



Rapport

Udnyttelse af detaljeret råvareviden

WP3. Optimering af råvarebrug til kødprodukter Status for 2016

Chris Claudi-Magnussen/Holger Dirac

15. december 2017
Proj.nr. 2004279
Version 1
CCM/PAHD/MT

Indledning

Råvaren er den største omkostning i fremstilling af svinekød og forædlede kødprodukter til de globale markeder. Det er derfor vigtigt med teknologier og metoder, der kan bidrage til, at råvarerne bruges optimalt. De billigste råvarer skal anvendes, samtidig med at det sikres, at det færdige produkt lever op til kvalitetskravene.

Som en del af projektet *Udnyttelse af detaljeret råvareviden* udvikler DMRI værktøjer til at optimere råvareanvendelsen til farsprodukter – det vil sige kødprodukter baseret på en fars blandet af kødråvarer, hjælpestoffer, krydderier, vand m.m., og hvor flere alternative (kød)råvarer potentielt kan anvendes. Da de alternative råvarer kan have forskellige egenskaber (indhold af protein, fedt, vand, kollagen osv.), have forskellige priser og være tilgængelige i forskellige mængder, så er det ikke altid helt let at foretage det økonomisk set optimale valg af råvarer, samtidig med at slutproduktets kvalitet sikres.

Formålet var derfor at udvikle generiske metoder og operationelle værktøjer til optimeringsproblemer for råvarevalg til farsprodukter. Arbejdet baseredes på 1-2 cases/farsprodukter med tilhørende produktkrav. Arbejdet koordineredes med en følgegruppe med repræsentanter fra den danske kødbranche.

Arbejdet gennemførtes i 2016-2017.

Matematisk optimeringsværktøj

Rammerne for et matematisk værktøj til optimering af valget af råvarer til kødprodukter er opbygget. Værktøjet er implementeret i softwaren GAMS (General Algebraic Modelling System), som kan anvendes til mange forskellige typer af optimeringsopgaver.

I værktøjet beskrives alle de råvarer, som potentielt kan anvendes til et givet produkt. Hver råvares indhold af fedt, protein, kollagen, pigment, vand osv. kan angives. Også andre egenskaber som fedtets jodtal kan angives. Det er ikke kun kødråvarerne, som beskrives. Hjælpestoffer som sojaprotein, mel og diverse salte og krydderier kan også medtages. Generelt er værktøjet meget fleksibelt, og nye råvarer og nye egenskaber ved råvarerne kan let medtages.

Formålet med optimeringsværktøjet er at vælge, hvilke råvarer der skal anvendes og i hvilke mængder. Valget sker blandt andet på baggrund af råvarepriser og hensynet til det færdige produkts kvalitet.

Råvarepriser og salgspris

Når man skal finde det optimale råvarevalg til et givet produkt, baseres valget på økonomien – det vil sige den samlede salgsværdi minus de samlede råvareomkostninger. Man angiver det færdige produkts salgspris og indkøbsprisen på hver af de råvarer, som potentielt kan indgå. Råvarepriser varierer med tiden, og derfor kan man opleve, at det optimale råvarevalg ændrer sig med tiden. Hvis det ønskes, vil produktionsomkostninger også kunne medtages.

Begrænsninger og produktkvalitet

Råvarevalget er selvfølgelig ikke kun baseret på råvarepriserne. En grillpølse, en kødpølse og en spegepølse har hver især nogle særlige egenskaber, som gør dem til netop det produkt. Dette beskrives i optimeringsværktøjet som "begrænsninger". Det kan fx være, at fedtindholdet i produktet ikke må overskride x %, at proteinindholdet skal være over y %, og at andelen af kødråvarer skal være mindst z %. Det kan også være, at mængden af diverse salte og krydderier skal have en fastlagt størrelse. Andre begrænsninger kan være, at en bestemt råvare højst må udgøre en bestemt andel af produktet, og at forholdet mellem fx fedt og protein skal ligge i et bestemt interval osv.

Afhængig af produktet kan der være varierende begrænsninger, men det er klart, at jo flere begrænsninger man lægger ind, jo mindre bliver "spillerummet" for optimeringen. I yderste konsekvens kan man have lagt så mange og stramme begrænsninger ind, at man altid får samme resultat (råvarevalg) uanset fx råvareprisernes variation.

Variation i råvareegenskaber

I første omgang blev der arbejdet med, at råvarernes egenskaber (fedtindhold, proteinindhold osv.) har en given størrelse, men som alt biologisk materiale er disse størrelser kun et gennemsnit. Der er altid en vis variation for hver råvare og egenskab. Der er tidligere gennemført arbejde, som har beskrevet gennemsnit og spredning af egenskaber for en lang række svinekødsråvarer (råvaredatabasen). Optimeringsværktøjet er derfor udvidet til at kunne håndtere gennemsnit og *spredning* på råvareegenskaberne.

Håndtering af usikkerheder og variation

Som beskrevet ovenfor er nogle tal (fx råvareegenskaberne) i optimeringsværktøjet ikke 100% sikre. Optimeringsværktøjet skal kunne håndtere sådanne usikkerheder. Der er arbejdet med to eksempler på dette:

a. Usikkerhed på færdigvarens kvalitet

Lad os sige, at vores produkt ikke må indeholde mere end 21% fedt. Hvis vi kender alle vores mulige råvarers fedtindhold helt præcist, så er det ikke svært at beregne produktets fedtindhold ved forskellige blandinger af råvarer, og så kan vi i vores optimering sikre, at vi ikke kommer over 21%. Ofte kender vi imidlertid ikke det enkelte

råvarepartis (batch) præcise fedtindhold. Der er en vis biologisk variation. Men hvis der på forhånd er gennemført undersøgelser af, hvordan denne variation er, så ved vi, hvad *gennemsnittet* og *spredningen* er for fedtindholdet for hver råvare. Det kan vi bruge til at beregne *sandsynligheden* for, at produktets fedtindhold overskrider de 21%. Der er udviklet en metode, hvor man angiver, hvor stor en sandsynlighed (risiko) for at fedtindholdet overstiger 21%, man kan leve med. Det kunne fx være 1 promille – det vil sige, at vi kan leve med, at 1 ud af 1.000 produktioner får for højt fedtindhold. Optimeringen tager så hensyn til dette ved valget af råvarer. Hvis man ikke kan leve med 1 promilles sandsynlighed, så må man stramme kravet, men så er der selvfølgelig risiko for, at økonomien bliver lidt dårligere.

Metoden kan relativt let udvides til, at fedtindholdet fx skal ligge i et bestemt interval med en bestemt sandsynlighed – og selvfølgelig også til andre produkttegenskaber. Bemærk, at når der er usikkerhed på råvarernes fedtindhold, så giver det ikke mening at sige, at produktets fedtindhold *skal være præcis 21%*. Der vil altid være en vis usikkerhed.

b. Usikkerhed på modeller for færdigvarekvalitet

Lad os antage, at forholdet mellem fedt- og proteinindholdet i farsen har betydning for, om der sker en kvalitetsforringelse – fx fedtudskillelse. Og lad os antage, at der er foretaget en række produktionsforsøg, som har vist, at hvis fedt-/protein-forholdet er større end 2, så sker der fedtudskillelse:

Fedtudskillelse, hvis fedtprocent > 2 x proteinprocent

Men som med alt biologisk materiale kan man måske i nogle tilfælde være heldig ikke at få fedtudskillelse selvom fedt-/proteinforholdet er lidt større end 2, og man kan også nogle gange være uheldig at få fedtudskillelse, selvom fedt-/proteinforholdet er lidt mindre end 2. Tallet 2 er således behæftet med en vis *usikkerhed*. Hvis man har gennemført mange produktionsforsøg, kan man få et indtryk af denne usikkerhed. Ligesom med råvarernes fedtindhold kan man udtrykke usikkerheden som en *spredning* på tallet 2. Spredningen kan fx være 0,5, og modellen for fedtudskillelse kan så skrives sådan:

Fedtudskillelse, hvis fedtprocent > 2(± 0,5) x proteinprocent

Usikkerheden betyder, at der altid er en vis risiko (sandsynlighed) for at få fedtudskillelse, men jo mindre fedt-/proteinforholdet er, jo mindre er sandsynligheden. Man kan beslutte, hvor stor en sandsynlighed for fedtudskillelse, man vil acceptere, og indlægge det som en begrænsning (som i punkt a). Men man kan også lade en økonomisk optimering afgøre, hvor stor sandsynligheden skal være. Det kræver, at man beskriver de økonomiske konsekvenser af, at et parti får fedtudskillelse. Den simpleste måde at gøre det på er at angive en værdi (salgspris) for produktet uden fedtudskillelse og en værdi for produktet, hvis der er fedtudskillelse. Den sidstnævnte værdi er selvfølgelig typisk mindre end den førstnævnte, og den kan være så lille som 0 eller måske endda negativ, hvis det koster penge at bortskaffe produktet med fedtudskillelse.

Optimeringen vil så forsøge at minimere de samlede råvareomkostninger og sammenholde det med risikoen for fedtudskillelse og dermed et økonomisk tab.

Der er udviklet metoder til at håndtere denne form for usikkerheder/sandsynligheder i optimeringsværktøjet. Værktøjet fortæller, hvilke råvarer der skal anvendes og i hvilke mængder, men oplyser også sandsynligheden for fedtudskillelse. Hvis sandsynligheden fx er 1%, så betyder det, at i gennemsnit vil 1 ud af 100 produktioner medføre fedtudskillelse, men at det vil kunne betale sig med de givne økonomiske forudsætninger.

Med de to eksempler er det vist, at det vil være muligt både direkte at styre, hvor stor risikoen for kvalitetsfejl må være, og at lade den optimale økonomi bestemme, hvor stor risikoen bliver.

Detaljer omkring tilgangene til håndtering af usikkerhed og variation kan findes i bilag A.

Alternative partier (batch) af råvarer

Der er udviklet en metode til håndtering af flere forskellige partier af "samme" råvare, hvor partierne har forskellige råvareegenskaber og priser.

Variierende råvareudbud

Mængden af de enkelte råvarer (og partier) er måske i nogle tilfælde ikke tilstrækkelig til den produktion, man står overfor. Der skal så vælges andre råvarer. Der er udviklet metoder til håndtering af lagerbeholdning.

Cases

De udviklede faciliteter i optimeringsværktøjet er afprøvet med en case, baseret på en DMRI-opskrift, som kan varieres for at se konsekvenserne for optimeringen. De udviklede faciliteter er også afprøvet med enkelte virksomheder på deres fortrolige cases.

Brugergænseflade

Der er udviklet brugergænseflader, som muliggør at ændre diverse parametre – fx råvarepriser – og som kan præsentere optimeringsresultatet herunder den foreslåede recept, økonomien m.m. på en let tilgængelig måde.

Kørsler med optimeringsværktøjet i GAMS er ikke specielt brugervenlige, og ændringer i diverse parametre kræver indsigt i programmeringssproget. Det er imidlertid muligt at opbygge mere let tilgængelige brugergænseflader i andre værktøjer (fx Excel) og koble dem sammen med GAMS-programmerne. Det er under projektet blevet klart, at der findes et Microsoft programmeringssprog til optimeringsmodeller (Optimization Modelling Language OML), Solver Foundation, som er mere velegnet til brug i udviklingen af Windows-programmer til optimering, og hvor der ikke skal betales den ret bekostelige GAMS-licens.

Ved brug af Solver Foundation er der udviklet en prototype i C# med en brugergænseflade, som gør det nemt og hurtigt at foretage nye optimeringsberegninger.

Prototypeværktøjet kan bruges strategisk henholdsvis operationelt. Det kan bruges strategisk for at foretage optimeringer "en gang i mellem", og man følger så de beregnede recepter over en længere periode. En operationel version bruges til at foretage optimeringer før hver produktion, så der løbende kan tages hensyn til varierende råvarepriser og lagerbeholdninger. Det understreges, at en operationel version med fordel vil skulle have grænseflade til virksomhedens øvrige it-systemer, men dette er uden for scope af projektet.

Validering og potentiale

Det udviklede værktøj ville med fordel kunne testes på mindst én virksomhed med henblik på at validere funktionaliteten og kravspecificere detaljerne i en driftsbruger-grænseflade. Dette er desværre ikke nået inden for rammerne af projektet, hvilket hovedsageligt skyldtes problemer med at skaffe den fornødne tid og ressourcer på virksomhederne.

Optimering af råvarebrug til kødprodukter: Håndtering af usikkerheder i GAMS optimeringsmodeller uden brug af LINDO solver

Problemstilling 1

Nogle parametre i vores optimeringsmodeller i GAMS er bestemt med en vis usikkerhed. Et eksempel, som vi har kendt længe, er usikkerheden på udbyttemodeller – altså udbyttet af et givet produkt som funktion af slagtevægt og kødprocent for svin. I nærværende projekt om optimering af råvarebrug til kødprodukter kan der bl.a. være usikkerhed på råvareegenskaberne (fx fedt- og proteinindhold) for de enkelte råvarer. En anden usikkerhed kan være på færdigvarens egenskaber. Fx usikkerhed på, hvordan fedtudskillelse afhænger af færdigvarens fedt- og proteinindhold, som i denne problemstilling anvendes som case.

Der findes en solver til GAMS (LINDO), som kan håndtere stokastiske variable på en foreløbig ikke helt gennemskuelig måde. Inden vi eventuelt investerer i en LINDO solver, ønsker vi at afklare, hvordan vi kan håndtere usikkerheder = stokastiske variable med vores nuværende licens.

Case 1

1. Vi ønsker at finde den optimale råvaresammensætning for et farsprodukt. Vi antager i denne case, at hver råvare har 100% kendt fedt- og proteinindhold – altså ingen usikkerhed på råvarernes egenskaber.

2. Meget forsimplet optimerer vi på denne størrelse (målfunktionen):

$$\text{Værdi} = \text{farsmængde} * \text{salgspris} - \text{råvareomkostninger}$$

3. Men hvis der kommer fedtudskillelse, så får vi en lavere salgspris.

4. Fedtudskillelse afhænger af fedt%/protein%-forholdet (FP) i farsen

a. Fedtudskillelse er en binær variabel; enten er det der, eller også er det der ikke.

$$FP \geq K \Rightarrow \text{fedtudskillelse} \text{ og } FP < K \Rightarrow \text{ikke_fedtudskillelse}$$

b. FP er en positiv variabel, som antager en given værdi i optimeringen. Teoretisk kunne den være 0, men aldrig negativ, da fedt- og proteinindhold ikke kan være negativt.

c. K er en positiv variabel, som via forsøg på forhånd er bestemt med en vis usikkerhed, og det antages, at K er en normalfordelt stokastisk variabel med gennemsnit = μ og spredning = σ . $K \sim N(\mu, \sigma^2)$.

5. Der er en række andre begrænsninger i denne case – fx minimum proteinindhold, minimum indhold af kødråvarer og maksimum kollagenindhold.

Overvejelser 1

6. Da K er en stokastisk variabel, så kan vi ikke med 100% sikkerhed afgøre, om der kommer fedtudskillelse ved en given FP. Vi kan beregne sandsynligheden for fedtudskillelse $p(\text{fedtudskillelse};FP) = p(K \leq FP)$.
7. Hvis $\sigma > 0$.
- Hvis $FP = \mu$ i farsen, så er $p(\text{fedtudsk}) = p(K \leq \mu) = 0,5$.
 - Hvis $FP = \mu + \sigma$, så er $p(\text{fedtudsk}) = p(K \leq \mu + \sigma) = 1 - 0,167 = 0,833$
 - Hvis $FP = \mu - \sigma$, så er $p(\text{fedtudsk}) = p(K \leq \mu - \sigma) = 0,167$
 - Osv.
 - Generelt: $p(\text{fedtudsk};FP) = p(K \leq FP)$
 - Omvendt er $p(\text{ikke-fedtudsk};FP) = p(K > FP) = 1 - p(K \leq FP)$
8. Specialtilfælde: Hvis $\sigma = 0$
- Hvis $FP \geq K$, så er $p(\text{fedtudsk}) = p(K \geq \mu) = 1$
 - Hvis $FP < K$, så er $p(\text{fedtudsk}) = p(K < \mu) = 0$
9. Vi ved ikke på forhånd, hvad FP bliver ved en given optimering, men vi kan beregne sandsynligheden for fedtudskillelse for enhver FP og dermed også sandsynligheden for ikke-fedtudskillelse, idet de to sandsynligheder summer til 1. Det vil sige, at vi ved optimeringen finder den optimale FP opnået ved den optimale råvaresammensætning set over mange produktioner.
10. Salgsværdien (farsmængde*salgspris) i målfunktionen omskrives til summen af (a) salgsværdien ved ikke_fedtudskillelse gange sandsynligheden for ikke_fedtudskillelse og (b) salgsværdien ved fedtudskillelse gange sandsynligheden for fedtudskillelse:

$$\begin{aligned} \text{Værdi} &= \text{farsmængde} * \text{pris_ikke_fedtudskillelse} * p(K > FP) \\ &+ \text{farsmængde} * \text{pris_fedtudskillelse} * p(K < FP) \\ &- \text{råvareomkostninger} \end{aligned}$$

eller

$$\begin{aligned} \text{Værdi} &= \text{farsmængde} * \text{pris_ikke_fedtudskillelse} * (1 - p(K < FP)) \\ &+ \text{farsmængde} * \text{pris_fedtudskillelse} * p(K < FP) \\ &- \text{råvareomkostninger} \end{aligned}$$

11. Salgsværdien vil derfor ligge i intervallet $[\text{farsmængde} * \text{pris_fedtudskillelse}; \text{farsmængde} * \text{pris_ikke_fedtudskillelse}]$
12. Sandsynlighederne beregnes med normalfordelingens tæthedsfunktion for $K \sim N(\mu, \sigma^2)$

$$\frac{1}{\sqrt{2 \times \pi \times \sigma^2}} \times \exp\left(-\frac{(x - \mu)^2}{2 \times \sigma^2}\right)$$

13. For at få den kumulerede sandsynlighed for fedtudskillelse skal der integreres fra 0 til FP.

$$\int_0^{FP} \frac{1}{\sqrt{2 \times \pi \times \sigma^2}} \times \exp\left(-\frac{(x - \mu)^2}{2 \times \sigma^2}\right) dx$$

Dette er *fejlfunktionen* (Φ) fra 0 til FP.

I GAMS kan man bruge funktionen $\text{ERRORF}(a)$, som er fejlfunktionen fra $-\infty$ til a for standard normalfordelingen ($N(0,1)$).

1. Da fejlfunktionen i GAMS er for standard normalfordelingen, skal vi transformere sandsynlighederne til standard normalfordeling:

$$p(\text{fedtudskillelse}) = p(FU) = p(K \leq FP) = \Phi((FP - \mu)/\sigma)$$

$$p(\text{ikke_fedtudskillelse}) = p(\text{ikke_FU}) = p(K > FP) = 1 - \Phi((FP - \mu)/\sigma)$$

Vi ser, at når FP nærmer sig ∞ , så nærmer $p(\text{fedtudskillelse})$ sig 1, og $p(\text{ikke_fedtudskillelse})$ nærmer sig 0, og summen af de to sandsynligheder er 1.

MEN da $K > 0$ skal fejlfunktionen af $K=0$ ($p(K \leq 0)$ "ikke med", når vi beregner $p(K \leq FP)$. Det gøres ved at korrigere $p(FU)$ ved at trække $\Phi((0 - \mu)/\sigma)$ fra og dividere med $1 - \Phi((0 - \mu)/\sigma)$:

$$p(FU) = p(K \leq FP) = \frac{\Phi((FP - \mu)/\sigma) - \Phi((0 - \mu)/\sigma)}{1 - \Phi((0 - \mu)/\sigma)}$$

$$p(\text{ikke_FU}) = p(K > FP) = 1 - \frac{\Phi((FP - \mu)/\sigma) - \Phi((0 - \mu)/\sigma)}{1 - \Phi((0 - \mu)/\sigma)}$$

Vi ser, at:

- a. Når FP nærmer sig 0, så nærmer $p(FU)$ sig 0 og $p(\text{ikke_FU})$ nærmer sig 1
- b. Når FP nærmer sig ∞ , så nærmer $p(FU)$ sig 1 og $p(\text{ikke_FU})$ nærmer sig 0
- c. Summen af de to sandsynligheder er 1.

og det er, som det skal være!

Omskrivning til GAMS-kode

$$P(FU) = (\text{ERRORF}((FP - \mu)/\sigma) - \text{ERRORF}((0 - \mu)/\sigma)) / (1 - \text{ERRORF}((0 - \mu)/\sigma))$$

$$P(\text{ikke_FU}) = 1 - (\text{ERRORF}((FP - \mu)/\sigma) - \text{ERRORF}((0 - \mu)/\sigma)) / (1 - \text{ERRORF}((0 - \mu)/\sigma))$$

$$FP = (\text{SUM}(\text{Raavarer}, \text{Maengde}(\text{Raavarer}) * \text{Raavareegenskaber}(\text{Raavarer}, 'Fedt')) / (\text{SUM}(\text{Raavarer}, \text{Maengde}(\text{Raavarer}) * \text{Raavareegenskaber}(\text{Raavarer}, 'Protein')))$$

For at forhindre division med 0 i beregningen af FU lægges 0.0000001 til i nævneren

$$FP = (\text{SUM}(\text{Raavarer}, \text{Maengde}(\text{Raavarer}) * \text{Raavareegenskaber}(\text{Raavarer}, 'Fedt')) / (\text{SUM}(\text{Raavarer}, \text{Maengde}(\text{Raavarer}) * \text{Raavareegenskaber}(\text{Raavarer}, 'Protein')) + 0.0000001))$$

$\mu = \text{GNS_FedtudskillelsesFaktor}$
 $\sigma = \text{std_FedtudskillelsesFaktor}$

FP(FU)=
 $(\text{ERRORF}(((\text{SUM}(\text{Raavarer}, \text{Maengde}(\text{Raavarer}) * \text{Raavareegenskaber}(\text{Raavarer}, \text{'Fedt'})) / (\text{SUM}(\text{Raavarer}, \text{Maengde}(\text{Raavarer}) * \text{Raavareegenskaber}(\text{Raavarer}, \text{'Protein'})) + 0.0000001)) - \text{GNS_FedtudskillelsesFaktor}) / \text{std_FedtudskillelsesFaktor}) - \text{ERRORF}((0 - \text{GNS_FedtudskillelsesFaktor}) / \text{std_FedtudskillelsesFaktor})) / (1 - (\text{ERRORF}((0 - \text{GNS_FedtudskillelsesFaktor}) / \text{std_FedtudskillelsesFaktor})))$

P(ikke_FU)=
 $1 - (\text{ERRORF}(((\text{SUM}(\text{Raavarer}, \text{Maengde}(\text{Raavarer}) * \text{Raavareegenskaber}(\text{Raavarer}, \text{'Fedt'})) / (\text{SUM}(\text{Raavarer}, \text{Maengde}(\text{Raavarer}) * \text{Raavareegenskaber}(\text{Raavarer}, \text{'Protein'})) + 0.0000001)) - \text{GNS_FedtudskillelsesFaktor}) / \text{std_FedtudskillelsesFaktor}) - \text{ERRORF}((0 - \text{GNS_FedtudskillelsesFaktor}) / \text{std_FedtudskillelsesFaktor})) / (1 - (\text{ERRORF}((0 - \text{GNS_FedtudskillelsesFaktor}) / \text{std_FedtudskillelsesFaktor})))$

Problemstilling 2

Her adresseres problemstillingen med at tage højde for usikkerheden på råvarernes indholdsstoffer.

Case 2

1. Indtil nu har råvarernes indhold af fedt, protein, kollagen, vand og kulhydrat været konstanter for hver råvare. Hver af disse har imidlertid en variation = spredning. Spredningen er udtryk for usikkerheden på gennemsnittet.
2. Når vi blander flere råvarer til en fars, kan blandingens indhold af fx fedt beregnes med:

$$\text{Fedt\%}(Blanding) = \sum_{i=1}^n (\text{Andel}_i \times \text{Fedt\%}_i)$$

Hvor i er råvarerne.

3. Usikkerheden (spredningen) på blandingens fedtprocent beregnes via varianserne:

$$\text{Var}(\text{Fedt\%}(Blanding)) = \sum_{i=1}^n (\text{Andel}_i^2 \times \text{Var}(\text{Fedt\%}_i))$$

$$\text{Spredning}(\text{Fedt\%}(Blanding)) = \sqrt{\text{Var}(\text{Fedt\%}(Blanding))}$$

$$= \sqrt{\sum_{i=1}^n (\text{Andel}_i^2 \times \text{Var}(\text{Fedt\%}_i))}$$

Sandsynligheden for, at blandingens fedtprocent er mindre end eller lig en given procent beregnes med *fejlfunktionen* (se tidligere). Den kan bruges til at sikre en given lille sandsynlighed for, at maksimum fedtprocent overskrides: Angiv en maksimal sandsynlighed for, at fedtprocenten er større end maksimum – fx $p(\text{Fedt\%(Blanding)}) \leq 0,001$ (1 promille). Med den beregnede spredning indsat i normalfordelingen får vi kravet, som skal inkluderes i optimeringsmodellen:

$$p(\text{Fedt\%(Blanding)}) = \Phi((FP-\mu)/\sigma) \leq 0,001$$

Figur 1. Normalfordeling og fejlfunktion.

