



INSTITUTET FÖR LIVSMEDEL OCH BIOTEKNIK  
INSTITUTET FÖR LIVSMEDEL OCH BIOTEKNIK

Dnr 19-8003/08  
PX00248

## **Energieffektiv bakning**

### **Slutrapport – kortfattad version**

*Birgitta Raaholt*

Januari 2011

## **Projektinformation**

### **Projekt påbörjat**

April 2010

### **Granskas av**

Lilia Ahrné

### **Projektledare**

Birgitta Raaholt

### **Projektgrupp**

Birgitta Raaholt, Hans Janestad, Erik Wahnström, Mikaela Börjesson, Sven Isaksson, SIK;

Deltagande företag: Finax Bröd, Lantmännen (Lantmännen Unibake och Lantmännen Cerealia), Sveba Dahlén, IRCON, Binar Elektronik

### **Distributionslista**

Jordbruksverket, Marita Wallenius, projektgruppen

### **Nyckelord**

Energieffektiv, bakning, bröd, process, temperatur, energi, bakningstid, kvalitet, effektivitet, flexibilitet

## Sammanfattning

Det finns en stor potential för att minska kostnader i bageriindustrin genom att optimera bakningsprocesser mot minskad energianvändning, samtidigt som produktkvaliteten bibehålls. En minskad energiåtgång innebär samtidigt en ökad konkurrenskraft för industrin.

Detta är ofta möjligt genom att på ett optimalt sätt välja processbetingelser (temperatur, luft, hastighet, tid etc.) för bakning av exempelvis bröd och andra bagerivaror, så att man får lägre energiförbrukning och samtidigt hög produktkvalitet.

I projektet har vi utvärderat ett par industriella bakningslinjer på två orter i Sverige, hos deltagande bageriföretag. Vi har också utvecklat simuleringsverktyg för att ge en ökad förståelse för och kunskap om vad som händer under bakning (t ex hur temperatur- och vattenhaltsfördelning förändras i brödet under bakning). Modellerna kan även användas för att utvärdera vilka processinställningar som kan ge minskad energiåtgång med bibehållen produktkvalitet. Den kostnadsbesparing som en förändring i processen kan innebära, genom minskad energiåtgång, kan också ställas i relation till produktionskapaciteten (här mängden bröd som tillverkas per timme) genom att man ofta kan få en minskad bakningstid.

Kombinationsbakning med alternativa tekniker, t ex mikrovågor i kombination med infrarödteknik eller mikrovågor i kombination med varmluft, är några av de kombinationer som utvärderats och som visat sig ge minskad energiåtgång och goda möjligheter att baka bröd med god produktkvalitet och dessutom kortare bakningstid.

För matbröd blev energiåtgången mindre än hälften när bröden bakades med mikrovågor i kombination med infrarödteknik (IR), jämfört med konventionell bakning. Bakningstiden kunde samtidigt minskas till cirka 1/3 av den ursprungliga bakningstiden för matbröd, genom att använda kombinationsbakning med mikrovågor och IR (från 18 minuters bakningstid till 6 minuter).

Vid bakning av formbröd med mikrovågor i kombination med varmluft blev energiåtgången cirka 80 % av vad den var vid traditionell bakning. Bakningstiden kunde minskas från 18 minuter till cirka 10 minuter för ett vitt formbröd. Fördelarna var alltså som störst då vi kombinerade mikrovågor med infrarödteknik, med avseende på energiåtgång och bakningstid.

Baserat på den kunskap som tagits fram i projektet kan bakningsprocesser optimeras så att man kan minska energiförbrukningen med bibehållen produktkvalitet. Modellerna kan även användas för att dimensionera utrustning. Dessutom finns förutsättningar att få en snabbare innovationscykel vid produktutveckling, genom att man kan testa olika tänkbara förändringar i processen i simuleringsmiljö.

Projektets resultat presenteras även vid ett öppet seminarium på SIK i Göteborg under första kvartalet 2011.

## **INNEHÅLL**

PROJEKTINFORMATION.....	2
SAMMANFATTNING.....	3
BAKGRUND .....	5
MÅL.....	5
PROJEKTUPPLÄGG OCH GENOMFÖRANDE .....	5
UPPMÄTNING AV INDUSTRIELLA BAKNINGSPROCESSER .....	6
UTVECKLING AV MODELLER FÖR BAKNING .....	6
RESULTAT OCH DISKUSSION .....	7
UPPMÄTNING AV INDUSTRIELLA BAKNINGSPROCESSER .....	7
UTVECKLING AV MODELLER FÖR BAKNING .....	9
MINSKAD ENERGIÅTGÅNG OCH KORTARE BAKNINGSTID.....	11
SLUTSATSER.....	11

## Bakgrund

Inom bageriindustrin finns stora möjligheter att öka konkurrenskraften, t ex genom att

- utforma bakningsprocesser mot så hög produktkvalitet som möjligt, samtidigt som energiåtgången minskas,
- minska energiåtgången vid bakning samt vid frysning/kylning, vilket innebär stora kostnadsfördelar för industrin.

Detta är ofta möjligt genom att på ett optimalt sätt välja processbetingelser (temperatur, luft, hastighet, tid etc.) för

- bakning av exempelvis bröd och andra bagerivaror
- efterföljande frysnings- och/eller kylsteg,

så att man får lägre energiförbrukning och samtidigt hög produktkvalitet. I detta projekt för man ut en del av den kunskap som finns till den svenska industrin.

Trenden är att företag idag blir alltmer benägna att använda datorverktyg i sin produktutveckling och processutformning. Med hjälp av simuleringar av bakningsprocessen, får man en bättre kunskap och förståelse för de olika delstegen under bakning. Baserat på denna kunskap kan bakningsprocesser optimeras så att man får en minimal energiförbrukning med bibehållen produktkvalitet samt rätt dimensionering av utrustning. Dessutom finns förutsättningar för att minska antalet experiment samt få en snabbare innovationscykel vid produktutveckling.

I projektet har modeller för bakning vidareutvecklats för att ge en ökad förståelse för vad som händer under bakning. Exempelvis kan modellerna beskriva hur temperatur- och vattenhaltsfördelning förändras i brödet under bakning. Modellerna kan användas för att se vilka processinställningar som ger minskad energiåtgång med bibehållen produktkvalitet. Den kostnadsbesparing som en förändring i processen kan innebära, genom minskad energiåtgång, kan också ställas i relation till produktionskapaciteten (här uttryckt som mängden bröd som tillverkas per timme). I många fall kan man nämligen minska bakningstiden, genom att kombinera alternativa tekniker som t ex mikrovågor och infrarödsvågor eller mikrovågor och varmluft vid bakning.

## Mål

Projektets mål är att föra ut kunskap om hur bakningsprocesser kan styras och utformas, för att med bibehållen produktkvalitet minska energiåtgången och därmed öka de svenska företagens konkurrensfördelar.

## Projektupplägg och genomförande

Projektet har drivits i samarbete med en grupp företag inom bageribranschen (brödproducenter, utrustningsleverantörer till bageriindustrin och råvaruleverantörer).

I projektet har en programvara tagits fram som utformats för att beskriva bakning av bröd och bageriprodukter. Baserat på de deltagande företagens intressen har fokus lagts på:

1. modellering av bakning, för några utvalda bageriprodukter<sup>1</sup>. Ett delmål var att kunna prediktera temperaturförlopp och vattenfördelning under bakning. Den

---

<sup>1</sup> hamburgerbröd samt matbröd valdes som utgångspunkt för detta projekt.

utvecklade modellen har använts för att simulera bakningsförlopp för några utvalda scenarier.

samt

2. att utvärdera resultat för några utvalda befintliga bageriprocesser (temperatur, luft, bakningstider, hastighet hos transportband, etc.), samt få en uppfattning om hur dessa parametrar kan justeras för att minska energiåtgången. För detta ändamål har processdata mätts för ett par utvalda befintliga processer hos deltagande företag.

Utvecklingen av modellerna har gjorts med fokus på några utvalda bageriprodukter, som valts inom projektgruppen:

- a) vitt formbröd samt portionsbröd (hamburgerbröd) för modellen enligt punkt 1
- b) strängbröd samt hamburgerbröd för modellen enligt punkt 2.

Vid regelbundna projektmöten har gemensamma frågeställningar samlats, där företagen har fått möjlighet att lyfta både generella frågor och mer specifika frågor och förslag.

Modellerna innebär att de deltagande företagen får ett hjälpmedel för att snabbare och mer effektivt kunna

- optimera sina processer för bakning mot minskad energiåtgång med bibehållen produktkvalitet

I samband med avslutning av projektet kommer de sammanfattade resultaten och erfarenheterna att presenteras i en skriftlig rapport, i artiklar i tidskrifter som t ex Livsmedel i Fokus samt vid ett öppet seminarium, dit även andra intressenter inom branschen bjuds in. Det avslutande seminariet är öppet för alla. Projektet ger de deltagande företagen ett försprång och unik tillgång till detaljerade projektresultat.

Projektet påbörjades i april 2010 och avslutades vid årsskiftet 2010/2011. Under första kvartalet 2011 hålls ett öppet slutseminarium där projektets sammanfattade resultat presenteras för industrin.

## **Uppmätning av industriella bakningsprocesser**

I projektet har ett par industriella processer för bakning dokumenterats, i Örebro respektive Trelleborg. Vi mätte bl.a. temperatur under bakning av portionsbröd (hamburgerbröd) samt matbröd (strängbröd och formbröd). Temperaturen mättes både i bröd under bakning och i omgivande luft. Även energiåtgång mättes vid de olika bakningslinjerna, liksom antalet bröd som bakades per timme.

## **Utveckling av modeller för bakning**

I projektet har modeller utvecklats för att beskriva bakning av bröd och bageriprodukter. Baserat på de deltagande företagens intressen har två modeller utvecklats:

1. en modell av bakning av bröd (i laboratorieskala), för hamburgerbröd samt formbröd. Modellen kan prediktera bl.a. temperaturförlopp och vattenfördelning under bakning och har använts för att simulera bakningsförlopp för några utvalda scenarier. Modellen har även verifierats praktiskt i en ugn som modifierats så att både mikrovågor, infrarödsvågor, varmluft och ånga fanns tillgängligt vid bakning av bröd.
2. en modell av bakning i industriell skala, för att utvärdera resultat för några utvalda befintliga bakningsprocesser (temperatur, bakningstider, hastighet hos transportband, etc.), samt få en uppfattning om hur processparametrar kan

justeras för att minska energiåtgången. Uppmätta processdata för ett par utvalda befintliga industriella bakningsprocesser har utgjort ett väsentligt underlag för modellen.

## Resultat och diskussion

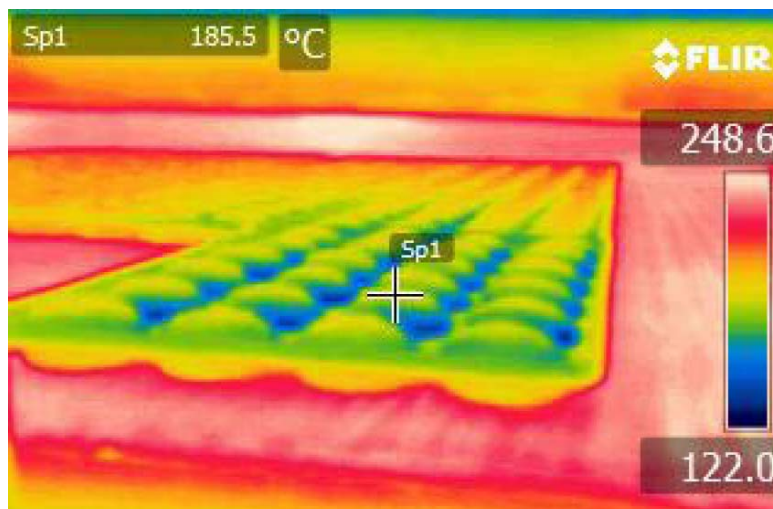
### Uppmätning av industriella bakningsprocesser

Resultaten ger dels en beskrivning av själva bakningsprocesserna, men också en utgångspunkt för hur de med hjälp av den utvecklade modellen kan optimeras mot minskad energiåtgång med bibehållen kvalitet. Ett sådant sätt att minska energiåtgången är att använda en kombination av alternativa tekniker, som t ex mikrovågsteknik i kombination med infrarödteknik, eller mikrovågor i kombination med varmluft (konvektion).

Exempel på resultat från mätningarna finns illustrerade i figurerna 1 och 2.

Figur 1 visar ett exempel där bakningsprocessen av portionsbröd dokumenterades med IR-kamera under bakning. IR-kameran användes för att mäta yttemperaturer på bröd och plåt.

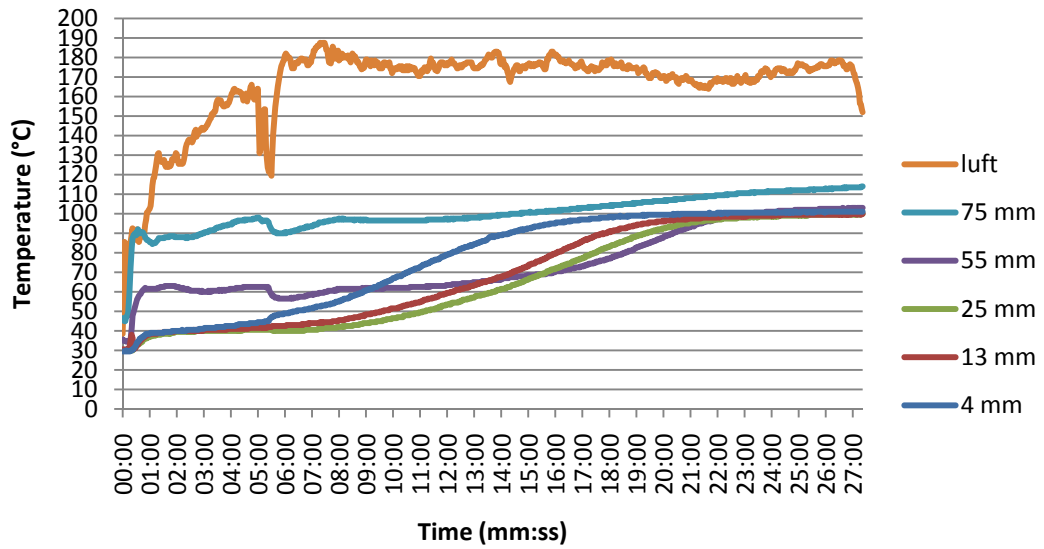
Figur 2 visar två exempel på temperaturmätning under industriell bakning, dels för bakning av matbröd, dels för bakning av portionsbröd. Temperaturen mättes under bakning på olika djup i produkten samt i luften.



Figur 1. Exempel på resultat då IR-kamera användes vid dokumentation av en bakningsprocess: produktens yttemperatur mättes i detta fall till cirka 186°C.

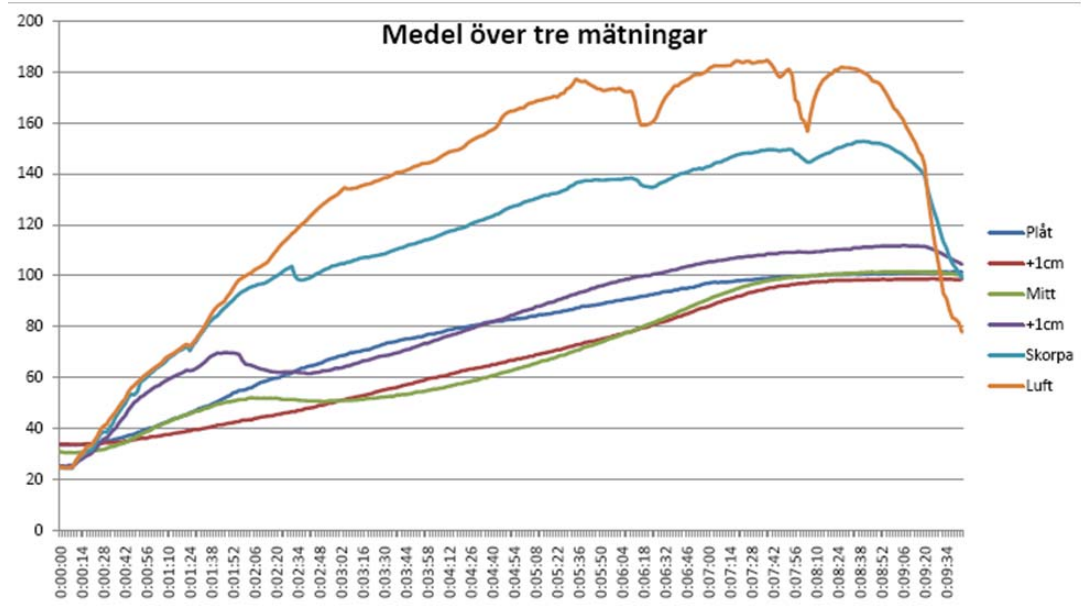
a)

### Uppmätt temperatur vid industriell bakning av matbröd



b)

### Uppmätt temperatur vid industriell bakning av portionsbröd



Figur 2. Exempel på resultat vid dokumentation av temperatur under bakning av a) matbröd, b) portionsbröd.



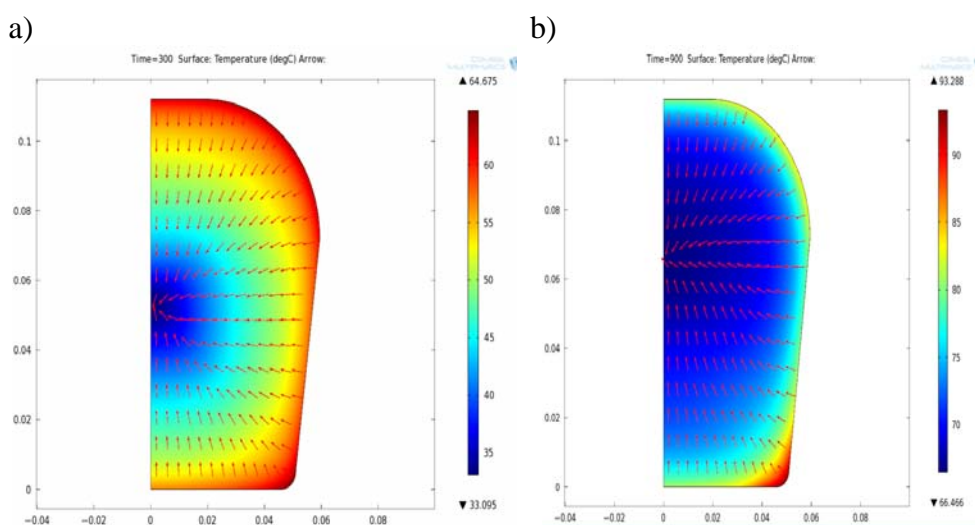
## Utveckling av modeller för bakning

### *Mekanismer vid bakning: temperaturfördelning och vattenhalt*

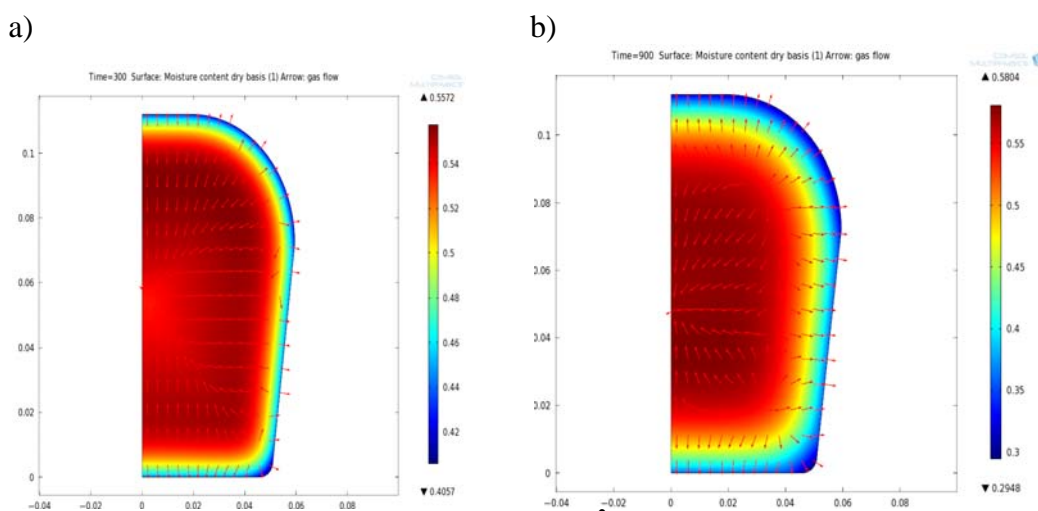
Exempel på resultat från simulering av bakning i laboratorieskala

#### *Traditionell bakning*

En modell har utvecklats för att ge en förståelse för vad som händer vid bakning av bröd, för dels ett formbröd, dels ett portionsbröd. Modellen kan användas för att prediktera temperaturförlopp och vattenfördelning i bröd under bakning. Den utvecklade modellen har använts för att simulera bakkingsförlopp för några utvalda scenarier. Figur 3 och Figur 4 visar exempel på resultat där modellen använts för att förutsäga vilken temperatur- och vattenfördelning som man får i ett formbröd under bakning. Bilderna visar exempel på vad som händer i hälften av en skiva av formbrödet, mitt i brödet (Figur 3 och Figur 4). På motsvarande sätt har simuleringar genomförts för bakning av hamburgerbröd. De senare presenteras på det öppna seminariet på SIK, våren 2011.



Figur 3. Exempel på resultat från modellering (temperaturfördelning i formbröd under bakning, a) efter 5 minuters bakning, respektive b) efter 15 minuters bakning.



Figur 4. Exempel på resultat från modellering (vattenhalt<sup>2</sup> i formbröd under bakning, a) efter 5 minuters bakning, respektive b) efter 15 minuters bakning.

<sup>2</sup> på torrbas

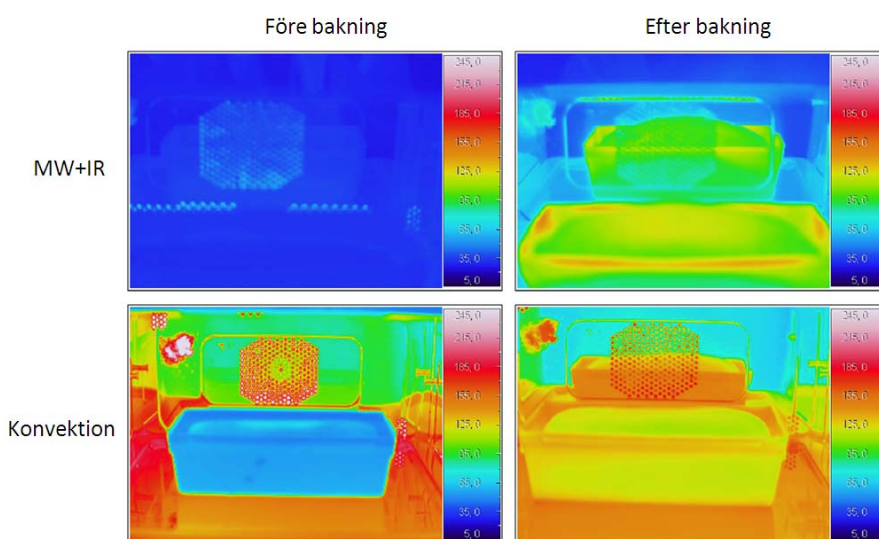
### Kombinationsbakning

Det finns många möjligheter att kombinera olika alternativa tekniker (såsom mikrovågsvärmning i kombination med IR) vid bakning av bröd. Man kan även kombinera t ex mikrovågsteknik med traditionell teknik (konvektionsbakning).

Figur 5 illustrerar kombinationsbakning med alternativa tekniker (i detta fall mikrovågsbakning i kombination med infrarödteknik). Mikrovågorna värmer produkten genom direktvärmning, vilket innebär a) att man inte behöver värma upp luften och omgivande material långt i förväg, b) en snabbare värmeöverföring och därmed kortare bakningstid, vilket sammantaget även ger en minskad energiåtgång vid bakning jämfört med konventionell bakning. Infrarödvägorna ger dessutom en snabb och energieffektiv möjlighet att färgsätta produkten.

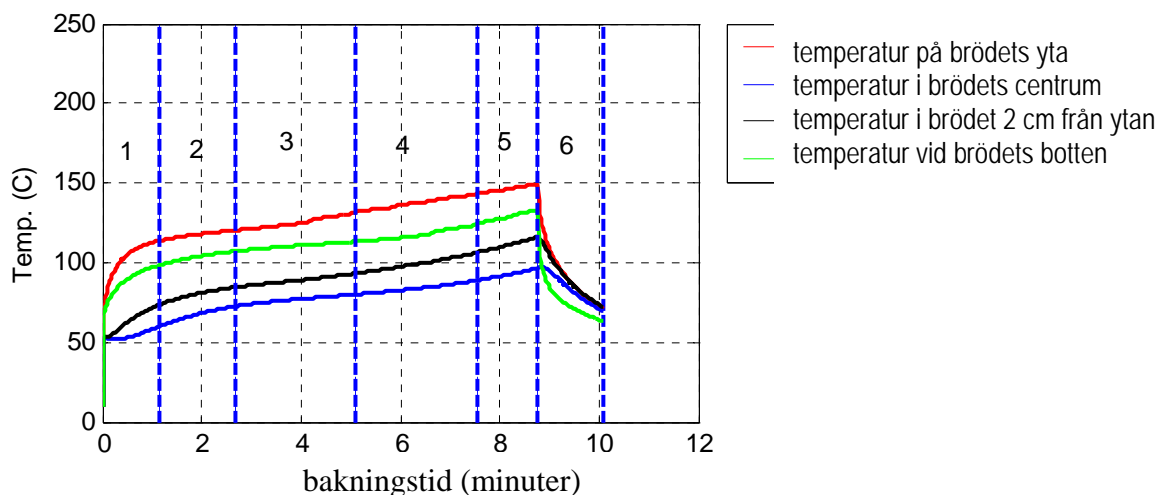
Med hjälp av modellen kan man sedan se hur lämpligt valda processparametrar kan korta ner bakningstiden och minska energiåtgången.

## Foton med IR-kamera: formbröd



**Figur 5. Kombinationsbakning av formbröd med mikrovågsteknik samt IR-teknik. Brödet i exemplet bakades i liten skala.**

Exempel på resultat från modellering av bakning i industriell skala. Figur 6 visar hur temperaturen utvecklas i ett portionsbröd under bakning, baserat på beräkningar av en industriell baktingsprocess. Modellen kan användas för att utvärdera vilka förändringar i processen som är möjliga, t ex för att minska energiåtgången med bibehållen kvalitet på brödet. Man kan även använda modellen för att t ex ta fram lämpliga processinställningar vid dimensionering av utrustning.



Figur 6. Beräknad temperaturutveckling i ett portionsbröd under bakning. Bakningstiden är angiven i minuter. Blå vertikala linjer motsvarar ugnens zonindelning.

Sammanfattningsvis kan modelleringsverktygen användas dels för att få en förståelse för vad som händer under bakning, t ex hur temperaturen och vattenfördelningen förändras i brödet under bakning, men också för att förutsäga t ex hur lång processtid som behövs för att baka ett bröd med minskad energiåtgång men med bibehållen kvalitet på brödet.

### Minskad energiåtgång och kortare bakningstid

För matbröd blev energiåtgången mindre än hälften (44 %) när bröden bakades med mikrovågor i kombination med IR, jämfört med vid traditionell bakning. Bakningstiden kunde samtidigt minskas till cirka 1/3 av den ursprungliga bakningstiden, genom att använda kombinationsbakning med mikrovågor och infrarödstrålning (från 18 minuter vid traditionell bakning till 6 minuter med kombinationsbakning med mikrovågor samt IR). På motsvarande sätt kan både energi- och tidsåtgång minskas även vid industriell bakning av matbröd. För att bibehålla kvaliteten ger IR-vågorna färgsättning av produktens yta. Man kan även mäta kvalitet i olika avseenden (t ex textur, smak etc.).

Vid bakning av formbröd med mikrovågor i kombination med varmluft blev energiåtgången cirka 80 % av vad den var vid traditionell bakning. Bakningstiden kunde minskas från 18 minuter till cirka 10 minuter för ett vitt formbröd.

Motsvarande resultat för portionsbröd pekar i samma riktning: vid bakning av *ett* hamburgerbröd i liten skala kunde bakningstiden minskas med cirka hälften (från 5 min 30 s till cirka 3 min eller mindre) och energiåtgången minskade på motsvarande sätt. För hamburgerbröd blir dock energi- och tidsvinsten större vid bakning av flera hamburgerbröd åt gången, vilket är aktuellt vid industriell bakning.

### Slutsatser

Det finns stora energivinster att göra genom att optimera processen vid bakning av bröd. Sådana justeringar kan dels bestå av ändringar i processinställningar i en befintlig process, men framför allt av att införa alternativa tekniker för värmning (mikrovågs- och infrarödteknik) i bakaingsprocessen. Vid kombinationsbakning kan exempelvis mikrovågor och infrarödstrålning kombineras, men det finns även andra kombinationer som är tänkbara (såsom mikrovågor i kombination med konvektion etc.). Resultatet blir kortare bakningstider och minskad energiåtgång. För att få god kvalitet på produkten behöver processen ställas in (t ex så att man får god färgsättning, textur, smak etc.). För formbröd blev fördelarna störst när mikrovågor och IR kombinerades: energiåtgången kunde minskas till mindre än hälften och bakningstiden till cirka en tredjedel, jämfört med vid traditionell bakning.



**Huvudkontor/Head Office:**

SIK, Box 5401, SE-402 29 Göteborg, Sweden.

Telephone: +46 (0)10 516 66 00, fax: +46 (0)31 83 37 82.

**Regionkontor/Regional Offices:**

SIK, Ideon, SE-223 70 Lund, Sweden.

Telephone: +46 (0)10 516 66 00.

SIK, Forslunda 1, SE-905 91 Umeå, Sweden.

Telephone: +46 (0)10 516 66 00.

SIK, c/o Almi, Box 1224, SE-581 12 Linköping, Sweden.

Telephone: +46 (0)10 516 66 00.

**[www.sik.se](http://www.sik.se)**