råvarerne. Sidstnævnte er påvirket af den betydelige usikkerhed for EFOSi på roepiller.

Ligeledes giver reproducerbarheden, som er angivet i tabel Appendix 1.d.2., et estimat for den forventede maksimale afvigelse på EFOSi- bestemmelsen, hvis man sendte et ukendt fodermiddel/blanding til analyse hos to tilfældige laboratorier, og disse kun gennemførte en enkeltbestemmelse.

Tabel Appendix 1.d.2. Analysecikkerhed i ringanalyse på EFOSi for henholdsvis foderblandinger og råvarer.

Kategori		Middelværdi ¹	Std.afv. ²	CV ³	Min.	Maks.	r ⁴	R ⁵
		EFOSi, %	EFOSi, %	%	EFOSi, %	EFOSi, %	EFOSi, %	EFOSi, %
Foderblandinger	Smågrise	84,0	0,6	0,7	82,9	85,1		
	Slagtesvin 1	80,7	0,4	0,5	80,1	81,3		
	Slagtesvin 2 ⁶	77,0	0,5	0,7	76,6	78,4	1,15 ⁶	1,66 ⁶
	Drægtig	70,1	0,7	0,9	68,7	71,2		
	Smågrise tilskud	82,2	0,6	0,8	80,9	83,2		
	Slagtesvin tilskud	73,5	0,5	0,7	72,4	74,2		
Råvarer	Fiskemel	94,8	1,1	1,1	92,7	96,4		
	Sojaskrå	69,9	1,2	1,7	67,4	72,0		
	Rapskage	60,6	1,1	1,8	58,7	62,3	1,75 ⁷	4,80 ⁷
	Hvede	86,1	1,4	1,6	83,5	87,7		
	Hvedeklid	50,8	0,9	1,9	49,5	52,3		
	Roepiller ⁷	36,7	3,0	8,3	32,7	40,8		

¹ Justerede gennemsnit (lsmeans) som er estimeret på baggrund den mixed lineære model

² Std.afv: Standard afvigelse mellem laboratorier på dobbeltbestemmelse

³ CV: Variationskoefficient mellem laboratorier på dobbelt bestemmelse

⁴ r: Reperterbarhed – fx er r for råvarer givet ved: $r = 2,83 \times \sqrt{0,7065} = 1,75$

⁵ R: Reproducerbarhed – fx er R for råvarer givet ved: $R = 2,83 \times \sqrt{0,6692 + 1,8277 + 0,3852} = 4,80$

⁶ To observationer hørende til slagtesvin 2 fra et laboratorium er ekskluderet fra analysen

⁷ To observationer hørende til roepiller fra et laboratorium er ekskluderet fra analysen

Appendiks 2.1. Analyseforskrift for EFOSi

1. Formål og anvendelsesområde

Danner grundlag for en forudbestemmelse af tyndtarmsfordøjelighed af organisk stof hos svin i foderstoffer og færdige foderblandinger.
Måleområde: 0-100 pct.

2. Princip

Foderprøven inkuberes med pepsin ved pH 2,0 i 75 min., efterfulgt af pancreatin ved pH 6,8 i ca. 18 timer. Opløst, men unedbrudt protein fældes med sulfosalicylsyre. Uopløst og fældet prøvemateriale opsamles ved filtrering, og tørres. Ved at sammenholde værdierne for ufordøjet organisk stof i den oprindelige prøve beregnes in vitro fordøjeligheden af organisk stof.

3. Reagenser

Alt vand der benyttes er demineraliseret vand.

3.1. Acetone, teknisk vare

Celite (545, Tecator)
Forasket ved 475-500 °C i 4-6 timer.

3.3. Chloramphenicol, ICN nr. 190321 eller tilsvarende.

CAS nr. 56-75-7
Xn

R 20/22: Farlig ved indånding og ved indtagelse
R 40: Mulighed for varig skade på helbred
R 43: Kan give overfølsomhed ved kontakt med huden
S 22: Undgå indånding af støv
S 37: Brug egnede beskyttelseshandsker under arbejdet
F

R 11: Meget brandfarlig
S 7: Emballagen skal holdes tæt lukket
S 16: Holdes væk fra antændelseskilder - rygning forbudt

3.4. Dinatriumhydrogenfosfat ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) p.a.

3.5. Ethanol ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$), 96 pct., Ph. Eur. eller tilsvarende.

3.6. Natriumdihydrogenfosfat ($\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), ren.

3.7 Natriumhydroxid (NaOH) p.a.

3.8. Pancreatin (Porcine pancreas grade VI), Sigma nr. p-1750 Opbevares i fryser. Holdbarhed 1 år.

3.9. Pepsin (2000 FIP U/g), Merck art 7190 Opbevares i køleskab. Holdbarhed 1 år.

3.10. Saltsyre, koncentreret (HCl) 37 pct., 12,08 mol/L eller HCl koncentreret 35 pct., 11,3 mol/L, teknisk rent.

3.11. Sulphosalicylsyre ($\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_6\text{S}$, $2\text{H}_2\text{O}$) p.a.

3.12. Chloramphenicol-opløsning (0,05 pct.): 0,1 g chloramphenicol (3.3) opløses i 200 ml 96 pct. ethanol (3.5) Opbevares i fryser.

3.13. Fosfatbuffer A, pH 6,0, 0,1 mol/L: 1,98 g dinatriumhydrogenfosfat (3.4) og 29,44 g natriumdihydrogenfosfat (3.6) opløses i ca. 1,5 l demineraliseret vand i bægerglas. pH kontrolleres og justeres om nødvendigt med 1 mol/L natriumhydroxid (3.15) eller 1 mol/L saltsyre (3.20). Opløsningen overføres til 2 l målekolbe og fyldes op med demineraliseret vand.

- 3.14. Fosfatbuffer B, pH 6,8, 0,2 mol/L:
19,30 g dinatriumhydrogenfosfat (3.4) og 45,48 g natriumdihydrogenfosfat (3.6) opløses i ca. 1,5 l demineraliseret vand i bægerglas. pH kontrolleres og justeres om nødvendigt med 1 mol/L natriumhydroxid (3.15) eller 1 mol/L saltsyre (3.20). Overføres til 2 l målekolbe og der fyldes op med demineraliseret vand.
- 3.15. Natriumhydroxid (NaOH), 1 mol/L:
40 g Natriumhydroxid (3.7) opløses i demineraliseret vand ad 1.000 ml.
- 3.16. Natriumhydroxid (NaOH), 0,6 mol/L:
24 g NaOH (3.7) opløses i demineraliseret vand ad 1 l.
- 3.17. Pancreatin-opløsning (0,10 g/ml):
3,00 g pancreatin (3.8) opslemmes under magnetomrøring i 30 ml fosfatbuffer B (3.14) i ca. 15 minutter. Bundfaldet fjernes ved centrifugering (5 min. 3.000 rpm/min)
Opløsningen skal fremstilles umiddelbart før brug.
- 3.18. Pepsin-opløsning (0,025 g/ml):
0,750 g pepsin (3.9) opløses i 30 ml 0,2 M saltsyre (3.19).
- 3.19. Saltsyre 0,2 mol/L:
200 ml 1 mol/L saltsyre (3.20) fortyndes med demineraliseret vand ad 1 l
- 3.20. Saltsyre 1 mol/L: 83,5 ml koncentreret saltsyre 37 pct. (3.10) eller 88,3 ml koncentreret saltsyre 35 pct. (3.10) fortyndes med demineraliseret vand ad 1.000 ml.
- 3.21. Sulphosalicylsyre 20 pct.:
200 g sulphosalicylsyre (3.11) ad 1.000 ml demineraliseret vand.
- 3.22. Sulphosalicylsyre 1 pct.:
100 ml 20 pct. sulphosalicylsyre ad 2.000 ml demineraliseret vand.

4. Særligt udstyr

- 4.1 Koniske kolber (100 ml)
- 4.2 Små stangmagneter
- 4.3 Magnetomrører
- 4.4 pH-meter (PHM 83, Autocal, Radiometer) eller lignende.
- 4.5 Elektrode (GK 2401C, Radiometer) eller lignende
- 4.6 Gummipropper (diameter 3 cm)
- 4.7 Magnetomrører (Multipoint HP 15, Variomag)
- 4.8 Vandbad, 40 °C ± 1 °C. Eller varmeskab (Thermocenter, Salvas), 40 °C ± 1 °C
- 4.9 Glasfilterdigler (diameter 3 cm, porestørrelse P2 (40-90 mikron). Må ikke genbruges mere end 25 gange
- 4.10 Træstofapparat (Fibertec system M, Tecator) eller
- 4.11 Kold ekstraktionsenhed (Tecator)
- 4.12 Vandstrålepumpe
- 4.13 Varmeskab, 103 °C ± 1 °C
- 4.14 Ekssikator
- 4.15 Analysevægt, 0-200 g, nøjagtighed 0,002 g
- 4.16 Multipipette
- 4.17 Askeovn

5. Analysens udførelse

Tørstof i formalet prøve bestemmes.

- 5.1. Ca. 0,5 g foder, der er formalet med 1mm sold, afvejes i en konisk kolbe (5.1), hvori der anbringes en lille stangmagnet. Til hver prøveserie medtages referenceprøver og blindprøver.

Enzyminkubationerne påbegyndes først midt på dagen:
- 5.2 Prøven opslemmes omhyggeligt (med magnetomrøring) i 25 ml fosfatbuffer A (3.13).
- 5.3 Prøven tilsættes 10 ml 0,2 mol/L saltsyre (3.19) og 1 ml pepsinopløsning (3.18), hvorefter opslæmningen indstilles til pH 2.0 med 1 mol/L saltsyre (3.20), evt. tilbagetitrering med 1 mol/L na-

triumhydroxyd (3.15). Indstillingen kan foretages ved 40 °C, hvis det anvendte pH-meter kan korrigere for temperaturforskellen.

- 5.4 Der tilsættes 0,5 ml chloramphenicol-opløsning (3.12). Kolben lukkes med gummiprop, og prøven inkuberes i vandbad ved 40 °C i 75 min. (± 5 min.) under konstant magnetomrøring.
- 5.5 Prøverne tilsættes 5 ml 0,6 mol/L natriumhydroxid (3.16) + 10 ml fosfatbuffer B (3.14), hvorefter opslæmningen indstilles til pH 6,8 med 1 mol/L natriumhydroxid (3.15) eller 1 mol/L saltsyre (3.20).
- 5.6 Der tilsættes 1 ml pancreatin-opløsning (3.17). Kolben lukkes med gummiprop og prøven inkuberes under konstant magnetomrøring i vandbad ved 40 °C i ca. 18 timer (natten over).
- 5.7 Der tilsættes 5 ml 20 pct. sulphosalicylsyre (3.21) og prøverne henstår under magnetomrøring i 30 minutter ved 40 °C.
- 5.8. Glasfilterdiglerne anbringes i et omhyggeligt rengjort koldekstraktionsapparat eller træstofapparat. Prøven filtreres, idet alt materialet omhyggeligt skylles over med 1 pct. sulphosalicylsyre (3.22). Herefter skylles prøven med 2 × 10 ml ethanol, 96 pct. (3.5), idet prøven henstår ca. 3 minutter i skyllevæsken ved hver skylning. Magneter brugt ved omrøring fjernes under vask med vand, evt. acetone.
- 5.9. Glasfilterdiglerne anbringes i kold ekstraktionsenhed (5.11) og prøverne skylles med 2 × 10 ml acetone (3.1), idet de henstår ca. 3 minutter i skyllevæsken ved hver skylning.
- 5.10. Glasfilterdiglerne med prøverne tørres ved 103 °C til konstant vægt og afkøles i eksikator, hvorefter de vejes: (Digel+celite)_{tørstof}.
- 5.11 Diglen anbringes i askeovn, og indholdet foraskes ved 475-500 °C til konstant vægt. Efter foraskning afkøles diglen i eksikator og vejes. Herved findes D = digel + celite med ufordøjet aske, gram.

6. Beregning:

a = g afvejet prøve
b = tørstoffaktor (%)
c = aske i g/100 g tørstof

A = g afvejet tørstof = (a × b)/100
E = g afvejet aske = (A × c)/100

C = digel + celite med ufordøjet tørstof, gram
D = digel + celite med ufordøjet aske, gram

Cb = digel + celite med ufordøjet tørstof, blindprøve, gram
Db = digel + celite med ufordøjet aske, blindprøve, gram

EFOSi = 100 × (1 ÷ (C ÷ D ÷ (Cb ÷ Db))) / (A ÷ E)

Resultatafgivelse:
Resultat angives med 1 ciffer efter kommaet.

7. Sporbarhed

Til kontrol af metoden vælges relevante prøver med kendte indhold af EFOSi som interne referenceprøver.

8. Bemærkninger

Det er vigtigt, at filtreringshastigheden i trin 5.8 er rimelig hurtig (maksimalt 15 minutter), da det ellers kan være vanskeligt at vaske opløst materiale bort.

Filtreringsproblemer kan afhjælpes ved at anvende nye digler. Anvendelse af sand, der er glødet og syreskyllet (Merck no. 7712) i stedet for Celite kan også lette filtreringen.

Prøverne kan inkuberes i varmeskab ved 40 °C under magnetomrøring i stedet for i vandbad ved 40 °C. I så fald skal inkubationstiden under første inkubation (punkt 5.4) først beregnes, når temperaturen er nået op på 40 °C.

Appendiks 2.2. Analyseforskrift for EFOS

1. Formål og anvendelsesområde

Ved metoden bestemmes indholdet af in vitro enzymfordøjeligt organisk stof (EFOS) i foderblandinger. EFOS danner grundlag for bestemmelse af energiværdien i foderstoffer til svin.

2. Princip

Foderprøven inkuberes med pepsin i 1 1/4 timer, efterfulgt af pancreatin i 3 1/2 timer og viscozym i 18 timer. Uopløst prøvemateriale filtreres fra, tørres og foraskes. Opløseligheden af organisk stof beregnes ved at sammenholde bestemmelserne af tørstof og aske efter enzymbehandling med tørstof og aske i den oprindelige prøve.

3. Reagenser

Acetone.

Filtreringshjælpemiddel (Celite 545 el. lign.), som har været opvarmet til 500 °C i fire timer.

Chloramphenicol.

Ethanol = 96 pct. (V/V).

Eddikesyre w = 30 pct. (W/W).

$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

$\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

NaOH.

EDTA (Titriplex 111. Merck art.nr. 8418).

Pancreatin (Porcine pancreas grade VI Sigma nr. p-1750).

Pepsin (2000 FIP U/g. Merck art. nr. 7190).

Viscozyme 120 L. (Novo. Aktivitet 120 FBG/g). Opbevares i køleskab. Holdbarhed 1 år.

Chloramphenicol-opløsning (0,5 pct.):

Opløs 1 g chloramphenicol (3.3) i 200 ml 96 pct. ethanol (3.4).4). Opbevares i fryser.

Fosfatbuffer A pH 6,0 (0,1 mol/l):

1,98 g $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (3.6) og 29,44 g $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (3.7) opløses i et bægerglas.

Kontrollerer pH og juster om nødvendigt med 5 M NaOH-opløsning (3.18) eller 1 M HCl (3.22).

Opløsningen overføres til en 2 l målekolbe og tilsættes vand ad 2.000 ml.

3.15 Fosfatbuffer B pH 6,8 (0,2 mol/l):

19,30 g $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (3.6) og 45,48 g $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (3.7) opløses i et bægerglas.

pH kontrolleres og justeres om nødvendigt med 5 M NaOH-opløsning (3.18) eller 1 M HCl (3.22). Overføres til 2 l målekolbe og tilsættes vand ad 2.000 ml.

NaOH-opløsning c = 1 mol/L.

NaOH-opløsning c = 0.6 mol/L.

NaOH-opløsning c = 5 mol/L.

3.19 Pancreatin-opløsning (0,10 g/ml):

3.000 g pancreatin (3.10) opslæmmedes med magnetomrører i 30 ml fosfatbuffer B (3.15) i 15 minutter. Bundfaldet fjernes ved centrifugering (3.000 rpm/min.). Opløsningen skal fremstilles umiddelbart før brug.

Pepsin-opløsning (0,025 g/ml):

Opløs 0,750 g pepsin (3.11) i 30 ml 0,2 mol/l saltsyre (3.21). Opløsningen skal fremstilles umiddelbart før brug.

Saltsyre $c = 0,2$ mol/L.

Saltsyre $c = 1$ mol/L.

3.23 EDTA-opløsning $c = 0,2$ mol/L.

4. Apparatur

pH-meter.

Magnetomrører. Skal kunne anvendes til vandbad eller varmeskab.

4.3 Vandbad 40 ± 1 °C, varmeskab kan evt. benyttes, hvis den ønskede temperatur i kolberne opnås senest 15 min. efter indsættelsen i skabet.
Tiden beregnes da fra den ønskede temperatur er opnået.

4.4 Glasfilterdigler med filterplade af sintretglas, pore-størrelse 40-90 m (P2). Inden de første gang tages i anvendelse, opvarmes de i nogle få minutter til 500 °C og afkøles.

Træstofapparat eller egnet filtreringsudstyr, med mulighed for anvendelse af vakuum og trykluft.

Tørreovn med termostat.

Muffelovn med termostat.

Fremgangsmåde: Indholdet af råaske og vand bestemmes i oprindelig prøve (bruges ved beregning).

5.1 Ca. 0,5 g prøve afvejes med 1 mgs nøjagtighed i en 100 ml konisk kolbe. Prøver der udelukkende består af foder-fedt, afvejes direkte i glasfilterdigel (se punkt 5.10), hvorefter prøven skylles med 3×10 ml acetone som angivet i punkt 5.11.

Prøven opslæmmes omhyggeligt (med magnetomrøring) i 25 ml fosfatbuffer A (3.14).

5.3 Prøven tilsættes 10 ml 0.2 mol/l saltsyre (3.21) og 1 ml pepsin-opløsning (3.20), hvorefter opslæmningen indstilles til pH 2,0 med 1 mol/l HCl (3.22), eventuel tilbagetitrering med 1 mol/l NaOH-opløsning (3.16).

5.4 Der tilsættes 0,5 ml chloramphenicol-opløsning (3.13), og prøven blandes. Kolben lukkes med gummiprop, og prøven inkuberes i vandbad (4.3) ved 40 °C 75 min.
Under konstant magnetomrøring.

5.5 Når prøverne har opnået stuetemperatur, tilsættes prøverne 5 ml 0,6 mol/l NaOH-opløsning (3.17) + 10 ml fosfatbuffer B (5.15), hvorefter opslæmningen indstilles til pH 6,8 med 1 mol/l HCl (3.22) eller 1 mol/l NaOH-opløsning (3.16). Indstillingen kan foretages ved 40 °C, hvis det anvendte pH-meter kan korrigere for temperatur-forskellen.

5.6 Der tilsættes 1 ml pancreatin-opløsning (3.19), og prøven blandes. Kolben lukkes med gummiprop, og prøven inkuberes under konstant magnetomrøring i vandbad (4.3) ved 40 °C i 3 timer og 30 minutter.

Prøven tilsættes 10 ml 0,2 mol/L EDTA-opløsning (3.23), hvorefter prøven indstilles til pH 4,8 med eddikesyre (3.5).

Prøven tilsættes 0,5 ml Viscozyme (3.12).

Prøven inkuberes med konstant magnetomrøring i vandbad (4.3) ved 40 °C i 18 timer.

Tørre glasfilterdigler (4.4), der i forvejen er afvejet med ca. 0.4 g filtreringshjælpemiddel (3.2), anbringes i et omhyggeligt rengjort træstofapparat (4.5). Prøven filtreres, idet alt materialet omhyggeligt skylles over med vand, hvorefter prøven suges så tør som muligt.

Prøven skylles med 2×10 ml ethanol (3.4) og 2×10 ml acetone (3.1), idet prøven efterlades ca. 3 minutter i skyllevæsken ved hver skylning. Magneten brugt ved omrøring fjernes under vask med vand, evt. acetone.

Filterdiglen med indhold tørres i tørreskab ved $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ indtil konstant vægt. Efter hver aftørring køles diglen i eksikator og vejes straks.

Diglen anbringes herefter i muffelovnen, og indholdet foraskes ved $475\text{-}500\text{ }^{\circ}\text{C}$ i mindst 30 minutter. Efter foraskning afkøles diglen i eksikator, inden den vejes. Dette gentages indtil konstant vægt.

Der foretages blindprøve uden prøve.

6. Beregning

Indholdet af organisk stof (Org.stof) som procent af prøven udtrykkes ved formlen:
 $100 - \% \text{ råaske} - \% \text{ vandindhold}$.

Indholdet af uopløseligt organisk stof som procent af prøven udtrykkes ved formlen:

$$\frac{(b \div c) \times 100}{a}$$

hvor

a = gram afvejet prøve

b = vægttabet ved foraskning af bundfaldet fra prøven efter tørring ved $130\text{ }^{\circ}\text{C}$

c = vægttabet ved foraskning af bundfaldet af blindprøven efter tørring ved $130\text{ }^{\circ}\text{C}$.

$$\text{EFOS, \%} = \frac{(\text{Org. stof} \div \text{uopløseligt Org. stof}) \times 100}{\text{Org. stof}}$$

7. Bemærkninger

7.1 Generelt for analysen:

Det er vigtigt, at filtreringshastigheden i trin 5.10 er rimelig hurtig (maksimalt 15 min.), da det ellers kan være vanskeligt at vaske opløst materiale bort.

Appendiks 4. Glukoseforbrug til syntese af tristearin og triolein

Tabel Appendix 4.1. Støkiometrien i tristearin syntese

Trin	Biokemisk omsætning	
1	4.5 glukose + 9 ADP + 9 NAD	→ 9 pyruvat + 9 NADH ₂ + 9 ATP
2	9 pyruvat + 9 NAD	→ 9 acetylCoA + 9 NADH ₂ + 9 CO ₂
3	9 acetylCoA + 9 oxaloacetat	→ 9 citrat
4	9 citrat + 9 ATP	→ 9 acetylCoA + 9 ADP + 9 oxaloacetat
5	9 oxaloacetat + 8 NADH ₂	→ 9 malat + 9 NAD
6	9 malat + 9 NADP	→ 9 pyruvat + 9 NADPH ₂ + 9 CO ₂
7	9 Pyruvat + 9 CO ₂ + 9 ATP	→ 9 oxaloacetat + 9 ADP
8	8 acetylCoA + 8 CO ₂ + 8 ATP	→ 8 malonylCoA + 8 ADP
9	7 malonylCoA + 1 acetylCoA + 14 NADPH ₂	→ palmitat + 14 NADP + 7 CO ₂
10	palmitat + 1 malonylCoA + 2 NADPH ₂ *	→ stearat + 2 NADP + CO ₂
11	7/12 glukose + 7 NADP	→ 3 ½ CO ₂ + 7 NADPH ₂
12	5 1/12 glukose + 9 NAD + 17	→ stearat + 9 NADH ₂ + 12 ½ CO ₂ + 17
13	9 NADH ₂ + 27 ADP + O ₂	→ 9 NAD + 27 ATP + H ₂ O
Balance ligning:		
14	5 1/12 glukose + 10 ADP	→ sterat + 10 ATP
3 gange stearat syntese		
15	15.25 glukose + 30 ADP	→ 3 stearat + 30 ATP
Omkostninger ved esterifikation af 3 stearat		
16	0.5 glukose + ATP + NADH ₂	→ glycerol-3-phosphat + ADP + NAD
17	3 stearat + 6 -P + 3 CoASH	→ 3 stearylCoA
18	3 stearylCoA + glycerol-3-phosphat	→ tristearat + 3 CoASH
Balance ligning:		
19	15.75 glukose + 21 ADP	→ tristerin + 21 ATP
Input		Output
15,75 glukose		→ 1 tristerat + 21 ATP
15,17 glukose**		→ 1 tristearat

* Kædeforlæggelsen sker ved hjælp af enzymet acylmalonyl CoA kondenserende enzym.

** 1 tristearat = 15,75 glukose - 21/36 glukose = 15,17 glukose

Tabel Appendix 4.2. Støkiometrien i triolein syntese.

Trin	Biokemisk omsætning	
1	4.5 glukose + 9 ADP + 9 NAD	→ 9 pyruvat + 9 NADH ₂ + 9 ATP
2	9 pyruvat + 9 NAD	→ 9 acetylCoA + 9 NADH ₂ + 9 CO ₂
3	9 acetylCoA + 9 oxaloacetat	→ 9 citrat
4	9 citrat + 9 ATP	→ 9 acetylCoA + 9 ADP + 9 oxaloacetat
5	9 oxaloacetat + 9 NADH ₂	→ 9 malat + 9 NAD
6	9 malat + 9 NADP	→ 9 pyruvat + 9 NADPH ₂ + 9 CO ₂
7	9 pyruvat + 9 CO ₂ + 9 ATP	→ 9 oxaloacetat + 9 ADP
8	8 acetylCoA + 8 CO ₂ + 8 ATP	→ 8 malonylCoA + 8 ADP
9	7 malonylCoA + 1 acetylCoA + 14 NADPH ₂	→ palmitat + 14 NADP + 7 CO ₂
10	palmitat + 1 malonylCoA + 2 NADPH ₂	→ stearylCoA + 2 NADP + CO ₂
11	stearylCoA + 1 NADH ₂ + O ₂ *	→ olieat + NAD + 2 H ₂ O
12	7/12 glucose + 7 NADP	→ 3 ½ CO ₂ + 7 NADPH ₂
13	5 1/12 glukose + 8 NAD + 17 ADP	→ 8 NADH ₂ + 12 ½ CO ₂ + 17 ATP + olieat
14	8 NADH ₂ + 24 ADP + O ₂	→ 8 NAD + 24 ATP + H ₂ O
	Balance ligning	
15	5 1/12 glukose + 7 ADP	→ olieat + 7 ATP
	3 gange olieat syntese	
16	15.25 glukose + 21 ADP	→ 3 olieat + 21 ATP
	Omkostninger ved esterifikation af 3 olieat	
17	0.5 glukose + ATP + NADH ₂	→ glycerol-phosphat + ADP + NAD
18	3 sterat + 6 ATP + 3 CoASH	→ 3 olieyl-CoA
19	3 olieylCoA + glycerol-3-phosphat	→ triolein + 3 CoASH
	Balance ligning	
20	15.75 glukose + 12 ADP	triolein + 12 ATP
	Input Netto	Output
	15.4 glukose **	→ triolein

* Olieatsyntese sker i tre sekventielle reaktioner: reductase (forbrug 1 NADPH₂), desaturase (forbrug 1 molekylet O₂) og yderligere en reductase (forbrug 1 NADPH₂). Enzymerne er bundet til det endoplasmatiske reticulum.

** Triolein = 15,75 glukose - 12ATP/36ATP x glukose = 15,4.

Referencer

Referencer - kapitel 2 +

- [1] Boisen, S. & Fernandez, J. A. 1997. Prediction of the total tract digestibility of energy in feed-stuffs and pig diets by in vitro analyses. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 68, pp. 277-286.
- [2] Jørgensen, H. 1999. Hvordan udnyttes energien fra fiberrige fodermidler? Danmarks Jordbrugsforskning, internrapport 117.
- [3] Landforsøgene®.2004. Data modtaget fra Landscentret, Planteavl.
- [4] Bach Knudsen K. E. 1993. Kulhydrat og Ligninindhold i fodermidler. Statens Husdyrbrugsforsøg intern rapport nr. 21.
- [5] VeeVoeder tabel 1998, CVB, Centraal Veevorder Bureau, Holland.
- [6] Vils, E., Sloth, N.M. & Tybirk, P., 2005. Ny fodermiddeltabel til svin - Forskellige foderstoffers kemiske indhold samt EFOS, EFOSi, EFNi, FEsv, FEdr, mineraler og visse aminosyrer. Notat 0509, Landsudvalget for Svin.

Referencer - kapitel 3 +

- [7] Boisen, S. & Fernandez, J. A. 1995 Prediction of the apparent ileal digestibility of protein and amino acids in feedstuffs and feed mixtures for pigs by in vitro analyse. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 51, pp. 29-43.
- [8] Sundstøl, F. 1974. Hydrogenated marine fat as feed supplement. Report from Agricultural University of Norway, no 159.
- [9] Just, A., Jørgensen, H., Fernandez, J. A., Bech-Andersen, S. & N. Enggaard Hansen, 1983. Forskellige foderstoffers kemiske sammensætning, fordøjelighed, energi- og proteinværdi til svin. Beretning fra Statens Husdyrbrugsforsøg, nr. 556, pp. 97.

Referencer - kapitel 4 +

- [10] Salway, J. G., 2004. *Metabolism at a Glance*. Fourth Edition, Blackwell Publishing.
- [11] Stryer, L., 1999. *Biochemistry*. Fourth Edition. Stanford.
- [12] Blaxter, K., 1989. *Energy metabolism in animals and man*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- [13] Kristensen, M. B., Flye, J. C., Weisbjerg, M.R., Hvelplund, T., 1996. Aminosyretabel. Landsudvalget for Kvæg. Rapport nr. 60.
- [14] Østerballe, R. Madsen, A., Mortensen, H.P., Bejerholm, C. & Barton, P., 1990. Råvarekvalitet. Foderets indflydelse på råvarekvaliteten hos slagtesvin 2. linolsyre/linolensyre og solsikkefrø. 685. Beretning, Statens Husdyrbrugsforsøg.
- [15] Bach Knudsen, K. E. & Jørgensen H., 2001. Intestinal degradation of dietary carbohydrates - from birth to maturity. In: *Digestive physiology of pigs*. Ed. Lindberg, J.E. & Ogle B. Cabi Publishing.
- [16] Jørgensen, H. Zhao, X.-Q. & Eggum, B.O., 1996. The influence of dietary fibre and environmental temperature on the development of the gastrointestinal tract, digestibility, degree of fermentation in the hindgut and energy metabolism in pigs. *British Journal of Nutrition* 75, 365-378.
- [17] Burrin, D. G., Stoll, B., van Goudoever, J .B. & Reeds, P. J. Nutrient requirements for intestinal growth and metabolism in the developing pig. In: *Digestive physiology of pigs*. Ed. Lindberg, J.E. & Ogle B. Cabi Publishing.

Referencer - kapitel 5 +

- [18] Andersen, J. O., 1991. Fedt- og fedtsyreindhold i enkeltfodermidler målt ved 4 forskellige fedtekstraktionsmetoder. Meddelelse nr. 786. Statens Husdyrbrugsforsøg.
- [19] *Handbook Vegetable Oils and Fats*, Karlsham AB, 2002. Editor: Jan Oluf Lidfeldt.
- [20] Gatling, L. A., M.T.See & J. Odle. 2005. Effects of chemical hydrogenation of supplemental fat on relative apparent digestibility in finishing swine. *J. Anim. Sci.* 83: 1890-1898.
- [21] Christensen, T. B., 2005. Digestion and utilization of dietary fat in weaned piglets and growing pigs. Master of Sci. KVL, DK.
- [22] Jørgensen H. & J. A. Fernandez. 2000. Chemical Composition and energy value of Different Fat Sources for Growing Pigs. *Acta. Agric. Scan.* 50. pp. 129-136.
- [23] Maribo, H. 2005. Fedtkilder til smågrise. Medd. 719, Landsudvalget for Svin, Den rullende Afprøvning. 22 pp.

Referencer - kapitel 6 +

- [24] VeeVoeder tabel 1998, CVB, Centraal Veevoeder Bureau, Holland.
- [25] Noblet, J. & van Milgen, J. Energy values of pig feeds: Effect of pig body weight and
- [26] Schiemann, R., Nehring, K., Hoffmann, L., Jentsch, W. & Chudy, A. Energetische Futterbewertung und Energienormen. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Germany, 1972. Energy evaluation system. J. Anim. Sci. 82, 2004, E229-E238.
- [27] Just, A. The net energy value of balanced diets for growing pigs. Livest. Prod. Sci. 1982, pp. 541-555.

Referencer - kapitel 7 +

- [28] Mortensen, H.P & Bejerholm, C., 1986. Kvalitetskriterier for fedt til slagtesvin. 611. Beretning fra Statens Husdyrbrugsforsøg.
- [29] Nielsen, N.O., 1995. Nedsat proteinindhold i slagtesvinefoder. Medd. 307, Landsudvalget for Svin, Den rullende Afprøvning.
- [30] Madsen, A., Mortensen, H.P & Hall, D., 1988. Protein og aminosyre til slagtesvin.5. Fodringsforsøg med forskellige forhold mellem treonin og lysin. 646. Beretning fra Statens Husdyrbrugsforsøg.
- [31] Mortensen, H.P & Bejerholm, C., 1988. Protein og aminosyrer til slagtesvin. 2. Forholdet mellem sojaskrå og byg. 635. Beretning fra Statens Husdyrbrugsforsøg.
- [32] Hansen, C. F., 2000. Stigende mængder rapsskrå til slagtesvin. Medd. 463, Landsudvalget for Svin, Den rullende Afprøvning.
- [33] Madsen, A., Mortensen, H.P., Bejerholm C. & Barton, P., 1983. Fedt og fedtsyre til slagtesvin. 540. Beretning fra Statens Husdyrbrugsforsøg.
- [34] Jørgensen, L. Rug i foder til slagtesvin, 1997. Medd. 374, Landsudvalget for Svin, Den rullende Afprøvning.
- [35] Hansen, V., Jensen, A. Stigende mængder tørret sukkerroeaflald til slagtesvin. Medd. 298 Statens Husdyrbrugsforsøg, 1979.
- [36] Sloth, N. M. & Rom, H. B. Ammoniakfordampning ved 15 procent umelasserede roepiller i slagtesvinefoder. Erfaring 9808. Landsudvalget for Svin, Den rullende Afprøvning.

Referencer - kapitel 8 +

- [37] Pedersen, C. Studies in relation to a new protein evaluation system for slaughter pigs. Ph.d. afhandling, KVL og DJF, 2001, pp. 200.

Referenceliste til appendiks

- [38] Tybirk, P. 2002. Nyt fodervurderingssystem - resumé. Teoretisk grundlag og funktion i praksis. Notat 0217, Landsudvalget for Svin, Info Svin.
- [39] Tybirk P. 2003. Ændring af analysemetode og justering af ligninger til beregning af energiindhold i nyt fodervurderingssystem. Notat 0327, Landsudvalget for Svin, Info Svin.
- [40] Jørgensen, L. Vallepulver i foder til smågrise. 680. medd., Landsudvalget for Svin, Den rullende Afprøvning, 2005.
- [41] Mortensen, H.P & A. Madsen. 584. Beretning, SH., 1985.
- [42] Mortensen, H.P & N. Oksbjerg. 648. medd., SH, 1986.
- [43] Pedersen, A.Ø. Perlac 7 til slagtesvin. 703. medd. Landsudvalget for Svin, Den rullende Afprøvning, 2005.
- [44] Oksbjerg, N., Jørgensen, H. & J. Fernandez. Foderværdien af ubehandlet og hydrolyseret permeat. Medd. 610, SH, 1986.
- [45] Hansen, V., Barton, P., Andersen, I.L. & Aa. Jensen. Sukkerroemelasse som en del af foderet til slagtesvin. Medd. 330, SH, 1980.
- [46] Udesen, F.K. Melasse til slagtesvin. Den rullende Afprøvning, medd. 130, 1987.



Dansk Landbrugsrådgivning • Landscentret, Svineproduktion • Udkærvej 15 • DK-8200 Århus N
Telefon: 8740 5000 • Internet: www.dansksvineproduktion.dk



Det Danske fodervurderingssystem til svinefoder