



STERILISERING AV NÆRINGSMIDLER
MED VARME II
Kompendium i næringsmiddelteknologi
hovedkurs

ved

Kjell Steinsholt

INNLEDNING

I kurset "Næringsmiddelhygiene" har jeg gjennomgått en del prinsipper for beregning av tider for å oppnå bestemte draps-effekter på bakterier og destruksjonsgrader for enzymer og enkelte livsviktige næringsstoff s.s. vitamin B, og lysin ved konstante temperaturer. Beregning av prosesstider for flytende næringsmidler er også gjennomgått. Kompendiet i det nevnte kurs vil da også betraktes som pensum i NT6.

I næringsmiddelteknologien skal vi gå noe nærmere inn på slike beregninger, og vi skal også gå et trinn videre og beregne optimale prosess-tider for halvfaste og faste næringsmidler hvor varmeoverføringa for den alt vesentlige delen foregår ved ledning. Kurset vil også dekke de forskjellige varmeprosesser som nyttes næringsmiddelindustrien: blansjering, pasteurisering, vanlig sterilisering og varmebehandling ved svært høge temperaturer (UTH-behandling).

En stor del av dette stoffet vil bli gjennomgått ved regne-eksempler.

En rekke tabeller og en stor del av formelapparatet er sakset fra engelsk og amerikansk litteratur. Det vil derfor bli en del omregninger fra °C til °F og motsatt.

1. Kort repetering om temperaturens virkning på bakterier, enzymer, næringsstoff osv.

1.1 Destruksjon ved konstant temperatur.

I mange tilfeller kan destruering av bakterier, enzymer, næringsstoff og (muligens også termisk dannelselse av enkelte uønskede stoff) betraktes som en unimolekylær reaksjon eller også en bimolekylær reaksjon av første orden. Dette fører til følgende uttrykk.

$$t = D(\log a - \log b) \quad (1.1)$$

hvor t er tiden ved en bestemt temperatur som er nødvendig for å redusere en utgangsmengde a av en organisme, et enzym eller et stoff til sluttmengden b når det ved samme temperatu

skal en tid D til for å redusere stoffmengden med en logarit-
misk enhet eller sagt med andre ord: 90%. Størrelsen D
kalles naturlig nok: desimalreduksjonstida.

1.2 Sammenhengen mellom desimalreduksjonstider ved forskjellige
temperaturer.

Ofte kan denne sammenhengen beskrives godt nok for praktisk
beregninger ved uttrykket:

$$T_2 - T_1 = (\log D_1 - \log D_2) \cdot Z \quad (1.2)$$

hvor da T_2 og T_1 er to temperaturer og $T_2 > T_1$ og
 D_2 og D_1 er desimalreduksjonstider ved disse temperaturene
Z er en viktig proporsjonalitetsfaktor og defineres som
antall grader som temperaturen må økes med for å gi en redu-
sjon i D-verdien på en logaritmisk enhet, eller 90%

En annen og mye brukt karakteristikk for en reaksjons
temperaturavhengighet er Q_{10} som er et mål for hvor mye
hastigheten av reaksjonen stiger når temperaturen øker med
 10°C . I det første kompendiet har jeg vist at

$$Z = 10 / \log Q_{10} \quad ^{\circ}\text{C} \quad (1.3)$$

1.3 Sterilisering eller destruksjonseenheten, F.

En prosess' destruksjonseffekt blir ofte uttrykt ved
prosessens F-verdi som uten fotskrift betyr antall minutte
ved 121°C (eg. 250°F) som er nødvendig for å oppnå en
bestemt grad av destruksjon.

$$F = D_{121} (\log a - \log b) \quad (1.4)$$

Ved mildere varmeprosesser som f.eks. blanchering eller
pasteurisering, er det som regel mest praktisk å bruke
andre referensetemperaturer. Det antydes ved en fotskrift:

$$F_{65} = D_{65} (\log a - \log b) \quad (1.5)$$

Den Z-verdien som brukes ved beregning av prosessen kan ogs
angis:

$$F_{65}^{10} = D_{65} (\log a - \log b) \quad (1.6)$$

betyr da en prosessetid ved 65°C som vil redusere en stoff- (bakterie) mengde a til b når det kreves en høyning av temperaturen på 10° for å få en reduksjon i desimalreduksjonstida på 90%. Ved en fotskrift på F_1 , kan en også for varmebehandling i bokser beskrive hvor i boksen F-verdien er beregnet.

F_c = ved sentrum av boksen

F_{γ} = ved et bestemt punkt utenfor sentrum

F_s = for hele boksen

1.4 Oppvarmingskurvens og avkjølingskurvens parametre.

Oppvarmingskurven tegnes med tid som abscisse og logaritmen til temperaturdifferensen mellom autoklaven og næringsmiddel som ordinat med logaritmisk skala nedover.

Avkjølingskurven tegnes med tid som abscisse og logaritmen til differensen mellom næringsmiddelets temperatur og avkjølingsvannets temperatur som ordinat.

T_r = autoklavtemperatur, varmemediets temperatur.

T_{ih} = temperatur i næringsmiddelet ved prosessens begynnelse

l = tid fra steamen settes på til autoklaven har nådd steriliseringstemperatur. For flere typer sterilisatorer er $C=0$.

P_t = "operatørens prosessetid" er tiden fra autoklaven har nådd innstilt temperatur til kjølevannet settes på.

$I_h = T_r - T_{ih}$

T_{pih} = krysningpunktet mellom den ekstrapolerte oppvarmingskurvens rettlinjede del og den vertikale linjen som representerer begynnelsen av prosessen.

(tiden 0 eller 0,6 l)

J_h = oppvarmingskurvens nølefase

$$j_h = (T_r - T_{pih}) / (T_r - T_{ih}) = (T_r - T_{pih}) / T_h \quad (1.7)$$

f_h = Antall minutter som det tar for den rette delen av oppvarmingskurven å passere en logaritmisk enhet på temperaturskalaen.

g = differensen mellom autoklavtemperatur og temperaturen i næringsmiddelet ved et hvilket som helst tidspunkt under prosessen.

T_{ic} = temperaturen i næringsmiddelet når kjølevannet settes på.

T_{pic} = kryssingspunkt mellom ^{den} ekstrapolerte avkjølingskurvens rettlinjede del og tidspunktet når kjølevannet settes på.

T_w = avkjølingsvannets temperatur.

J_c = avkjølingskurvens nølefase:

$$J_c = (T_{pic} - T_w) / (T_{ic} - T_w) \quad (1.8)$$

1.5 Beregning av varmeprosessen.

1.5.1 Generell metode.

- A. En beregner nødvendig F-verdi.
- B. Temperaturen måles i næringsmiddelet under de vanlige prosessbetingelsene. Det settes opp temperatur-tids kurve
- C. For en rekke temperaturer beregnes den tida ved referanse temperaturen (ofte 121°C) som i letal virkning tilsvarer 1 minutt ved den bestemte registrerte temperaturen T:

$$D_{121} = L = \text{antilog}((T-121)/z) \quad (1.9)$$

- D. En plotter inn korresponderende verdier av tid(abscisse) og L(ordinat). Utfra denne kurven kan en beregne et integral som svarer til den ønskede F_{121} -verdien.

1.5.2 Matematisk metode.

Prosesstida, B, beregnes etter følgende formel:

$$B = f_h \log((j_h \cdot I_h) / g) \quad (1.10)$$

Utfra en beregnet F-verdi for prosessen regnes denne om

til nødvendig tid ved autoklavtemperatur; U,

$$U = F \cdot F_i$$

Proporsjonalitetsfaktoren F_i beregnes ved

$$F_i = \text{antilog } (250 - T_r) / z \quad (1.11)$$

Utfra tabeller over korresponderende verdier av

f_h/U , z , j_c og g

kan en finne g (eller noen av de andre parametrene om nødvendig). En kan da beregne B under forutsetning av at oppvarmingskurvens faste parametre er kjent.

Andre grunnlag for bestemmelse av letal effekt av varmeprosesser.

Etter å ha gjennomgått et stort og til dels komplekst formelapparat for bestemmelse av optimale varmeprosesser, er det på tide å nevne at de parametrene som er brukt (D , z og F) ikke er de eneste som kan brukes for å beskrive varmeprosesser. Disse enhetene har intet fundament i termodynamikken, og det er da utarbeidet metoder som kanskje gir en bedre forklaring på reaksjonskinetikken under varmepåvirkning. Da slike beskrivelser ofte forekommer i litteraturen, kan det være nyttig å ta med noen fundamentale betraktninger her.

Utgangspunktet er igjen det forholdet at destruksjonen av bakterier (og enzymer og essensielle næringsstoff) ofte er førsteordens reaksjoner enten den nå er uni-eller bimolekulær. Hvis begynnelseskonsentrasjonen av et stoff er C_1 og den etter tiden t har blitt redusert til C_2 , så er reaksjonshastigheten direkte proporsjonal med konsentrasjon til en hver tid: $-\frac{dc}{dt} = k \cdot C$ hvor k er sterkt temperaturavhengig. ARRHENIUS oppdaget at hvis temperaturen forandret seg, forandret k seg etter likningen:

$$d \ln k / dT = E/RT^2$$

hvor E blir kalt for reaksjonens aktiveringsenergi og R er gasskonstanten.

Integrering av ARRHENIUS' likning gir:

$$\ln k = A - \frac{E}{RT}$$

Hvis vi derfor plotter $\ln K$ mot $1/T$, får vi en rett linje og E kan bestemmes av denne.

Denne aktiveringsenergien kan betraktes som den energien som trenges for å få "normale" molekyler opp på et energinivå hvor de vil reagere.

I et hvert system vil den delen av molekylene som har mer energi enn E være proporsjonal med $e^{-E/RT}$. Antall molekyler som reagerer pr.tidsenhet, vil være direkte proporsjonal med det antallet som har tilstrekkelig energi til å reagere:

$$k = K e^{-E/RT}$$

$$\ln (k/K) = -E/RT$$

$$\ln k - \ln K = -E/RT$$

Differensiering med hensyn på T gir

$$d \ln k = (E/RT^2) dT$$

$$d \ln k / dT = E/RT^2$$

som er ARRHENIUS' likning.

2. Produkter med brutte oppvarmingskurver.

Et slikt oppvarmingsforløp kan komme av at det f.eks. skjer en varmekoagulering og varmegjennomgangen går over fra strømming til ledning. Det anbefales å bruke den grafiske metoden for å bestemme prosesstid. I tilfeller hvor "knekken" på oppvarmingskurven gjentatte ganger faller omtrentlig ved en konstant tid- og temperaturkombinasjon, kan prosesstiden utledes matematisk som vist av BALL (). Det forutsettes da at

$$F_c = F_s$$

som i rene strømningsoppvarmede produkter. Dette vil føre til en noe for kraftig varmeopprosess fordi F_c alltid vil være noe mindre enn F_s for produkter av denne type.

Av figur (2.1) kan en finne prosestetiden B.

$$B = f_1 (\log j_{ch} \cdot I_h - \log g_{c1}) + f_2 (\log g_{c1} - \log g_{c2}) \quad (2.1)$$

hvor det første leddet er identisk med formelen for beregningen av prosestetid når produktet oppvarmes bare ved strømming.

f_1 = tiden som skal til for at den første del av oppvarmingskurven skal passere en log enhet på temperaturskalaen.

f_2 = tiden som skal til for at den andre del av oppvarmingskurven skal passere en log enhet på temperaturskalaen.

$$j_{ch} = \text{nølefasen} = (T_r - T_{p1h}) / I_h$$

g_{c1} = temperaturdifferensen mellom autoklavtemperatur og temperatur ved knekken på kurven, målt ved det geometriske sentrum.

g_{c2} = temperaturdifferensen mellom autoklavtemperatur og maks. temperatur i produktet, målt ved det geometriske sentrum.

F-verdien av prosessen kan beregnes av likningen:

$$F_c = f_2 / \left[\left(\frac{f_1}{U} \right)_1 F_1 \right] - r (f_2 - f_1) / \left[\left(\frac{f_1}{U} \right)_2 F_1 \right] \quad (2.2)$$

hvor:

f_1 og f_2 = definert over.

$\left(\frac{f_1}{U} \right)_1 = f_h / U$ verdi korresponderende til g_{c1} . Denne finnes i tabellen ved observert j_{cc} .

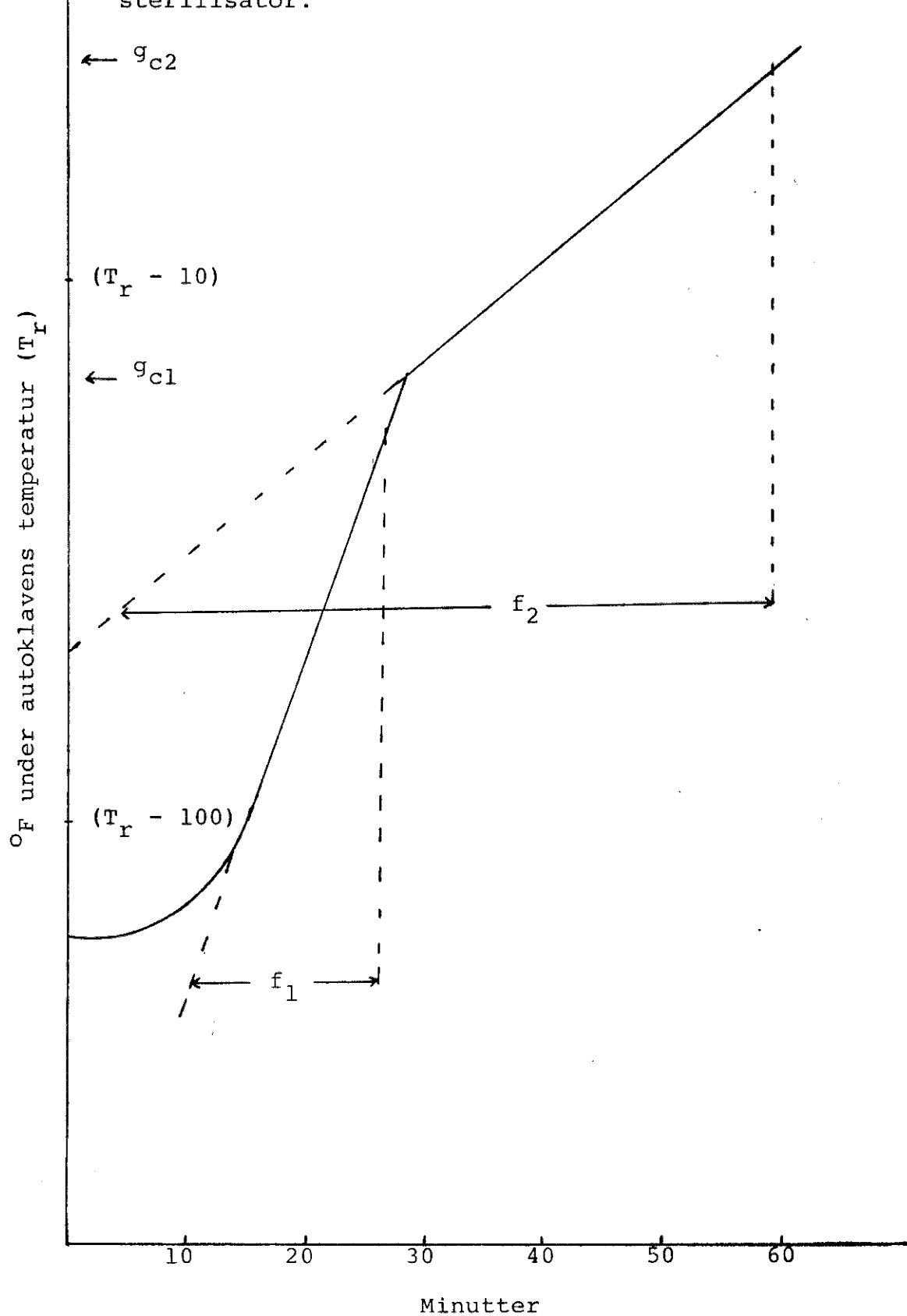
$\left(\frac{f_1}{U} \right)_2 = f_h / U$ verdi korresponderende til g_{c2} . Denne finnes også i tabellen ved observert j_{cc} .

r = proporsjonsalitetetsfaktor.

F_1 = minutter ved autoklavtemperatur som tilsvarer 1 min. ved 250° F .

Figur 2.1

En brutt oppvarmingskurve for en kontinuerlig sterilisator.



Proporsjonalitetsfaktoren
r

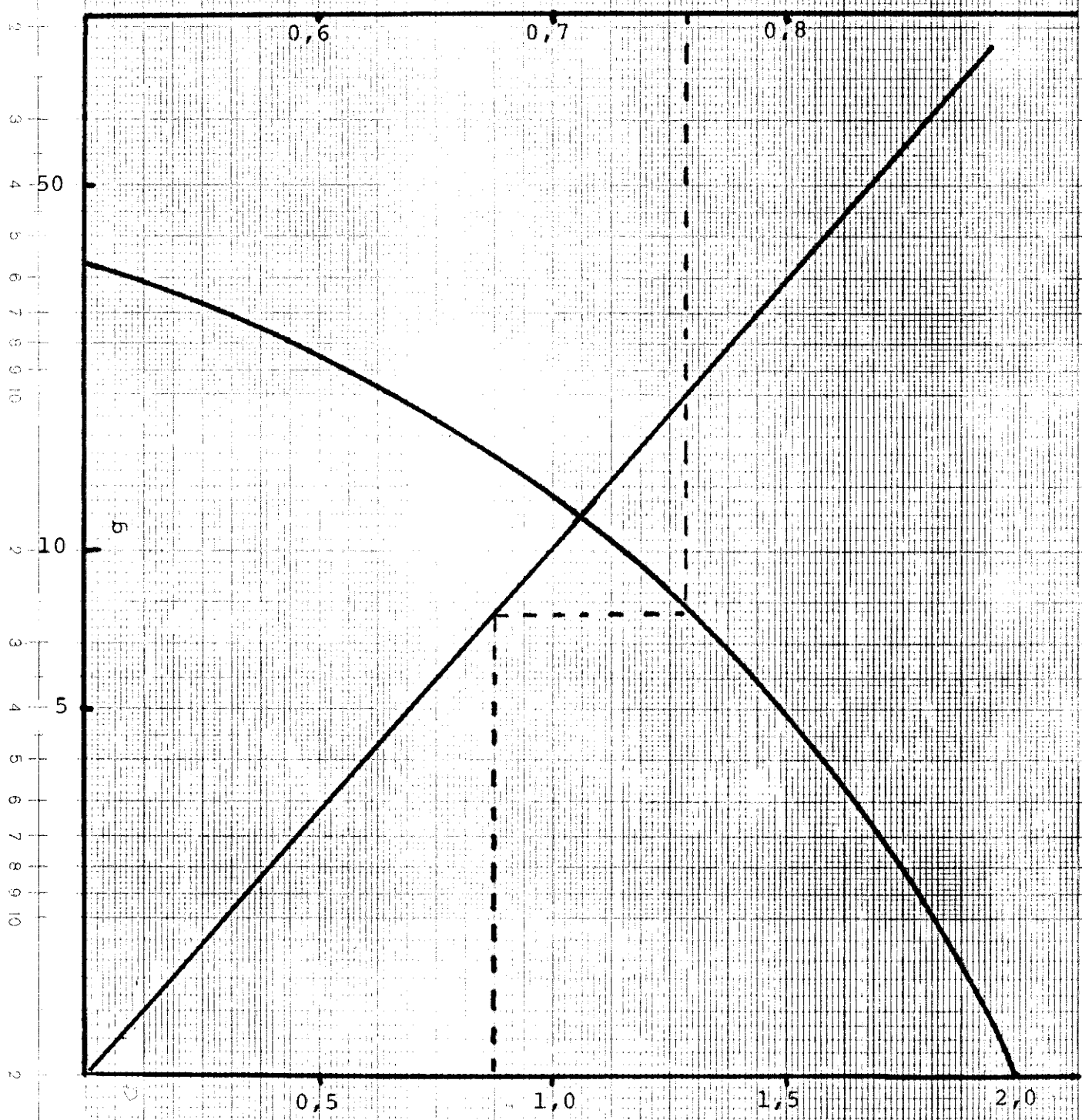


Fig.2.2 Sammenhengen mellom g, log g og r ved beregning av F_c for brutte oppvarmingskurver

r er en funksjon av g_{c1} slik som figuren (2.2) etter Stumbo viser.

Bruken av de nevnte likningene kan demonstreres ved dette eksemplet:

Ved sterilisering av en karamellpudding med registrering av oppvarmingskurven, har en funnet at oppvarmingskurven har et markert knekkpunkt. Følgende data er observert:

$$\begin{array}{ll} T_r = 115^{\circ}\text{C} & f_1 = 12,2 \\ T_{ih} = 60^{\circ}\text{C} & f_2 = f_c = 50 \\ j_{ch} = 1,21 & g_{c1} = 5,1 \\ j_{cc} = 2,00 & I_h = 37,8 \end{array}$$

De sporene vi skal sikre oss mot, har en $z=10$. Hva vil prosestetiden bli for en prosess $F_{121} = 10$ min ?

Vi skal altså finne B av likningen (2.1), men mangler g_{c2} . Denne skal finnes i $(f/U):g$ tabellen for $z=18^{\circ}\text{F}$ og $j_{cc} = 2,00$ hvis vi bare kan finne $(f_n/U)_2$. Dette gjøres ved hjelp av likning 2.2.

$$10 = 50 / (f_1/U)_2 F_i - r(50-12,2) / (f_1/U)_1 F_i$$

da er:

$$F_i = \text{antilog} (121,1-115,6)/10 = 3,548$$

$$(f_1/U)_2 = 50 / (35,48 - r(50-12,2) / (f_1/U)_1)$$

Fra tabell finnes for $z = 18^{\circ}\text{F}$, $j_{cc} = 2,00$ og $g_{c1} = 5,11$

$$(f_1/U)_1 = 6,81$$

og fra figur (2.2) for $g_{c1} = 5,11$

$$r = 0,74$$

Da er:

$$(f_1/U)_2 = \frac{50}{35,48 - \frac{(0,74 \cdot 37,8)}{6,81}} = 1,59$$

og for $z = 18^{\circ}\text{F}$, $j_{cc} = 2,00$ og $(f_1/U)_2 = 1,59$ finner en i tabell.

$$g_{c2} = 1,13^{\circ}\text{C}$$

Da er:

$$B = 12,2 \log 1,21 \cdot 37,8 / 5,1 + 50 \log 5,1 / 1,13$$

3. Beregning av prosestetider for faste og halvfaste produkter som oppvarmes ved ledning (konduksjon).

Likningen

$$B = f_h \log(j_h \cdot I_h) / g$$

vil også ha gyldighet for høy-viskøse næringsmidler og næringsmidler med faste bestanddeler. Parameteren, g , vil imidlertid her måtte referere seg til et eller flere punkt i næringsmidlene, og vi kan da kalle parameteren for g_λ . Hvis vi foretar våre beregninger utfra målinger i sentrum av en boks eller en annen emballasjeform, vil produktet få en unødvendig sterk varmebehandling med de økonomiske, teknologiske og kvalitetsmessige problemer dette kan gi. Varmepåvirkningen i det ytre av boksen vil være langt sterkere enn ved sentrum, og da det alltid er en bestemt prosentvis destruksjon av utgangsbakteriene vi forutsetter ved F -beregningene, er det klart at F_c -verdiene for prosessen normalt vil være en tilfredsstillende destruksjon i hele boksen.

Det kan lett tenkes at når varmen ledes innover i boksen vil det være flater i boksen som vil ha den samme F -verdi. Slike tenkte overflater kalte BALL et.al. for iso- F overflater. En iso- F overflate vil også ha samme prosestetid. Da f_h og I_h i likningen for prosestetida er konstante, vil g variere bare når j_h varierer. I en iso- F overflate vil imidlertid også g være konstant ved et bestemt tidspunkt, og en iso- F overflate er derfor også iso- j_h . Et hvert punkt på den tenkte overflaten har derfor samme nølefase for oppvarmingskurven. For å kunne få et mål for den totale F -verdien av en prosess, må en kunne beskrive disse iso- j overflatene.

OLSON og JACSON beskriver j ved et hvert punkt i beholderen med følgende likning som viste seg å gi brukbare resultater sammenliknet ved temperaturmålinger på forskjellige steder i boksen.

$$j_h = j_c \cdot J_0(2,405 \cdot x/a) \cos(\pi \cdot y/2b) \quad (3.1)$$

hvor $J_0(x)$ er en besselfunksjon av X av 0-te orden.

$$J_0(x) = 1 - (x/2)^2 + (x/2)^4 / (1^2 \cdot 2^2) - (x/2)^6 / (1^2 \cdot 2^2 \cdot 3^2) +$$

og 2.405 er den laveste positive rot som gir funksjonsverdien 0.

x = avstanden fra den vertikale midtlinje i boksen

a = boksens radius

y = avstanden fra det horisontale planet gjennom boksens sentrum

$2b$ = høyden av boksen

Når vi plotter inn punktene med lik j -verdi i et koordinat-system med absisse r og ordinat y , får vi figur (3.1) hvor da hver kurve representerer et iso- j område. Jo nærmere en kommer boksveggen, desto mer begynner iso- j områdene å ta form av en firkant. Roterer vi figuren 360° vil hvert iso- j område inneslutte et volum V hvor:

$$V = \int_{y=0}^{y=y_{\text{maks}}} \pi r^2 dy \quad (3.2)$$

Den delen av hele boksvolumet som er innesluttet av iso- j overflaten (det dobbelte av integralet i likning 3.2) kan bestemmes grafisk ved å plote $2y$ mot πr^2 fra $y = y_{\text{maks}}$ til $y = 0$ og bestemmes arealet under kurven i forhold til arealet av boksen slik som vist i figuren 3.2

Omdannes likningen for sammenheng mellom tiden og reduksjonen av bakterietallet ved konstant temperatur

$$t = D (\log a - \log b)$$

til å gjelde den brøkdelen av cellene eller sporene, som er aktive etter tiden t fås:

$$b/a = 1/\text{antilog } (t/D) = 10^{(-t/D)} \quad (3.3)$$

Hvor

t = tid ved konstant temperatur

D = tid for å destruere 90% av populasjonen

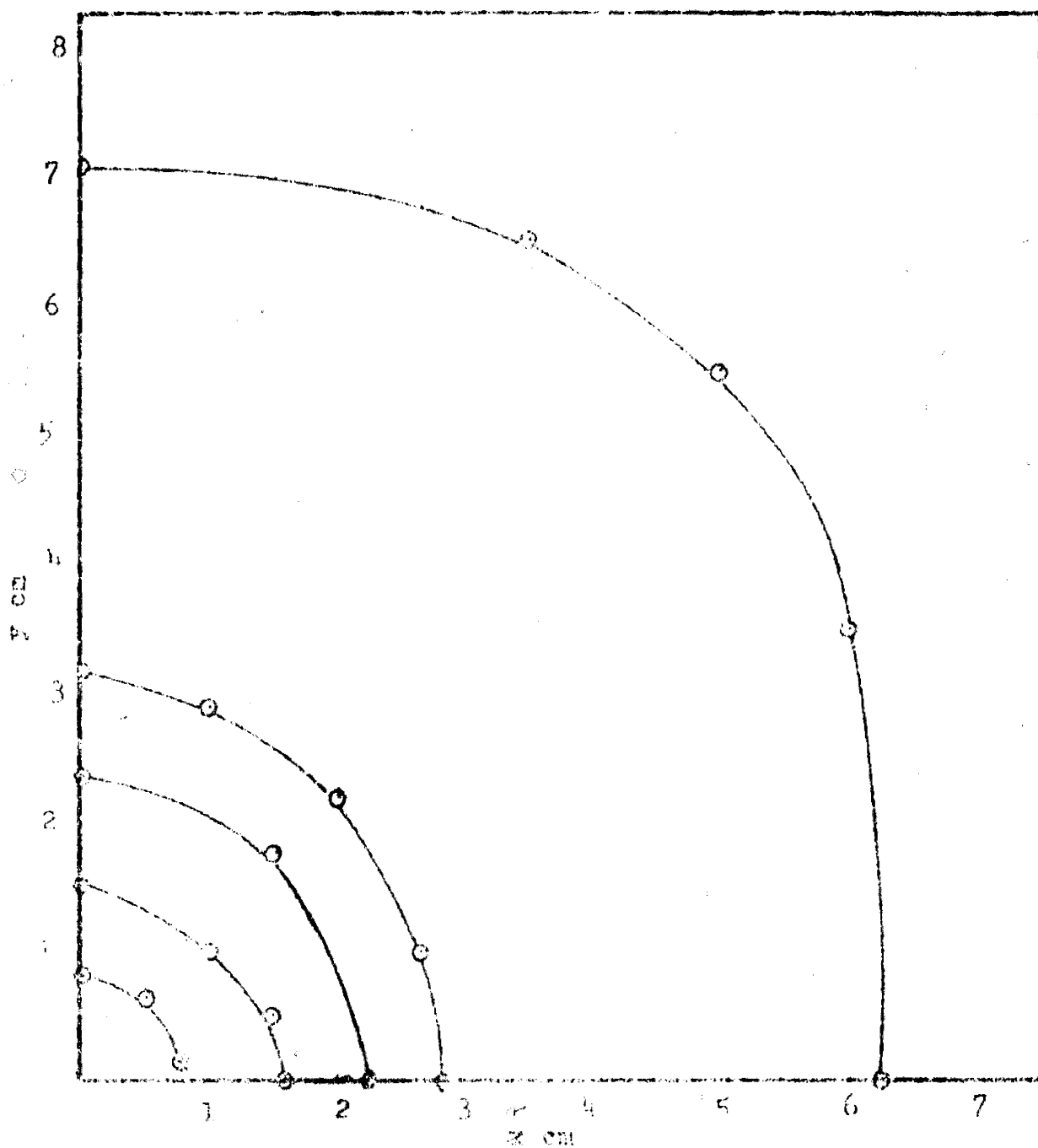
a = antall opprinnelige sporer pr. volumenhet ved en bestemt temp.

b = antall sporer pr. volumenhet etter tiden t ved konstant letal temperatur.

Vi innfører størrelsen F som er tiden ved 121.1°C tilstrekkelig til å oppnå samme grad av sterilitet som tiden t ved konstant temperatur.

$$b/a = 10^{-(F/D_r)} \quad (3.4)$$

Hvor D_r betyr desimalreduksjon ved 121.1°C

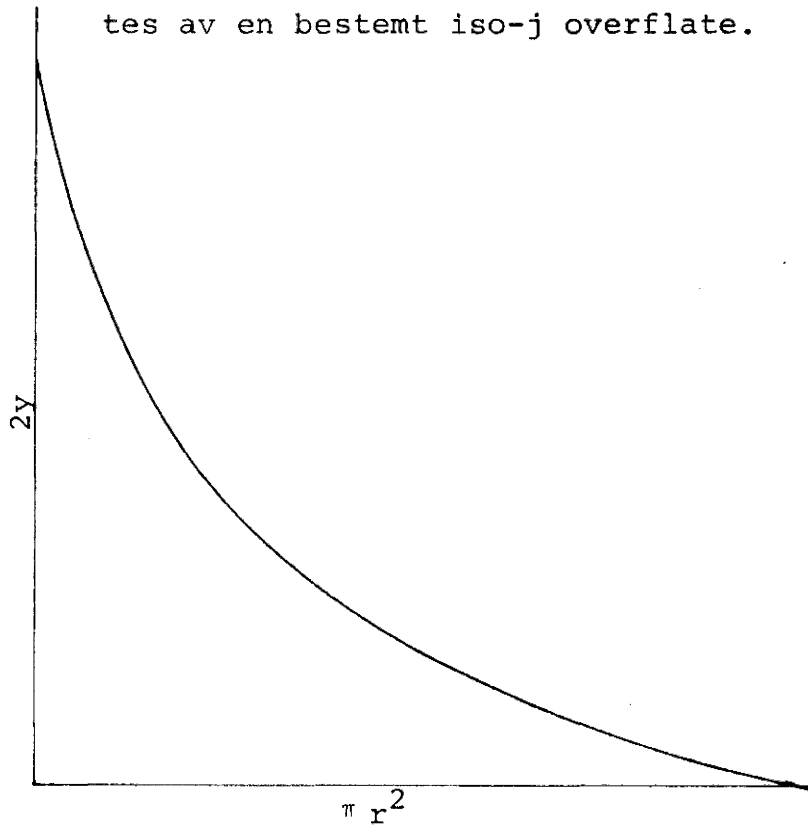


Figur 3.1

Øvre høyre kvadrant av tverrsnittet av en boks med observerte iso-j punkter.

Figur 3.2

Kurve for beregning av volumet ($=v$) av den delen av boksen som inneslutes av en bestemt iso-j overflate.



y = avstanden fra et punkt på iso-j overflaten til det horisontale planet gjennom boksens sentrum.

r = avstanden fra et punkt på iso-j overflaten til det vertikale planet gjennom boksens sentrum.

Lar en så F_s som vanlig betegne den kapasiteten all varme mottatt i en boks, har til å destruere de sporene det gjelder ekvivalent til minutter ved 121.1°C , får en

$$b/a = 10^{-(F_s/D_r)} \quad (3.5)$$

hvor da b/a er den brøkdelen av den opprinnelige sporepopulasjonen i hele boksen som er aktiv etter en varmeprosess, tilsvare F_s minutter ved 250°F .

Regnes det med at sporepopulasjonen er jevnt fordelt i boksen vil også:

$$b/a = \int_0^1 10^{-(F_\lambda/D_r)} dv \quad (3.6)$$

når b/a er brøkdelen av den opprinnelige sporepopulasjonen som er aktive i et iso-j område etter en varmeprosess i iso-j område ^{som} ekvivalerer F_λ minutter ved 121°C .

For hele boksen er da:

$$10^{-(F_s/D_r)} \cdot 1 = \int_0^1 10^{-(F_\lambda/D_r)} \cdot dv \quad (3.7)$$

hvor v er volumfraksjonen av boksen som ligger innenfor iso-j overflaten.

Nå viste Stumbo at det var en lineær sammenheng mellom differensen for varmepåvirkningen ved iso-j området (F_λ) og varmepåvirkningen ved boksens senter (F_c) og volumfraksjonen V . Dette var tilfelle i hvert fall opptil $V = 0,4$. (3.3)

Innenfor dette området er:

$$F_\lambda - F_c = m \cdot v \quad (3.8)$$

hvor m er konstant.

Dette gir:

$$10^{-(F_s/D_r)} = \int_0^1 10^{-(F_c + mv)/D_r} dv \quad (3.9)$$

eller:

$$10^{-(F_s/D_r)} = 10^{-(F_c/D_r)} \int_0^1 10^{(-mv/D_r)} dv \quad (3.10)$$

Lar vi

$$u = 10^{-(mv/D_r)} \quad (3.11)$$

kan vi løse integralet i samsvar med (Handbook of Chemistry and Physics.) side 248.

$$\ln u = (-m/D_r) \ln 10 \cdot v \quad (3.12)$$

$$du/u = (-m/D_r) \ln 10 \cdot dv$$

$$dv = du/u \cdot (-m/D_r) \ln 10 \quad (3.13)$$

$$10^{-(F_s/D_r)} = 10^{(-F_c/D_r)} \int_{v=0}^{v=1} du/(u \cdot \ln 10 \cdot (-m/D_r)) \quad (3.14)$$

$$10^{-(F_s/D_r)} = -10^{(F_c/D_r)} / ((m/D_r) \ln 10) \int_{v=0}^{v=1} du \quad (3.15)$$

$$10^{-(F_s/D_r)} = (-10^{(F_c/D_r)} \cdot D_r/m \cdot \ln 10) (u) \Big|_{v=0}^{v=1} \quad (3.16)$$

Vi innfører nå igjen

$$u = 10^{-(mv/D_r)}$$

og får at

$$(10^{-(mv/D_r)}) \Big|_{v=0}^{v=1} = 10^{(-m/D_r)} - 1 \quad (3.17)$$

Dette gir:

$$10^{(-F_s/D_r)} = 10^{(-F_c/D_r)} \cdot D_r/m \cdot \ln 10 (1 - 10^{(-m/D_r)}) \quad (3.18)$$

Det har vist seg at $10^{(-m/D_r)}$ alltid er meget liten (normalt mindre enn 0,00001) slik at uttrykket kan reduseres til.

$$10^{(-F_s/D_r)} = 10^{(-F_c/D_r)} \cdot D_r/m \cdot \ln 10 \quad (3.19)$$

Dette er det samme som:

$$(-F_S/D_R) = (-F_C/D_R) + \log D_R - \log m - \log 2,303 \quad (3.20)$$

Fra likning (3.8) er da:

$$m = (F_\lambda - F_C)/v$$

og dette gir:

$$(F_S/D_R) = (F_C/D_R) - \log D_R + \log 2,303 + \log (F_\lambda - F_C) - \log v \quad (3.21)$$

Det er vist av Stumbo at en får enkle forhold mellom j_λ og j_c og g_λ og g_c når $v = 0,19$. Da er nemlig $j_\lambda = 0,5 j_c$ og $g_\lambda = 0,5 g_c$. (Se figur 3.4)

Setter en inn denne verdien for v og løser likning (3.20) med hensyn på F_S , får en:

$$F_S = F_C + D_R (1,084 + \log ((F_\lambda - F_C)/D_R)) \quad (3.22)$$

hvor

F_S = varmepåkjenningen i letal effekt i hele boksen
ekvivalent til minutter ved 121.1°C

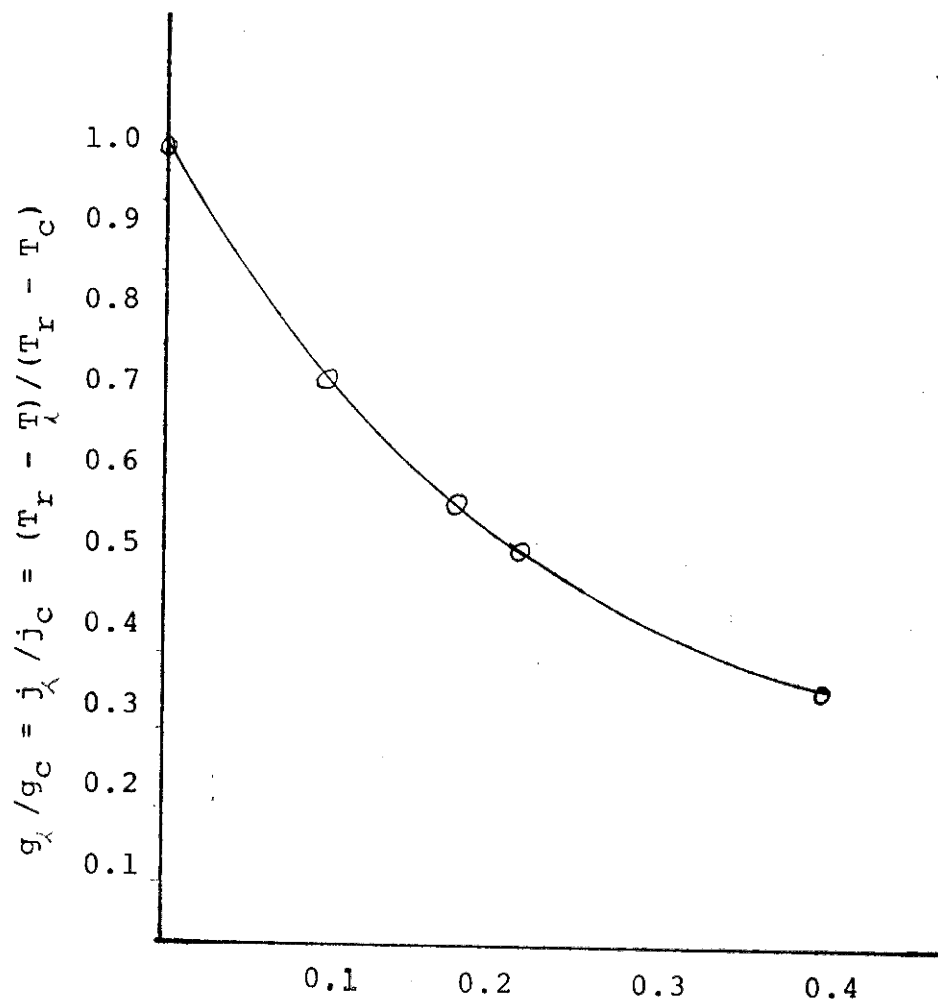
F_C = varmepåkjenningen i boksens geometriske sentrum
ekvivalent til minutter ved 121.1°C

F_λ = varmepåkjenningen i hvert punkt på en iso-j
overflate som inneslutter 19/100 av boksens
volum ekvivalent til minutter ved 121.1°C

D_R = desimal reduksjonstid ved 121.1°C

Figur 3.4.

Sammenhengen mellom volumfraksjonen som begrenses av iso-j overflaten (v) og g/g_c for alle sylindriske bokser.



Eksempel:

Det er gitt følgende data for et konduksjonsoppvarmet produkt i en sylindrisk boks:

$$T_r = 240^\circ \text{ F}$$

$$T_{ih} = 140^\circ \text{ F}$$

$$f_h = f_c = 200 \text{ minutter}$$

$$j_{ch} = 1,60$$

$$j_{cc} = 2,00$$

$$z = 18^\circ \text{ F}$$

$$D_r = 1,00 \text{ minutt}$$

$$F_c = 4,50 \text{ minutter}$$

Hva er F_s -verdien for prosessen?

Vi vet at

$$F_s = F_c + D_r \left(1,084 + \log \frac{F_\lambda - F_c}{D_r} \right)$$

når F_λ refererer seg til varmepåvirkningen i et punkt på et iso-j område som omslutter 19/100 av boksens volum. Da er

$$j_{\lambda h} = 0,80 \text{ og } j_{\lambda c} = 1,00.$$

Den eneste ukjente størrelsen for bestemmelse av F_s er nå F_λ .

Vi bestemmer først tiden ved autoklavtemperatur som ekvivalerer 1 min. ved 250° F .

$$F_1 = \text{antilog} \frac{250 - T_r}{z} = \text{antilog} \frac{250 - 240}{18} = 3,59$$

Så bestemmes nødvendig tid ved autoklavtemperatur for å få en $F_c = 4,50$.

$$U_c = F_c \cdot F_1 = 16,17$$

Vi finner så g_c ved interpolering i tabell (10.1.2) med inngang $(f_h/U_c) = \frac{200}{16,17} = 12,37$, $j_{cc} = 2,00$ og $z = 18$.

$$g_c = 12,83$$

Fordi vi har valgt $v = 0,19$ er

$$g_\lambda = \frac{12,83}{2} = 6,41$$

For et hvert punkt på iso-j området kan vi nå finne $(f_h/U_\lambda) = 6,83$ fra tabell (10.1.2)

$$U_\lambda = \frac{2,00}{6,83} = 29,3$$

$$F_\lambda = \frac{U}{F_1} = \frac{29,3}{3,59} = 8,16$$

$$F_s = 4,5 + 1,0(1,084 + \log \frac{8,16 - 4,5}{1,0}) = 6,15 \text{ min. ved } 25^\circ$$

Ref.: Ball, C.O., Olson, F.C.W. & Boyd, G.D. Evaluation of the effect of heat processing upon the organoleptic quality of canned foods. Et arbeide presentert for the Eight Annual Institute of Food Technologists Food Conference, Philadelphia, Pennsylvania, USA. 8. juni. 1948.

Handbook of Chemistry and Physics. 40. ed. Chemical Rubber Publishing Co. Cleveland, Ohio, USA. 1958/59.

Olson, F.C.W. & Jackson, J.M. Heating-curves-theory and practical application. Ind. Eng. Chem. (34): 337. 1942.

4. Likeverdige prosesser for forskjellige boksestørrelser.

Når en fabrikant skifter størrelse på sin boks, er det rimelig at han for den nye boksestørrelsen ikke vil tillate et høyere tall utsorterte bokser. Jo større boksene er, dessto mer sannsynlig er det at det vil bli fler overlevende sporer pr. boks, eller flere bokser med overlevende sporer i. For da å få en likeverdig prosess med hensyn til utsorterte bokser, på grunn av bakteriologisk virksomhet, må prosessens F_s verdi forandres.

Vi har tidligere sett at

$$F_s = D_r (\log a - \log b)$$

hvor a er antall sporer i hele boksen og b er antall overlevende sporer etter en prosess med letal virkning = F_s .

Vi har to bokser med volumene V_1 og V_2 og gir F_s tilsvarende indekser. Antall org. i $V_1 = a$.

Videre ønsker vi en konstant b for begge boksestørrelser.

Da er:

$$F_{s1} = D_r (\log a - \log b) \quad (4,1)$$

$$F_{s2} = D_r (\log a \cdot \frac{V_2}{V_1} - \log b) \quad (4,2)$$

$$F_{s2} - F_{s1} = D_r (\log a \cdot \frac{V_2}{V_1} - \log b - \log a + \log b) \quad (4,3)$$

$$F_{s2} = F_{s1} + D_r \log \frac{V_2}{V_1} \quad (4,4)$$

5. Bestemmelse av F_c utfra kjent F_s .

F_s kan beregnes etter kjennskap til sporenes art og sannsynlige antall og bestemte krav som settes til det ferdige produktet. For konduksjonsoppvarmede produkter kan imidlertid ikke F_c bestemmes direkte, og denne størrelsen er nødvendig for beregning av prosestetider.

F_c verdi for en ønsket F_s verdi kan imidlertid beregnes av følgende formel etter Stumbo.

$$F_c = F_{c1} + \frac{F_{c2} - F_{c1}}{F_{s2} - F_{s1}} (F_s - F_{s1}) \quad (5,1)$$

hvor da F_{s1} og F_{s2} beregnes fra valgte F_{c1} og F_{c2} verdier ved likning (3.22) og slik at $F_{s1} < F_s$ og $F_{s2} > F_s$. Ved valg av F_{c1} og F_{c2} må det regnes med at F_c alltid er noe mindre enn F_s .

Eksempel:

Det er funnet at en $F_s = 5,00$ vil gi tilfredsstillende varmebehandling av et konduksjonsoppvarmet produkt. Hvilken prosestetid er nødvendig?

Følgende data er kjent:

$$\begin{aligned} T_r &= 250 & j_{ch} &= j_{cc} = 1,6 \\ T_{ih} &= 150 & I_h &= 100 \\ f_h &= 35 & D_r &= 1,00 \\ & & z &= 18 \end{aligned}$$

For bestemmelse av prosestetid nyttes likningen

$$B = f_h (\log j_{ch} \cdot I_h - \log g_c)$$

g_c finnes fra tabell, men for å gjøre dette må en vite U_c og denne størrelsen bestemmes av F_c , som derfor må beregnes

ved interpolasjonslikningen (5.1).

Vi antar at verdien for F_c må ligge et sted mellom 3 og 5 (fordi $F_s = 5$) og velger derfor

$$F_{c1} = 3,00$$

$$F_{c2} = 5,00$$

Før vi kan finne F_{s1} og F_{s2} ved likningen

$$F_s = F_c + D_r \left(1,084 + \log \frac{F_\lambda - F_c}{D_r} \right)$$

må F bestemmes

$$F_1 = \text{antilog} \frac{250 - 250}{18} = 1,00$$

$$U_{c1} = F_1 \cdot F_{c1} = 3,00$$

$$f_h/U_{c1} = \frac{35}{3} = 11,67$$

$$U_{c2} = F_1 \cdot F_{c2} = 5,00$$

$$f_h/U_{c2} = \frac{35}{5} = 7,00$$

Ut fra tabell finnes

$$S_{c1} = 11,07$$

$$S_{c2} = 8,23$$

Da er

$$S_{\lambda 1} = 5,53$$

$$S_{\lambda 2} = 4,11$$

$$J_{\lambda 0} = 0,8$$

og

$$(f_h/U_{\lambda 1}) = 6,31$$

$$U_{\lambda 1} = \frac{35}{6,31} = 5,55$$

$$(f_h / U_{\lambda 2}) = 4,23$$

$$U_{\lambda 2} = \frac{35}{4,23} = 8,27$$

$$F_{\lambda 1} = \frac{U_{\lambda 1}}{F_1} = 5,55$$

$$F_{\lambda 2} = 8,27$$

$$F_{s1} = 3,0 + 1,0 (1,084 + \log \frac{2,55}{1,0}) = 3,0 + (1,084 + 0,4065) = 4,$$

$$F_{s2} = 5,0 + 1,0 (1,084 + \log 3,27) = 6,60$$

$$F_c = 3,0 + \frac{5,0 - 3,0}{6,6 - 4,49} (5,0 - 4,49) = 3,0 + \frac{2 \cdot 0,51}{2,11} = \underline{3,48}$$

Da er:

$$U_{ov} = F_c \cdot F_1 = 3,483$$

$$c_{H_2O} = \frac{35}{3,483} = 10,05$$

Av tabell finnes:

$$g_c = 10,22$$

$$B = f_h (\log J_{ch} \cdot I_h - \log g_c)$$

$$b = 35 \log (1,600 - \log 10,22) - 35(2,2041 - 1,0094) = \underline{42 \text{ min.}}$$

Beregning av gjennomsnittlig temperatur i konduksjon-
oppvarmede produkter.

En rekke varmebehandlede produkter, vil kunne bli sterkt kvalitetsforringet hvis ikke kjølingen er god nok, og rask nok etter varmebehandlingen. Det kan forøvrig også være tvilsom praksis å avkjøle produktet for sterkt fordi det da kan dannes kondens med følgende rustdannelse på emballasjen. En for rask avkjøling kan også gi en øket fare for reinfeksjon gjennom utette falser, da trykket inne i emballasjen vil falle svært raskt. Av disse grunnene er det av verdi å kunne beregne temperaturen i en boks etter en bestemt kjøletid. For konveksjonsoppvarmede produkter er dette relativt enkelt med termoelementer. For høyviskøse produkter eller produkter med "faste" bestanddeler, er det imidlertid langt vanskeligere å bestemme gjennomsnittstemperaturen. Det vil derfor være av betydning om en kunne beregne den gjennomsnittlige temperaturen ut fra temperaturer som lett kan bestemmes, f.eks. temperaturen i autoklaven og temperaturen i senteret av boksen. Bare STUMBOS prosedyre for beregning av gjennomsnittstemperaturer vil bli behandlet her, selv om det er en rekke forskere som har arbeidet med dette problemet og kommet frem til brukbare metoder.

Bakgrunnen for den matematiske utredningen er de før omtalte iso-j overflatene, som også er isotermiske

STUMBOS resultater fra undersøkelser over sammenhengen mellom j_λ/j_c og V og temperaturdifferensen $(T_f - T_\lambda)$ eller $(T_\lambda - T_w)$ er vist i figur 3.4. . . Dette betyr at

$$j_{\lambda n}/j_{ch} = (T_r - T_\lambda)/(T_r - T_c) \quad (6.1)$$

og

$$j_{\lambda c}/j_{cc} = (T_\lambda - T_w)/(T_c - T_w) \quad (6.2)$$

hvor fotskriften er forklart tidligere.

Settes volumet av en sylindrisk boks lik 1 vil

$$T_S \cdot 1 = \int_0^1 T_\lambda \, dv \quad (6.3)$$

Hvor T_S er gjennomsnittstemperaturen i boksen.

Stumbo fant følgende ligning:

$$\log (T_\lambda - T_W) = mv + n \quad (6.4)$$

hvor m og n er konstanter for v-verdier fra 0,1 til ca. 0,9

Dette gir:

$$T_\lambda = T_W + (10^{mv} \cdot 10^n) \quad (6.5)$$

$$T_S = \int_0^1 (T_W + (10^{mv} \cdot 10^n)) \, dv \quad (6.6)$$

$$T_S = T_W + 10^n \int_0^1 10^{mv} \, dv \quad (6.7)$$

Ved å innføre

$$y = 10^{mv}$$

og differensiere etter

$$z = a^n$$

$$d_z = a^n \cdot \ln a \cdot dn$$

får vi:

$$dy = y \cdot \ln 10 \cdot m \, dv \quad (6.8)$$

og

$$dv = dy / (y \cdot m \cdot \ln 10) \quad (6.9)$$

$$T_S = T_W + 10^n \int_{v=0}^{v=1} dy / (y \cdot m \cdot \ln 10) \quad (6.10)$$

$$T_S = T_W + (10^n / m \ln 10) (y) \Big|_{v=0}^{v=1} \quad (6.11)$$

Innføring av y og innsetting av grensene gir

$$T_S = T_W + (10^n / m \ln 10) (10^m - 1) \quad (6.12)$$

Denne likningen er da alment gyldig og også for $v=0$

Når $v=0$, er $T_\lambda = T_C$ og $\log (T_C - T_W) = n$ (se ligning (6.4))

$$): 10^n = T_C - T_W$$

En rekke praktiske forsøk har vist at til og med for store differenser i $(T_C - T_W)$ er uttrykket

$$(10^m - 1) / m \ln 10 \text{ praktisk talt konstant lik } 0,27$$

$$\text{Da er: } T_S = T_W + 0,27 (T_C - T_W) \quad (6.13)$$

og på samme måte

$$T_S = T_R + 0,27 (T_C - T_R) \quad (6.14)$$

T_C kan bestemmes med et termoelement. Hvis en ikke kan bruke et slikt i det utstyret en har til rådighet, kan en beregne T_C utfra likningen:

$$T_C = T_R - g_C \quad (6.15)$$

hvor g_C kan finnes ved å løse vår prosesstids likning med hensyn på g_C når begynnelsepunktet for måling av tiden er det samme som for måling av prosesstiden B.

$$t = f_h (\log j_{ch} \cdot I_h - \log g_C)$$

$$\log g_C = (f_h \log j_{ch} \cdot I_h - t) / (f_h)$$

$$g_C = j_{ch} \cdot I_h \text{ antilog } (-t / f_h) \quad (6.16)$$

og for avkjølingsperioden:

$$g_C = j_{cc} \cdot I_C \text{ antilog } (-t / f_C) \quad (6.17)$$

og

$$T_C = T_W + g_C \quad (6.18)$$

7. TRANSFORMERING AV PARAMETRENE FOR OPPVARMINGSKURVA.

7.1. Forandring i autoklavtemperaturen når temperaturen i produktet ved begynnelsen av prosessen er uendret.

OLSEN og JACKSON fant denne sammenhengen mellom avkjølingskurvens nølefasen og de relevante temperaturene ved avkjølingsfasens begynnelse:

$$j_{cc} = 1,27 + 0,77 (T_w - T_r) / (T_w - T_{icc}) \quad (7.1)$$

Da $T_{icc} = T_r - g_c \quad (7.2)$

er det enkelt å regne ut at det skal betydelige endringer i g_c til for å få endringer som kan ha praktisk betydning for j_{cc} .

Parametrene f_h og j_{hc} er praktisk talt uavhengig av autoklavtemperaturen. For beregninger av prosesstider ved forskjellige autoklavtemperaturer for ett og samme næringsmiddel i samme størrelse og type boks og i samme autoklav er det nok i utgangspunktet å forandre T_r og kanskje tiden, l, fra steamen settes på til temperaturen i autoklaven er T_r , før prosesstiden kan beregnes.

5.2. Forandring i temperaturen av produktet før oppvarming.

Forandringen av parametrene til oppvarmingskurven vil bli svært små. Prosesstiden kan beregnes bare ved å bruke den nye T_{ih} - verdien.

5.3. Forandring i størrelsen av emballasjen for produkter oppvarmet ved strømming.

Parameteren f_h blir sterkt påvirket av volumet og formen på emballasjen, mens dette har liten virkning på de øvrige av de størrelsene som inngår i likningen for bestemmelse av prosess-tid.

SCHULTZ og OLSON utarbeidet en likning for beregning av en ny f_h når dimensjonen i en sylindrisk boks ble endret:

$$f'_h = f_h (r' \cdot y' / (r' + y')) ((r+y)/(r \cdot y)) \quad (7.3)$$

når

f_h og f'_h er henholdsvis gammel og ny f_h -verdi

r og r' tilsvarende boksradier

y og y' tilsvarende høyder på boksene.

Beregningseksempel

Prosesstida for en boks nr. 1 (211x400) er 45 minutter. Det er besluttet at en skal markedsføre det samme produktet til storhusholdninger i boks nr. 10 (603x700). (Første del av tallene i parentes gir diameter i tommer og 1/16 tommer, og andre delen høyden).

Oppvarmingskurvens f_h for boks nr. 1 har vært 10 minutter, hvor $j_h = j_c = 2,0$ og $I_h = 100^\circ\text{F}$. Den aktuelle organismen som skal destrueres, har en z -verdi på 10°F . Autoklavtemperaturen har vært innstilt på 240°F og denne vil en også forsøke å holde for de store boksene. Hva vil den nye prosesstida bli? Diskuter resultatet!

Løsning.

Bokseradiene kan regnes over fra tommer til cm og er henholdsvis 3,41 og 7,86 cm, mens høydene er 10,16 og 17,78 cm.

Da er:

$$f'_h = 10 ((7,86 \cdot 17,78) / (7,86 + 17,78)) ((3,41 + 10,16) / (3,41 \cdot 10,16))$$

$$f'_h = 31,35$$

g_h for den lille boksen bestemmes ved:

$$45 = 10 \log(200/g)$$

$$45 = 10(\log 200 - \log g)$$

$$\log g = (10 \log 200 - 45) / 10$$

$$g = 0,0063$$

f_h / U fra tabell og interpolering = 0,35

$$U = 28,6$$

For den store boksen er:

$$t_h' / U = 31,35 / 28,6 = 1,0962$$

Fra tabell og interpolering

$$g = 0,46$$

$$B = 31,35 \log(200/0,46) = \underline{82,71 \text{ minutter}}$$

7.4. Forandring i størrelsen av boksen for produkter oppvarmet ved ledning.

For sylindriske bokser fant BALL og OLSON og JACKSON følgende likning til bestemmelse av den termiske diffusjonskonstanten, k:

$$k = (0,398 / ((1/a^2) + (0,427/b^2))) f_h \quad (7.4)$$

hvor a er boksens radius

og b er halve høyden av boksen.

Den termiske diffusjonskonstanten kan defineres som

$$k = \text{termisk ledningsevne} / \text{spesifik varme} \cdot \text{tetthet.}$$

Da den termiske ledningsevnen har benevnelsen W/m.k, den spesifikke varmen J/kg.K og tettheten Kg/m³, blir benevnelsen for den termiske diffusjonskonstanten m²/sek i det W = J/sek.

Da den termiske diffusjonskonstanten er en materiellkonstant, kan vi bestemme denne etter likning (7.4) for en kjent f_h for produktet i den opprinnelige boksen og så bruke den k-en en har funnet til å bestemme f'_h for den nye boksen.

Eksempel

La oss ta det noe urealistiske utgangspunktet at vi har de samme parametre for oppvarmingskurven og den samme prosesstida som i forrige eksempel, men nå har vi et meget viskøst produkt. Hva vil prosesstida bli for produktet i bokser nr. 10 ?

Løsning

Her er:

$$K = 0,398 / ((1/11,63) + (0,427/25,81))10 = \underline{0,3882}$$

$$0,3882 = 0,398 / ((1/61,78) + (0,427/79,03)) f_h'$$

$$f_h' = \underline{47,47}$$

$$f_h' / c = 47,47 / 28,6 = 1,6598$$

Fra tabell og interpolering

$$g = 1,01$$

$$B = 47,47 \log (200/1,01) = \underline{109 \text{ minutter}}$$

8. Destruering av stoff som har betydning for næringsverdien til et næringsmiddel.

Selv om de prinsippene som ligger bak beregning av destruksjonstid for bakterier eller enzymer og viktige stoff som f.eks. vitaminer, er de samme så lenge destruksjonshastigheten er proporsjonal med konsentrasjonen til det stoffet som destrueres ved en konstant temperatur og er lite avhengig av konsentrasjonen av andre stoff. Vanligvis kan varme-effekten på bestanddeler som har organoleptisk og næringsmessig betydning bli karakterisert med langt høyere z-verdier enn de som er vanlige for bakterier. For næringsmidler hvor en kan betrakte varmeoverføringen i næringsmiddelet som rein strømming, vil de formelene som er utledet tidligere kunne brukes direkte. Forholdene blir imidlertid anderledes når det gjelder mer viskøse produkter. Dette kommer av at en for utarbeidelsen av prosesstider med hensyn på letal effekt på bakterier (evnt. enzymer) har tatt hensyn til at det er de bakteriene som er innenfor et iso-j område som utgjør omtrent 1/10 av boksen som en egentlig trenger å bry seg om fordi varmepåvirkningen der er minst.

For varmepåvirkbare næringsstoffer er det selvsagt om å gjøre å få så liten destruksjon som mulig, og det kritiske området er her de ytre delene av næringsmiddelet. Disse områdene vil da omfatte største delen av produktet, eller av boksen hvis det er "steriliserte" produkter det er snakk om.

Det er utviklet en rekke metoder for å beregne effekten av en prosess på destruering av næringsstoffer. I denne gjennomgåelsen skal en holde seg vesentlig til JEN og medarbeideres metode fordi den i prinsippet er svært lik metoden for beregning av nødvendig prosesstider for destruksjon av en bestemt relativ mengde bakterier. En kan da også bruke tabeller over $f_h/U - g - j_c - z$ som tidligere har vært nyttet både for strømnings- og ledningsoppvarmede produkter.

En annen forutsetning er gyldigheten av "oppdeling" av en boks i mange iso-j soher som da også er iso-F. For å bestemme letale eller destruktive effekter i en beholder vil alle iso-j områder og derfor i prinsippet alle punktene i boksen tas i betraktning. En vil gå ut fra at likningen

$$t = D(\log a - \log b)$$

har gyldighet; hvor da t er tiden ved en konstant temperatur som vil redusere konsentrasjonen av det stoffet (eller den bakterien) vi betrakter fra a til b når desimalreduksjonstiden er D ved denne temperaturen.

Videre forutsetter en også at:

$$F = D(\log a - \log b) \quad (8.2)$$

hvor da F betraktes som den letale eller destruktive effekten av en prosess uttrykt som tid ved en bestemt temperatur. På samme måte som før vil da varmeeffekten i hele boksen være lik summen av virkningene ved et hvert punkt i boksen:

$$10^{-F_s/D} \cdot 1 = \int_0^1 10^{-F_\lambda/D} dv \quad (8.3)$$

hvor da dv er volumet av det området i boksen hvor effekten er F_λ .

STUMBO løste dette integralet ved å nytte sammenhengen mellom v og $(F_\lambda - F_c)$ som var rettlinjet for verdier av $v < 0,4$. Dette var riktig for destruksjonen av bakterier fordi antall overlevende i den resterende delen av boksen var svært liten i forhold til i områdene nær boksens sentrum.

Nå er det imidlertid vist at følgende likning:

$$\ln (1 - v) = m (F_{\lambda} - F_C) \quad (8.4)$$

hvor

l = volumet av boksen

v = volumet som er innenfor et iso - j område

F_{λ} = F - verdien i iso - j området

F_C = F - verdien ved det geometriske sentret i boksen

Likning (8.4) gir:

$$F_{\lambda} = F_C + \ln (1 - v)/m \quad (8.5)$$

Lar vi nå:

$$R = l/m$$

så er

$$F_{\lambda} = F_C + R \ln (1 - v) \quad (8.6)$$

$$10^{-F_S/D} = \int_0^1 10^{-\{(F_C + R \ln (1 - v))/D\}} dv \quad (8.7)$$

og

$$10^{-F_S/D} = 10^{-F_C/D} \int_0^1 10^{-(R \ln (1 - v))/D} dv \quad (8.8)$$

Lar vi så:

$$a = -R/D \quad (8.9)$$

får vi

$$10^{-F_S/D} = 10^{-F_C/D} \int_0^1 10^{\ln (1 - v)a} dv \quad (8.10)$$

Lar vi så $y = 10^{\ln(1 - v)a}$ (8.11)

vil $dy = 10^{\ln(1-v)a} \ln 10 (-a/(1 - v)) dv$ (8.12)

og $dv = dy / (10^{\ln(1 - v)a} \cdot \ln 10(-a/(1 - v)))$ (8.13)

(8.11) kan likegodt skrives

$$y = 10^{\log (1 - v) 2,303 \cdot a} = (1 - v)^{2,303 \cdot a} \quad (8.14)$$

Da er $y = 0$ når $v = 1$

og $y = 1$ når $v = 0$

Substituering av (8.13) i (8.10) gir (8.15)

$$10^{-F_s/D} = 10^{-F_c/D} \int_1^0 (10^{\ln(1-v)^a} dy) / (10^{\ln(1-v)^a} \ln 10 (-a/(1-v)))$$

eller

$$10^{-F_s/D} = 10^{-F_c/D} \int_1^0 dy / \ln 10 (-a/(1-v)) \quad (8.16)$$

Nå er $R = 1/m$ og $a = -R/D$

Da er:

$$a = -1/mD \quad (8.17)$$

og

$$10^{-F_s/D} = (-mD/2,303) \cdot 10^{-F_c/D} \int_1^0 (1-v) dy \quad (8.18)$$

Fra 8.14 og 8.17:

$$y = (1-v) (-2,303)/mD \quad (8.18)$$

$$\text{og } v = 1 - y^{-mD/2,303} \quad (8.19)$$

altså

$$10^{-F_s/D} = (-mD/2,303) \cdot 10^{-F_c/D} \int_1^0 y^{-mD/2,303} dy \quad (8.20)$$

$$10^{-F_s/D} = (-mD/2,303) (10^{-F_c/D}) \left[\frac{y^{((-mD/2,303)+1)}}{((-mD/2,303)+1)} \right]_1^0 \quad (8.21)$$

$$10^{-F_s/D} = (mD/2,303) (10^{-F_c/D}) / ((-mD/2,303)+1) \quad (8.22)$$

$$10^{-F_s/D} = - (mD/2,303) (10^{-F_c/D}) / ((-mD+2,303)/2,303) \quad (8.23)$$

$$10^{-F_s/D} = -(mD) (10^{-F_c/D}) / (-mD+2,303) \quad (8.24)$$

Tar vi logaritmer på begge sidene, får vi:

$$-F_s/D = -F_c/D + \log(-mD) - \log(2,303 - mD) \quad (8.25)$$

$$F_s = F_c - D (\log(-mD) - \log(2,303 - mD)) \quad (8.26)$$

$$F_s = F_c + D (-\log(-mD) + \log(2,303 - mD)) \quad (8.27)$$

$$F_s = F_c + D (\log((2,303 - mD)/-mD)) \quad (8.28)$$

$$F_s = F_c + D (\log((2,303/-mD) + 1)) \quad (8.29)$$

Nå er etter (85):

$$m = \ln(1-v) / (F_\lambda - F_C) \quad (8.30)$$

Hvis vi nå tar utgangspunkt i $v = 0,19$ vet vi fra tidligere at $j_\lambda = 0,5 \cdot j_C$ og $g_\lambda = 0,5 g_C$. Da er

$$m = 0,21072 / (F_\lambda - F_C) \quad (8.31)$$

Setter vi dette inn i (829) får vi:

$$F_S = F_C + D(\log((2,303/0,21072D / (F_\lambda - F_C)) + 1)) \quad (8.32)$$

$$\text{og } F_S = F_C + D(\log(D + 10,93 (F_\lambda - F_C) / D)) \quad (8.33)$$

9. Varmebehandling i næringsmiddelindustrien.

Varme utnytted i næringsmiddelindustrien enten for å legge forholdene til rette for selve utførelsen av prosessen s.s. steiking og koking for å oppnå bestemte aroma- og konsistenseffekter, innstilling av temperatur for optimalisering av prosesser. Hindring av krystalldannelse, enzymvirkning, lett oppløselighet er slike ting som kan oppnås ved bestemte varmebehandlinger. Dette vil imidlertid bli behandlet seinere.

De viktigste varmeprosesser som en skal ta med her, vil være slike som brukes for destruering av bakterier og enzymer. Etter utførelsen og til dels etter hvor kraftig varmebehandlingen er, vil en dele emnet inn i

- I Blanchering
- II Pasteurisering
- III Sterilisering
- IV UHT - behandling.

For å gi en forståelse av de effekter som en kan vente ved de varierende temperaturbehandlingene, er det nødvendig å ta med mer spesielt om destruering av enzymer, destruering av essensielle næringsstoffer og dannelse av uønskede smaks- og aromastoff.

9.1. Varmepåvirkning av enzymer.

Definisjoner og generell enzymlære.

Historien.

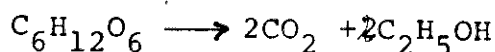
Selv om bruken av enzymer for fremstilling av næringsmidler har vært kjent i svært lang tid (vin, ost. o.s.v.), var det Pasteur som først påviste at årsaken til de kjente omdannelsene var levende organismer. Han fant også at han ved varmebehandling av gjærceller (pasteurisering) fikk drept gjæren og at det da heller

ikke foregikk noen fermentering.

Dette førte til at han konkluderte med at for fermentering måtte det være levende gjærceller til stede.

Büchner fant i 1897 imidlertid ut at han kunne knuse gjærceller med sand i en morter, filtrere fra de levende cellene og likevel kunne filtratet konvertere sukker til alkohol. Ved oppvarming av filtratet ble imidlertid forgjæringsevnen borte.

Det var allerede kjent at omsetningen av glukose til alkohol foregikk etter skjemaet:



og at det forgjærende prinsippet i gjærcellene ikke direkte deltok i prosessen. Slike stoffer som fremskynnet en reaksjon var allerede i 1834 av J.J. Berzelius kalt for katalysatorer. Kuhne definerte et begrep "enzym" som "ufordædte eller uorganiserte fermenter som kan utføre sin virksomhet i fravær av organismer og utenfor organismene". Enzym betyr på gresk: i cellen.

Som kjent er det seinere vist at omdanningen av glukose til alkohol foregår i en rekke trinn og at det for hvert trinn er et spesifikt enzym som katalyserer det neste trinnet.

Litt enzymkinetikk.

For de fleste enzymkatalyserte reaksjonene er reaksjonshastigheten direkte proporsjonal med enzymkonsentrasjonen. Dette gir grunnlag for beregninger av enzymkonsentrasjoner. Etterhvert som prosessen pågår, vil hastigheten avta, delvis på grunn av at det kan dannes inhiberende stoff under prosessen.

Substratmengdens effekt på reaksjonshastigheten er selvsagt svært viktig ved praktisk bruk av enzymer. Hvis vi betegner konsentrasjonen av enzym med E, substratkonsentrasjonen med S og produktkonsentrasjonen med P vil:



Ved likevekt av reaksjon 1. vil dissosiasjonskonstanten være:

$$K = (E - ES) (S - ES)/ES \quad 3$$

Hvis nå S er svært stor vil:

$$K = (E - ES)S/ES \quad 4$$

og

$$ES = (E) (S)/(K + S) \quad 5$$

Antar vi at likning 2 er begrensende for hastigheten av reaksjonen vil denne hastigheten (v) være en funksjon av ES:

$$v = k \cdot ES \quad 6$$

hvor k er hastighetskonstanten.

Setter vi inn (5) her får en:

$$v = k \cdot (E) (S)/(K + S) \quad 7$$

Med svært store substratmengder vil $(K + S) \rightarrow (S)$ og $v \rightarrow k \cdot (E)$ som er den største hastighet reaksjonen kan ha. Blir (S) svært liten, vil $(K + S) \rightarrow K$ og v er proporsjonal med (S). Når $K = S$ er hastigheten halvparten av maksimalhastigheten. Konstanten K kalles da ofte Michals konstant (K_m) denne tilsvarer tallmessig substratkonsentrasjonen når maksimum hastigheten er halvert. K_m er en fundamental konstant og gir et mål for affiniteten for et enzym til et eller flere substrat. Den kan bestemmes ved å plote reaksjonshastigheter for varierende konsentrasjoner.

Nomenklatur.

Navnespørsmålet for enzym er ennå vanskelig fordi det har blitt brukt en rekke betegnelser på samme enzymet og at et enzym

seinere har vist seg å være hele enzymssystem.

Det første navnet som ble brukt var "diastase" fra 1833 om det "prinsippet" som omdannet uløselig stivelse til oppløselige forbindelser. Seinere i det nittende århundre kom det en rekke navn med endelsene "in", og disse er ennå i bruk (trypsin, rennin, pepsin, etc.).

International Union of Biochemistry foreslo i 1956 et system for nomenklatur. Systemet forutsetter to måter å klassifisere enzymene på:

1. Systematiske navn. Her vil navnet bestå av to deler. Den første delen er substratet eller flere substrat adskilt med kolon. Den andre delen indikerer prosessen eller sluttproduktet med endelsen -ase. F.eks. glyserol - ester - hydrolase.

2. Trival navn. Navnene her er de som har vært i vanlig bruk. F. eks. lipase for glyserol - ester - hydrolase.

Enzymene kan deles inn etter reaksjonstypen i følgende 6 klasser:

1. oksoreduktaser	som	katalyserer	red - oks reaksjoner
2. transferaser	"	"	overføring av grupper
3. hydrolaser	"	"	hydrolyse
4. lyaser	"	"	aspalting av grupper
5. isomeraser	"	"	omleiring
6. ligaser	"	"	sammenkopling av to molekyler under nedbryting av en energirik fosfatbinding.

Enzym-enheter.

Det er svært vanskelig å foreta en direkte kjemisk analyse av et enzym. Enzymet blir derfor kvalitativt bestemt ved den reaksjonen det katalyserer og kvantitativt bestemt ved reaksjonshastigheten. Nå er reaksjonshastigheten avhengig av et stort antall parametre s.s. temperatur, pH, substrat konsentrasjon, reinheten

av substratet, reaksjonstiden o.s.v.

I mange tilfeller har de enkelte forskere utfra sitt behov målt reaksjonshastigheten under fastlagte betingelser som passet godt for de aktuelle undersøkelsene. Derfor kan det være vanskelig å sammenlikne resultatene fra litteraturen.

Enzyme Commission of the International Union of Biochemistry har derfor prøvd å sette opp visse standardiserte betingelser. Enzymenheten er etter dette definert som den mengde enzym som kan katalysere overføringen av 1 mikromol substrat pr. minutt. Temperaturen bør være 30°C om mulig, og alle andre parametre skal være optimale. Hvis det er polymere substrater som enzymet virker på som f.eks. protein eller pektin, skal utgangspunktet være 1 mikroekvivalent av de avspaltede gruppene.

Temperaturens virkning på enzymer.

Innvirkningen av pH og vannaktivitet på enzymenes katalytiske effekt, vil bli nærmere omtalt ved behandlingen av den teknologiske bruken av enzymer i næringsmiddelindustrien. Her skal det da bare foreløpig konstateres at de enkelte enzymene har sitt optimale pH - område og virker best også ved bestemte vannaktiviteter. Det er da også rimelig å anta at enzymenes varmestabilitet til en viss grad er avhengig av pH og vannaktivitet. I tillegg kan temperaturen ha betydning for virkningen av inhibitorer og aktivatorer.

Imidlertid har det vist seg (figur) at Arrhenius' likning også stemmer bra for enzymkatalysert reaksjon:

$$d \ln k / dT = E / RT^2$$

$$d \ln k = (E / RT^2) dT$$

$$\int_{K_1}^{K_2} d \ln k = \int_{T_1}^{T_2} E / RT^2 dT$$

$$\ln k_2 - \ln k_1 = -E/R(T_2 - T_1)$$

$$\ln k_2/k_1 = (-E/R) \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

$$\ln k_2/k_1 = E(T_2 - T_1) / R \cdot T_1 T_2$$

Enzymkatalyserte reaksjoner har langt lavere aktiveringsenergi (E) enn de samme reaksjonene katalysert av inorganiske kjemikalier. Hydrolyse av sukrose ved hjelp av enzym har en E på 11000 kal/mol mens tilsvarende hydrolyse med H_3O^+ - joner har en E på 26000 kal/mol. Dette betyr at hastighetskonstanten er mindre avhengig av temperaturen for enzymkatalyserte reaksjoner enn for reaksjoner katalysert på annen måte. Imidlertid vil reaksjonshastigheten også for enzymkatalyserte reaksjoner gå raskere desto høyere temperaturen er inntil denaturering av enzymets proteindelen tar til. Denne denatureringen følger også en Arrhenius'-type av reaksjoner og f.eks. for lipoxidase fra soya bønner er det funnet en aktiveringsenergi på 101000 cal/mol. Dette betyr altså en meget sterk avhengighet av temperaturen, og medfører selvsagt ^{at det finnes} optimal temperatur for enzymkatalyserte reaksjoner.

Varmedestruksjon av enkelte viktige enzymsystemer i næringsmidler.

Mange enzymer er beskyttet i sin naturlige tilstand mot varmpåvirkning. Dette er en av årsakene til at det i sær i faste næringsmidler kan være vanskelig å studere varmeresistensen. Selve registreringsmåtene for temperaturen kan virke inn på stabiliteten til enzymene som skal undersøkes og innføring av termoelementer kan virke på den naturlige likevekten ved f.eks at noe vannfase lekker ut, o.s.v. De resultatene som en kan vente å finne om varmeresistens i vegetabilsk og animalsk vev, må derfor alltid betraktes som omtrentlige.

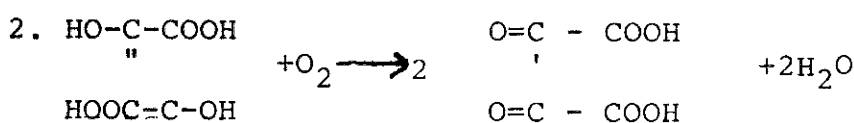
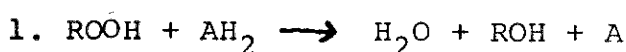
De tradisjonelle steriliseringsprosessene er normalt kraftige nok til å destruere de enzymene som er tilstede, selv om enkelte (peroksidase) muligens kan regenereres. Annen varmebehandling s.s. pasteurisering er rettet mot mikroorganismer,

men vil også destruere enzymer. Blanchering derimot er rettet mot enzymer men vil selvsagt også medføre betydelig reduksjon i antallet av mikroorganismer.

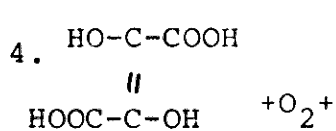
Peroxidase.

Dette er enzymer som er svært varmeresistente og som derfor kan brukes som et mål for effektiviteten av en blancheringsprosess. Hvis det meste av peroxidasen er ødelagt, så er også øvrige enzymsystemer totalt destruert.

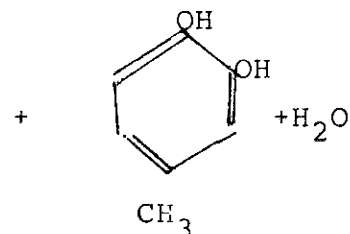
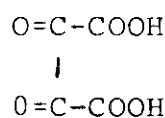
Peroxidase katalyserer følgende fine reaksjoner:



(dihydroxy fumar syre) (diketo ravsyre)



p.kresol



4-metyl-cateckol

Av disse er det særlig reaksjon 1) som kan gi uønskede smak- og aromastoff i mange produkter og som tradisjonelt settes i sammenheng med enzymet peroxidase. Som nevnt skal

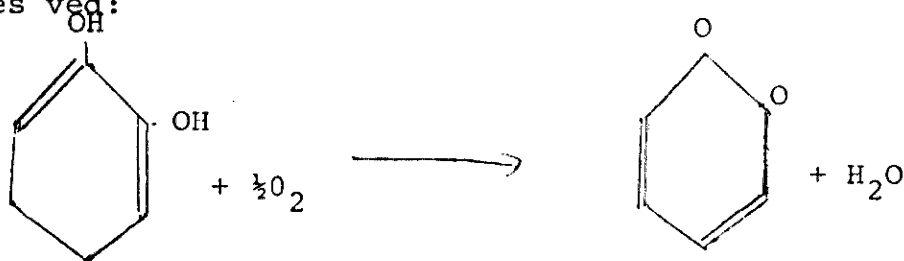
det kraftig varme til for å destruere peroxidase. Det er funnet halvveringsverdier for aktiviteten etter 32 min. ved 85°C , 12 min. ved 100°C , 2,5 min. ved 115°C og 0,4 min. ved 145°C . De få resultatene for Z- og D-verdier som er observert indikerer D-verdier ved 121°C (250°F) fra 0,4 min. for enzymet i mais til 7,5 i fosfatpuffer. De observerte z-verdiene varierer mellom $40,0$ og $87,5^{\circ}\text{F}$ med et gjennomsnitt på $60^{\circ}\text{F} \approx 33,3^{\circ}\text{C}$, altså langt høyere enn for bakteriesporer.

Catalase er egentlig en spesiell peroxidase som katalyserer reaksjon 3 nevnt under beskrivelsen av peroxidase. Det er indisier på at varmedestruksjonen av catalase ikke er 1. ordens reaksjoner. De verdiene som er funnet ved 60°C (D = 22 - 31 min. og z = $37^{\circ}\text{F} \approx 20,5^{\circ}\text{C}$) indikerer i hvert fall at enzymet lett lar seg inaktivere.

Catecholase eller Polyfenol oxidase).

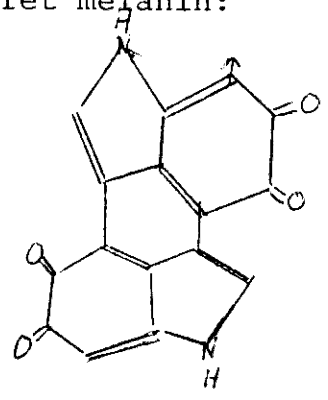
Dette er svært viktige enzymer i næringsmiddelteknologien fordi de katalyserer reaksjoner som gir brunfargede endeprodukter. I frukt (f.eks. epler) og grønnsaker (s.s. poteter) foreligger enzymet adskilt fra substrat i naturlig tilstand. Skjærer vi imidlertid over et slikt næringsmiddel eller skader ^{det} på annen måte, vil enzymet og substrat komme i kontakt med hverandre og med nok tilgjengelig oksygen fra lufta foregår brunfargingen nesten spontant.

Prinsipielt kan reaksjonkjedens innledningsfase eksemplifiseres ved:



En rekke substrater kan angripes bl.a. forskjellige fargede og ikke-fargede FLAVONOIDER. De benzoquinonene som dannes

er rødlig-brune men reaksjonene går videre og kan ende opp i det brune fargestoffet melanin:



De få inaktiveringsundersøkelsene som har vært foretatt for Catecholaser indikerer (i pare - pure².) en z-verdi på 10⁰F ≈ 5,5⁰C og en D-verdi ved 75⁰C på 3,5 minutter.

Klorofyllase hydrolyserer klorofyll ved avspalting av fytol og klorofyllid. Klorofyllidene er vannløselige forbindelser med omtrent den samme fargen som klorofyllene. Blanchering har derfor ikke noen særlig gunstig virkning på grønn-fargen i vegetabilier. Det blir tvert i mot dannet pheofytiner (klorofyll + Mg) under blancheringen, og disse gir en brunaktig farge. Klorofyllase er svært varmelabil og destrueres derfor ved relativt svake temperaturbehandlinger. Det er forøvrig muligheter for at andre enzymssystem kan degradere klorofyllene og at blancherings prosessen i enkelte tilfeller også kan virke gunstig inn på grønnfargen.

Lipaser. Det meste arbeidet med lipaser har vært utført i kjøtt, melk og andre animalske produkter. Det er imidlertid klarlagt at lipaser også kan ha stor betydning for holdbarheten av vegetabilier og især kål og gulrøtter.

Det finnes utvilsomt mange lipase-systemer og noen av dem er svært spesifikke. En enkel gruppering kan være å inndele lipasene i de som ^{avspalter} α- eller β- fett-syrer. Den viktigste enzymnedbrytningen av fettsyrer er antagelig β-oksidasjon hvor fettsyren blir avkuttet med to og to C-enheter med dannelse av acetyl coenzym A.

Lengre fettsyrer kan også bli redusert med 1 C pr. enzym-sekvens (α -oksidasjon). Denne reaksjonen fører til opphopning av hydrogen peroksyd. Spaltingen av dette foregår ved virkning av en spesifikk peroxidase. Originale lipaser har liten varmetoleranse, mens bakterielle enzymer kan tåle svært sterk varmebehandling.

Lipoksygenase.

Dette er enzymsystemer som er svært vanlige i naturen, særlig i tomater, poteter og forskjellige urter. Endel mikroorganismer har også kraftige fettoksyderende enzymsystemer. Enzymet angriper spesifikt 1,4 - pentadien strukturen så som linol-, linolen eller arachidon syrer, men ikke oljesyre. Resultatet blir optisk aktive cis-trans-konjugerte hydroperoksyder. I pufferopløsning ved pH 7,0 er det funnet en z-verdi på $9,2^{\circ}\text{F} \approx 5,1^{\circ}\text{C}$ og en desimalreduksjonstid på 44 minutter ved 65°C . Enzymet må derfor betraktes som relativt varmestabilt. Noe høyere z-verdier ($15,7^{\circ}\text{F} = 8,7^{\circ}\text{C}$) og D-verdier på 0,09 minutter ved 80°C er observert for enzymet i en oppslemning av bønner.

Andre viktige enzymer i næringsmidler.

Bruk av enzymer i næringsmiddelindustrien vil få en spesiell utdyping i dette kurset. En rekke slike enzymer spalter pektin og pektinliknende stoff og har derfor en svært stor betydning for konsistensen i ferdige produkter fra i sær frukt og bær. Destruksjon av slike enzymsystemer kan være en fordel f.eks. ved fremstilling av syltetøy, gele o.l. For saftproduksjon er det en fordel å ha disse enzymene nærværende fordi en da får en lettere produksjon og en klarere saft. Generelt er pektinasene varme-labile, men det er funnet at polygalacturonase fra papaya kan ha en z-verdi på $11^{\circ}\text{F} \approx 6,1^{\circ}\text{C}$ og D-verdi på hele 23 minutter ved 80°C . Et tilsvarende enzym fra tomat beholdt 5% av sin originale aktivitet selv etter 1 time ved 100°C .

Askorbinsyre oksidase

Dette er enzymsystemer som er viktige i matvarer fordi de spe-

sifikt angriper C-vitaminet. Hvis dette enzymet ikke destrueres, vil C-vitamininnholdet gå drastisk ned. Heldigvis ser det ut til at enzymet er relativt varmelabilt. Blanchering av grønne bønner i 3 minutter ved 82°C har vist seg tilstrekkelig for konservering av C-vitamin.

9.2. Varmebehandlingsens virkning på vitamininnholdet i næringsmidler.

De aller fleste prosesser innen næringsmiddelteknologien har, selvsagt mer eller mindre, en negativ innvirkning på vitamininnholdet. Særlig vil det gå ut over C- og B₁.

Det er alltid av betydning ved en diskusjon om næringsstoffenes skjebne under forskjellige prosesser hvorvidt -

1. destruksjon av vedkommende næringsstoff betyr noe særlig fordi næringsmiddelet inneholder under alle omstendigheter lite av vedkommende stoff.
2. det næringsmiddelet en betrakter er den vesentligste del av ernæringen for visse grupper i befolkningen.

I melk er det f. eks. en stor prosentdel av vitamin C som blir ødelagt. Dette betyr imidlertid ikke så veldig mye fordi C-vitamininnholdet i melk opprinnelig er liten. Minst halvparten av vårt C-vitaminbehov blir dekket gjennom poteter, og tilsvarende prosentvis tap her vil være katastrofalt.

Småbarn kan være avhengig av et fåtall ^{typer} barnemat og innholdet av næringsstoff i disse kan være helt avgjørende for barnets helse og trivsel

C-vitaminet

Innholdet av vitamin C blir ofte brukt som et mål for hvor ødeleggende en prosess eller en oppbevaring har vært for næringsmiddelet. Hvis mye av vitamin C er tilbake så har det normalt ikke vært særlig fare med de øvrige ingrediensene.

Det største tapet av vitamin C skylles lekkasje av vitaminet fra næringsmiddel til vann. Eksempelvis er det vist at ved koking av kål i 10x volum av vann gikk 80% av vitaminet tapt i vannet mens 10% ble destruert p.g. av temperaturen.

Vitamin C ødelegges lett ved oksygentilgang, spor av Cu og et spesifikt enzym: askorbinsyre oxidase. Dette enzymet destrueres ved varme. Ved en normal blancheringsprosess vil imidlertid en del vitamin tapes med vannet. Inaktivering av enzymet ^{ved} elektronisk oppvarming har i forsøk gitt 100% vitamin C tilbake til produktet. Vitaminet ødelegges lett under oppbevaring hvis det kommer oksygen til. I eple-saft er det vist en destruering på 95% etter lagring i 16 dager. Hermetiske erter inneholder f.eks. ca. 60% av vitamin C, mens dette avtar til ^{ca} 36% etter oppvarming før konsum.

Destruering av C-vitamin er i det vesentlige på samme måten som for en hel rekke av de øvrige vitaminene ikke forårsaket bare ved varmepåvirkningen, men heller ved organiske og uorganiske katalysatorer. Undersøkelser over z og D-verdier vil derfor bare ha mening under svært spesifiserte forhold både med hensyn til næringsmiddelets sammensetning, til emballasje og til prosess. Derfor er det heller ikke i litteraturen gitt noen varmeparametre for slike destruksjoner.

Vitamin B₁

Thiamininnholdet kan bli sterkt redusert ved varmepåvirkning - og ved forskjellige andre prosesser innen næringsmiddelindustrien. En del vitamin kan gå tapt i vannet ved blanchering og vitaminet oppfører seg her som de andre vannløselige vitaminene.

I surt miljø er vitaminet relativt varmestabilt, men hardt vann kan f. eks. være årsak til betydelige tap. Ellers kan thiaminet bli oksydert og også ødelagt av SO₂. Lys har ingen virkning.

Baking med alkalisk bakepulver kan gi 100% tap av vitamin B₁. Koking av kjøtt eller fisk gir opp til 50% tap; mens 75% kan tapes ved hermetisering av fisk.

Forsøk har indikert at varme-destruering av vitamin B₁ følger en

reaksjon av første orden med $D_{250^{\circ}\text{F}}$ på ca. 150 minutter og $z = 46^{\circ}\text{F} = 25,5^{\circ}\text{C}$. z -verdien er altså langt høyere enn for bakteriesporer. Dette betyr at det vil være en fordel å bruke svært høy temperatur i kort tid hvis vi vil destruere bestemte bakteriesporer, men samtidig bevare mest mulig vitamin B_1 .

De øvrige vannløselige vitaminene er stabile overfor varme; men varme i kombinasjon med lys, alkali eller oksygen kan virke ødeleggende

Nikotinsyre forekommer i flere matvarer i en bundet og biologisk utilgjengelig form. Dette kan frigjøres ved varmepåvirkning slik at den tilgjengelige mengden øker.

Karotenoider og blant disse f.eks. vitamin A er stabil overfor varmepåvirkning. Oksygen kan starte autooksydasjon, og virkningen er større desto høyere temperaturen er. På samme måten som umettet fett kan karotenoidene angripes av peroxidaser. Tilsatt syntetisk vitamin A eller karoten er lett å angripe fordi disse ikke er beskyttet av naturlige antioksydanter slik som de naturlige vitaminene er det.

9.3. IKKE ENZYMATISKE BRUNINGSREAKSJONER

Bruningsreaksjoner i næringsmidler forekommer svært ofte og i svært forskjellige produkt. Reaksjonene er teknologisk viktige fordi de påvirker aroma og smak, utseende og ikke minst næringsverdien til et produkt. I mange tilfeller er bruningsreaksjonen ønsket, og det kan finnes en mengde eksempler på det (kaffe, sjokolade, potetchips, øl, karamell, sauser, brunost, brød, kjøtt). I andre tilfeller er bruningsreaksjonene uønsket så som i mange hermetiske produkter og i sterkt varmebehandlete melkeprodukter. Enzymatiske bruningsreaksjoner er omtalt tidligere, og disse er nesten ^{uten} unntak uønsket. En skal her se nærmere på rene kjemiske, varmeinduserte reaksjoner. En kontroll av disse er ofte en av de viktigste oppgavene innenfor næringsmiddelteknologien.

Generelt sett er varmeinduserte bruningsreaksjoner uheldige for næringsverdien til det produktet en betrakter. Reaksjonene kan oppstå primært under fremstillingsprosessen, men lagringsbetingelsene kan også ha avgjørende betydning. Som nevnt er slike reaksjoner ofte ønskelige. I en del produkt kommer denne ønskeligheten av tradisjon (f. eks. brunost) fordi de mulige fremstillingsmåtene ga et brunet produkt. Selv om en i dag kan nytte andre teknikker som utelukker bruning, så vil publikum ikke akseptere slike produkt uansett hvordan næringsverdien er påvirket av bruningsreaksjonene.

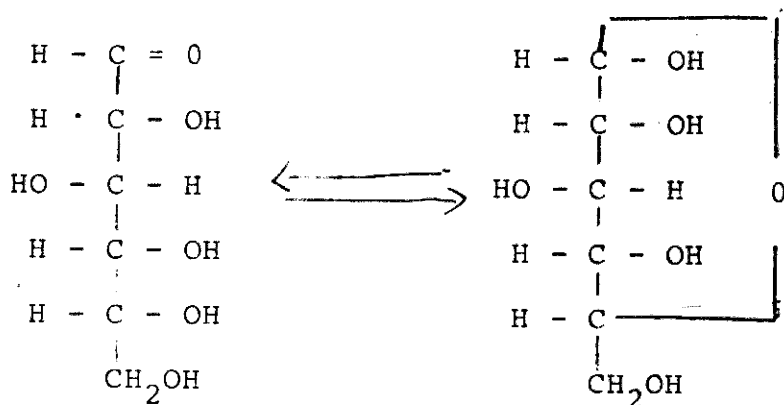
Det er årlig tusenvis av publikasjoner som omtaler ikke-enzymatiske bruningsreaksjoner, men ennå er det mye ugjort på området. Så langt er det tre hovedtyper av reaksjoner som det legges vekt på:

1. Maillard reaksjoner.
2. Karamellisering.
3. Oksidering av askorbinsyre.

1. Maillard reaksjoner.

I 1912 oppdaget Maillard at det oppsto brune fargestoff, såkalte melaoidiner, ved oppvarming av proteiner og sukker (glycin + glukose). Seinere har liknende type reaksjoner med aminosyrer, proteiner eller karbongrupper og reduserende sukker typer blitt betegnet som Maillard-reaksjoner.

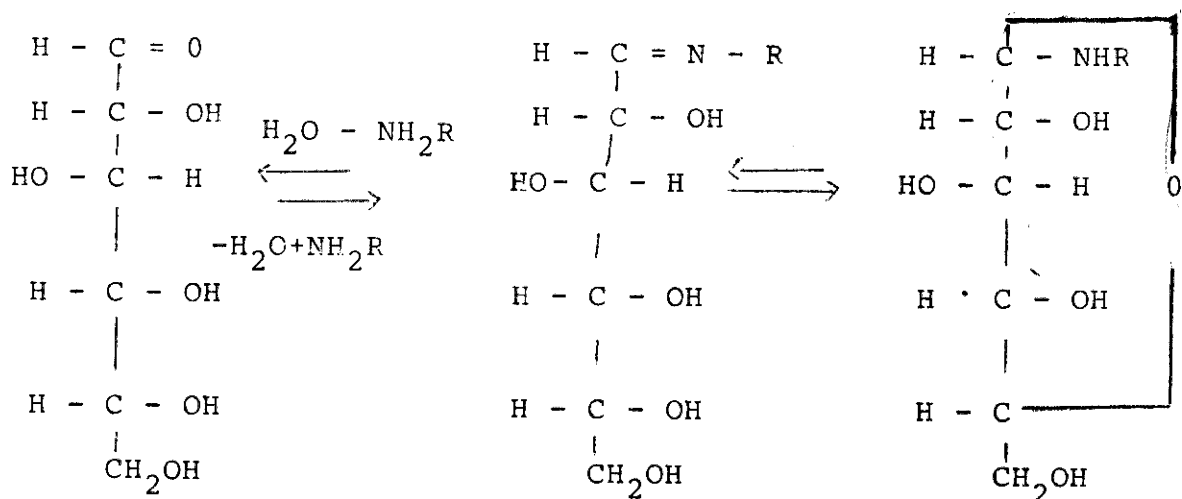
Maillard-reaksjonen innledes med en kondenseringsreaksjon mellom α -amino grupper og kullhydratets reduserende gruppe. Dette blir kalt for en karbonylamino-reaksjon. En reduserende sukkertype kan betraktes som et system av sykliske og ikke-sykliske forbindelser i likevekt.



Aldehydform

Cyklisk form (α)

Aldehydformen reagerer så med en aminogruppe til Schiff's base og videre til en cyclisk N-substituert glykosylamin:

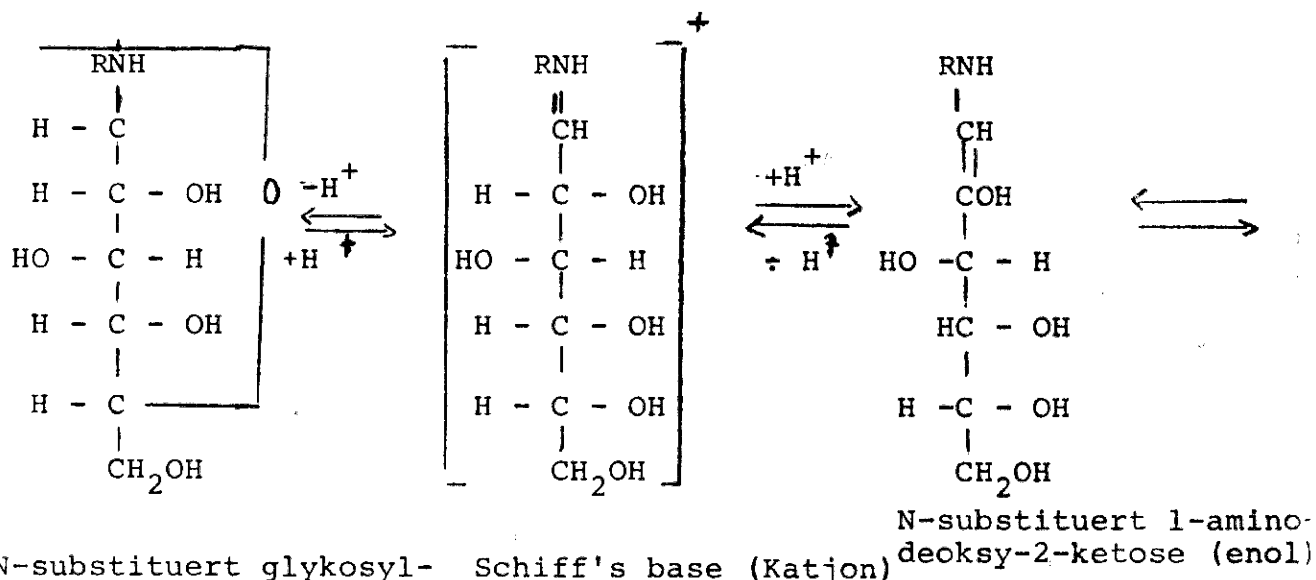


D-glukose

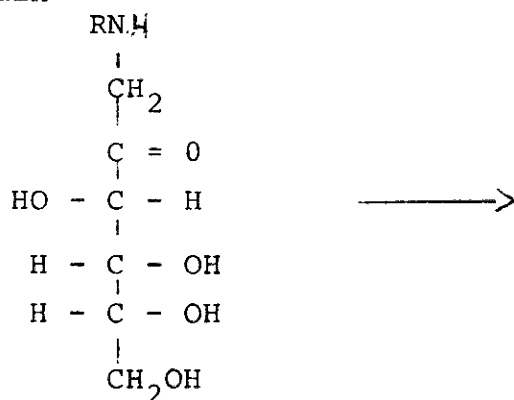
Schiff's base

N-substituert glykosylamin

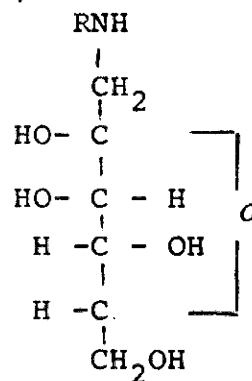
N-substituerte glykosylaminer er bare første trinn på vegen til bruningskomponenter. Den videre omsetningen gjenoppretter glukosens reduserende effekt. Dette kan forklares ved en Amodari omleiring som involverer en overføring av et aldose til et hetosederivat.



amin



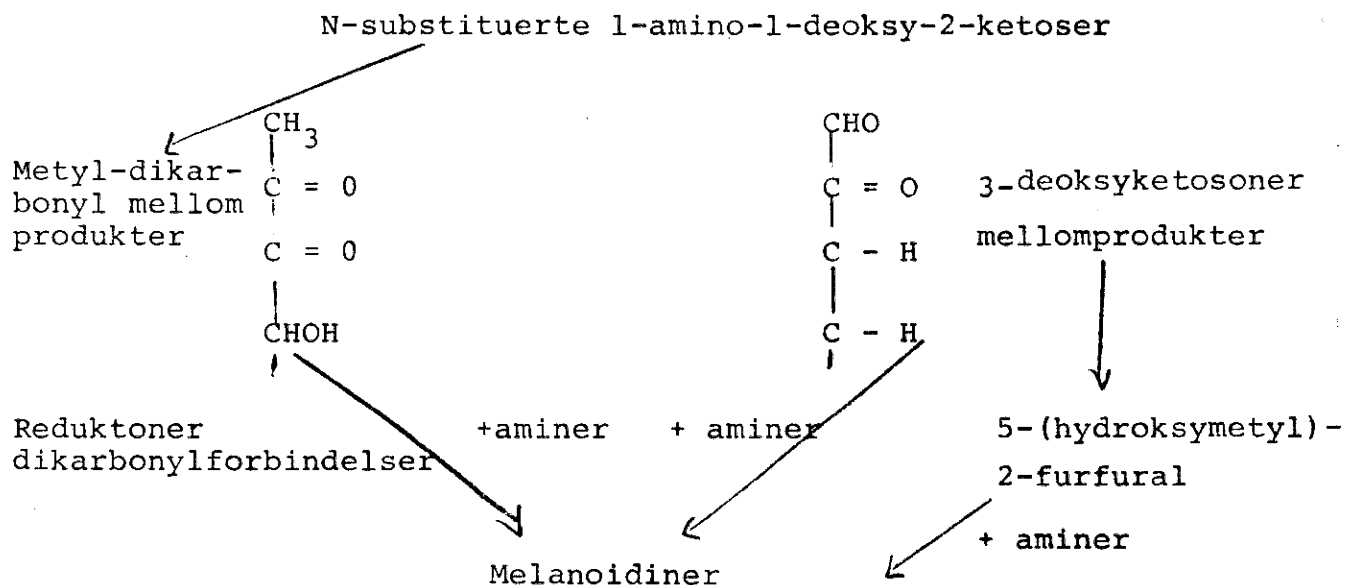
N-substituert-1-amino-1-deoksyd - 2 - ketose (keto)



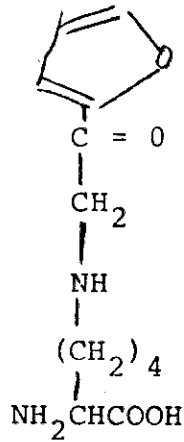
Fruktoseaminsyre (1-amino-1-deoksy-2-ketose)

Ennå er det ikke dannet brune produkter, og ennå kan prosessene reverseres.

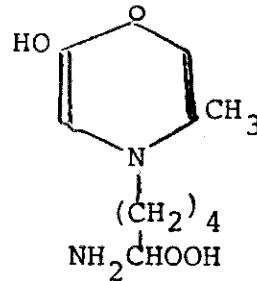
Det regnes med at det er tre forskjellige reaksjonsveger som fører fram til sterkt brune produkter. To av dem er skissert ved følgende skjema:



Av meget stor interesse i næringsmiddelteknologien er dannelsen av derivater mellom lysin og reduserende karbonylforbindelser. Mellomprodukter her er:



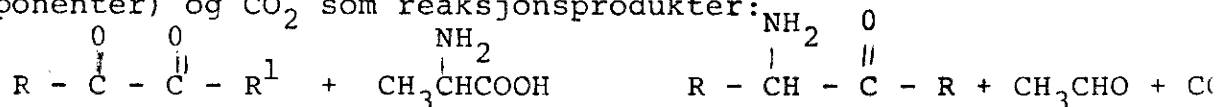
Furosine



Pyridosine

som begge kan nyttes for bestemmelse av ikke tilgjengelig lysin- $-N=CH_2-$ og $-N \begin{matrix} \diagup C \\ \diagdown C \end{matrix}$ er nemlig enzymresistente bindinger.

En tredje måte for den videre forandring av dikarbonylforbindelser som kanskje ikke har så mye med dannelsen av farge å gjøre som for dannelsen av aroma, er den såkalte Strecker degradering postulert for over 100 år siden. Reaksjonsmekanismen involverer en oksydativ degradering av en aminosyre med aldehyder (aroma-komponenter) og CO_2 som reaksjonsprodukter:

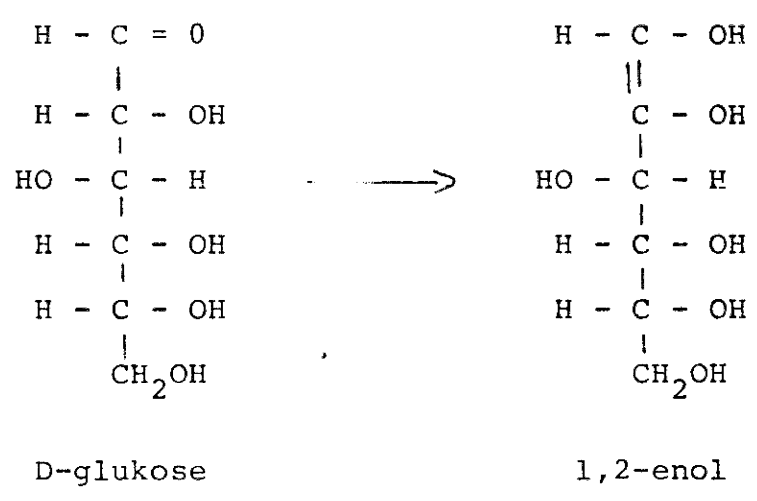


Brødlukt, sjokoladearoma og karamellaroma kan fremstilles av spesielle aminosyrer sammen med glukose. I næringsmidler som blir oppbevart ved høye temperaturer kan utviklingen av CO_2 bli et problem. Det er forsøk som indikerer at plommer og tomater kan utvikle relativt store mengder CO_2 i bokser ved høy temperatur.

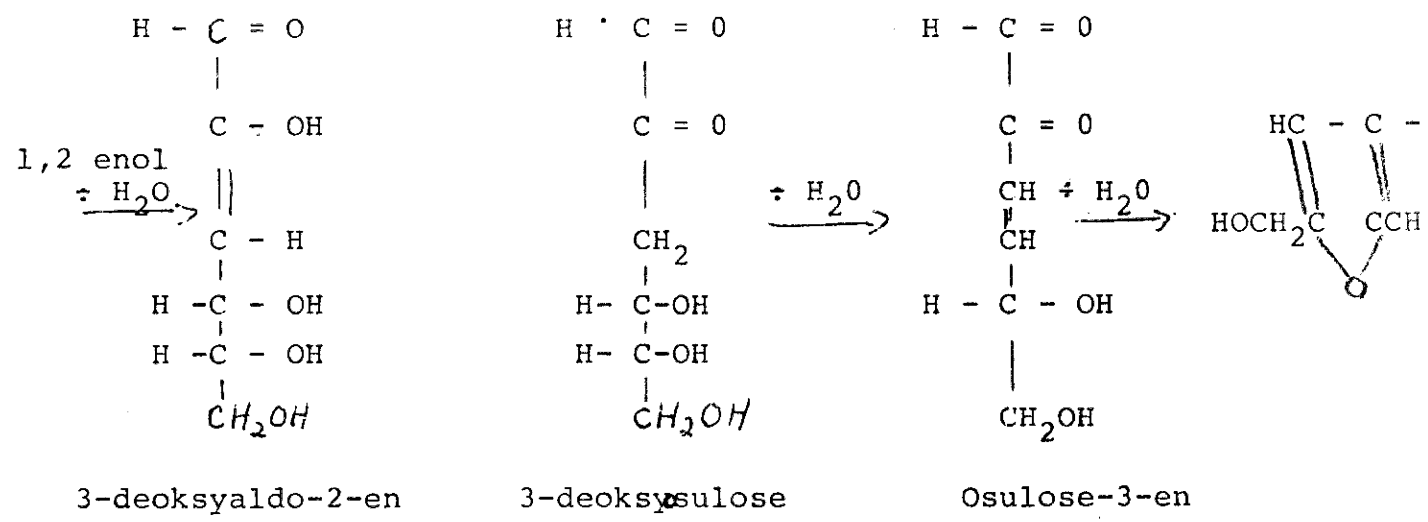
9.4. Karamelldannelse

Dette er en annen type bruningsreaksjon som kan oppstå i rene sukkerløsninger ved temperaturer høyere enn sukkerets smeltepunkt. Reaksjonsproduktene kan gi fin aroma (karamell), men kan også gi brente eller bittre aromanyanser. Det er derfor av den største betydning å kunne styre karamelliseringen i søtvareindustrien og i andre typer industri hvor slike reaksjoner kan forekomme.

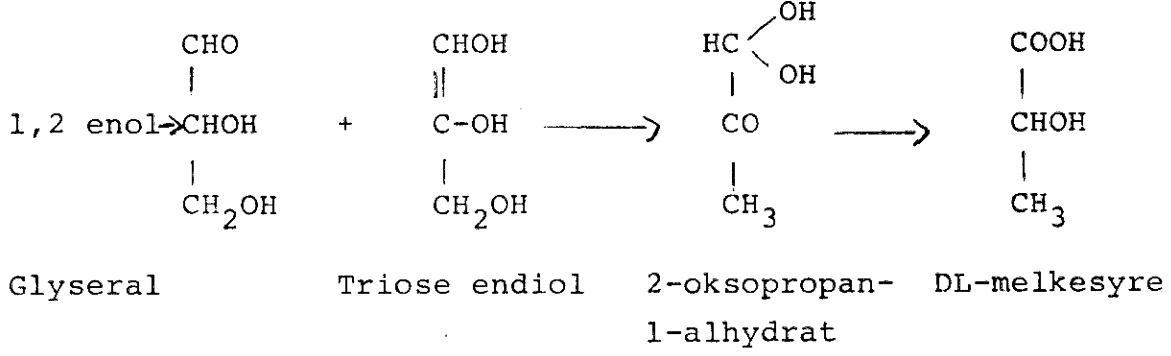
Det første trinnet i karamellisering er en omdannelse av glukose til 1,2-enol.



Den videre omdannelsen er avhengig av produktets pH. I surt miljø vil det dannes 5-(hydroksymetyl)-2-furfural.

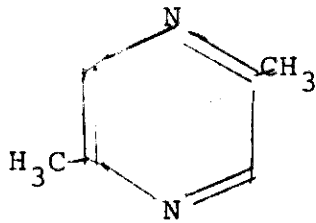


Ved alkalisk miljø blir følgende omsetning dominerende:

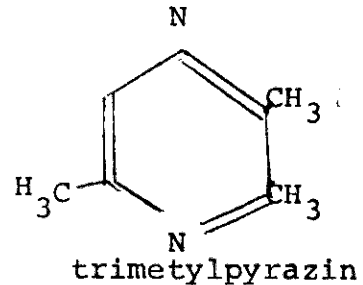


De ketonene og aldehydene som dannes som mellomprodukter kan omsettes videre til et stort antall brunfargede produkter.

I potetchips har det blitt observert pyraziner som trolig stammer fra degradering av glukose og reaksjon med aminosyrer:



2,5-dimetylpyrazin

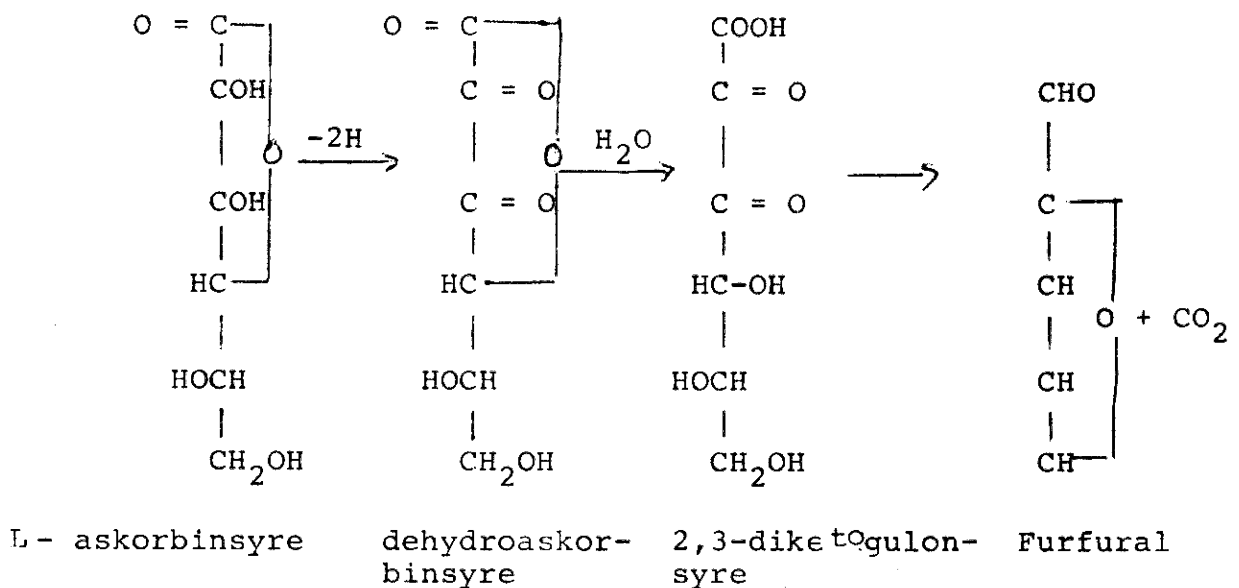


trimetylpyrazin

9.5. Oksydering av askorbinsyre

Vitamin C kan som tidligere nevnt oksyderes enzymatisk ved enzymet askorbinsyreoksydase. Vitaminet kan imidlertid også omdannes uten innvirkning av katalysator og til og med under anaerobe forhold. Disse omsetningene kan gi problem ved fremstilling av appelsin- saft - ikke bare på grunn av missfarging som kan oppstå - men også fordi vitaminet går tapt. Omsetningen går raskest ved svært lav pH. En justering av pH over 3,5 synes å være gunstig for omsetninger av denne typen.

De innledende stadiene i omsetningen kan være:

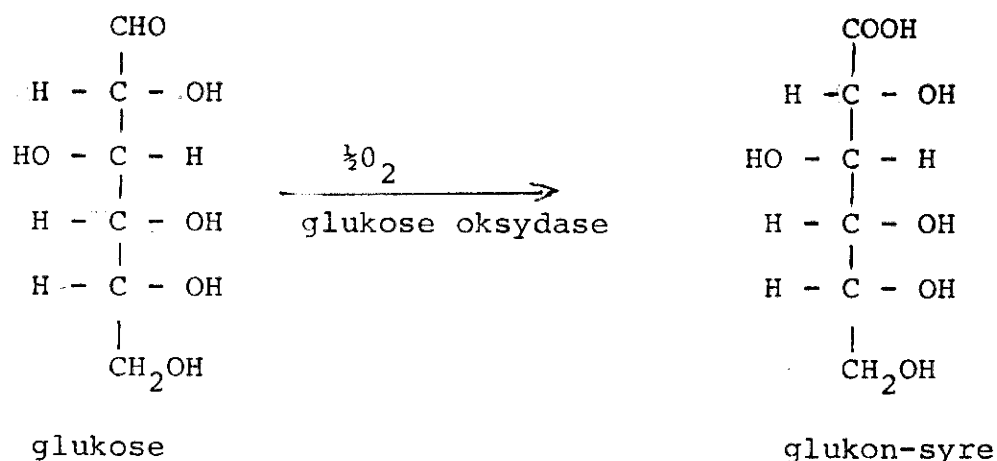


Hvordan en kan begrense ikke-enzymatiske bruningsreaksjoner

Da bruningsreaksjoner er svært vesentlige - både positivt og negativt - i næringsmidler, er det av stor betydning å kunne kontrollere og i de fleste tilfeller å hindre disse. Det er mange faktorer som spiller inn, og flere metoder brukes i teknologien for å begrense omfanget av slike reaksjoner.

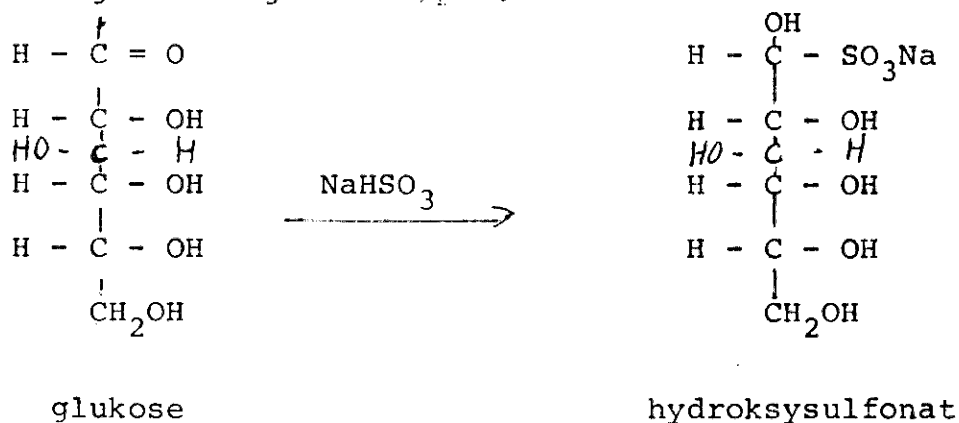
- a) Temperaturen. Maillard-reaksjoner er sterkt temperatur-avhengige, og LEA og HANNAN har demonstrert at fallet i fritt amino-nitrogen i et kasein-glykose-system følger Arrhenius' likning over hele temperaturområdet 0 - 90°C. Der det er mulig bør temperaturen settes ned under prosessen, og lagringstemperaturen bør under alle omstendigheter holdes lav. z-verdien for begynnende bruning er imidlertid stor (ca 54°F \approx 30°C). Hvis formålet med en prosess utelukkende skal være å destruere bakterier, sporer eller enzymer, kan en oppnå effekt ved å bruke høyere temperatur i kortere tid og da kan en hindre bruningsreaksjoner. Dette har vært et viktig fundament for innføringen av ultrahøye steriliseringstemperaturer i kort tid UHT.
- b) pH. Desto mer alkalisk et miljø er, desto raskere foregår Maillard-reaksjonene. Ved tørking av egg tilsettes ofte syre før prosessen og pH-justeres i ferdig produkt med natriumbikarbonat.
- c) Vannaktivitet. Ikke-enzymatiske bruningsreaksjoner kan foregå ved lave vannaktiviteter og det er vist for en rekke produkter at bruningsreaksjonene foregår raskest ved vanninnhold mellom 13-20% (poteter, melkekonsentrat eller en a_w mellom 0,3 og 0,7). Det er naturlig at det vil være et optimum ved en vannaktivitet som er stor nok til at vannet kan brukes som transporttør, men så liten at de reagerende kjemiske forbindelsene er i størst mulig konsentrasjon.

- c) Enzym-behandling. I relativt enkle systemer kan en effektivt hindre bruning ved å endre en eller flere av de reagerende stoffa til inaktive form. Til egg kan en f.eks. sette gjær som forgjærer glukosen og dermed hindrer glukose-aminosyre reaksjoner. En kan ellers bruke glukoseoksidase.



som da også tar bort oksygen fra systemet.

- d) Tilsetning av sulfitt. Sulfitt er meget brukt både for å hindre enzymatiske og reine kjemiske bruningsreaksjoner. Det har lenge vært godtatt at det skjer en blokkering av aldehydgruppe tidlig i reaksjonsforløpet.



Nyere studier over reaksjonskinetikk med bruk av merket ^{14}C -D-glukose har indikert at glukosen omsettes, men at bruningsreaksjonene stanser på et langt seinere stadium. Dette kan da medføre en destruksjon av aminosyrer selv om en ikke får brunfarging.

- e) Tilsetning av Ca-salter. I enkelte tilfeller kan Ca-salter effektivt hindre bruningsreaksjoner. Dette er søkt forklart ved at Ca^{++} danner et gel med en rekke aminosyrer og at disse da ikke kan reagere med aldehyder eller andre reduserende stoff.

Reduksjon i bakterietall eller sporer og destruksjon av enzymer eller vitaminer kan greit behandles på en og samme måte ved bruk av observerte D- og z-verdier. Forholdene blir selvsagt anderledes når en går over til fremkomst av brunfarge eller kokt-smak. Dette er jo da egenskaper som øker ved stigende temperatur. Hvis dette kan relateres til destruksjon f.eks. av fri aminogrupeer, kan en bruke D- og z-verdier på lik linje med destruksjon av bakterier. Ellers må en karakterisere farge eller smak ved bedømte kvantiteter, noe som selvsagt er svært vanskelig. Da de bakenforliggende kjemiske reaksjonene er komplekse og ikke på noen måte tilfredsstillende forklart, vil en beregning av temperatur/tids-kombinasjonens virkning på farge og smak være vanskelig å beregne.

9.6. Varmedenaturering av proteiner.

Intermolekylære bindinger er årsaken til proteinenes foldete og ofte globulære form. Med denaturering mener vi da at det har foregått en eller annen endring i proteinets opprinnelige oppbygging. En rekke målbare forandringer karakteriserer en denaturering:

1. Proteinenes oppløstighet avtar, særlig i deres isoelektriske områder.
2. Proteiner med karakteristiske biologiske egenskaper (enzymer, hormoner) mister disse.
3. En rekke nye grupper blir tilgjengelige for kjemiske reaksjoner (sulfhydryl, fenol, o.s.v.)
4. Nye joniserbare grupper blir tilgjengelige for syre-base titrering.
5. Dreining av polarisert lys endres \longrightarrow venstre
6. Økningen av reaktive grupper medfører at proteinene lettere blir angrepet av enzymer i en denaturert tilstand.
7. Proteinet kan ikke lenger danne krystaller.

I 1931 postulerte WU at årsaken til denaturering var at de sekundære bindingene i proteinmolekylet ble løst og at proteinets foldete natur og regelmessige oppbygning mer gikk over i et uordnet system. De frigjorte gruppene fra de sekundære bindingene kan reagere med grupper fra andre proteinmolekyler med utfelling som resultat. Ioner av forskjellige typer kan også reagere og forårsake utfellinger eller også gi en bedret stabilitet.

Spesielle denaturerende stoff kan fremskynde spaltingen av sekundære bindinger ved å ha sterk affinitet til disse gruppene. Salter og syrer i miljøet vil derfor kunne ha sterke virkninger og influere bl.a. på proteinenes varmestabilitet.

I titusener - og kanskje hundretusener - av år har menneskene dratt nytte av de kjemiske endringene som foregår ved varmebehandling av proteiner for å få produktene mer velsmakende og kanskje ubevist lettere fordøyelige. En mer tiltalende farge har kanskje mer vært en sekundær virkning.

Varmebehandlingsvirkning på proteinene er selvsagt av størst betydning for kjøtt og fisk. Den primære strukturen av proteinene i disse produktene gir best "vannbindingsevne". Så snart denatureringen begynner vil produktet tape vann. Varmedenatureringen begynner allerede ved 50°C, det frigjøres vann som delvis blir presset ut fordi proteinfibrene endrer struktur mot mindre volum. Det er da observert vekttap på opptil 35% ved 90°C. Kjøtt med lite bindevev kan være mørt ved svært svak varmebehandling, men med mye bindevev øker nødvendigheten av varmeintensiteten. Bindevevet (kollagenet) har et svært høyt innhold av prolin og hydroksyprolin som danner mange hydrogenbindinger. Disse blir da brutt under varmebehandlingen.

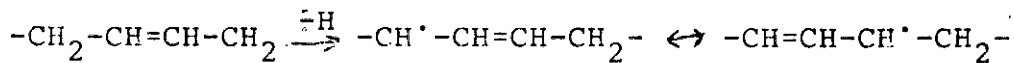
Interne kovalente bindinger i molekylet åpnes vanskelig ved innvirkning av varme. Slike bindinger øker i antall med dyrets alder, og dette er årsaken til at kjøtt fra gamle dyr er svært seigt.

9.7. Innvirkning av varmebehandling på fett.

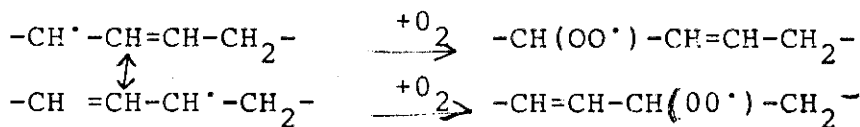
Ved de temperaturene som kan betraktes som normale under kommersielle varmebehandlinger inkludert sterilisering, vil hydrolyse av fett neppe bety særlig mye for produktets kvalitet. Hvis det har vært lipaseaktivitet i utgangsmaterialet vil en varmebehandling kunne gi såpesmak fordi de høyere fettsyrene kan danne såper med katjoner i mediet.

Oksydasjon av umettet fett er et vesentlig større problem. Den kan være katalysert av enzymer, men viktigere er innvirkning av oksygen i produktet eller fra lufta hvis oppvarmingen foregår i åpne beholdere.

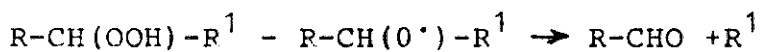
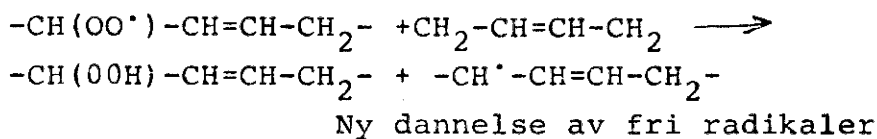
Det er nå almindelig godtatt at fettoksydasjonen foregår ved dannelse av "fri radikaler". Reaksjonene går over flere prinsipielle trinn. Initieringen er lite kjent, men hydrogen fjernes og det dannes fri radikaler. Seinere i prosessen vil det også dannes fri radikaler, slik at prosessen vil fortsette til det eventuelt blir for lite substrat.



Initiering



Progagering



Terminering

Det er muligheter for dannelse av flere isomere hydroperoksyder og dermed er også mulighetene for en hel rekke sluttprodukter tilstede.

Olje-syra har to Δ -metylen grupper og gir derfor fire isomere hydroperoksyder. I polyensyrer angripes fortrinnsvis Δ -metylen-gruppa mellom (isolerte) dobbeltbindinger. Linol-syra kan derfor gi tre og linolensyra seks isomere hydroperoksyder.

Det er karakteristisk for autooksydasjonen at dobbelt-bindingene skifter fra isolerte til konjugerte under dannelsen av hydroperoksydene.

Ved siden av hydroperoksyder kan vi få dannet polyperoksyder, epoksyder og sykliske peroksyder. Da slike forbindelser ofte har sterk lukt, vil de gi uheldige aromaer i produktene. Uttrykk som maling-lukt, nøttelukt, bladlukt, oljet lukt, fisket lukt, papplukt o.s.v. har blitt brukt for å karakterisere disse typene av aroma. De kan luktes i så små kvanta at det er uråd ad analytisk veg å oppdage dem før produktet er ødelagt i sensorisk forstand.

Autooksydasjon kan foregå ved lave temperaturer, men reaksjonshastigheten vil øke med temperaturen. Produkter med begynnende autooksydasjon vil kunne utvikle uheldige aromastoff selv ved svært lave temperaturer.

En særdeles kraftig varmebehandling som f.eks. steiking vil kunne føre til polymerisering av fett med følgende virkninger:

1. Økt viskositet
2. Bruning
3. Økt skummeevne

Polymerisert fett blir ikke tatt opp i tarmene, noe som både kan være en fordel og en ulempe.

Som nevnt i forbindelse med autooksydasjonen, vil denne gå hurtigere ved økende temperatur. Det er derfor uheldig å etterfylle fett ved forskjellige typer steiking fordi autooksydasjonen kan være initiert i det "gamle" fett.

Fettets holdbarhet under steikinga vil i noen grad være avhengig av det næringsmiddelet som fett er i eller kommer i kontakt med. Poteter som avgir mye vanddamp vil øke tendensen til hydrolyse. (Potetchips er ofte harske) Bruningsreaksjoner mellom fett og sukker kan også bli av betydning ved høye temperaturer.

Varmebehandlingens virkning på kullhydrater.

Lett hydrolyserbare sukkerarter som f.eks. sukrose kan spaltes ved oppvarming særlig i produkter med lav pH. Dette resulterer i at søtsmaken blir sterkere og at virkningen på frysepunkt-depresjonen, kokepunktøkning, osmotisk trykk o.s.v. blir forsterket.

Stivelsens oppførsel under oppvarming har meget stor betydning for brødvarer og i potetindustrien. Stivelsen består av en blanding av to polysakkarier, nemlig amylose og amylopektin. Den første er en lineær polymer, mens den andre er forgrenet. Ved 60-70°C starter gelatinisering og fortsetter til ca. 100°C. Stivelseskornene tar da opp mer vann og produktene vil ekspandere. Ved fortsatt oppvarming vil vanninnholdet avta og strukturen til produktet dannes. Den lineære amylosen vil imidlertid lett krystallisere ut, noe som kalles for retrogradering. Dette kan være årsaken til at brødvarer lett blir tørre og at det danner seg skorpe på f.eks. puddinger.

Varmebehandling og næringsmiddelets farge.

De fleste varmebehandlede produktene får under prosessen en fargeendring som kan være ønsket, men som også kan være uheldig for produktets utseende. Ved baking, steiking av kjøtt og fisk o.l. prosesser er den brunfargen som oppstår ved reaksjoner mellom protein og kullhydrater heldig, selv om den i høyeste grad bør kontrolleres. For sterilisering, pasteurisering, blanchering og UHT behandling er fargeendringer i produktene uheldige. Det nedsetter som regel aksepteringen av produktet, og samtidig er fargeendringene en indikator på at produktets næringsmessige verdi er forringet. Valget av temperatur/tids-kombinasjoner er derfor ofte et kompromiss mellom bakteriologisk kvalitet og farge-eller smaksendringer.

Bruningsreaksjoner p.g.a. reaksjoner mellom proteiner og kullhydrater er omtalt før. En svært viktig fargedannelse skyldes omdannelse av myoglobin eller oksymyoglobin til globin hemochromogen og videre til globin hemichromogen som er årsaken til fargen i varmebehandlede kjøttvarer. Globin hemichromogen kan også dannes av metmyoglobin.

Varmebehandling av grønne vegetabilier forårsaker ofte at produktet får en oliven-brun farge. Årsaken til dette er at klorofyll og da vesentlig klorofyll a mister Mg^{++} og går over til pheophytin. I konserverindustrien er dette et stort problem. Det er utført forsøk på å stabilisere fargen ved at klorofyller overføres til klorofyllider under påvirkning av enzymet klorofyllase. Andre forskere har prøvd å tilsette alkaliske komponenter fordi overgangen til pheophytin går hurtigst i surt miljø. Dette virker imidlertid uheldig på andre viktige komponenter, bl.a. vitamin C og også på smaken. UHT-behandling har gitt godt resultat umiddelbart etter behandlingen, men fargen har fort endret seg. Antagelig kommer dette av at det under den sterke varmebehandlingen vil dannes en rekke syrer som gjør ombyttingen av Mg^{++} med H^+ lettere. Klorofyllholdige næringsmidler bør derfor få en så svak varmebehandling som det er mulig utfra hensyn til destruksjonsgrad av bakterier og enzymer.

Varmebehandling og lagring av frukt- og bær-produkter kan lett føre til nedbrytning av fargestoff.

I en rekke av slike produkt er flavonoider årsaken til fargen, og i denne stoffgruppen er anthocyanene svært viktige.

Varmebehandling av produkter av denne typen kan føre til avspalting av sukkerdelen av anthocyanene. De anthocyanidiene som da oppstår er svært ubestandige og overføres lett i fargeløse forbindelser. Det er også funnet en negativ korrelasjon mellom innholdet av anthocyaner og bruning for et og samme produkt. En forklaring på dette er at pyryliumringen åpnes med følgende kondensasjon og dannelse av polyfenoler. Slike polymere forbindelser kan trolig også dannes av leucoanthocyaner, flavanoler, flavanoner og flavoner.

Betalainene kan også degraderes ved varmebehandling. Vanligvis er det nok fargestoff til at reduksjonen neppe kan merkes i produktene (f.eks. i hermetiske rød-beter).

Karotenoidene blir vanligvis ødelagt ved oksydasjon, men det er mange faktorer som spiller inn, s.s. lys, pro- og antioksydanter. Desto høyere temperaturen er, desto raskere vil oksydasjonen foregå i samsvar med ordinær reaksjonskinetikk. Da det i de sterkt u-
mettede fargestoffene ofte dreier seg om autooksydative prosesser, vil dannelse av fri radikaler i lipidfraksjonen av næringsmiddelet ha innvirkning på degraderingen av karotenoidene.

9.8. Temperaturesens virkning på aroma.

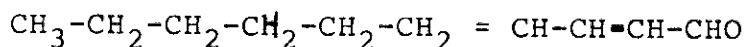
De omdannelsene som foregår ved varmebehandling av næringsmidlene vil alle ha mer eller mindre virkning på produktets organoleptiske kvalitet. Punktvis kan en imidlertid klassifisere reaksjonene slik:

1. Reaksjoner mellom karbohydrater og proteiner
2. Varmeinduserte forandringer av karbohydrater
3. Omdannelse av fett
4. Andre reaksjoner

De ikke-enzymatiske bruningsreaksjonene gir også en rekke produkter med markert smak og aroma. Blander vi glukose og aminosyrer kan vi få fram de aromanyansene som er gjengitt i tabell . Dette er smaksretninger som en umiddelbart vil gjenkjenne fra vanlige prosesser innen næringsmiddelindustrien. Varmebehandlingen trenger ikke være særlig sterk hvis forholdene ellers ligger godt til rette for reaksjoner av Maillard-typen.

Rein omdanning av karbohydrater krevrer høyere temperaturer. En del flyktige forbindelser fra slike omdannelser er gjengitt i tabell

Omdannelse av fett ved svært høye temperaturer gir som regel spaltningskomponenter med en ønskelig aroma. En betydelig del av steiklukta fra soya- og bomullsfrøolje og fra fett fra storfe stammer tydeligvis fra deca-2,4-dienal som kan dannes fra linolensyre:

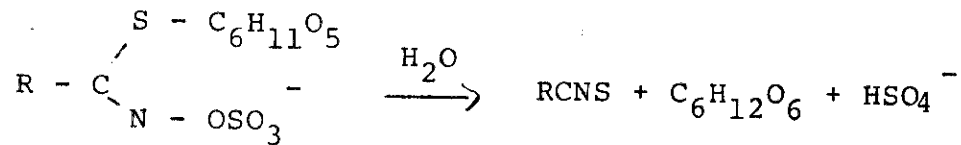


Andre oksydasjonsprodukter vil kunne gi avvikende aromaer. Tendensen til oksydasjon i steriliserte produkter er avhengig av oksygeninnhold, eventuelt innhold av peroksyder, graden av umettethet til fettsyrene og pro- og antioksydanter.

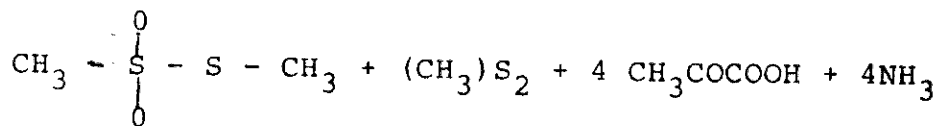
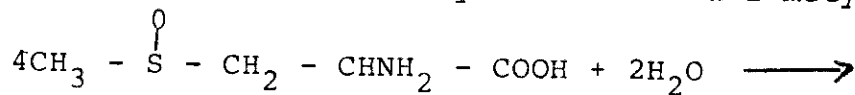
En rekke andre vanlige reaksjoner i matvarer kan gi aromastoff. Dannelse av svovelforbindelser som kan resultere i smaksendringer som svovelaktig, kokt, brent, o.s.v. stammer oftest fra en denaturering av proteiner med frigjøring av -SH-grupper. Myseproteiner med et høyt innhold av svovelholdige aminosyrer gir ofte kraftig kokt smak ved relativt svak varmebehandling. Persson og von Sydow fant god korrelasjon mellom enkelte aromakomponenter og intensiteten av spesielle smakskarakteristika etter oppvarming av komponentene. (tabellene). Dette kan imidlertid ikke tas som noe bevis for at slike smaksretninger i et produkt stammer fra slike komponenter.

Typisk "konservessmak" på produkter sterilisert i bokser, kan reduseres ved sterilisering i åpne bokser. Aseptisk tapping burde derfor være å foretrekke der det teknologisk er mulig.

Grønnsaker og særlig kål har lett for å danne stoffer som lukter svovel. Samtidig kan det dannes sennepsoljer:



Det kan også dannes metylsulfider fra l metylcysteinsulfoksyd.

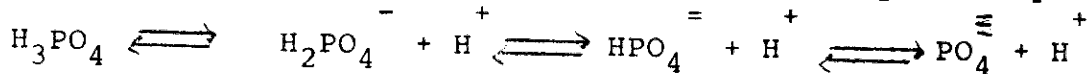


Dette er ofte enzymatiske omsetninger.

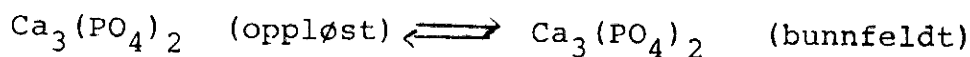
I varmebehandlede produkter kan det også dannes sulfider, disulfider osv. som kan gi vanskeligheter med gassdannelse og også korrosjon i en lukket boks.

ENDRINGER I INNHOLDET AV SALTER OG I pH

Ved endringer i temperaturen, vil det også skje endringer i saltenes likevektstilstand og i mediets surhetsgrad. Det klassiske eksemplet er utfellingen av Ca_3PO_4 i melk som er en endoterm reaksjon): den går lettere desto høyere temperaturen er:



og



En økende temperatur vil felle mer PO_4^{\equiv} og dermed øker surheten. Ionene virker inn på proteinenes oppløselighetsforhold og deres konsistensbyggende egenskaper forandres derfor med temperaturen. Ved felling av di eller polyvalente kationer, vil effekten av de monovalente s.s. Na^+ bli forsterket. Ofte fører dette til at produktene blir mer møre, en virkning som kommer i tillegg til varmens direkte virkning på proteinene. Ved varmebehandling

vil det især for grønnsaker dannes syrer, som bl.a. er med på å omforme klorofyll til pheophytin. Koking i lukkede beholdere vil i så fall være mer skadelig enn i åpne fordi syrene ofte er flyktige med vanndamp.

10. De enkelte varmebehandlingsmetodene

De aktuelle metodene vi har for varmebehandling av næringsmidler kan deles inn i fire grupper etter hvor høy temperaturen er under prosessen:

- I. Pasteurisering $< 100^{\circ}\text{C}$
(ultrapasteurisering over 100°C)
- II. Blanchering $\geq 100^{\circ}\text{C}$
- III. Autoklaving $\approx 120^{\circ}\text{C}$.
- IV. UHT-behandling $< 150^{\circ}\text{C}$.

Ved pasteurisering forstår vi en forholdsvis svak varmebehandling som har til formål å destruere største delen av den vegetative bakteriefloraen i et produkt, - og i særlig grad patogene arter og arter som har sterk reduserende virkning på kvaliteten av produktet. Prosessen innstilles ofte også slik at en del enzym-systemer destrueres.

Pasteuriseringen ble primært innført av Louis Pasteur for å stanse uheldige forgjæringer i vin, øl og eddik. Seinere ble prinsippet overført til melk hvor prosessen ble innstilt slik at produktet skulle være fri for organismer av *Mycobacterium tuberculosis*. Det siste blir oppfylt ved temperatur/tid kombinasjoner på 62°C i 30 minutter eller 72°C i 15 sekunder. Figur gjengir temperatur/tids-kombinasjoner som er tilstrekkelig for en 10^{15} reduksjon av tallet for forskjellige patogene bakterier, som vanligvis har en z-verdi på 9°F og D-verdier som angitt i tabell

Tabell . Varmeresistens for forskjellige bakterier som ønskes destruert ved pasteurisering.

Patogene og toksinproduserende mikroorganismer	D ca. Minutter	z ca. $^{\circ}\text{F}$
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	0,20 - 0,30	8 - 10
<i>Brucella</i> arter	0,10 - 0,20	8 - 10
<i>Coxiella burnetti</i>	0,50 - 0,60	8 - 10
<i>Salmonella</i> (ikke Senftenberg)	0,02 - 0,25	8 - 10
S. Senftenberg	0,80 - 1,00	8 - 12

Staphylococcus aureus	0,20 - 2,00	8 - 12
Streptococcus pyogenes	0,20 - 2,00	8 - 12
<u>Sporer</u>	$D_{82,2}$	
Clostridium bobulinum Type E	0,10 - 3,00	9 - 16
<u>Kvalitetsødeleggere.</u>		
Bakterie, gjær og mugg	0,50 - 3,00	8 - 12

Pasteurisering blir i dag brukt for et stadig økende antall næringsmidler. For den egentlige pasteuriseringen er det en betingelse at produktet er flytende. Med innføring av skrapevarmevekslere kan imidlertid begrepet "flytende" tøyes meget langt og produkter med relativt høye viskositeter kan pasteuriseres effektivt.

Lett flytende produkter kan pasteuriseres i enkle rørvarmevekslere men i dag er plate-apparater med regenerativer det som er vanligst og også driftsmessig mest økonomiske. (Figurer). Trinnvis skjer prosessen ved en forvarming hvor inngående produkt varmes opp av utgående produkt, en oppvarming ved hjelp av varmt vann (eller steam) en holdertid ved pasteuriseringstemperatur, avkjøling i regenerativ, og endelig kjøling med (is)vann. Normalt vil destruksjonen under oppvarming og avkjøling være liten og kan uten nevneverdig merkostnader eller fare for produktets kvalitet betraktes som en sikkerhetsfaktor. En kan da beregne nødvendig prosessetid (eller holdertid) ved å multiplisere prosessens F-verdi med F-verdien ved holdertemperatur.

Vi kan anta at vi har bestemt en nødvendig F_{150}^8 hvor 8 er z-verdi og 150 er referensetemperatur i °F. La denne $F_{150}^8 = 7,0$ minutter. Temperaturen i holdersella er $145^{\circ}\text{F} = 62,8^{\circ}\text{C}$. Hvor lang holdertid må vi så ha ?

$$F_i(145) = \text{antilog} (150-145)/8 = 4,22$$

$$t_{145} = 29,5 \text{ minutter}$$

Det kan være av stor interesse å finne ut hvor mye "sikkerhetsfaktoren" utgjør i F-verdi. Hvis vi bruker varmt vann på 160°F til å varme opp produktet til 145°F og oppvarmingskurvens parametre er

$$f_h = f_c = 3,2 \text{ og } j_{ch} = j_{cc} = 1,00$$

så er

$$g_c = 160 - 145 = 15^{\circ}\text{F}$$

Utfra f_h/U : g tabellen for $z = 8$, $j_{cc} = 1,00$ og $g_c = 15$, finner vi

$$f_h/U = 500$$

Da er

$$U = 3,2/500 = 0,0064$$

og

$$F_{150}^8 = U/F_i(160) = 0,114$$

fordi

$$F_i(160) = \text{antilog } (150 - 160)/8 = 0,0562$$

Den latente effekten av oppvarmingen vil her bare være omtrent 1,6 % av den totale effekten på

$$F_{150}^8 = 7,0$$

For enkelte pasteuriseringsformål (f.eks ved bruk av skrapevarmevekslere), vil en ikke ha noen holdertid og pasteuriserings-effekten må da beregnes på vanlig måte. Oppvarmingskurvens f_h -verdi og nølefase må da bestemmes ved observasjoner på flere steder i varmeveksleren. Dette kan by på store praktiske vanskeligheter.

Hvis vi har to skrapevarmevekslere av samme konstruksjon og bruker den ene til oppvarming og den andre til avkjøling, kan prosessens F-verdi ved 150°F og $z = 10$ bestemmes slik når følgende parametre er funnet: Temperatur i varmemediet (T_r) = 170°F

$$g_c = T_r - \text{temperatur ut fra 1. varmeveksler} = 10^{\circ}\text{F}$$

$$f_h = f_c = 3,0 \text{ minutter}$$

$$j_{ch} = j_{cc} = 1,0$$

Beregnet $D_{150} = 0,60$

Prosessens F_{150}^{10} vil bli:

$$U_{170}^{10} = F_{i170}^{10} \cdot F_{150}^{10}$$

$$F_{150}^{10} = U_{170}^{10} / F_{i170}^{10}$$

U_{170}^{10} kan vi finne fra f_h/U - g tabellene ved interpolering

$$f_h/U_{170}^{10} = 50 + (10,42 - 10)/(10,42 - 9,72/10) = 56,0$$

$$U_{170}^{10} = 0,0536$$

$$F_{i170}^{10} = \text{antilog } (150-170)/10 = 0,0100$$

$$F_{150}^{10} = 5,36$$

Dette indikerer en bakteriereduksjon på ca 10^9 idet $5,36/0,6 = \underline{8,9}$

10.1 Blanchering

Blanchering er sjelden noen egen, avsluttende varmeprosess. Med dette mener jeg at prosessen som oftest er en del av en prosesshelhet f.eks. frysing eller sterilisering, kanskje også tørring.

Hvis produktene skal tørres eller fryses, vil en med blancheringen prøve å inaktivere de enzymsystemene som kan ødelegge det konserverte produktets farge, dets smak og aroma, eller dets næringsverdi. Hvis produktet skal konserveres ved varme vil blancheringen ha andre formål for øye, f.eks. en forbedring av farge, utdriving av luft, utvasking av vannløselige komponenter

som er uheldige for smaken, eller også rett og slett en forvarming. Produktet vil også vanligvis krympe under blanchering noe som også vil være en fordel før fylling på boks.

Produkter som vaskes eller skrelles i varmt vann, trenger ikke blancheres. Produkter som skal konsumeres umiddelbart etter opptining (uten oppvarming) bør ikke blancheres av hensyn til konsistens og smak. Enzymaktivitet hindres da ved tilsetning av SO_2 , ascorbinsyre og/eller sukkerlake for å få ut luft. Frukt med lav pH blancheres vanligvis ikke.

Virkningen av blanchering kan da summeres opp slik:

1. Innaktivering av enzymer. Frysing og tørring bryter ofte ned naturlige skiller mellom enzymer og substrat. Enzymvirkningen kan derfor bli større enn ventet utfra naturlig aktivitet i tørrede eller dypfryste næringsmidler. Dette kan igjen virke inn på smak og på næringsverdi. Tabell () viser vitamintap i frosne bønner og erter med og uten forutgående blanchering. Enkelte prøver på tilstedeværelse av enzymer etter blanchering er derfor ønskelig. (Katalaseperoksydase eller phenolaseprøver).
2. Blanchering av frukt og grønnsaker kan resultere i at enkelte flyktige forbindelser som kan ha gunstig eller ugunstig smakseffekt, dannes eller fjernes.
3. Både i vannet i ~~plante~~vevet og i selve vevet er det oppløst og innesluttet luft. Det er viktig å få bort dette i sær for produkter som skal pakkes i bokser og eventuelt steriliseres. Lufta vil kunne forårsake uheldige oksydasjonsprosesser og korrodere boksene samtidig som fyllingen blir dårlig. Ved varmebehandlingen vil også vevstrukturen ødelegges, noe som også resulterer i bedre fylling. Ofte kan det av de nevnte grunnene være fordelaktig å blanchere under vacuum.
4. Blancheringen har stor betydning for bevaring av klorofyllfargen. Omdannelse til feofytin er ofte enzymatisk betinget. Imidlertid virker også selve varmepåvirkningen på denne omdannelsen som særlig går raskt for seg i surt miljø. Det er derfor optimale tids/temperaturkombinasjoner for de fleste

typer grønnsaker. Ett minutt ved 93-100°C gir bedre farge på grønne bønner enn både kortere og lengre tid.

5. Blancheringen vil også destruere bakterier på overflaten av frukt og grønnsaker. Dette kan ha stor betydning, selv om destruksjon av bakterier ikke er det primære formålet med prosessen.
6. Under blancheringen blir produktene bløtere i konsistensen, men de avgir også vann. Dette vannet vil uten blanchering kunne skilles ut i boksen og resultatet av dette + sammenfallingen vil være at boksene ikke blir fulle etter sterilisering.
7. Det er som oftest lettere å se defekte og visne produkter og eventuelle forurensninger etter blanchering. Dette nyttes bl.a. ved sortering av spinat. Store erter kan kvalitetssorteres etter blanchering i en saltoppløsning, i det kvaliteten er avhengig av luftinnhold og kvalitet. Ved blancheringen får en boksen den vesentligste delen av lufta, og dermed vil tettheten gi et godt mål for kvaliteten.
8. Påfylling av varme produkter i boksene, vil gi et høyere vacuum i boksene etter avkjøling.

Uheldige virkninger av blancheringen

Blanchering brukes som nevnt for å destruere enzymer som seinere kan gi kvalitetsforringelse av produktene. Selve blancheringsprosessen vil imidlertid føre til tap både reint utbyttmessig og av næringsstoffer. Det kan også skje endringer i produktet som kan gi uheldige følger for konsistens og aroma.

1. Tap av vannløselige vitaminer, salter og fargestoff er størst i produkter med stor overflate. Finfordeling av grønnsaker og frukt kan derfor være uheldig.
2. Blanchering med damp er bedre enn med varmt vann. Det kan imidlertid med bruk av damp dannes smaksstoffer med en viss grassaktig smak. Hvis man bruker vann, er det viktig å bruke så lite som mulig.
3. Blancheringstid og temperatur betyr svært mye særlig for destruksjon av vitamin C og B₁. Kort tid og høy temperatur bør foretrekkes

Ved en mer langsom oppvarming vil enzymer kunne virke under deler av prosessen og dermed ødelegge bl.a. mer av vitamin C.

4. Blancheringsutstyret kan selvsagt ha betydning for den mekaniske bearbeidingen av produktene, og dermed på effektiviteten av prosessen - både i positiv og negativ retning.

Blancheringsutstyret er godt beskrevet i Leif Bøgh-Sørensens lærebok i konserveringsteknikk.

10.2. STERLISERING

Uten å vite hvorfor hadde NICOLAS APPERT i 1824 laget prosessskjema for ca 50 forskjellige produkter. Kjøtt og stuinger fra hans fabrikker ble brukt av Sir Edward Perry på hans reiser for å finne nordvestpasasjen til India. Bokser fra hans proviant ble åpnet i 1938 og var like gode. Imidlertid var ikke produktene på noen måte sterile, men de bakteriene som var der hadde ikke vekstbetingelser. De ble imidlertid vekket til live igjen på egnet substrat etter 114 års søvn.

Steriliseringsprosessene til APPERT gikk ut på meget lang koketid eller også avbrutt koking. Utover i det 19. hundreåret ble det brukt mer og mer salt i det vannet som en kokte boksene i, og på denne måten kunne koketida reduseres sterkt. Imidlertid var boksene ofte for dårlige til å tåle det trykket som oppsto og brekasjen ble svært stor.

Med oppfinnelsen av autoklaven, var det mulig å kreere et mottrykk autoklaven som medvirket til at boksene holdt bedre, samtidig som det også kom bedre boksekvaliteter i bruk. Med nåtidens autoklaver kan en tilføre trykkluft i autoklavene, slik at overtrykket i boksene blir minimalt selv under avkjølingen. Selv beholdere av glass kan da brukes uten særlig fare for sprengning.

En mengde forskjellige boksetyper er også på markedet. De klassifiseres ofte etter størrelsen som:

211 x 400.

Dette betyr en boks som er 2 og 11/16 tommer i diameter=6,83 cm og 4 og 00/16 tommer høy = 10,16 cm. For tida er det en tendens til at de mindre boksene øker i popularitet. Kvalitetsmessig

er dette en fordel fordi en da trenger en noe mindre kraftig steriliseringsprosess.

Mikroorganismer i forskjellige produkter, klassifisert etter pH

Tabell viser en gruppering av produkter som tilhører forskjellige klasser etter pH. Grensen for vekst av *Clostridium botulinum* er satt ved pH 4,5. En milliontedels gram av toxin produsert av denne bakterien er nok til å ta livet av et menneske, lite sure næringsmidler må derfor gis en varmebehandling som garanterer produktet fritt for *Cl. botulinum* innenfor meget store sannsynlighetsgrenser.

Det er minst fire typer *Cl. botulinum*, men type A og B er de to viktigste. Type A finnes vanligvis i udyrket jord (nybrott), mens type B finnes mest i dyrket jord.

Organismen er gram positiv, anaerob og danner sporer. Sporene kan overleve 300 minutter ved 100°C, og har en $F = 2,8$. Sporene varierer i motstandsevne og det kan være vanskelig²⁵⁰ å få en homogen sporemasse for termiske dødstidsstudier. *Cl. Botulinum* er protolytisk og kan også omsette sukkerarter. Den kan imidlertid h produsert toxin^{selvom} substratet ikke er merkbart endret, hverken når det gjelder aroma eller konsistens. Toxinet er vannløselig og destrueres ved koking i 10 minutter.

Kjötthemetikk og spekevarer av kjøtt eller fisk- har alltid vært betraktet med skepsis med hensyn til fare for infeksjon av *Cl. botulinum*. Dypfrosne varer som har fått uheldig behandling før frysing, kan være like farlige.

Noen tekniske detaljer i konvensjonell sterilisering

Oksygen er på mange måter uheldig i et hermetisk produkt, og en prøver nå å etablere et vacuum i boksene for å fjerne mest mulig oksygen. Særlig er dette viktig hvor en har med sure produkter å gjøre hvor en bruker en relativ svak varmebehandling. En hindrer da mugg og gjær i å utvikle seg.

En kan ofte oppnå tilfredsstillende vacuum ved å steame boksene ov fra før lokkene settes på. En kan også få vakuum i bokser med pumper. Ellers betyr det mye for størrelsen av vacuumet hvor mye produkt det er i boksen og temperaturen som dette produktet ha

Selv om et sterilisert næringsmiddel er bakteriologisk (og enzymatisk) holdbart så lenge det måtte være ved en hver temperatur, er det klart at lagringstemperaturen påvirker hastigheten av ordinære kjemiske reaksjoner på vanlig måte. Dette kan særlig gå ut over vitamininnholdet, men også uheldige smaksstoff kan oppstå hvis produktet lagres ved en høy temperatur.

Rust på boksen kan oppstå ved lagring i rom med høy relativ fuktighet. Hvis kjølingen går for langt under prosessen, vil det ikke være tilstrekkelig varme til å få vannet bort fra boksenes overflate. Ved pakking av boksene i samleemballasje, vil det da lett bli rust.

De moderne autoklavene er nå oftest utstyrt med forskjellige anordninger for bevegelse av boksen. Det er også av hensyn til varmeovergangen, mulighet til å halvfylle autoklaven med vann. En må da selvsagt også ha dreneringsmuligheter. Autoklaven bør i tillegg ha mulighet for trykkregulering slik at det kan etableres trykk i autoklaven under nedkjølingen. Programert styring av prosessen er ikke uvanlig.

Kontinuerligesterilisatorer er i bruk, og der er da forvarming, sterilisering og avkjøling adskilt i seksjoner med sluseanordninger mellom. Etter hver avdeling finnes det lekkasje-detektorer som skiller ut uttett emballasje.

10.3. UHT-behandling av næringsmidler

Det er pekt på tidligere at bakterier og enzymer har z-verdier i nærheten av 10°F mens dannelsen av uønskede smaksstoffer og bruningsreaksjoner har langt høyere z-verdi. Dette betyr at prosesser som er likeverdige med hensyn til destruksjon av bakterier, kan være forskjellige med hensyn til uønskede reaksjoner og da slik at de høyeste temperaturene og dermed den korteste tida er gunstigst. System med oppvarming til $130\text{--}150^{\circ}\text{C}$ i 2-6 sekunder er utviklet for melkeprodukter hvor kvalitetsproblemene er særlig store ved lengre tids varmebehandling. Liknende system kan imidlertid med fordel også nyttes for andre næringsmidler med visse forbehold.

Det er to vesensforskjellige prosesser som kan nyttes:

- I. Damp inn i produkter.
- II. Indirekte oppvarming.

I begge tilfeller nyttes aseptisk avtapping.

- I. Prosesslinja blir først sterilisert med varmt vann (140°C), og avkjølt med desinfisert vann. Produktet blir så forvarmet i en platepateur før steam injekteres i produktet slik at temperaturen her øker til 140°C på en brøkdel av et sekund. Produktet pumes så til en vacuum-kjøler hvor en tar ut den samme vannmengen som ble tilført under temperaturhevingen. Det går så videre inn i en aseptisk homogenisator, blir avkjølt videre før pumping til en steriltank. Frukt-safter og liknende aromatiske produkter kan vanskelig behandles i denne prosessen fordi aromastoffene lett tapes i vacuumkjøleren.
- II. Ved indirekte oppvarming går produktet etter forvarmingen gjennom en avlufter (kan utelukkes for aromatiske produkter) og inn på et plateapparat hvor høypasteuriseringen skjer.

For begge metodene er det utviklet apparater for aseptisk dosering av aromastoff.

Skrapevarmeveksler og aseptisk tapping på boks

For spesielle produkter eller produkter med stor viskositet, er det i den seinere tid utviklet mange typer skrapevarmeveksler. Disse består innvendig av en tynnvegget sylinder med høy varmeledningsevne. Utenpå denne sylindere passerer varme- eller kjølemediet. Produktet pumpes gjennom sylindere i en tynn strøm som kan reguleres i tykkelse ved å bytte innvendige sylindere (se figur). På disse sylindere er det montert skraper som holder overflaten av den utvendige sylindere rein. Fra skrapevarmevekslere eller også andre typer varmevekslere kan det "sterile" produktet pumpes over i en aseptisk bokse-fyller. For beskrivelse av en slik viser jeg til foredrag om Dole's aseptic canning system, som er vedlagt dette kompendiet og til figur. Figurene i de følgende sider vil illustrere bruk av forskjellige typer varmevekslere for en rekke produkter.

BESKRIVNING

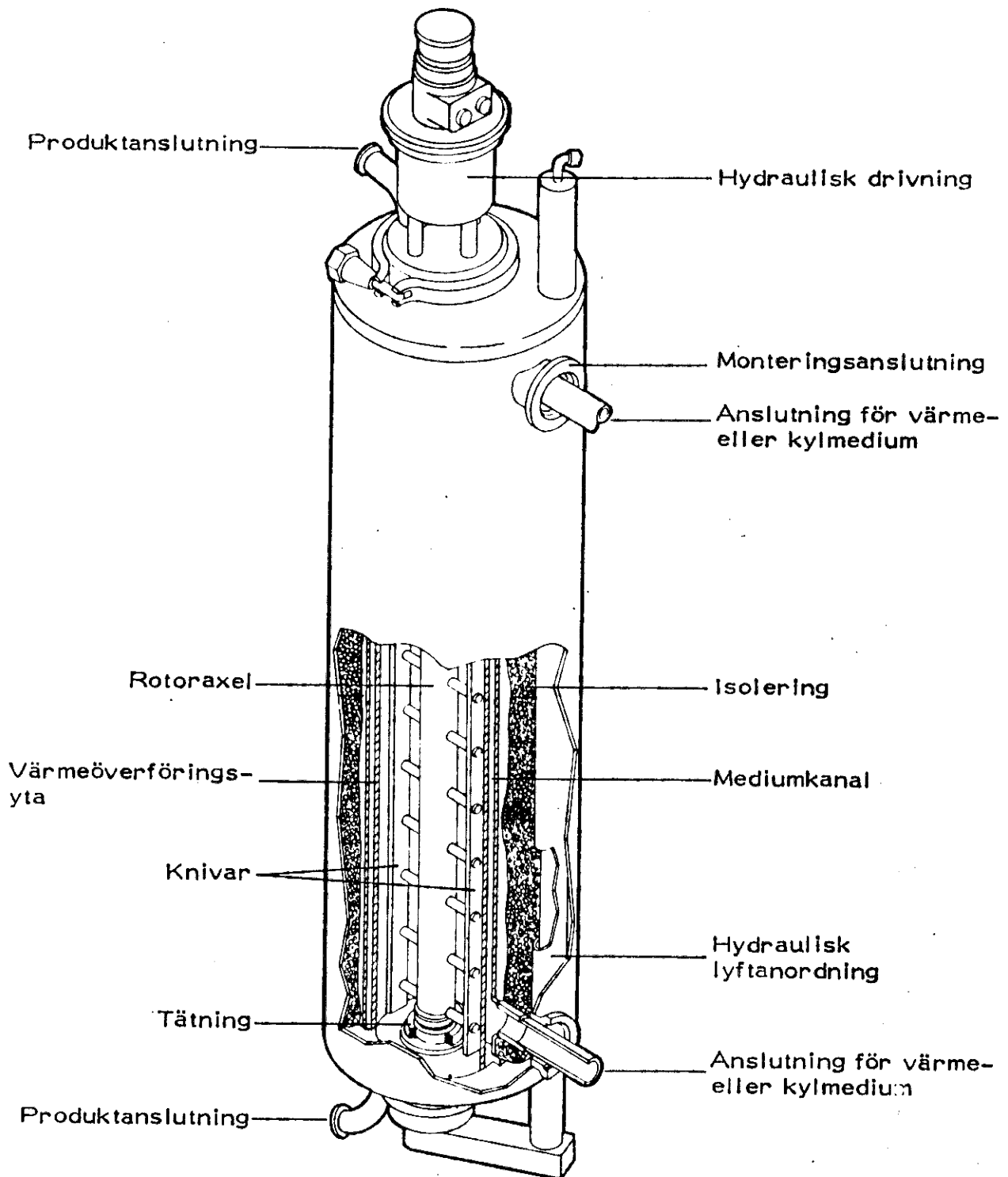
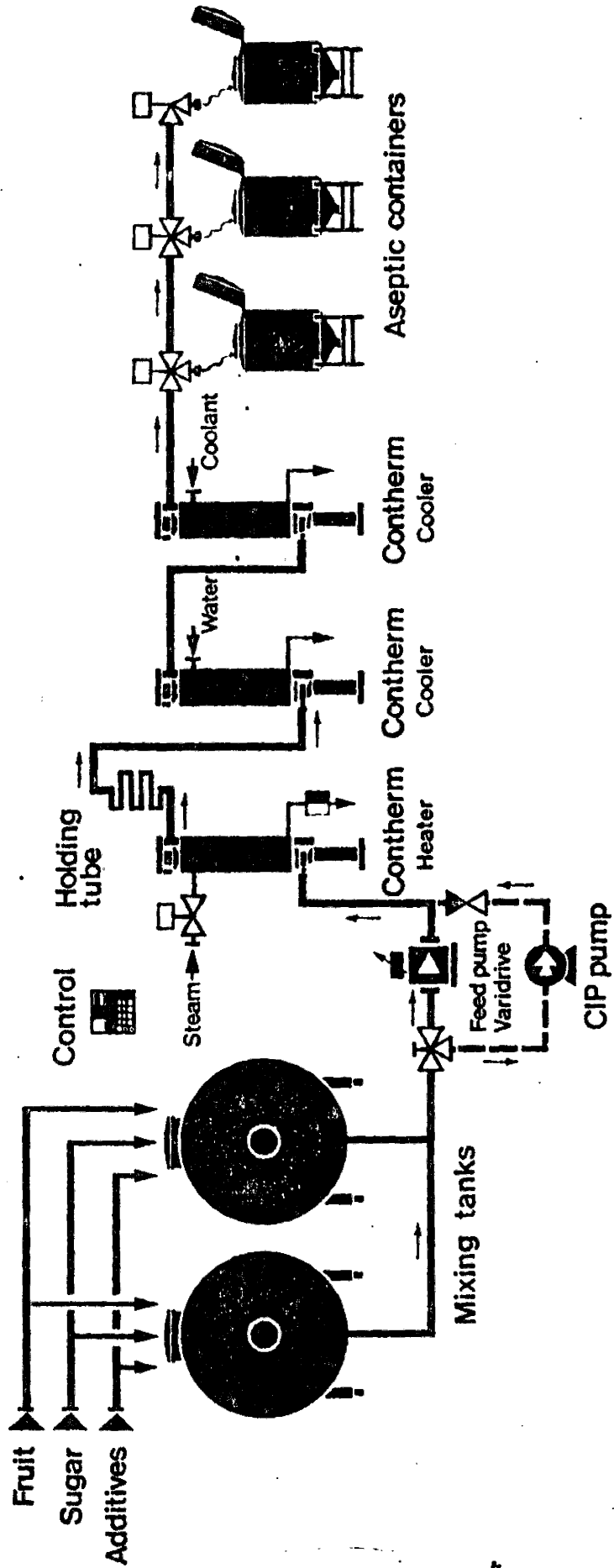


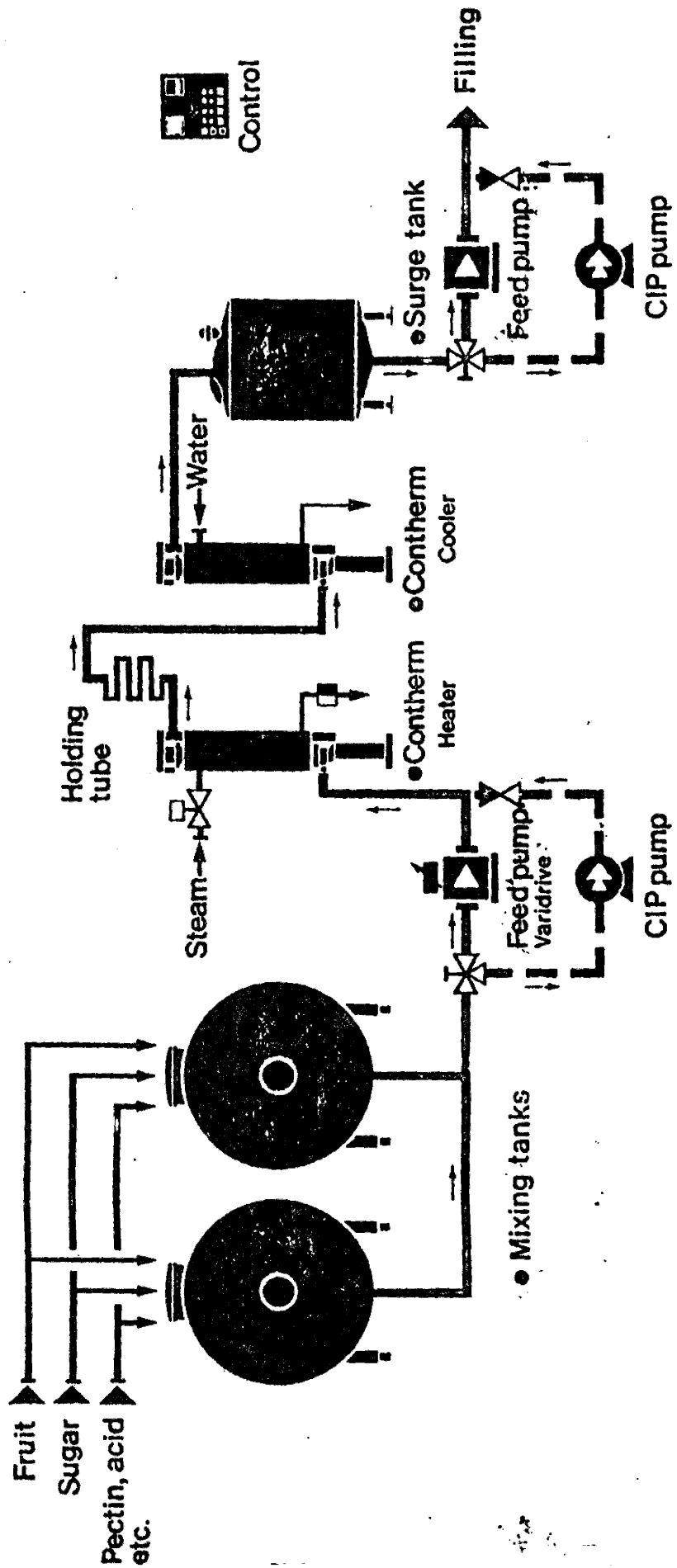
Fig 1
Conthermcylinderns uppbyggnad

Fruit Preserves in aseptic containers for Yoghurt, Pastry, etc.



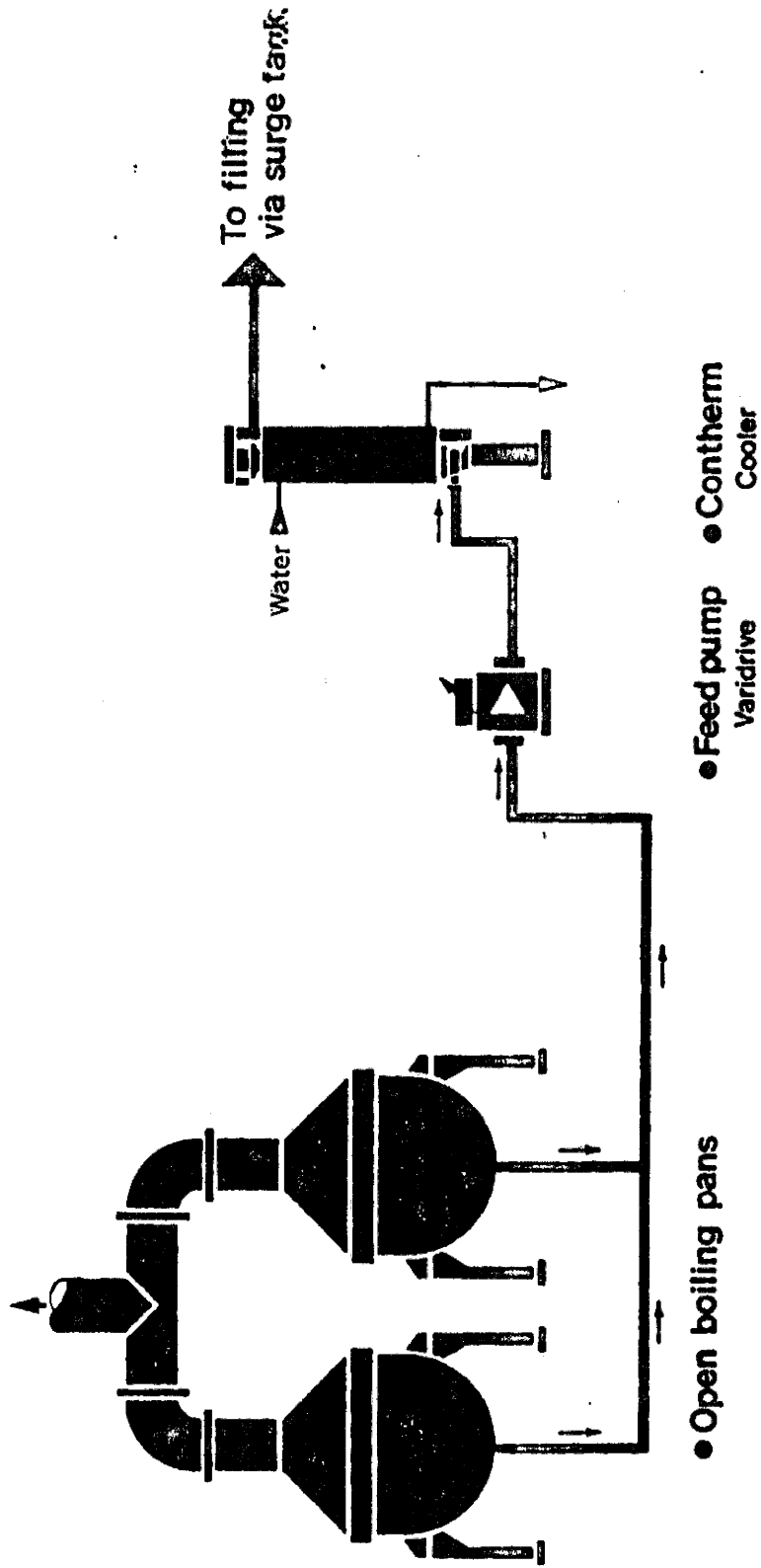
Jam & Marmalade Processing Line

Low Brix [No Evaporation]

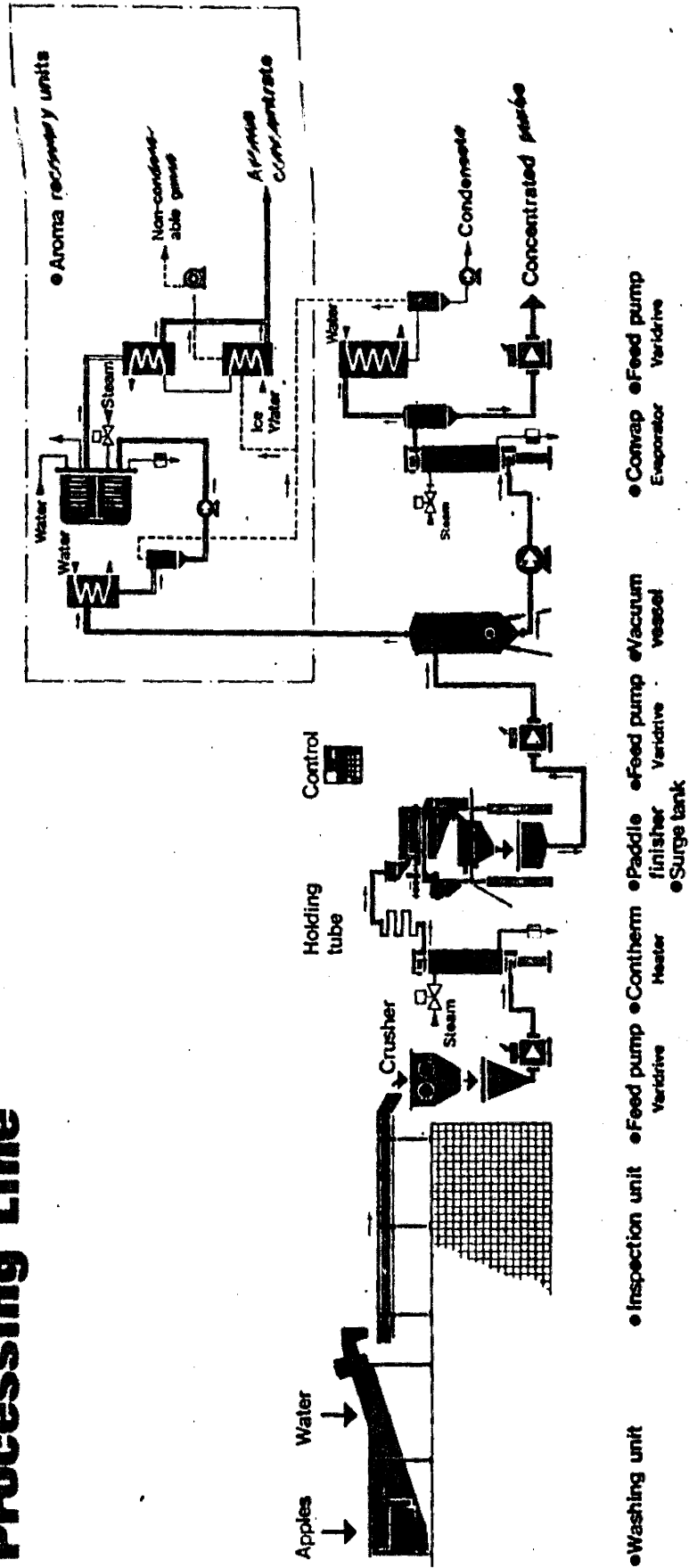


Jam Manufacture

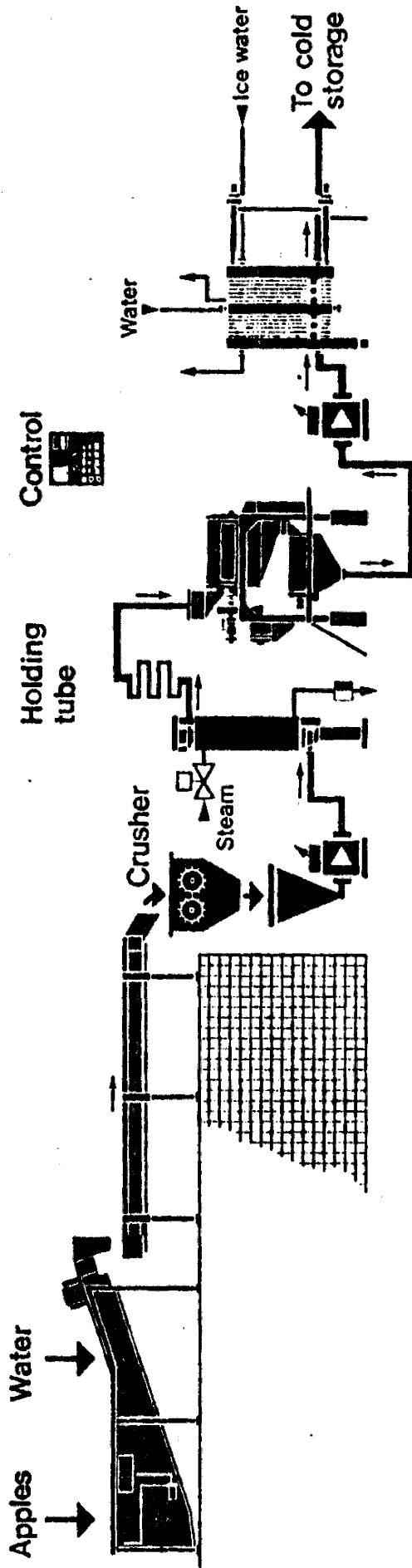
Continuous pre-cooling prior to filling



Concentrated Apple Purée Processing Line

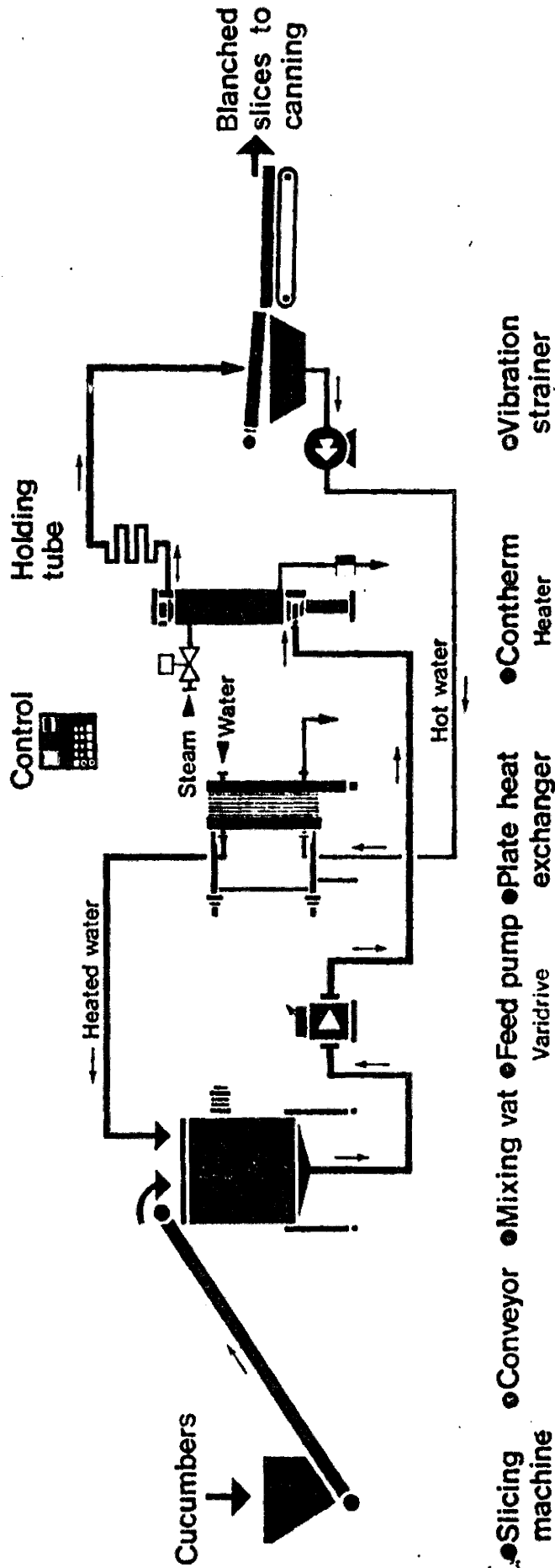


Apple-Sauce Base Processing Line



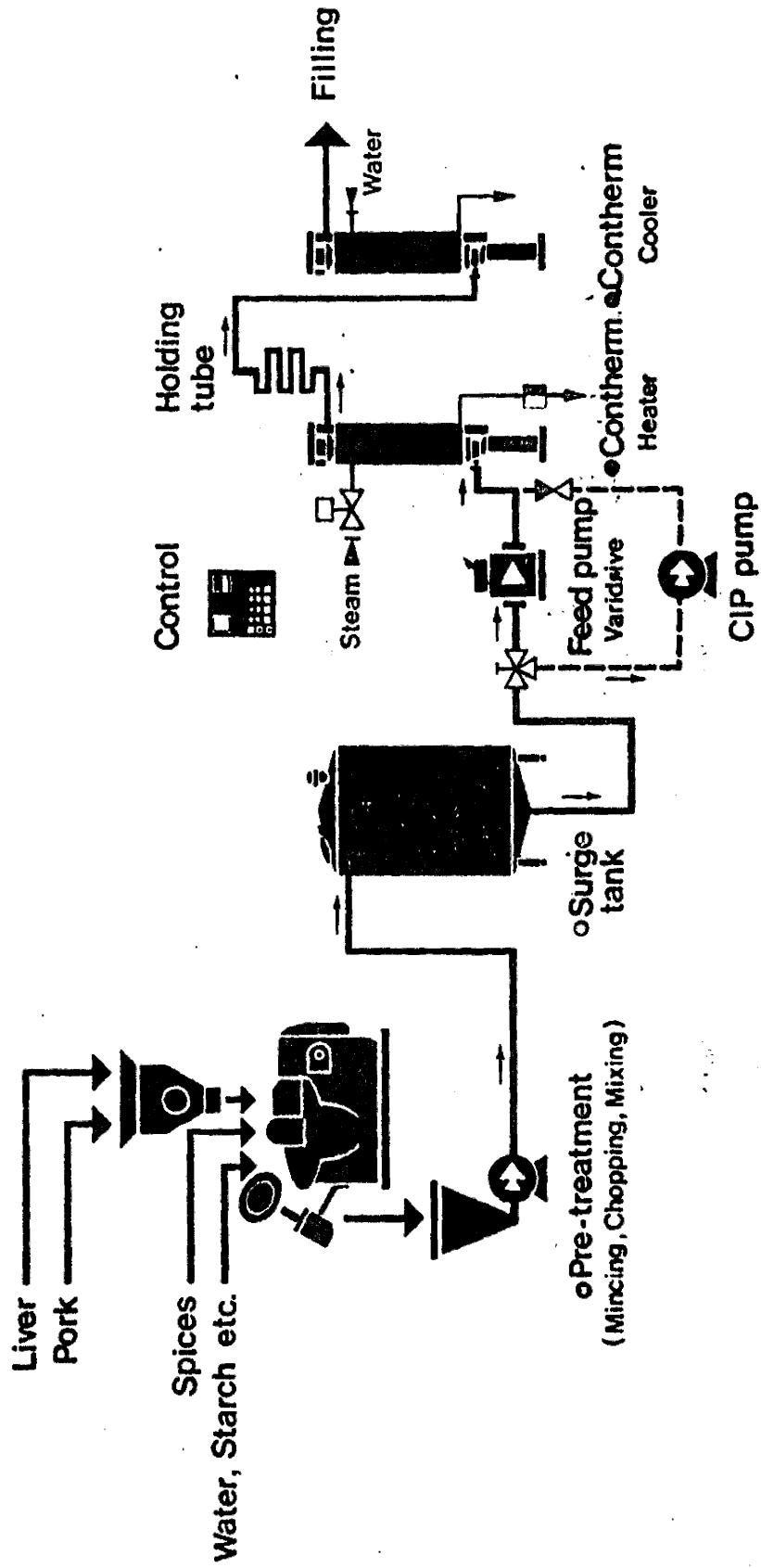
- o Washing unit
 - o Inspection unit
 - o Feed pump
 - o Contherm
 - o Paddle finisher
 - o Plate cooler
- Varidrive Heater Varidrive

Pickled Sliced Cucumbers Continuous blanching system



- Slicing machine
- Conveyor
- Mixing vat
- Feed pump
- Plate heat exchanger
- Contherm Heater
- Vibration strainer

Liver Paste Processing Line



KORRESPONDERENDE VERDIER AV f_h/U og g når $z = 60^\circ F = 33,3^\circ C$.

Verdier for g når avkjølingskurvens j er:

f_h/U	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00
0,20	1,20-4	1,41-4	1,61-4	1,82-4	2,03-4	2,24-4	2,45-4	2,66-4	2,86-4
0,30	5,64-3	6,59-3	7,55-3	8,50-3	9,46-3	1,04-2	1,14-2	1,23-2	1,33-2
0,40	3,90-2	4,54-2	5,18-2	5,83-2	6,47-2	7,11-2	7,76-2	8,40-2	9,04-2
0,50	0,124	0,144	0,165	0,185	0,205	0,226	0,246	0,267	0,287
0,60	0,268	0,312	0,357	0,401	0,445	0,490	0,534	0,578	0,623
0,70	0,466	0,543	0,621	0,699	0,777	0,854	0,932	1,010	1,088
0,80	0,707	0,826	0,945	1,064	1,183	1,302	1,422	1,541	1,660
0,90	0,982	1,149	1,315	1,482	1,648	1,815	1,981	2,148	2,314
1,00	1,28	1,50	1,72	1,94	2,16	2,37	2,59	2,81	3,03
2,00	4,63	5,43	6,24	7,04	7,85	8,65	9,45	10,26	11,06
3,00	7,62	8,96	10,29	11,63	12,96	14,29	15,63	16,96	18,29
4,00	10,1	11,9	13,7	15,4	17,2	19,0	20,8	22,6	24,3
5,00	12,2	14,3	16,5	18,7	20,8	23,0	25,1	27,3	29,4
6,00	14,0	16,5	18,9	21,4	23,9	26,4	28,9	31,3	33,8
7,00	15,5	18,3	21,1	23,8	26,6	29,3	32,1	34,9	37,6
8,00	16,9	19,9	22,9	26,0	29,0	32,0	35,0	38,0	41,0
9,00	18,2	21,4	24,6	27,9	31,1	34,3	37,5	40,7	44,0
10,00	19,4	22,8	26,2	29,6	33,0	36,4	39,8	43,2	46,6
10,25	19,6	23,1	26,6	30,0	33,5	36,9	40,4	43,8	47,3
10,50	19,9	23,4	26,9	30,4	33,9	37,4	40,9	44,4	47,9
10,75	20,2	23,7	27,3	30,8	34,3	37,9	41,4	44,9	48,5
11,00	20,4	24,0	27,6	31,2	34,8	38,3	41,9	45,5	49,1
12,00	21,5	25,2	28,9	32,6	36,4	40,1	43,8	47,6	51,3
13,00	22,4	26,3	30,1	34,0	37,9	41,7	45,6	49,5	53,3

Tabell 10.1.3 Korresponderende verdier av f_h/U og g når $z = 20^\circ\text{F} = 11,1^\circ\text{C}$.

f_h/U	Verdier av g når avkjølingskurvens j er:									
	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00	
0,50	0,032	0,038	0,044	0,050	0,056	0,062	0,068	0,074	0,080	
0,60	0,059	0,072	0,087	0,107	0,120	0,132	0,145	0,157	0,170	
0,70	0,105	0,132	0,156	0,180	0,204	0,228	0,252	0,276	0,300	
0,80	0,155	0,195	0,235	0,275	0,315	0,355	0,395	0,435	0,475	
0,90	0,210	0,270	0,330	0,390	0,450	0,510	0,570	0,630	0,690	
1,00	0,296	0,374	0,452	0,530	0,608	0,686	0,764	0,842	0,920	
1,50	0,738	0,912	1,09	1,26	1,43	1,61	1,78	1,96	2,13	
2,00	1,37	1,60	1,83	2,06	2,29	2,52	2,75	2,98	3,21	
3,00	2,55	2,88	3,21	3,54	3,87	4,20	4,53	4,86	5,19	
4,00	3,54	3,96	4,38	4,80	5,22	5,64	6,06	6,48	6,90	
5,00	4,33	4,83	5,33	5,83	6,33	6,83	7,33	7,83	8,33	
6,00	4,95	5,53	6,10	6,67	7,24	7,81	8,38	8,95	9,52	
7,00	5,45	6,10	6,75	7,40	8,05	8,70	9,35	10,0	10,7	
8,00	5,92	6,70	7,38	8,06	8,74	9,42	10,1	10,8	11,5	
9,00	6,60	7,30	8,00	8,70	9,40	10,1	10,8	11,5	12,2	
10,0	7,00	7,75	8,50	9,25	10,0	10,8	11,5	12,3	13,0	
12,5	8,00	8,90	9,70	10,5	11,3	12,1	12,9	13,7	14,5	
15,0	8,60	9,70	10,6	11,5	12,4	13,3	14,2	15,1	16,0	
20,0	10,6	11,5	12,4	13,3	14,2	15,1	16,0	16,9	17,8	
25,0	11,8	12,8	13,8	14,8	15,8	16,8	17,8	18,8	19,8	
30,0	12,9	13,9	14,9	15,9	16,9	17,9	18,9	19,9	20,9	
40,0	14,5	15,6	16,7	17,8	18,9	20,0	21,1	22,2	23,3	
50,0	16,1	17,2	18,3	19,4	20,5	21,6	22,7	23,8	24,9	
60,0	17,0	18,2	19,4	20,6	21,8	23,0	24,2	25,4	26,6	
70,0	18,2	19,4	20,6	21,8	23,0	24,2	25,4	26,6	27,8	
80,0	19,2	20,4	21,6	22,8	24,0	25,2	26,4	27,6	28,8	
100,0	20,5	21,8	23,1	24,4	25,7	27,0	28,3	29,6	30,9	

Tabell 10.1.2

Korresponderende verdier av f_h/U og g når $z = 18^\circ F = 10^\circ C$

f_h/U	Verdier av g når avkjølingskurvens j er:									
	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00	
0,50	0,035	0,040	0,045	0,050	0,055	0,060	0,065	0,070	0,075	
0,60	0,063	0,077	0,091	0,105	0,119	0,133	0,147	0,161	0,175	
0,70	0,111	0,135	0,159	0,183	0,207	0,231	0,255	0,279	0,303	
0,80	0,159	0,197	0,235	0,273	0,311	0,349	0,387	0,425	0,463	
0,90	0,234	0,281	0,328	0,375	0,422	0,469	0,516	0,563	0,610	
1,00	0,288	0,352	0,416	0,480	0,544	0,608	0,672	0,736	0,800	
1,50	0,740	0,880	1,02	1,16	1,30	1,44	1,58	1,72	1,86	
2,00	1,20	1,41	1,62	1,83	2,04	2,25	2,46	2,67	2,88	
3,00	2,23	2,53	2,83	3,13	3,43	3,73	4,03	4,33	4,63	
4,00	3,04	3,43	3,82	4,21	4,60	4,99	5,38	5,77	6,16	
5,00	3,74	4,20	4,66	5,12	5,58	6,04	6,50	6,96	7,42	
6,00	4,30	4,82	5,34	5,86	6,38	6,90	7,42	7,94	8,46	
7,00	4,81	5,38	5,95	6,52	7,09	7,66	8,23	8,80	9,37	
8,00	5,30	5,91	6,52	7,13	7,74	8,35	8,96	9,57	10,2	
9,00	5,76	6,40	7,04	7,68	8,32	8,96	9,60	10,2	10,9	
10,00	6,14	6,82	7,50	8,18	8,86	9,54	10,2	10,9	11,6	
12,5	7,17	7,90	8,63	9,36	10,1	10,8	11,5	12,2	12,9	
15,0	7,94	8,72	9,50	10,3	11,1	11,9	12,7	13,5	14,3	
20,0	9,50	10,3	11,1	11,9	12,7	13,5	14,3	15,1	15,9	
25,0	10,6	11,4	12,3	13,2	14,1	15,0	15,9	16,8	17,7	
30,0	11,5	12,4	13,3	14,2	15,1	16,0	16,9	17,8	18,7	
40,0	12,9	13,9	14,9	15,9	16,9	17,9	18,9	19,9	20,9	
50,0	14,4	15,4	16,4	17,4	18,4	19,4	20,4	21,4	22,4	
60,0	15,1	16,2	17,3	18,4	19,5	20,6	21,7	22,8	23,9	
70,0	16,0	17,1	18,2	19,3	20,4	21,5	22,6	23,7	24,8	
80,0	16,6	17,8	19,0	20,2	21,4	22,6	23,8	25,0	26,2	
100,0	18,4	19,6	20,8	22,0	23,2	24,4	25,6	26,8	28,0	

Tabell 10.1.1 Korresponderende verdier av f_h/U og g når $z = 16.F = 8,9^\circ C$.

f_h/U	Verdier av g når avkjølingskurvens j er:									
	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00	
0,50	0,028	0,032	0,036	0,040	0,044	0,048	0,052	0,056	0,060	
0,60	0,053	0,062	0,071	0,080	0,089	0,098	0,107	0,116	0,126	
0,70	0,102	0,118	0,134	0,150	0,166	0,182	0,198	0,214	0,230	
0,80	0,144	0,171	0,198	0,225	0,252	0,279	0,306	0,333	0,360	
0,90	0,220	0,255	0,290	0,325	0,360	0,395	0,430	0,465	0,500	
1,00	0,270	0,320	0,370	0,420	0,470	0,520	0,570	0,620	0,670	
1,50	0,611	0,737	0,863	0,989	1,12	1,24	1,37	1,49	1,62	
2,00	1,00	1,24	1,42	1,60	1,78	1,96	2,14	2,32	2,50	
3,00	1,35	2,16	2,43	2,70	2,97	3,24	3,51	3,78	4,05	
4,00	2,56	2,93	3,28	3,63	3,98	4,33	4,68	5,03	5,38	
5,00	3,14	3,56	3,93	4,40	4,82	5,24	5,66	6,08	6,50	
6,00	3,95	4,12	4,59	5,00	5,53	5,90	6,47	6,94	7,41	
7,00	4,03	4,61	5,13	5,65	6,17	6,69	7,21	7,73	8,25	
8,00	4,50	5,00	5,62	5,18	6,74	7,30	7,86	8,42	8,98	
9,00	4,54	5,52	6,10	6,68	7,26	7,84	8,42	9,00	9,58	
10,00	5,23	5,90	6,51	7,12	7,73	8,34	8,95	9,56	10,2	
12,5	6,22	6,87	7,52	8,17	8,82	9,47	10,1	10,8	11,4	
15,0	6,90	7,60	8,30	9,00	9,70	10,4	11,1	11,8	12,5	
20,0	8,40	9,10	9,80	10,5	11,2	11,9	12,6	13,3	14,0	
25,0	9,20	10,0	10,8	11,6	12,4	13,2	14,0	14,8	15,6	
30,0	10,2	11,0	11,8	12,6	13,4	14,2	15,0	15,8	16,6	
40,0	11,4	12,3	13,2	14,1	15,0	15,9	16,8	17,7	18,6	
50,0	12,6	13,5	14,4	15,3	16,2	17,1	18,0	18,9	19,8	
60,0	13,6	14,5	15,4	16,3	17,2	18,1	19,0	19,9	20,8	
70,0	14,5	15,4	16,3	17,2	18,1	19,0	19,9	20,8	21,7	
80,0	15,3	16,2	17,1	18,0	18,9	19,8	20,7	21,6	22,5	
100,0	16,1	17,1	18,1	19,1	20,1	21,1	22,1	23,1	24,1	

KORRESPONDERENDE VERDIER AV f_h/U og g når $z=10^0 F=5,6^\circ C$.

Verdier av g når avkjølingskurvens j er:

f_h/U	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20	1,40	1,60	1,80	2,00
0,20	2,68-5	2,78-5	2,88-5	2,98-5	3,07-5	3,17-5	3,27-5	3,36-5	3,46-5
0,30	8,40-4	9,39-4	1,04-3	1,14-3	1,24-3	1,34-3	1,43-3	1,53-3	1,63-3
0,40	5,84-3	6,51-3	7,18-3	7,85-3	8,53-3	9,20-3	9,87-3	1,05-2	1,12-2
0,50	2,01-2	2,21-2	2,40-2	2,60-2	2,79-2	2,99-2	3,18-2	3,38-2	3,57-2
0,60	4,73-2	5,11-2	5,49-2	5,87-2	6,25-2	6,63-2	7,01-2	7,39-2	7,77-2
0,70	8,85-2	9,44-2	1,00-1	1,06-1	1,12-1	1,18-1	1,24-1	1,30-1	1,36-1
0,80	0,143	0,151	0,159	0,167	0,175	0,183	0,191	0,199	0,207
0,90	0,208	0,218	0,228	0,238	0,248	0,258	0,268	0,278	0,288
1,00	0,282	0,294	0,305	0,317	0,329	0,340	0,352	0,364	0,376
2,00	1,14	1,17	1,19	1,21	1,24	1,26	1,29	1,31	1,33
3,00	1,83	1,88	1,92	1,97	2,01	2,05	2,10	2,14	2,19
4,00	2,33	2,41	2,48	2,55	2,63	2,70	2,77	2,85	2,92
5,00	2,71	2,81	2,92	3,03	3,14	3,24	3,35	3,46	3,57
6,00	3,01	3,15	3,29	3,43	3,57	3,72	3,86	4,00	4,14
7,00	3,25	3,43	3,61	3,78	3,96	4,13	4,31	4,49	4,66
8,00	3,47	3,68	3,89	4,10	4,30	4,51	4,72	4,93	5,14
9,00	3,67	3,90	4,14	4,38	4,62	4,85	5,09	5,33	5,57
10,00	3,84	4,11	4,38	4,64	4,91	5,17	5,44	5,70	5,97
15,00	4,60	4,97	5,35	5,72	6,09	6,47	6,84	7,21	7,59
20,00	5,22	5,67	6,12	6,57	7,01	7,46	7,91	8,35	8,80
25,00	5,78	6,27	6,77	7,27	7,77	8,27	8,76	9,26	9,76
30,00	6,27	6,81	7,34	7,88	8,41	8,95	9,48	10,02	10,55
35,00	6,72	7,29	7,85	8,41	8,98	9,54	10,10	10,67	11,23
40,00	7,14	7,72	8,31	8,89	9,48	10,06	10,65	11,23	11,82
45,00	7,52	8,12	8,72	9,33	9,93	10,53	11,13	11,73	12,33
50,00	7,87	8,49	9,10	9,72	10,34	10,95	11,57	12,18	12,80
60,00	8,51	9,15	9,78	10,42	11,06	11,69	12,33	12,97	13,60
70,00	9,07	9,72	10,37	11,02	11,68	12,33	12,98	13,66	14,28
80,00	9,56	10,23	10,89	11,55	12,22	12,88	13,55	14,21	14,88
90,00	10,0	10,7	11,4	12,0	12,7	13,4	14,1	14,7	15,4
100,00	10,4	11,1	11,8	12,5	13,1	13,8	14,5	15,2	15,9