SVENSKA INSTITUTET FÖR KONSERVERINGSFORSKNING, GÖTEBORG

SIK - Rapport

1961 Nr 95

Högfrekvensupptining av livsmedel

En litteratursammanställning

av

Nils Bengtsson

Högfrekvensupptining av livsmedel

En litteratursammanställning

av

Nils Bengtsson
Svenska Institutet för Konserveringsforskning

Bakgrund

Ett forskningsarbete med syfte att undersöka möjligheterna att industriellt tina upp frysta livsmedel med högfrekvensenergi har nyligen påbörjats. Som förberedelse till detta arbete har gjorts en genomgång av litteraturen rörande högfrekvensuppvärmning av livsmedel, varav de arbeten som speciellt behandlar upptining av frysta livsmedel sammanställts i denna rapport.

De flesta i sammanställningen upptagna arbetena behandlar upptining inom frekvensområdet 1-50 megacykler. Beträffande det s.k. mikrovågsområdet, d.v.s. ca 900-2500 megacykler, har inga redogörelser för renodlade upptiningsförsök påträffats utan endast matlagningsförsök med frysta eller färska, råa eller färdiglagade livsmedel i små, slutna ugnar. Då sådana försök knappast ger någon ledning för upptining i industriell skala, har de här refererats mycket summariskt.

Sammanställningen kan ej heller i övrigt göra anspråk på att vara fullständig, då litteraturen på området är mycket svåröverskådlig och ofullständigt täckt av gängse referattidskrifter.

Sammanfattning och kommentarer

Möjligheterna att utnyttja uppvärmningen i ett högfrekvensfält för snabb och jämn upptining av frysta livsmedel började uppmärksammas efter andra världskrigets slut, först i USA och något senare i Västeuropa och Sovjet. Intresset inriktades på möjligheterna till industriell upptining i stora enheter samt till upptining (och tillagning) av frysta maträtter i storkök, restauranter etc. Däremot har något egentligt intresse för användning i hemmen ej lagts i dagen, troligen på grund av de höga kostnaderna för den nödvändiga elektriska apparaturen.

Under åren 1945-1954 publicerades en rad redogörelser för arbeten med dielektrisk upptining av kött, fisk, ägg, frukt, bär, grönsaker samt bröd (1-3, 6-14, 16-18), medan på senare år betydligt färre arbeten publicerats som behandlar området (4, 5, 15, 19, 20). I allmänhet rapporteras tekniskt lovande resultat som kan sammanfattas sålunda:

1. Upptiningstider reduceras enligt uppgift mycket kraftigt jämfört med konventionella metoder. Tiderna räknas i minuter istället för timmar eller t.o.m. dagar.

2. Genom den reducerade upptiningstiden undvikes den kvalitetsförsämring som är ofrånkomlig vid de långsamma, konventionella metoderna med successiv uppvärmning från ytan.

3. Förutsättningar skapas för kontinuerlig upptining i direkt anslutning till vidarebehandlingen.

Reservationer saknas dock ej:

1. Apparatkostnaderna är höga, och apparaturen fordrar kvalificerad personal för skötsel och underhåll.

2. Energikostnaden är relativt hög.

3. Inhomogeniteter i materialet kan orsaka selektiv uppvärmning med lokaliserade överhettningar som resultat, såvida ej speciella åtgärder vidtas beträffande effekttäthet, elektrodutformning, kontinuerlig rörelse hos materialet etc.

4. Möjligheterna till effektiv upptining begränsas av förpackningsmaterialets elektriska egenskaper och varans geometriska form.

Beträffande direkt tillämpning av vunna erfarenheter i industriell skala är mycket litet publicerat. Enligt ryska och östeuropeiska uppgifter (bl.a. 5) skulle dielektrisk upptining användas kommersiellt i Sovjet sedan en längre tid. Även i västeuropeiska och amerikanska tidskrifter (3, 8, 19) antyds industriell användning. På det hela taget verkar det emellertid som om någon egentlig industriell användning ej kommit till stånd ännu, trots en rad lovande försök. Anledningarna härtill samt till den relativa tystnaden på området fram till allra senaste tiden är troligen följande:

a) Dels har kostnaderna för anskaffning, drift och underhåll verkat avskräckande höga, och dels har tillförlitligheten hos tillgängliga apparaturer (generatorer, rör) ej varit fullt tillfredsställande.

b) Man har ej ansett, att kvalitetsvinst och tidsvinst motsvarade kostnadsökningen.

c) Man har hyst en viss rädsla för det nya förfarandet med dess behov av relativt invecklad elektrisk apparatur.

d) Man har haft svårigheter att ge livsmedlet en någorlunda väl definierad rektangulär form med begränsad tjocklek.

e) Man har i viss utsträckning kunnat förbättra konventionella metoder.

Förutsättningarna för en ekonomisk användning av högfrekvensenergi för upptining i industriell skala torde emellertid numera ha betydligt förbättrats genom den snabba utvecklingen på elektronikområdet samt den allmänna tendensen mot rationalisering och automatisering inom livsmedelsindustrin, den ökade användningen av djupfrysning för mellanlagring av råvaror samt höjda kvalitetskrav.

De lyckade försök med upptining av fisk som nyligen rapporterats av Torry Research Station (4) har även omfattats med mycket stort intresse av den engelska livsmedelsindustrin och elektronikindustrin. Anläggningar för upptining av fisk i stor skala har projekterats och en anläggning på ca 1 ton fisk per timme är under uppförande. Även i vårt land finns för närvarande ett aktivt intresse för möjligheterna att snabbupptina livsmedel med högfrekvens, främst fisk och styckat kött, vilket kommit till uttryck i det pågående forskningsarbetet vid SIK på detta område.

Försöksdata från de rapporterade arbetena har sammanställts i bifogade tabell och diagram (sid. 14 - 15). En litteraturlista återfinnes på sid. 16.

I. Upptining av olika livsmedel med högfrekvens (1-50 megacykler)

A. Kött

1. F.E. Satchell et al. (1) redovisade år 1951 lovande försök utförda vid American Meat Institute med upptining av sidfläsk (pork bellies). Vid dessa försök användes en 15 kW RCA oscillator inom frekvensområdet 2,5-10 MC.

Med hjälp av en speciellt utformad spiralelektrod av halvtums kopparrör och med ungefär 2 tum mindre diameter än köttstyckets bredd kunde 6 lb stycken upptinas på ca 30 sekunder från 10°F till 40-45°F.

Flera stycken lagda ovanpå varandra kunde också tinas upp framgångsrikt, förutsatt att de lades skinn mot kött och ej kött mot kött. Som jämförelse kan nämnas att konventionella metoder för upptining fordrar 12-16 timmar, varunder mikroorganismer och enzymer har tillfälle att utöva en förstörande verkan.

Sidfläsk är ett inhomogent material med omväxlande magra och feta partier. Man skulle därför vänta sig mycket ojämn uppvärmning i ett HF-fält beroende på skillnaderna i dielektriska egenskaper. Detta var också fallet, när man använde vanliga plana elektroder. Ojämn godstjocklek med åtföljande luftgap orsakade också svårigheter. Efter försök med en rad alternativa former fann man, att en kombination av plattelektrod och en spiralformad, fjädrande elektrod samt vätning av köttstycket med varmt vatten, innan det läggs mellan elektroderna, gav det bästa resultatet med temperaturvariationer i det upptinade materialet på endast ca 10°F. Den nödvändiga energimängden för att tina upp 100 lb vara från 10°F till 40°F skulle, baserat på erhållna resultat, utgöra omkring 3,4 kWh för en vara med sammansättningen 52 % fett, 8 % protein, 30 % H_2O, 10 % övrigt vid en generatorverkningsgrad på 50 %.

Som en betydligt större nackdel för industriell användning än energikostnaden framhålls den relativt begränsade kapaciteten med tillgängliga generatorer. Med en 15 kW generator kan högst 800 lb tinas upp per timme.

2. J.W. Cable (2) omnämner i sin bok i förbigående, att fryst kött kan upptinas mellan enkla, plana elektroder.

3. V.W. Sherman (3) omnämner i förbigående lyckade försök med dielektrisk upptining av kyckling.

B. Fisk

1. A.C. Jason och H.R. Sanders vid Torry Research Station, Aberdeen, redogjorde vid Internationella kylkongressen i Köpenhamn 1959 för lovande försök med dielektrisk upptining av fisk och sill. De använde vid sina försök en 40 MC generator på 6 kW utgående max. effekt. Försök gjordes dels stationärt mellan plana elektroder och dels på ett löpande band mellan elektroderna. Eftersom både dielektricitetskonstant och förlustfaktor ökar med temperaturen i det aktuella temperaturområdet, väntar man sig instabila förhållanden med selektiv uppvärmning av vissa partier och

åtföljande lokal överhettning. Detta var fallet i de stationära försöken, speciellt vid fiskblockskanter och elektrodkanterna samt i kaviteter och andra oregelbundenheter. I försöken med upptining på ett transportband erhölls däremot vid lämplig hastighet jämn och snabb upptining utan överhettning, så länge effekten hölls under ett visst maximivärde. Detta maximivärde befanns variera med fiskslag och var betydligt högre för sill än för vitfisk.

En tabell visades innehållande data för de olika fiskslagen beträffande upptiningstid, kritisk effektkoncentration (kW/kg) samt total absorberad energi, vid olika provstorlekar, bandhastigheter och förpackningsmetoder. För sill tycks effektbehovet inom vissa gränser vara oberoende av blockform och lika stort, vare sig man filéar eller ej, samt vare sig man behandlar sillen lös eller i förpackning. Torskfilé tinades i försöken på 50 min. vid en energiförbrukning på 0,08 kWh/kg, medan sill tinades på 13 min. vid en energiförbrukning på 0,057 kWh/kg.

Författarna anser, att ett definitivt behov föreligger av en snabbupptiningsmetod i samband med mellanlagring av fryst fisk. Nuvarande metoder har flera uppenbara nackdelar: lång tid för upptining (upp till 20 timmar) med åtföljande bakteriologiska och enzymatiska förändringar, behov av stora utrymmen samt höga hanteringskostnader. Dessutom tillkommer förluster genom mekaniska skador vid hantering av ofullständigt tinad fisk. Vid upptining i vattentank tillkommer risk för "water logging" och urlakning av proteiner.

Med dielektrisk uppvärmning erhölls betydligt snabbare upptining än med någon annan användbar metod. Förutom konventionella metoder med upptining i luft eller vatten har författarna också prövat infrarödstrålning samt uppvärmning med nätfrekvens. Med de sistnämnda metoderna kunde lokaliserade överhettningar ej undvikas.

Författarna redogör ganska detaljerat för de teoretiska principerna för dielektrisk upptining och uppställer bl.a. följande formel för temperaturförloppet:

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{\varepsilon \cdot f \cdot Ep^2}{18 \cdot 10^{11} \cdot \rho \cdot \frac{dH}{d\theta} \cdot Q \cdot d_s^2 \left[\left(\frac{d_a}{d_s} \cdot \frac{\varepsilon}{Q}\right)^2 + \left(\frac{d_a}{d_s} \cdot \varepsilon + 1\right)^2\right]}$$

där dielektricitetskonstanten $\varepsilon = \phi_2 \ (f, \theta)$

θ = temperatur
t = tid
$Q = (tg\,\delta)^{-1} = \phi_3 \ (f, \theta)$
dH = enthalpiändringen
d_s = materialtjockleken
d_a = luftgapet
f = frekvens
Ep = spänning
ρ = täthet
δ = förlustvinkel

Beträffande kostnaderna för industriell tillämpning uppskattade man dessa till ca 2 öre/kg vid kapaciteter av storleksordningen 1 ton/h. Som redan nämnts har industriell tillämpning redan blivit aktuell i England.

Sedan försöken vid Torry rapporterades i Köpenhamn har arbetet fortsatts med bl.a. upptining i större block och med andra fisktyper, med enligt uppgift goda resultat. En mera utförlig rapport över försöksverksamheten kan troligen väntas inom den närmaste tiden.

2. I Rybnoje Chosjaistwo (5) omnämnes ganska kortfattat i ett referat (från en konferens i Astrakan) en kommersiell anläggning för upptining av fryst fisk med högfrekvens. Det angavs, att "tillämpning av detta billiga och snabba upptiningssätt bidrar till en förbättring av den upptinade fiskens kvalitet". Det angavs, att år 1960 en ny HF-anläggning för upptining av fisk, med en kapacitet på 48 centner(?) skall tagas i bruk. En sådan anläggning säges ha konstruerats på annat håll i Sovjetunionen.

3. Cathcart och Parker (6) gjorde försök med upptining av fisk i 1 lb förpackningar med hjälp av en 4,6 kW 15-17 MC generator. Upptiningstider på 10 min. rapporterades.

C. Ägg

1. Dielektrisk upptining av ägg behandlas i arbeten av W.H. Cathcart (6, 7), som publicerades 1946.

I Food Industry (7) redogjorde Cathcart för jämförande försök mellan dielektrisk upptining av frysta ägg (gula + vita samt sockrad gula och vita var för sig) och upptining enligt fem olika praktiskt använda metoder bl.a. upptining i luft vid rumstemperatur och vid 45°F samt i behållare under rinnande vatten. Vid undersökningen användes en Megatherm elektronugn på ca 5 kW ineffekt och frekvens 15 MC.

Med de konventionella metoderna varierade upptiningstiden mellan 7 tim. och 63 tim. för en 30 lb förpackning med en stegring i bakterietal på mellan 40 % och 1000 %, medan man med HF kunde tina upp på 15 - 30 min. med mycket lågt resulterande bakterietal. (Anm.: Författaren redogör ej för hur jämförelsetalet för bakteriehalt bestämdes.) Han anger följande fördelar med HF-uppvärmning:

1. Inga förluster genom förstöring under upptining.
2. Utrymme sparas.
3. Man behöver endast tina upp vad som omedelbart skall användas.

Frysta, hela ägg (gula + vita) var svåra att tina upp, medan gula eller vita var för sig icke gav svårigheter. Med hela ägg uppträdde en yteffekt med kokning på utsidan och bristande upptining inuti. Detta kunde förhindras genom att man sänkte effekten och ökade upptiningstiden.

Upptiningsförsök gjordes både i pappkartonger och utan emballage. Med 20 lb förpackningar fick man alltid en obetydlig kokningseffekt nära kartongväggarna, enär dessa värmdes snabbare än äggen.

När äggen tinas utan emballage, är elektrodutformningen mycket viktig. Den måste vara sådan att den upptinade äggmassan kan rinna undan. Med lämpliga elektroder kan ett 20 lb block tinas på 15 min. mot 30 min., när det tinas upp i förpackningen.

I Food Research (6) redogör Cathcart och Parker för en del tidigare försök med dielektrisk upptining av ägg i 1 lb och 5 lb förpackningar med en 5 kW generator på 15 MC. Tid-temperatur-förloppet samt effektförbrukningen redovisas i tabellform. I dessa försök värmdes vitan märkbart långsammare än gula eller hela ägg.

Författarna anser, att kommersiell upptining är ett problem, särskilt i 30 lb eller 55 gallon förpackningar. Upptiningen är tidsödande och kvalitetsförstörande. De anser, att dielektrisk uppvärmning bör kunna med framgång lösa problemen, förutsatt att man har rektangulära förpackningar med max. $2\frac{1}{2}$ - 3 tums höjd. För kommersiell användning tänker man sig upptining kontinuerligt på ett band.

D. Frukt - Bär

1. Cathcart och Parker undersökte också dielektrisk upptining av frukt och bär (6, 7).

I artikeln i Food Industry (7) uppges, att försök gjorts med en mängd olika frysta frukter och bär med god framgång. Enheter på 1-30 lb i olika rektangulära former tinades dels i kartonger dels utan förpackning. 1 lb tinades upp på 1 min., medan 30 lb tog 15 min. i kartong. Bär med lag tinades i regel snabbare än bär utan lag.

Man fann, att uppvärmningen går snabbast i början men sjunker, då den fasta varan går över i flytande form med motsvarande sänkning i effekttillförseln. Smältningen går snabbast i gränsskikten. Ur praktisk synpunkt är det därför önskvärt att använda dielektrisk värme för att bryta ner block i mindre stycken, men inte för att smälta all is eller höja temperaturen på den tinade massan.

I Food Research (6) redogöres för försök med upptining av 30 lb paket med frysta aprikoser och persikor. På 15 min. erhölls tillfredsställande upptining. I tabeller ges värden för uppvärmningsförlopp och effektförbrukning.

2. J.W. Cable (2) behandlar tillämpning av dielektrisk uppvärmning för upptining av vid rumstemperatur flytande eller halvflytande livsmedel, främst bär. Cable tror inte, att upptining med HF kan bli av någon betydelse i hemmen, medan däremot användning inom t.ex. glass- eller bageribranschen för upptining av stora block frysta livsmedel kan få stor betydelse på grund av stora tidsvinster med åtföljande kvalitetsförbättring.

Det konventionella förfarandet anges vara att man placerar block på 30, 50 eller 100 lb i tråg och värmer med ångslingor vid en temperatur något över rumstemperatur. Med jämna mellanrum tappar man av den upptinade varan. Tider på upp till 3 dygn erfordras med åtföljande förändringar i färg och smak. Med HF kunde 50 lb block med jordgubbar tinas upp på 17 min. mot normalt 24 tim.

Cable redogör för försök med frukt i block med olika elektrodtyper. Plattelektroder visade sig olämpliga för varor som rinner efter upptining, bl.a. därför att fyllningen mellan elektroderna och därmed effekten sjunker vid avrinning. Istället konstruerades en elektrodutformning bestående av fingerelektroder i form av en nästan cylindrisk tratt, genom vilken blocken kontinuerligt kan matas för upptining. Försök gjordes inte med andra livsmedel, men Cable anser att ägg, grädde etc. skulle kunna tinas upp på samma sätt.

3. H.M. Hofer (8) ger i korthet några exempel på praktisk användning inom industrin av HF-energi för upptining. Ett fotografi visar en amerikansk anläggning för diskontinuerlig upptining av block av frysta fruktkonserver.

4. J. Gutschmidt (9) redogör för försök med dielektrisk upptining av hallon, persikor, körsbär, fruktsafter, meloner och tomater med hjälp av en 400 watt generator för 50 MC.

Bären tinades med och utan sockerlag i normalförpackningar med dimensionerna 16 x 10 x 5 cm. För jämförelse tinades också vid rumstemperatur, vid 30-35°C samt i kylskåp. I en tabell jämföres upptining av persikor och tomater medelst HF med upptining vid rumstemperatur. 400 g av en persikoinläggning tinades på 10 min. mot 5 tim. vid rumstemperatur och 60 g tomater tinades på 4 min. mot 3 tim. normalt.

Stora ojämnheter (på upp till 90°C) i uppvärmningen konstaterades, vilka dock ej tycktes menligt påverka kvaliteten. Vid en kvalitetsbedömning befanns den HF-tinade frukten vara klart överlägsen frukt upptinad på annat sätt.

Gutschmidt behandlar även teorin för dielektrisk uppvärmning, bl.a. för att förklara orsakerna till ojämnhet i uppvärmning av inhomogena material eller vid ändring i aggregationstillstånd.

Han går också in på kostnadsberäkningar, som baseras på tidigare amerikanska erfarenheter. Hans slutsats är att HF knappast kan komma ifråga för upptining i hemmen men däremot för storhushåll och liknande.

5. V.W. Sherman (3) (chef för Sherman Industrial Electronics Co.) nämner 1950 i ett populärt hållet föredrag upptining bland framgångsrika applikationer för HF. Försök nämnes med upptining av 30 lb block av jordgubbar och krusbär (13 MC, 3 kW) på några minuter jämfört med 4 tim. med varmvatten eller flera dagar med luft av rumstemperatur. Vidare nämnes att man på basis av dessa försök konstruerade en 25 kW upptiningsanläggning för att hantera tunnor med frysta livsmedel med en kapacitet på 750 - 1000 lb/tim.

Speciellt angeläget anges behovet av snabba upptiningsmetoder vara för bagerier och glassfabriker. Som exempel på vilka kvantiteter det rör sig om nämns, att ett stort bageri kan behöva tina upp 10.000 lb per dag, en glassfabrik kanske 40 - 50 tunnor frusen frukt per dag.

Sherman hänvisar vidare till lyckade försök med upptining av fryst bröd, ägg och kyckling.

En del tekniska data, tabeller etc. ges, som belyser anläggnings- och underhållskostnader, uppvärmningsförloppet för några livsmedel samt den elektriska förlustfaktorns värde för olika livsmedel inom frekvensområdet 5 - 30 MC.

För att reducera effektbehov och anläggningskostnad föreslås att man nöjer sig med upptiningstider på 30 - 40 min. Vidare påpekas, att man inom megacykel-området vinner mycket litet på att gå upp med frekvensen, såvida man inte nödvändigt behöver sänka spänningen. Vid stigande frekvens blir nämligen apparatkostnaderna högre och verkningsgrad och kapacitet lägre.

E. Grönsaker

1. T.L. Swenson (10) rapporterade 1946 försök med bl.a. dielektrisk upptining av frukt och grönsaker frysta i 1 lb block. Han uppger, att ärter tinades upp minst 30 ggr så fort som vid vanlig upptining vid 28°C, och anser, att detta antyder betydande möjligheter för bl.a. industriell användning av HF för upptining av halvfabrikat, eftersom man då kommer ifrån kvalitetsförsämringen vid nuvarande långvariga upptiningsmetoder. Det understrykes, att försöken endast varit av preliminär natur, och att mycken forskning återstår, innan el-ingenjörerna kan ta vid, bl.a. bestämningar av livsmedels dielektriska egenskaper.

2. Brown och Hoyler (11) anger i sin bok 1947, att snabb upptining av frysta grönsaker och kött är möjlig med HF-värme. Användbarhet förutses industriellt men ej i hemmen på grund av de höga kostnaderna. Brown och Hoyler studerade de dielektriska egenskaperna hos ett rektangulärt spenatblock i arbetskretsen. Med Q-mätare bestämdes effektfaktorn vid olika frekvenser i området 1,5 - 200 MC och vid -32°C, -7°C och +20°C. En tendens finns till gynnsammare resultat vid högre frekvenser. En annan tabell visar hur effektfaktorn vid given frekvens successivt stiger vid uppvärmning.

F. Bröd

1. P. Homardinquer (12) antyder i en sammanfattande artikel 1953 om användning av HF i livsmedelsindustrin, att bröd kan frysas och förvaras upp till 2 veckor och snabbupptinas med HF på 75 sek. med det färska brödets kvalitetsegenskaper bibehållna. Detta omnäms också av Sherman i hans tidigare nämnda artikel i Food Industries.

II. Upptining av livsmedel med ultrahögfrekvens eller mikrovåg (900-2500 MC)

1. P.W. Horse och H.E. Revercomb (16) redogör för problem och försök i samband med utveckling av en mikrovågsugn avsedd för stationär upptining och tillagning av maträtter vid 1050 megacykler. Enligt författarna är det en stor fördel med den höga frekvensen att spänningen kan sänkas med mindre tendens till överslag mellan olika delar av livsmedlen. Däremot ökas svårigheterna med lokala överhettningar i materialet. Man måste fördenskull begränsa tillförd effekt.

Som i övriga arbeten på mikrovågsområdet särskiljer man inte upptiningsförlopp och uppvärmningsförlopp, utan maten tillagas direkt från fryst vara utan uppehåll. Förloppet tog ca 70 sekunder från djupfryst till ätvarmt. Författarna framhåller de stora skillnaderna i dielektriska egenskaper mellan fryst och tinad vara, vilket belyses med tabellerade värden på dielektricitetskonstant och förlustvinkel för bl.a. biff, fläskkött och potatis.

I den beskrivna ugnen kan endast ett fåtal portioner värmas samtidigt och endast stationärt.

2. Marion Bollman et al. (21) jämförde tillagning av frysta livsmedel i mikrovågsugn respektive vanlig el-spis. Man rapporterar bl.a. att särskilda försiktighetsåtgärder var nödvändiga beträffande skiktningen av skivor eller stycken av t.ex. kött och grönsaker för att undvika ojämn uppvärmning i mikrovågsugnen.

3. Faith Fenton (22) nämner bl.a. att upptiningen i mikrovågsugn sker så snabbt att tillfällena för bakterietillväxt starkt begränsas. En 5 kg kalkon kunde tinas upp på en timme jämfört med 24 tim. eller mera vid tining i kylskåpstemperatur.

Eftersom mikrovågorna absorberas starkare av vatten än av is, rekommenderas avbrott i uppvärmningen för temperaturutjämning. Liksom i övriga rapporterade försök med mikrovågsuppvärmning rör det sig om stationär värmning.

III. Apparatur. Beräkning av effekt och energibehov samt kostnader

1. Apparatur

För kontinuerlig uppvärmning av livsmedel med högfrekvens finns för närvarande apparatur tillgänglig för frekvenser upp till 80 megacykler och i enheter om upp till 15 - 25 kW, vilka kan ordnas efter varandra till önskad total effekt och förses med bandmatning. Tjockleken på det genommatade livsmedelspartiet kan härvid i allmänhet uppgå till 10 cm.

För ultrahögfrekvens eller mikrovåg (900 megacykler och däröver) har tills helt nyligen endast funnits möjlighet att framställa små, slutna ugnsenheter på ca 2 - 4 kW, som endast medger stationär värmning av livsmedel i tunna skikt. I regel används sådana ugnar i barer o.d. för snabbuppvärmning av kylförvarade färdiglagade rätter, men även för uppvärmning direkt från fryst till ätvarmt tillstånd.

Emellertid pågår f.n. utvecklingsarbete på skilda håll för att få fram större, kontinuerligt matade aggregat som skulle kunna användas för värmning även i industriell skala. Aggregat på 50 kW uppges nu ligga inom det möjligas gräns. Man får emellertid tills vidare räkna med betydligt högre kostnader för sådana mikrovågsaggregat än för högfrekvensaggregat av konventionell typ. En kontinuerlig mikrovågsugn på 10 kW effekt som per timme värmer 150 - 200 portioner djupfryst, färdiglagad mat har försöksinstallerats på en restaurang i Rotterdam (23).

I detta sammanhang bör påpekas att verkningssättet är väsentligt olika för en mikrovågsugn och en vanlig högfrekvensugn. I det senare fallet placeras livsmedlet mellan två elektroder över vilka man lägger ett högfrekvent växelfält, i det förra fallet utstrålas effekten från en antenn i ett slutet ugnsutrymme och absorberas av det i utrymmet placerade livsmedlet.

Effektbehov - energibehov

Cable (2) approximerade effektbehovet för upptining genom att använda 0,40 som ett medelvärde på specifika värmet för frysta livsmedel, beräkna smältvärmet som vattenhalten i varan ggr vattnets smältvärme samt använda en säkerhetsfaktor på ca 1,4.

Gutschmidt (9) beräknar effektbehovet enligt formeln:

$$N = \frac{G\,(Cg \cdot \Delta\vartheta_g + Ca \cdot \Delta\vartheta_a + x \cdot r_{sm})}{0{,}239} \text{ kW}$$

G = kg livsmedel/sekund

Cg = spec. värmet för livsmedlet under fryspunkten

Ca = spec. värmet för livsmedlet över fryspunkten

$\Delta\vartheta_g$ = temperaturstegringen upp till fryspunkten

$\Delta\vartheta_a$ = temperaturstegringen över fryspunkten

r_{sm} = isens smältvärme kcal/kg

x = livsmedlets vattenhalt

Eftersom generatorverkningsgraden normalt ligger på ca 50 %, multipliceras N med 2 för att få totala ingående effektbehovet. Cg och Ca anges för frukt vara 0,45 kcal/kg och 0,9 kcal/kg respektive.

Brown, Hoyler och Bierwirth (11) anger en approximativ formel för livsmedel med hög vattenhalt:

Energibehovet (wattsekunder/lb) = $950\ u_1 + 151\ 500 + 1900\ u_2$

där u_1 = begynnelsetemperaturens numeriska värde i ^oC

u_2 = sluttemperaturens numeriska värde i ^oC

T.P. Kinn (13) presenterar logdiagram för snabb uppskattning av effektbehovet, uttryckt som utgående generatoreffekt, vid upptining och uppvärmning av material med olika värmekapacitet.

Generatorkostnader och driftskostnader

A.C. Jason (4) uppskattade totalkostnaderna per kg tinad fisk till ca 2 öre/kg vid en kapacitet av ca ett ton per timme. Motsvarande siffror anges även av de engelska elektroniktillverkare som lanserat förfarandet. Dessa uppskattningar hänför sig troligen till väldefinierade försök samt kännedom om verkliga apparatkostnader samt installations- och underhållskostnader. Det bör understrykas att de hänför sig till upptining av fisk samt att olika livsmedel visar så stora skillnader i bl.a. dielektriska egenskaper att man ej med ledning av siffrorna kan göra någon säker uppskattning beträffande kostnaderna för tining av t.ex. kött.

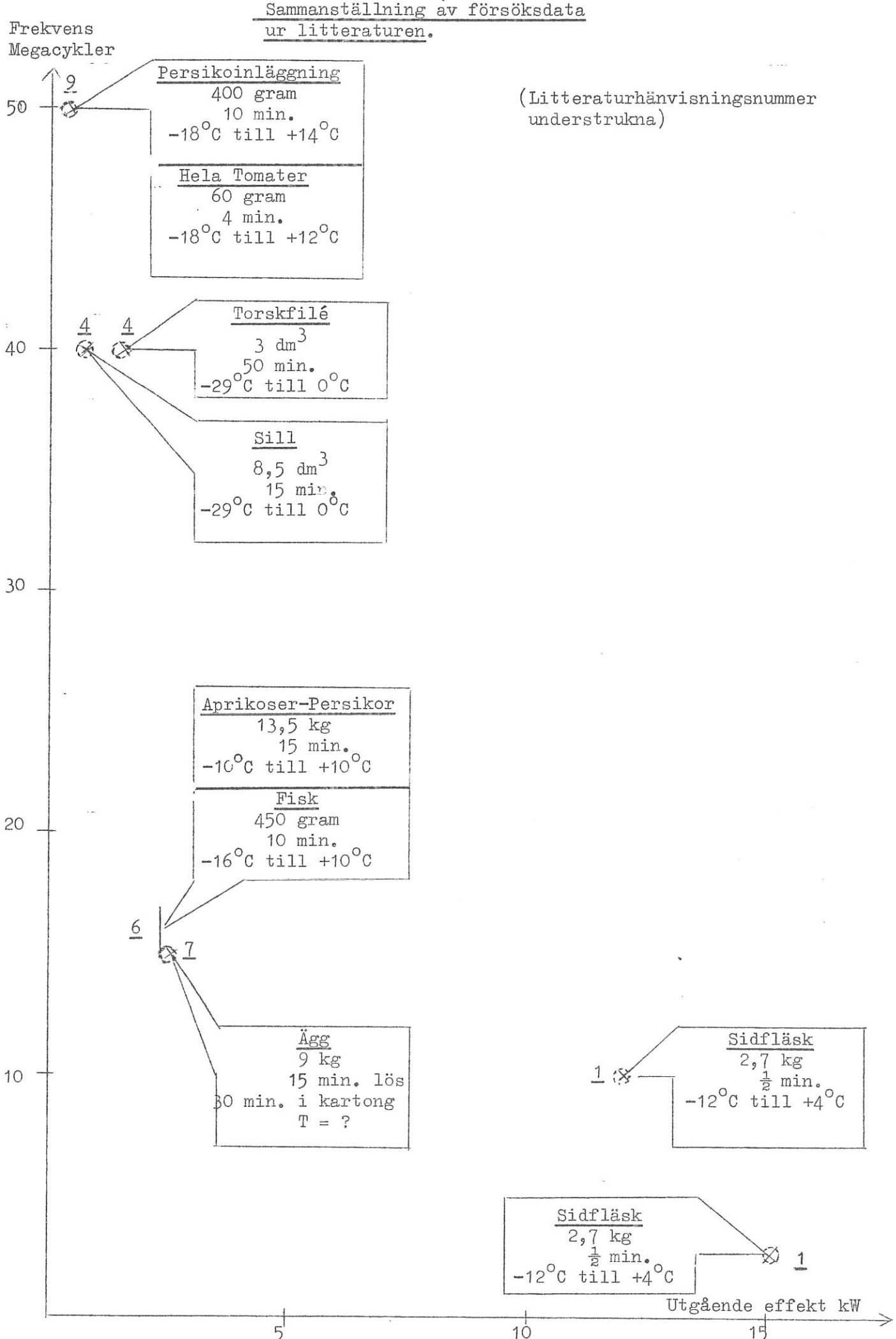
V.W. Sherman (3) presenterar diagram över inköpspris som funktion av utgående effekt för HF-generatorer samt över användningskostnad, effektkostnad, amorteringskostnad, rör- och underhållskostnader vid olika utgångseffekt.

T.P. Kinn (13) ger diagram och tabeller för fullständig kostnadsberäkning av HF-anläggningar omfattande bl.a. användningskostnaden för olika generatoreffekter, kostnaden för tillbehör (elektrodanordningar, transporter m.m.), golvutrymme etc.

Sammanställning av försöksdata samt tekniska generatordata ur i litteraturförteckningen angivna arbeten

Litt. anvisn.	Försöksdata					Tekniska generatordata					Energi-förbrukning	Uppskattad total kostnad vid industriell tillämpning
	Livsmedel	Mängd	Upptin. tid	Temp. intervall Från	Till	Typ	Effekt In	Effekt Ut	Verkn. grad	Frekvens		
1	Sidfläsk (Pork bellies)	2,7 kg (6 lb)	30 sek.	-12°C	+4°C	RCA oscillator		Full 15 kW	50 %	2,5 MC	3,5 kWh / 100 lb	5,7 kr/ton
								Full 12,5 kW	50 %	10 MC		
2	Jordgubbar	23 kg (50 lb)	17 min.									
4	Torskfilé	3 dm³	50 min.	-29°C	0°C		Märk-effekt 6 kW	Krit. 0,75 kW		40 MC	0,08 kWh / kg	
	Sill	8,4 dm³	13 min.	-29°C	0°C			Krit. 1,5 kW		40 MC	0,057 kWh / kg	
6	Aprikoser Porsikor	13,5 kg (30 lb)	15 min.	15°F	50°F	Troligen Megatherm Elektr. ugn	Full 4,6 kW			15-17 MC		
	Fisk	0,45 kg (1 lb)	10 min.	2°F	50°F	"	"			"		
7	Ägg	9 kg (20 lb) lös vara i kart.	15 min. 30 min.			Megatherm fr.Fed. Tel. & Radio	Full 5 kW			15 MC		
9	Persiko-inläggn.	400 g	10 min.	-18°C	+14°C	Ultratherm Siemens		400 W	50 %	50 MC		0,65 kr/kWh
	Tomater	60 g	4 min.	-18°C	+12°C							
10	Ärtor	450 g	5 min.	-14°	0°C							

Sammanställning av försöksdata ur litteraturen.



(Litteraturhänvisningsnummer understrukna)

Litteraturförteckning

1. Satchell, F.E. et al.
High Frequency Dielectric Heating for Defrosting Frozen Pork Bellies.
Am. Meat Inst. Found., Chicago, Bull. No. 12, 1951.

2. Cable, J.W.
Induction and Dielectric Heating, 1954 (p. 367-371, 480-483, 490-500, 507-508).
N.Y., 576 p.

3. Sherman, V.W.
Electronic Heat in the Food Industries.
Food Ind. 18(1946):4, p. 506-509, 628, 630.

4. Jason, A.C., Sanders, H.R.
Dielectric Thawing of Fish.
Proc. 10th Intern. Congress of Refrigeration, Copenhagen, Vol. 3, 1960, p. 19-25 (Pergamon Press, N.Y. Tryckort: Köpenhamn).

5. Referat av konferens i Astrakan
Rybnoje Chosjaistwo 35 (1959):12, p. 82-84.

6. Cathcart, W.H., Parker, J.J.
Defrosting Frozen Foods by HF-heat.
Food Research 11(1946), p. 341-344.

7. Cathcart, W.H.
Frozen Food Defrosted by Electronic Heat.
Food Ind. 18(1946):10, p. 1524-25.

8. Hofer, H.M.
Einige Beispiele der praktischen Anwendung von HF-Heizung in verschiedenen Gebieten industrieller Produktion.
Elektrizitätsverwertung 21(1946/47):11/12, p. 246-249.

9. Gutschmidt, J.
Das Auftauen von Gefrierprodukten durch HF-Erwärmung.
Die Kältetechnik 2(1950):8, p. 190-192.

10. Swenson, T.L.
Research on Agricultural Products.
The Scientific Monthly, 62(1946), p. 525-537.

11. Brown, G.H., Hoyler, C.N. & Bierwirth, R.A.
Theory and Application of Radio-Frequency Heating, 1947, kap. 24.
(van Nostrand, N.Y., 370 p.)

12. Hemardinquer, P.
Le traitement Electronique des Produits Alimentaires.
Electronique (1953):76, p. 11-16.

13. Kinn, T.P.
These Charts Quickly Analyse Dielectric Heating.
Food Ind. 21(1949):2, p. 74-75.

14. Vore, M.P.
New possibilities in dielectrics.
Food Packer 31(1950):2, p. 27-28.

15. Saint-Raymond & Wait, Ch.
Essais d'application du chauffage diélectrique à l'industrie des produits alimentaires.
3. Congrès Intern. d'Electrothermie 1956, Sect. 4, No. 425, p. 895-900. (Paris, Tome 1-2, 689+867 p.)

16. Morse, Ph.W. & Revercomb, H.E.
UHF Heating of Frozen Foods.
Electronics 20(1947):10, p. 85-89.

17. Swenson, T.L.
Electronics in the Food Industry.
Electronics 20(1947):2, p. 206, 208.

18. Bartholomew, J.W.
Utility of HF-heating in the Frozen Food Industry.
Quick Frozen Foods 11(1948):4, p. 59.

19. Siebert, K.
Die Möglichkeiten zur Anwendung der Hochfrequenzenergie in der Lebensmittelindustrie.
Ernährungsforschung 2(1957):2, p. 345-361.

20. Högfrekvensuppvärmning av köttvaror.
Svensk Slakteri och Charkuteritidning 13(1955):7, p. 132, 142.

21. Bollman M. et al.
Application of Electronic Cooking to Large-Scale Feeding.
Journal of Am. Diet. Ass. 24(1948), p. 1041-48.

22. Fenton, F.
Research on Electronic Cooking.
Journal of Home Economics 49 (1957):9, p. 709-716.

23. Skate, B.
Högfrekvensugn värmer mat på löpande band.
Teknisk Tidskrift 90(1960):19, p. 526-527.

24. Cooks Meals quickly.
Electronics 33(1960):24, p. 47.