

 <b>SINTEF</b>  <b>SINTEF Energi AS</b>  Postadresse: 7465 Trondheim Resepsjon: Sem Sælands vei 11 Telefon: 73 59 72 00 Telefaks: 73 59 72 50  www.sintef.no/energi  Organisasjonsnr.: NO 939 350 675 MVA		<b>ARBEIDSNOTAT</b>	
		GJELDER  <b>Sluttørking av klippfisk</b> - Bruksanvisning og beskrivelse av modell for beregning av klippfisktørking	
		GÅR TIL <b>FHL Bacalaoforum</b> v/ Lorena Gallart Jornet	
AN NR.	GRADERING	GJENNOMGÅTT AV	
AN nr	Åpen	Erlend Indergård	
ELEKTRONISK ARKIVKODE		FORFATTER(E)	DATO
100104144936		Harald Taxt Walnum, Trond Andresen	2010-01-04
PROSJEKTNR.			ANTALL SIDER
16x873			9
AVDELING	BESØKSADRESSE	LOKAL TELEFAKS	
Energiprosesser	Kolbjørn Hejesv. 1D	73593950	

## 1 INTRODUKSJON

Dette notatet beskriver oppbygningen og bruk av en excel-basert beregningsmodell for tørking av klippfisk. Modellen er basert på 13 ulike laboratorieforsøk med tørking av klippfisk og totalt over 2000 målepunkter. De 13 forsøkene ble kjørt med variasjon av tørkeparametre, fisketype og -størrelse. I de fleste av forsøkene ble det kjørt både tunneltørking og sluttørking i simulert lager.

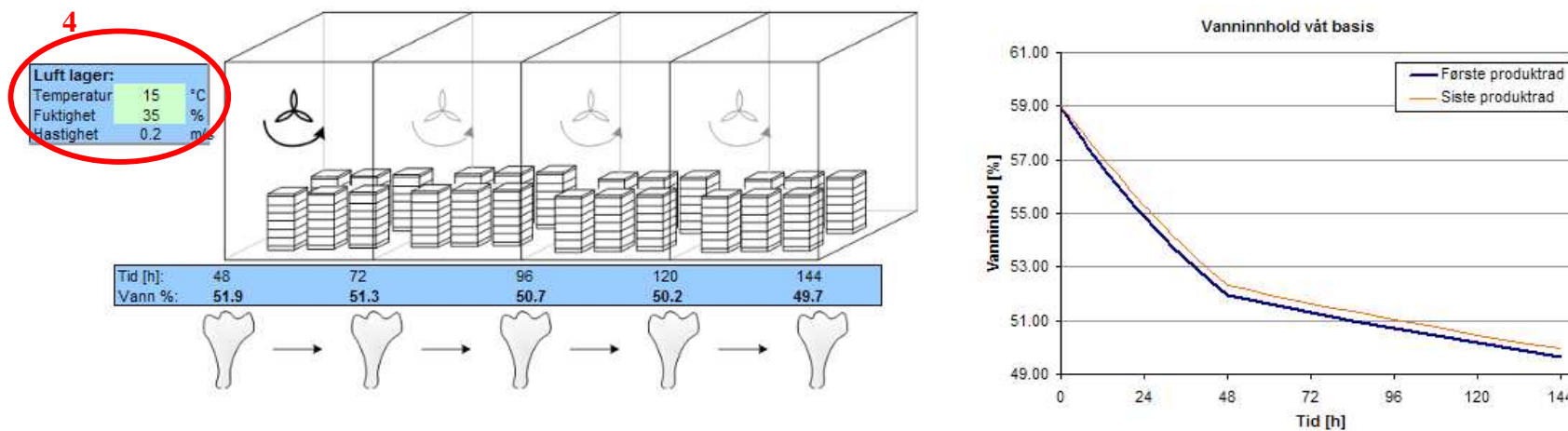
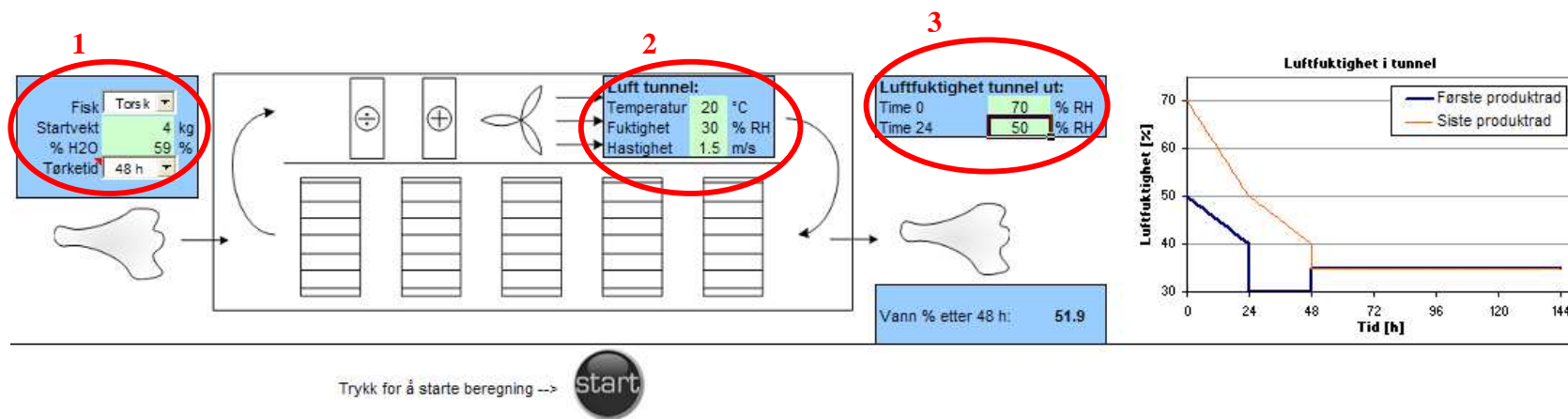
## 2 BRUK AV BEREGNINGSMODELLEN

For at modellen skal bli enklest mulig i bruk er det laget et grafisk brukergrensesnitt (GUI). Dette er vist i Figur 2-1. De ulike inndataene som brukeren kan sette er markert med røde ringer i figuren og nummerert etter kategori. Inndataene er ytterligere beskrevet i tabell 1, sammen med grenseverdiene for modellen. Like utenfor grenseverdiene kan modellen gi fornuftige resultater, men dersom man beveger seg langt utenfor modellens område kan modellen avvike stort fra de virkelige prosessene. Dette er fordi det ikke eksisterer måledata for disse områdene.

**Tabell 1: Inndata til beregningsmodell**

Inndata gruppe (se Figur 2-1)	Navn	Beskrivelse	Max	Min
1	Fisk	Type fisk (torsk eller sei)	N/A	N/A
	Startvekt	Startvekten til fisken	4	1
	% H2O	Startvanninnhold	60	45
	Tørketid	Hvor lenge fisken skal ligge i tunnel 24 eller 48 timer	N/A	N/A
2	Temperatur	Lufttemperatur i tunnel	10	25
	Fuktighet	Luftfuktighet ved innløp til tunnel	30	60
	Hastighet	Lufthastigheten i tunnelen	1	5
3	Time 0	Luftfuktighet ved utløpet av tunnelen ved når ny fisk er lagt inn bakerst	80	20
	Time 24	Luftfuktighet ved utløpet av tunnelen når den har operert i 24 timer uten tilførsel av ny fisk	60	20
4	Temperatur	Temperatur på lageret	10	25
	Fuktighet	Luftfuktighet på lageret	25	80

Grafen øverst til venstre i brukergrensesnittet viser luftfuktigheten på forreste rekke i (blå linje) og på bakerste rekke (oransje linje) i batchen. Grafen nederst til venstre viser vanninnholdet i fisken for fisken på henholdsvis forreste (blå) og bakerste (oransje) rekke i batchen.



**Figur 2-1: GUI**

### 3 BESKRIVELSE AV TØRKEMODELL

#### 3.1 OPPBYGNING

Modellen er delt opp i to ulike beregningsfunksjoner, en for tunneltørking og en for lagertørking. Dette er gjort for å få best mulig tilpassning til forsøksresultatene. Etersom flesteparten av forsøkene ble gjort med torsk, er modellen laget for torsk. Kun to av koeffisientene korrigeres når modellen skal brukes på sei.

Modellen beregner *spesifikk tørkehastighet* i et gitt tilfelle, og integrerer dette over tid for å beregne forløpet til vekt og vanninnhold til klippfisken.

Uttrykket for beregning av tørkehastighet er litt forskjellig for henholdsvis tunnel- og lagertørking, men prinsippet er det samme. Likning 1.1 viser uttrykket for tørkehastighet ved tunneltørking. I denne likningen er det koeffisientene  $C_1$  og  $C_2$  som tilpasses for å bruke modellen med sei.

$$\frac{d \left( \frac{m}{m_0} \right)}{dt} = f(a) \times f(Dp_{damp}) \times f(T) \times f(v) \times f(m_0) \times C_1 + C_2 \quad (1.1)$$

Likning 1.1 forutsetter at alle tørkeparametrene har sin egen funksjon som representerer innvirkningen på tørkehastigheten. Disse er funnet ved å trekke ut denne informasjonen fra målingene, og tilpasse hver enkelt funksjon slik at totalfunksjonen til slutt korrelerer best mulig med laboratorieforsøkene. De neste kapitlene vil vise hvordan uttrykkene ser ut for ulike tørkeparametre.

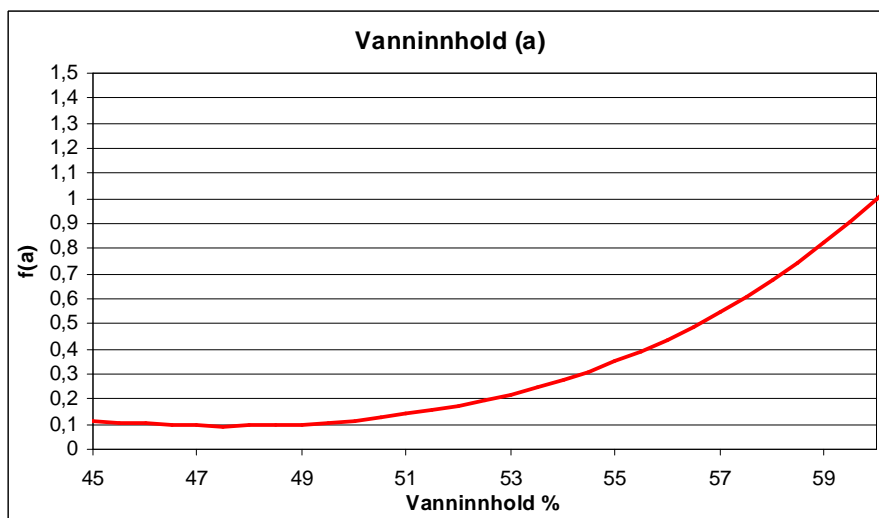
#### 3.2 TUNNELTØRKING

##### 3.2.1 Beskrivelse av modell

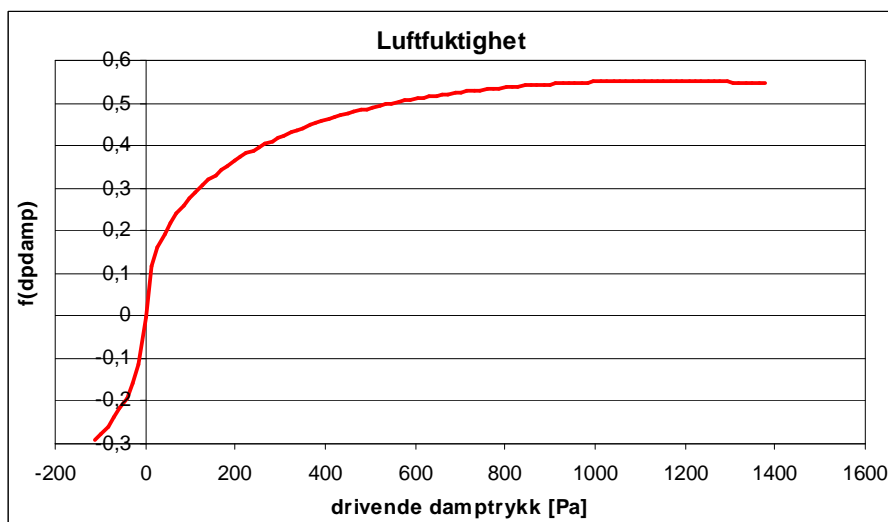
Modellen for lagertørking beregner tørkehastigheten, normalisert med startvekt, basert på vanninnhold, luftfuktighet (drivende differanse i damptrykk), lufthastighet, temperatur og startvekt. Hver faktors innvirkning er beskrevet med en funksjon, og disse funksjonene er multiplisert sammen.

Hver av funksjonene er utformet slik at så få koeffisienter som mulig må korreleres fra målingene, samtidig som man ønsker så godt samsvar som mulig mellom målinger og simulering. Det finnes ikke direkte noen etablert metode for å gjøre dette, så utformingen av selve funksjonsuttrykkene har blitt gjort gjennom en kombinasjon av utprøving av ulike uttrykk og kunnskap om tørkeparametres påvirkning.

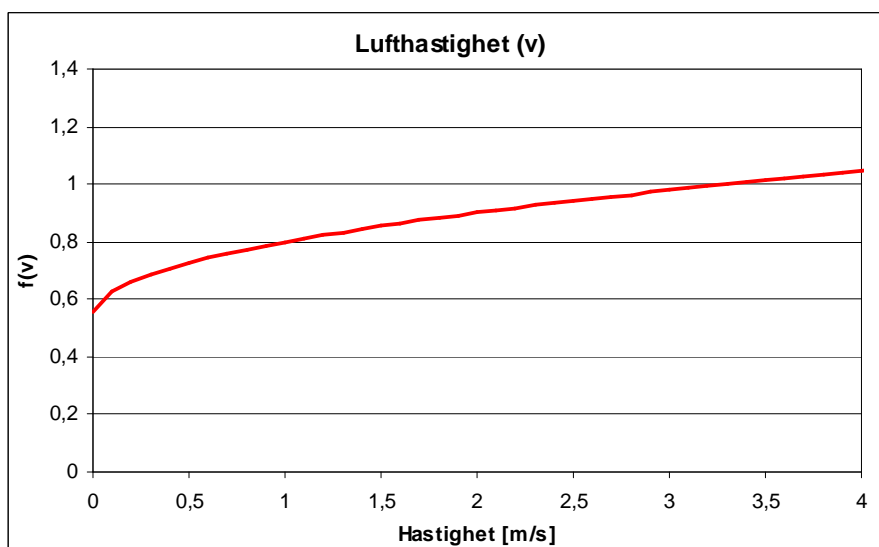
Funksjonene for vanninnhold, luftfuktighet og lufthastighet er illustrert i Figur 3-1 til Figur 3-3. Hver av disse figurene viser én tørkeparameters påvirkning på den totale tørkehastigheten. Det er ikke slik at de hver for seg nødvendigvis gir den korrekte fysiske beskrivelsen av tørkeprosessen, men når de blir multiplisert sammen gir de den beste oppnådde beskrivelsen av forsøksresultatene. Funksjonene for temperatur og startvekt er lineære og er ikke illustrert her.



**Figur 3-1: Funksjon av vanninnhold, tunneltørking**



**Figur 3-2: Funksjon av luftfuktighet, tunneltørking**



**Figur 3-3: Funksjon av lufthastighet, tunneltørking**

Likningene under viser den generelle formen på uttrykkene for tunneltørking. For lagertørking finnes et tilsvarende sett med uttrykk. Koeffisientene som skal korreleres i hvert uttrykk er gitt stor bokstav A-E.

$$f(a) = \frac{A_a}{B_a - a^{C_a}} + D_a \times a^{E_a} + 0.1$$

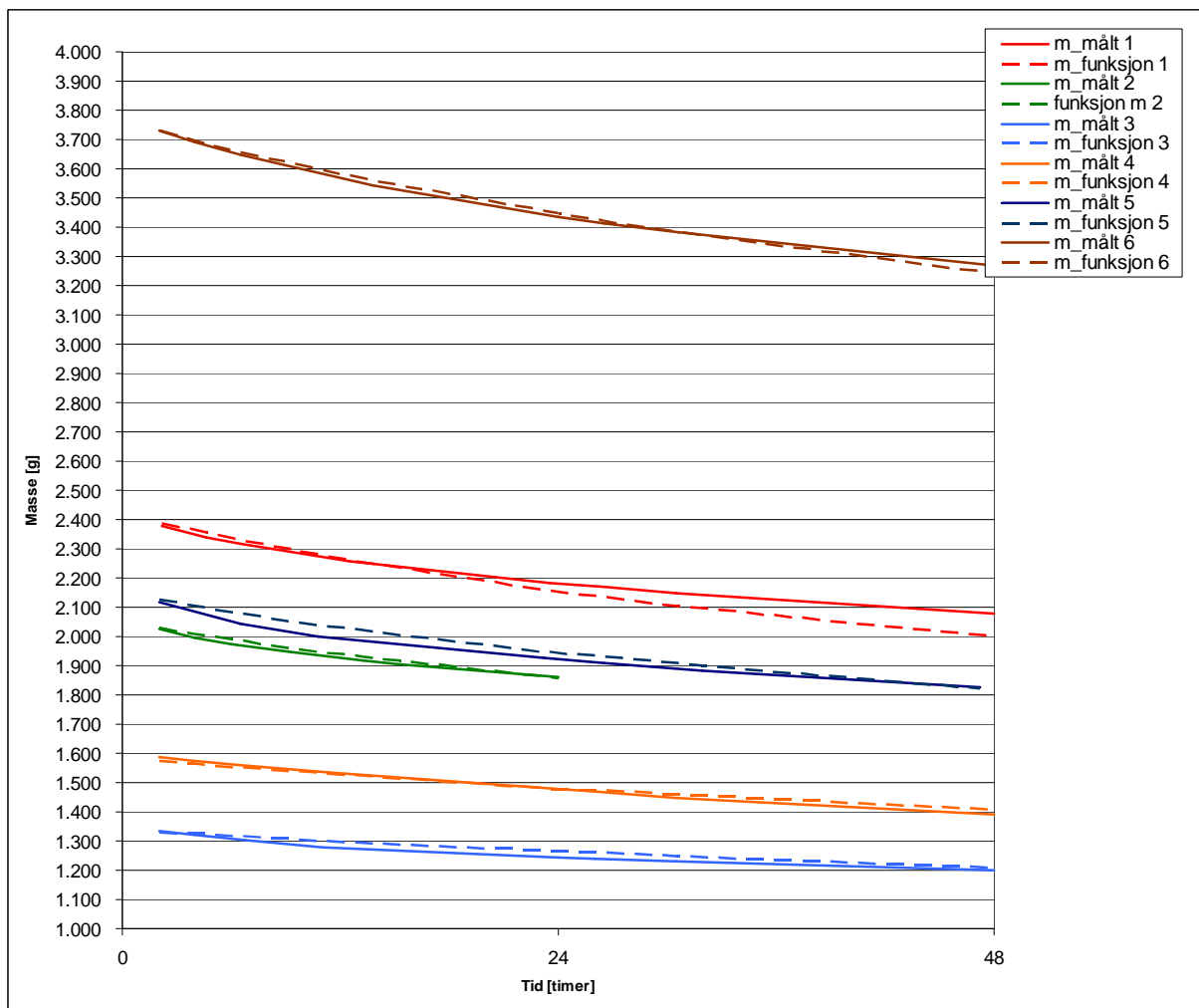
$$f(Dp) = A_{Dp} + B_{Dp} \times Dp + C_{Dp} \times \sqrt{\frac{Dp}{5}} + D_{Dp}$$

$$f(T) = A_T + B_T \times T \tag{1.2}$$

$$f(v) = A_v + B_v \times v + C_v \times \sqrt{v}$$

$$f(m_0) = A_{m_0} + B_{m_0} \times m_0$$

Figur 3-4 viser noen eksempler på forskjeller mellom målte og beregnede masser gjennom tørkeprosessen. For de fleste eksemplene passer beregningsmodellen veldig bra, mens for noen (spesielt nr 1) passer den ikke fullt så bra. Dette er et eksempel på utfordringene med å lage en matematisk modell for et så heterogent produkt som en fisk. Ved like betingelser kan to fisker (selv med lik størrelse) vise store forskjeller i tørkeforløp.



**Figur 3-4: Målt vs beregnet masse, tunneltørking**

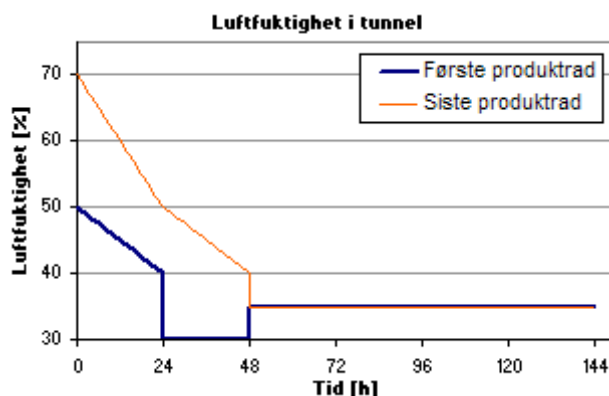
### 3.2.2 Oppskalering fra laboratorieskala til industriskala

Tørking i laboratorieskala kan ikke alltid påvise eller ta hensyn til alle faktorer som finner sted i industriell skala. Ved tørking i laboratorieskala vil det ikke være nok rader med produkt langs luftretningen til at det vil bli noe særlig oppfukning av luften. Dette vil da heller ikke kunne integreres direkte i modellen.

I stedet kan man legge inn hva luftfuktigheten er ut av tunnelen ved oppstart, og etter 24 timer. Det vil da interpoleres lineært mellom disse punktene for å beregne luftfuktighet gjennom tunnelen ved forskjellige tidspunkt.

### 3.2.3 Tørking i 24 vs. 48 timer

Man kan i utgangspunktet kun velge mellom å tørke produktet i tunnel i enten 24 eller 48 timer. Ved valg av 48 timer regnes det med at kun halvparten av produktet i tunnelen byttes ut hvert døgn. Det medfører at det i beregningen antas at ved tørkingens start settes produktet inn slik at det fyller den bakerste halvparten av tunnelen. Etter 24 timer flyttes det fram slik at det da fyller den fremste halvparten. Dette påvirker beregnet luftfuktighet inn og ut av produktet tilsvarende. Se Figur 3-5 for eksempel.

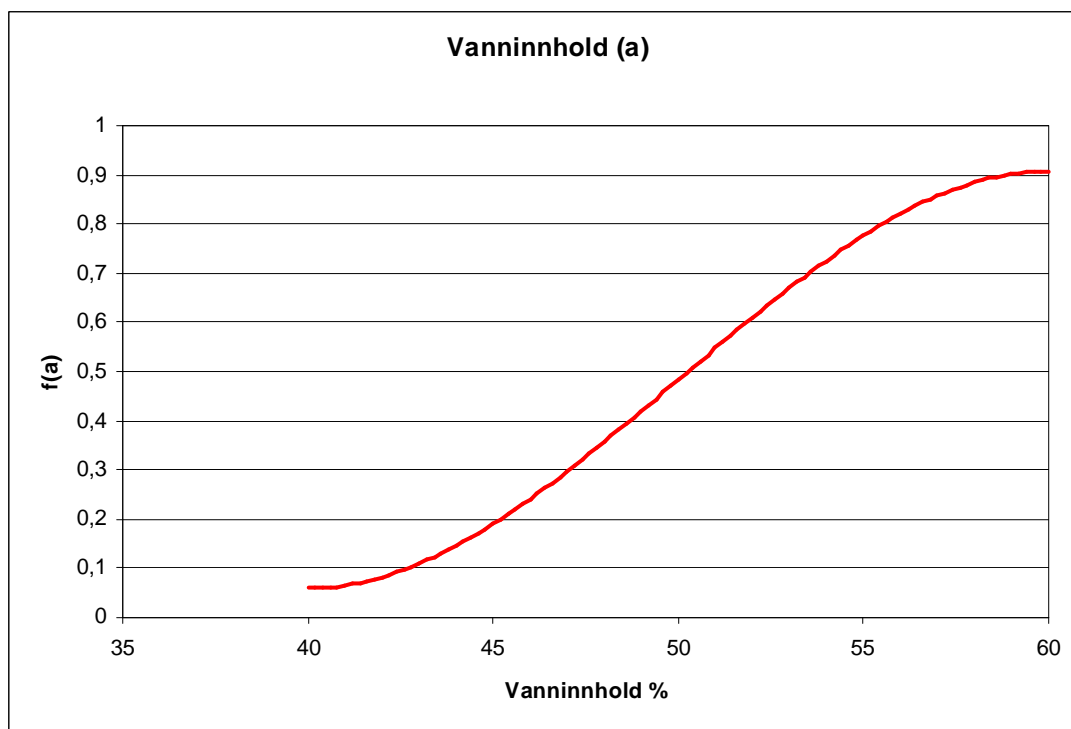


Figur 3-5: Eksempel på beregnet luftfuktighet ved 48 timers tunneltørking

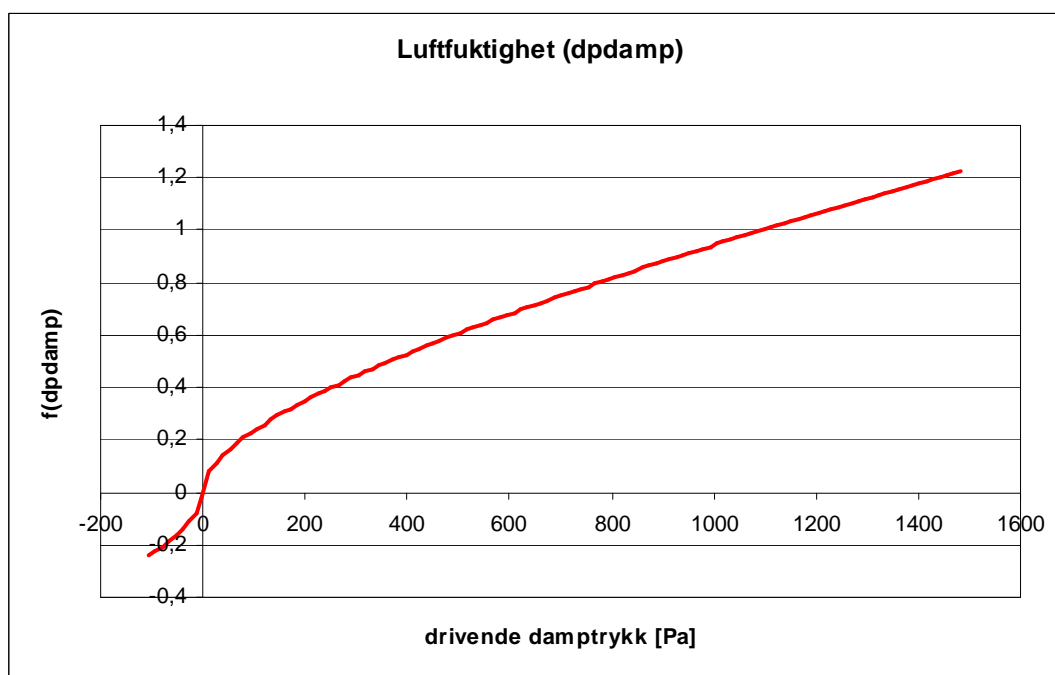
## 3.3 LAGERMODELL

Modellen for lagertørking er bygget opp på samme måte som for tunneltørking, men funksjonene er noe annerledes. Det antas blant annet at hastigheten er så lav at den ikke har noen innvirkning på tørkehastigheten (det ble ikke funnet noen korrelasjon mellom tørkehastighet og lufthastighet i forsøksdataene).

I lagertørkemonellen er funksjonen for tørkehastigheten med hensyn på vanninnhold omgjort til en tredjegradsfunksjon (se Figur 3-6), ettersom det viste seg at det gav et vel så godt resultat. Funksjonen for tørkehastighet med hensyn på relativ fuktighet er på samme form som for tunneltørking men med litt andre koeffisienter (se Figur 3-7). Funksjonene for temperatur og startvekt er fortsatt lineære.



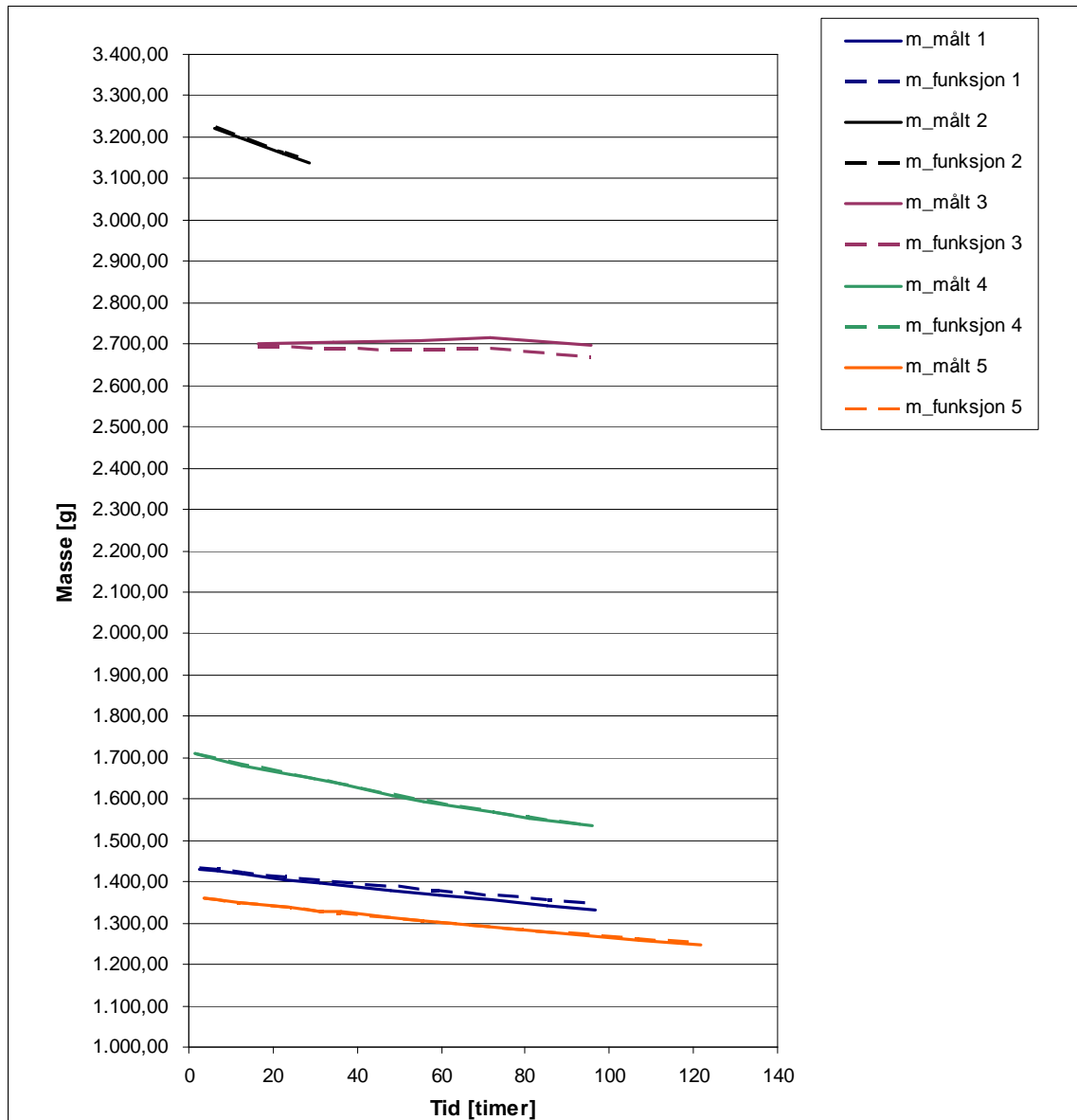
**Figur 3-6: Funksjon av vanninnhold, lagertørkning**



**Figur 3-7: Funksjon av luftfuktighet, lagertørkning**

Fig 3-8 viser noen eksempler på forskjeller mellom målte og beregnede masser gjennom tørkeprosessen. Avviket her er noe mindre enn for tunneltørking. Det kommer av at tørkeprosessen er tregere og mer stabil.





**Figur 3-8: Målt vs beregnet masse, lagertørking**