

FISKERIDIREKTORATETS SKRIFTER

Serie Teknologiske undersøkelser

*(Report on Technological Research concerning Norwegian Fish Industry)*  
*Vol. III No. 9.*

Published by the Direktor of Fisheries

---

# LUFTFRYSING AV SILD

*Undersøkelse av nødvendig frysetid*

Av

GUSTAV LORENTZEN

Summary in English

1 9 5 8

---

A.s John Griegs Boktrykkeri



## INNHOLDSFORTEGNELSE

	side
Forord.....	5
Undersøkelsens hensikt, omfang og utførelse .....	7
Nedfrysingsforløpet .....	9
Lufthastighetens innflytelse på frysetiden .....	12
Temperaturens innflytelse .....	15
Frysing ved gjennomblåsing .....	18
Temperaturutjevning etter frysingen .....	22
Konklusjon .....	24
Summary in English.....	25



### *Forord.*

Den norske produksjon av frossen sild dreier seg for tiden om vel 50.000 tonn årlig, og er i sterk vekst. Av dette kvantum blir den alt overveiende del lakefrosset i halvkasser (50 kg).

Allerede tidlig ble man klar over at lakefrysingen øker harskningen under etterfølgende lagring, og også medfører en rekke andre ulemper. Harskningen nedsetter sildens verdi både som næringsemne og som agn. Det er derfor blitt en stadig sterkere tendens til å gå over til tørrfrysing, og da i første rekke luftfrysing, også når det gjelder sild.

Et vanlig argument mot luftfrysing er at det tar lenger tid og krever større og kostbarere installasjoner enn lakefrysingen. Dette er selvfølgelig riktig. Hittil har man imidlertid manglet et tilfredsstillende grunnlag for sikker beregning av nødvendig frysetid. Et slikt grunnlag er nødvendig for en riktig dimensjonering av fryseanleggene. Dette arbeid tar sikte på å skaffe et slikt materiale.

Hittil har man ofte luftfrosset sild i halvkasser av samme type som vanlig brukes ved lakefrysing (Standard halvkasse NS 443). Det er imidlertid klart at en rasjonell luftfrysing etter konvensjonelle metoder krever en omlegging til andre, mer egnete emballasjetyper. Undersøkelsene omfatter derfor også en spesiell type pappkartonger beregnet for dette formål.

Undersøkelsene er utført i 1954—56 ved Institutt for kjøleteknikk, Norges tekniske høgskole, dels i form av eksamensarbeider av kandidatene Svein Bjørdal, Evert Eriksson og Lars Nerbø. Instituttingeniør Einar Brendeng er ansvarlig for forsøksinstallasjonene, og en del målinger og beregninger er utført av vitenskapelig assistent H. J. Kopstad. Arbeidet er gjort mulig ved økonomisk støtte av Sarpsborg Pap- og Papir- industri A/S. Vi er også firmaet Arne Bjørseth A/S takk skyldig for å ha gitt tillatelse til å utføre noen av målingene i dets fryseri, og for gratis leveranse av en del av den sild som er gått med til forsøkene.



*Undersøkelsens hensikt, omfang og utførelse.*

Hensikten med undersøkelsen var å fastslå hvordan de viktigste variable, spesielt lufttemperatur og hastighet, innvirker på frysetiden for sild i et par aktuelle emballasjetyper. Undersøkelsen ble også utstrakt til å gjelde temperaturutjevningen etter at pakningen er tatt ut av fryseren og brakt inn på lagerrommet.

Silden ble dels pakket i vanlig standard halvkasser («frysekasser»), dels i spesielle kartonger av massivpapp. Dimensjonene fremgår av *Tabell I*. For begge emballasjetyper ble gjort forsøk med og uten lokk påsatt under frysingen. For kartongene ble også undersøkt hvordan frysetiden påvirkes ved påfylling av vann og alginatsjele, som utfyller mellomrommene mellom silden.

Tabell I.  
*Dimensjoner av undersøkt emballasje.*

Emballasjetyper	Innvendig mål, mm			Tykkelse, mm			Ca. innhold kg
	Lengde	Bredde	Høyde	Bunn	Lokk	Sider	
Standard halvkasse	810	480	165	10/13	10/13	13/15	52
Massiv pappkasse	645	405	105	2	2	2 ev. 2+2	22

Nedfrysingen foregikk for en del av forsøkene i en spesiell, liten fryse-tunnel som vist i *Fig. 1*. Hele frysetunnelen ble plasert i et fryserom med temmelig konstant temperatur ca.  $-30^{\circ}\text{C}$ . Senere ble undersøkelsene overført til laboratoriets nye luftfryser, *Fig. 2*., hvor det stort sett ble kjørt med ca.  $-40^{\circ}\text{C}$ . Lufthastigheten ble i begge tilfelle vesentlig regulert med spjeld, og ble variert mellom grensene 2 og 12 m/sek. Noen få forsøk ble også gjort med «stille kjøling» i et av laboratoriets fryserom ved ca.  $-30^{\circ}\text{C}$ .

Lufthastigheten ble målt i et stort antall punkter omkring frysegodset, dels med pitotrør, dels med velometer, som begge ble justert. Det var ikke til å unngå at hastigheten varierte en del over tverrsnittet, til tross for de forsøk på utjevning som ble gjort, ved å sette inn passende ledeflater i luftstrømmen. Når det i det følgende snakkes om lufthastigheten, menes

middelhastigheten langs emballasjens overflate i 4—5 cm avstand. Toleransen for hastighetsmålingene for forsøk nr. 1 til 30 anslås til  $\pm 15\%$ , for de øvrige  $\pm 8\%$ . Denne unøyaktighet spiller underordnet rolle i forhold til den naturlige spredning av andre grunner, da frysetiden bare synker forholdsvis langsomt ved økende lufthastighet.

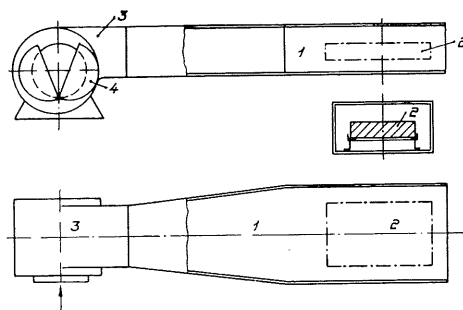


Fig. 1. Enkel forsøksfrysetunnel, innsatt i fryserom med ca.  $-30^{\circ}\text{C}$ . 1: Tunnel. 2: Kasse eller kartong med sild. 3: Sentrifugalvifte. 4: Spjeld for regulering av luftmengden.

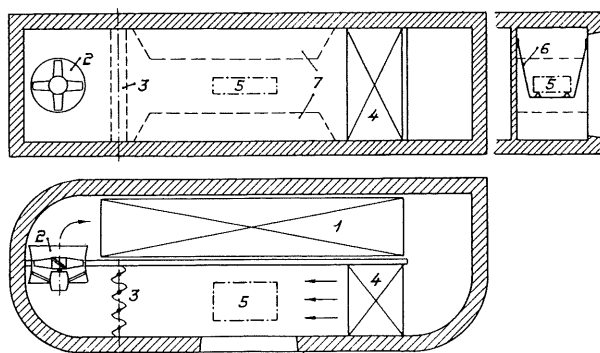


Fig. 2. Ny frysetunnel i laboratoriet. 1: Luftkjøler. 2: Aksialvifte. 3: Spjeld for regulering av luftmengden. 4: «Honey-comb» innsats for utjevning av lufthastigheten over tverrsnittet. 5: Prøvekasse eller kartong. 6: Opphengingsbøyler. 7: Innsatser for oppnåelse av de største hastighetene.

Temperaturen i luften før og etter frysegodset og i et stort antall punkter i silden ble målt med 0,5 mm kopper-konstantan termoelementer. Termoelementene ble ført inn til midten av de enkelte sild på langs av ryggbenet, for å unngå påvirkning fra luftstrømninger og varmeledning langs termoelementtråden. Målepunktene ble lagt inn i forskjellig dybde i kassen, fordelt i grupper på tvers gjennom sildemassen. Ved de første forsøkene ble benyttet et lysflekkgalvanometer for målingen, med avlesning med



regelmessige mellomrom. Senere ble brukt registrerende, elektroniske potentiometre. I begge tilfelle var nøyaktigheten bedre enn  $\pm 1/2^{\circ}\text{C}$ .

Silden ble i overensstemmelse med vanlig praksis ikke flolagt, men bare ifylt emballasjen og jevnet ut med hånden. Fyllingen i kassene var fra 49 til 55 kg, i kartongene fra 22,5 til 26 kg. Når det ble brukt alginatsjele, gikk det ca. 3 kg sild mindre i kartongen. De fleste forsøkene ble utført om høsten, med den sild som da kunne skaffes. Det var mest fetsild og en del småsild. En del målinger ble også gjort med storsild og forfangstsild. Stort sett var silden frisk og fin, og den ble alltid ført inn i fryseren umiddelbart etter at den var ferdig pakket, for å unngå at den skulle få anledning til å sige sammen mer enn vanlig. Av økonomiske grunner ble i en del tilfelle samme sild frosset flere ganger. Tidligere frosset sild ble da fortrinnsvis pakket i emballasje med lokk, og eventuelt også med påfylling av vann, idet sildens bløthet under slike forhold må antas å ha uvesentlig innflytelse på fryseforløpet.

Den nøyaktige plassering av de enkelte temperaturpunktene ble utmålt ved uttaking av den frosne sild etter prøven. I alt ble nedfrosset 58 prøvepartier og ytterligere utført 10 utjevningsforsøk. 10—12 av prøvene ble mislykket p.g.a. forskjellige uhell med måleutstyret, strømbrudd osv., og er ikke tatt med ved bearbeidelsen.

#### *Nedfrysingsforløpet.*

De avleste eller registrerte temperaturer ble for hvert snitt og forsøk opptegnet i tidsdiagram. Eksempler er vist i *fig. 3—6*,\* for kasse resp. kartong med og uten lokk. Vanligvis ble for hvert enkelt forsøk målt i 6—7 snitt, hvorav 3—4 i midtpartiet under noenlunde ensartete forhold. Silden fryser selvfølgelig hurtigere ute mot kantene av kassen enn inne ved midten, på grunn av 3-dimensjonal varme bortføring. Men også mellom snitt som var noenlunde likt plasert i midtpartiet, ble som regel funnet mindre avvikelser. Det skyldtes at ifyllingen nødvendigvis blir noe ujevn og at luftstrømningen heller ikke er helt ensartet. Forskjellen i frysetid for de to senest frysende snitt var imidlertid sjelden over 5 %.

På grunnlag av tidsdiagrammet og termoelementenes plassering ble også opptegnet isotermer i et tids-tykkelse-diagram, (*fig. 3—6*). Slike diagrammer egner seg godt for å ta ut frysetiden for det skikt som fryser sist. Man kan nemlig ikke alltid regne med å være så heldig å få et termoelement plasert nettopp her, men ved opptegningen av isotermene kan man oppnå en temmelig sikker korreksjon, når elementene ikke ligger altfor langt fra det riktige punkt. Dette er særlig viktig ved frysing med lokk,

\* Innsatt bak i boken.

Tabell II.

Oversikt over forsøk med luftfrysing av sild i tunnel med varierende hastighet.

For- søks- nr.	Emballasje	Vekt av sild kg	Middel beg. temp. $t_1$ °C	Luft- hastig- het m/sek	Middel luft- temp. $t_L$ °C	Frysetid i timer til høyeste temp. i silden			Frysetid, korr. til $t_1 = 10^\circ\text{C}$ og $t_L =$ $-30^\circ\text{C}$ , ved nedfrysing til			Anmerkninger
						—4°C	—12°C	—20°C	—4°C	—12°C	—20°C	
						5	Kartong uten lokk	25	0	4,3	33,4	
7	Kasse med lokk	52	5	4,3	33,0	24,8	28,1	31,2	28,9	32,7	36,3	Frisk storsild, pakket med perg.p.
9	Kasse uten lokk	52	5,4	12	32,5	10,6	11,5	—	12,1	13,1	—	Frisk, åtefri fetsild.
11	Kasse uten lokk	52	0,7	5	33,0	14,1	15,5	—	17,1	18,8	—	4 døgn gammel, åtefri fetsild.
13	Kasse uten lokk	52	—0,2	7	31,3	12,4	13,2	—	14,3	15,3	—	Helt fersk, åtefri fets., småfallen
14	Kasse uten lokk	52	0,4	2	31,8	20,7	23,5	—	24,2	27,5	—	2 døgn gammel, småf. åtefri fets.
15	Kasse med lokk	52	2,2	7	32,3	22,1	23,2	—	25,8	27,1	—	Fersk, småf. fetsild, noe åte.
16	Kart. u. lokk, m.v.	23	7,5	12	32,9	7,0	7,3	—	7,9	8,3	—	1 døgn, åtefri fets., 8 kg vann påf.
17	Kartong uten lokk	23	2,9	12	31,9	4,5	5,1	—	5,15	5,9	—	2 døgn, åtefri fets., småfallen.
18	Kartong uten lokk	23	9,9	12	33,9	4,9	5,3	—	5,6	6,1	—	Samme sild som 17, 2. gangs frys.
20	Kartong med lokk	23	2,1	5	32,0	13,5	14,3	—	15,6	16,6	—	1 døgn, åtefri, småf. fetsild.
21	Kartong uten lokk	23	2,2	5	33,4	6,4	7,1	—	7,7	8,6	—	2 døgn, åtefri småf. fetsild.
22	Kartong med lokk	23	3,1	2	34,2	17,3	18,5	—	21,2	22,8	—	Helt fersk fetsild, åtefri.
23	Kartong uten lokk	23	2,5	2	31,0	11,3	12,3	—	12,6	13,7	—	Helt fersk, småf., åtefri fetsild.
24	Kart. u. lokk, m.v.	23	4,8	5	32,8	9,6	10,0	—	11,1	11,6	—	Helt fersk, åtefri fets., + 8 kg v.
26	Kart. u. lokk, m.v.	23	1,3	2	33,7	12,9	13,5	—	15,9	16,7	—	Helt fersk, åtefri fets., + 8 kg v.
27	Kartong uten lokk	23	0,7	7	30,6	6,2	6,7	—	6,9	7,5	—	2 døgn, åtefri småf. fetsild.
28	Kart. u. lokk, m.a.	20	4,3	12	29,8	7,7	8,4	—	8,05	8,8	—	Fersk, åtefri smås., + 7—8 kg alginatoppløsning.
29	Kart. u. lokk, m.a.	20	1,2	2	32,6	13,6	14,8	—	16,2	17,7	—	Fersk, åtefri smås., + 7—8 kg alginatoppløsning.

30	Kart. u. lokk, m.a.	20	4,2	5	33,5	9,6	10,2	—	11,4	12,2	—	2 døgns åtefri smås., + 7—8 kg alginatopløsning.
32	Kart. med lokk	0	16	6	41,0	11,2	11,9	12,4	14,9	15,9	16,6	Kartongen fylt med alginatoppl.
33	Kasse med lokk	54	3	7,5	36,0	20,2	21,7	23,2	26,4	28,3	30,3	Fersk fetsild, 7 pr. kg.
34	Kart. m. lokk, m.v.	25	11,0	7,5	40,0	10,4	11,0	11,5	14,1	14,9	15,6	Samme som 33, bløt. Kart. f. m. v.
35	Kart. u. lokk, m.v.	25	9	7,5	39,8	7,2	7,5	7,8	9,9	10,4	10,8	Sa. som 33, meg. bløt. Kart. f. m. v.
36	Kasse uten lokk	53	0,5	8	39,0	9,4	10,6	11,3	13,7	15,5	16,5	Fetsild 12—13 pr. kg, fersk.
37	Kartong med lokk	23	4	8	38,0	9,8	10,9	11,8	13,4	14,9	16,2	Samme sild som 36, litt bløt.
38	Kartong uten lokk	23	10	7,7	37,0	4,7	5,1	5,5	5,9	6,4	6,9	Samme sild som 36, nokså bløt.
39	Kart. u. lokk, m.v.	23	10	5,5	39,0	7,7	8,0	8,3	10,2	10,7	11,1	S. sild s. 36, meg. bløt, + 6 kg v.
40	Kartong uten lokk	22,5	9	6	39,8	4,2	4,7	5,1	5,8	6,5	7,1	Samme sild som 36, meget bløt.
42	Kasse uten lokk	51	1	6,5	40,0	10,1	10,5	10,9	15,1	15,7	16,3	Fersk sild 10 stk. pr. kg.
43	Kasse med lokk	51	7	7	40,0	17,6	18,9	20,3	24,8	26,6	28,6	Samme sild som 42, litt bløt.
44	Kart. m. lokk, m.v.	24	8	6,5	40,0	12,6	13,0	—	17,6	18,2	—	Samme som 42, bløt, med 3,2 kg v.
45	Kartong med lokk	24,5	6	2,5	39,0	12,7	14,0	14,7	17,6	19,4	20,4	Fersk sild.
46	Kart. u. lokk, m.v.	24,5	5	2,5	40,0	9,0	9,5	10,0	12,9	13,6	14,4	Samme som 45, med 4,5 kg vann.
48	Kartong uten lokk	24,4	5	2,75	40,0	7,5	8,4	9,0	10,8	12,1	12,9	Ny småsild, 24 pr. kg.
49	Kasse uten lokk	54	1	2,75	40,0	14,5	15,6	16,3	21,6	23,2	24,4	Ny sild, 12—13 pr. kg.
50	Kasse med lokk	52,5	3	3	42,0	20,4	22,4	23,6	31,5	34,6	36,4	Samme sild som 49, opptint.
51	Kasse uten lokk	53,9	7	0	32,5	31,8	34,9	38,5	35,7	39,2	43,2	Ny sild, 5—6 pr. kg. Stille kjøling.
52	Kasse med lokk	49	15	0	31,0	40,0	45,6	50,5	39,7	45,3	50,1	Samme sild som 51. Stille kjøling.
53	Kartong med lokk	26	7	0	32,5	23,4	30,2	34,5	26,3	33,9	38,8	Samme sild som 51. Stille kjøling.
54	Kartong uten lokk	26	6,5	0	30,5	17,9	21,6	25,0	18,8	22,7	26,3	Samme sild som 51. Stille kjøling.

hvor det skikt som fryser sist, blir liggende sterkt forskjøvet mot toppen av kassen, på grunn av den langt dårligere varmeoverføring gjennom det stasjonære luftlaget på oversiden, (fig. 3 og 5). Med litt erfaring kan man for øvrig av frysekurvens form se om punktet ligger tilstrekkelig nær midtskiktet.

Det var selvfølgelig ikke mulig å oppnå nøyaktig samme middel begynnelsestemperatur og lufttemperatur for alle forsøk. For å få et ensartet grunnlag for sammenlikningen er det derfor nødvendig å korrigere frysetiden til samme betingelser, som er valgt begynnelsestemperatur  $t_1 = 10^\circ\text{C}$  og lufttemperatur  $t_L = -30^\circ\text{C}$ . Det kan gjøres tilstrekkelig nøyaktig etter følgende formel:

$$Z_{10,-30} = Z \cdot \frac{1 + A \cdot 10}{1 + A \cdot t_1} \cdot \frac{t_L - 3}{27}$$

som forutsetter en middeltemperatur for varmebortføringen  $-3^\circ\text{C}$ , valgt etter en skjønnsmessig bedømmelse av nedfrysingskurvene. Middelttemperaturen for varmebortføringen varierer selvfølgelig noe, alt etter hvilken slutttemperatur man velger å drive frysingen til. Denne variasjon er for det aktuelle området så liten at man trygt kan se bort fra den.

Koeffisienten  $A$  kan med den lille avvikelse fra  $0^\circ\text{C}$  det her er tale om ( $t_1 = 0$  til  $16^\circ\text{C}$ ) settes  $A = 0.01$ . Feilen ved denne korreksjon blir også av helt underordnet betydning, og en mer eksakt fremgangsmåte er derfor hensiktsløs.

En oversikt over forsøksbetingelsene og målte og omregnede frysetider til forskjellig maksimal sluttemperatur er gitt i *Tab. II*.

### *Lufthastighetens innflytelse på frysetiden.*

I *fig. 7* er vist hvordan frysetiden avhenger av lufthastigheten for halvkasser med og uten lokk. *Fig. 8* gir tilsvarende resultater for pappkasser. Begge diagrammer gjelder for temperaturene  $t_1 = 10^\circ\text{C}$  og  $t_L = -30^\circ\text{C}$ .

I begge diagrammene er det en påfallende forskjell i steilheten av kurvene for frysing med og uten lokk. Særlig de siste faller vesentlig hurtigere ved stigende lufthastighet enn man kan vente for et homogent materiale i tilsvarende tykkelse. Årsaken til dette er åpenbart luftstrømninger mellom de enkelte sild, som særlig ved stor lufthastighet spiller en betydelig rolle for fryseprosessen i åpen emballasje. I halvkasser med lokk, som har en del slissformete åpninger i topp og bunn, har ennu den påtrykte strømning en viss betydning, mens for lukkede kartonger luftstrømningen i alt vesentlig vil skyldes egenkonveksjon i sildemassen, og må antas å være helt ubetydelig.

Den samme forskjellen kommer tydelig frem når man sammenlikner frysingene i åpne kartonger med og uten påfylling av vann eller alginatsjele. Når hulrommene fylles, opphører konveksjonen fullstendig, og man får tilsvarende hastighetsavhengighet som for en blokk av homogent materiale.

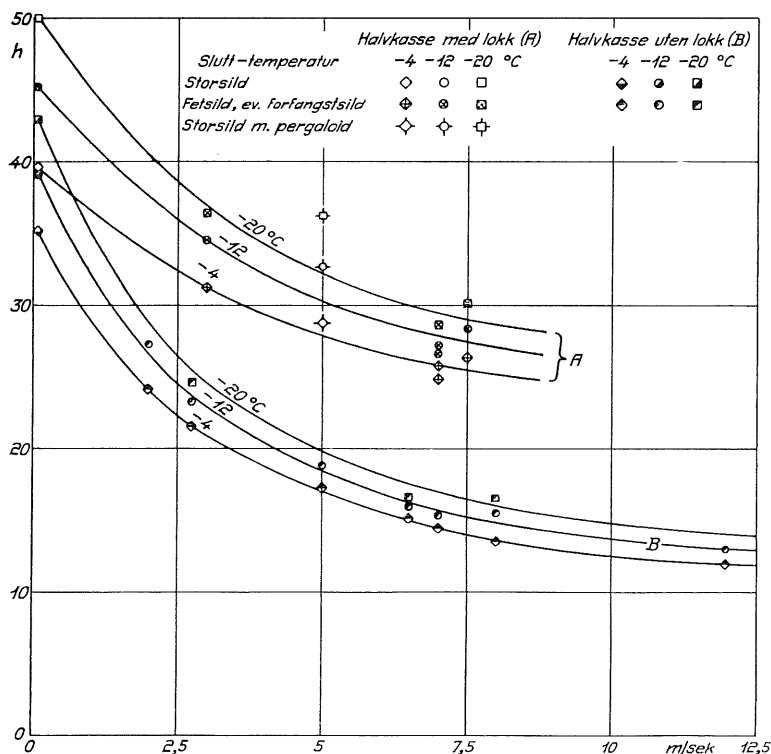


Fig. 7. Kurvene viser hvordan frysetiden fra  $10^\circ C$  til en bestemt kjernetemperatur ( $-4$ ,  $-12$  og  $-20^\circ C$ ) avhenger av lufthastigheten for standard halvkasser med lokk (A) og uten lokk (B). Lufttemperaturen er  $-30^\circ C$ . Forsøkspunktene er inntegnet. Som man ser er sildens art og størrelse av underordnet betydning. Ved stille kjøling er forskjellen i frysetid for kasser med og uten lokk nokså liten. Ved større lufthastigheter derimot fryser silden nesten dobbelt så fort når lokket ikke er satt på.

Som man kan vente, er ellers reduksjonen i frysetid ved større lufthastighet relativt størst ved de tynne pakningene, hvor varmeledningsmotstanden i selve frysegodset gjør seg forholdsvis mindre gjeldende. I samme retning virker også lufthvirvlingen innover i sildemassen ved store hastigheter, den er selvfølgelig mest effektiv ved ikke for tykke skikt. Det er derfor rasjonelt å bygge en fryser for åpne kartonger med betydelig større hastighet enn en for kasser eller lukkede pakninger av samme type.

Frysing i blokk med alginat eller vann gir ved større lufthastighet lenger frysetid enn for tørr sild i åpen emballasje. I lukket kartong er frysetiden med og uten alginat eller vann praktisk talt den samme. Derimot er selvfølgelig kuldebehovet større, og kapasiteten i tonn sild for et gitt anlegg mindre, når væske blir påfylt. For de undersøkte forhold øker kuldebehovet med 20 til 50%.

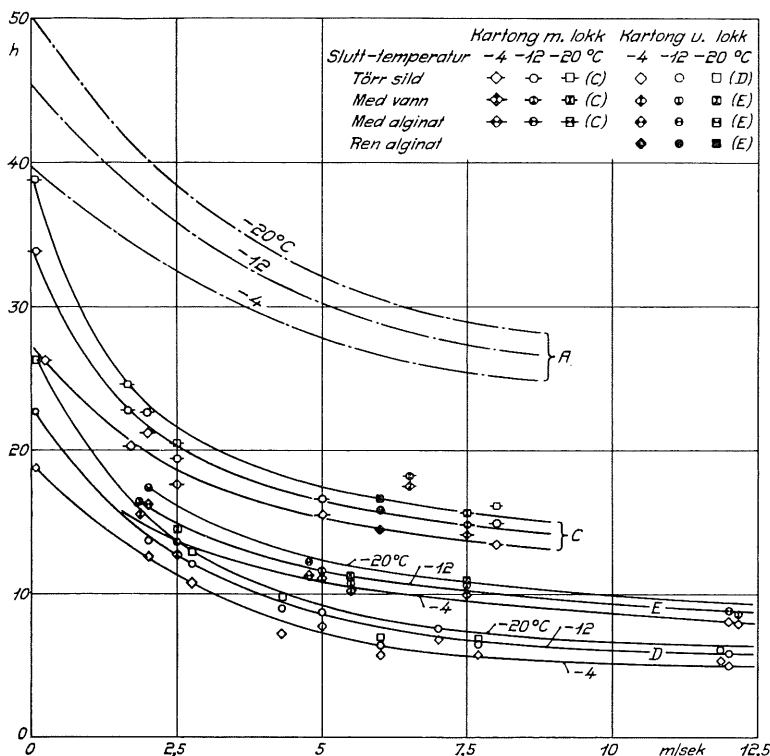


Fig. 8. Frysetiden for sild i kartonger under samme forhold som spesifisert for fig. 7. Kurvene C gjelder kartong med lokk, uansett om det er påfylt vann eller alginatoppløsning, eller om silden er tørr. Kurvene D gjelder tørr sild i kartong uten lokk. Fryses uten lokk men med vann eller alginat påfylt, fås frysetiden av kurvene E. Til sammenligning er også innstippet frysetiden for halvkasser med lokk etter diagram 7 (A). Også her får man betydelig reduksjon av frysetiden ved store lufthastigheter når man fryser uten lokk, spesielt for tørr sild.

### Temperatures innflytelse.

Innflytelsen av begynnelsestemperaturen og lufttemperaturen er forholdsvis enkel å beregne med tilstrekkelig nøyaktighet innen det aktuelle område. Slutt-temperaturens virkning er ikke så stor når man kommer under  $-4^{\circ}\text{C}$  i kjernen, som det også fremgikk av diagrammene 7 og 8.

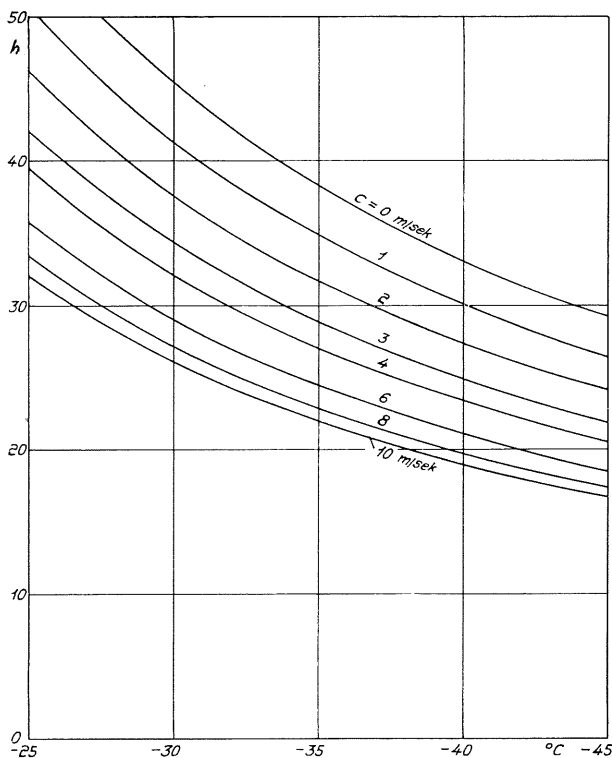


Fig. 9. Nødvendig frysetid for sild i standard halvkasser med påspikret lokk, avhengig av lufttemperatur og hastighet. Det er forutsatt en begynnelsestemperatur av  $10^{\circ}\text{C}$  og en slutt-temperatur i kjernen  $-12^{\circ}\text{C}$ . Derved oppnås en rimelig middeltemperatur for lagring etter at forholdene har jevnet seg ut.

Slik frysing oftest skjer i praksis, med  $-25$  til  $-30^{\circ}\text{C}$  lufttemperatur og relativt liten hastighet, må regnes med en frysetid omkring 48 timer. Bare ved å bruke særlig lav temperatur (omkring  $-40^{\circ}\text{C}$ ) og lufthastighet større enn ca. 4 m/sek. kan frysetiden presses ned i ca. 1 døgn med denne emballasje.

I fig. 9 til 13 er vist hvordan frysetiden avhenger av lufttemperatur og hastighet for de undersøkte pakningsformer ved nedfrysing til  $-12^{\circ}\text{C}$  i kjernen, som kan være en rimelig høyeste slutt-temperatur for vare som skal inn på lager. Man vil da etter utjevning få en tilfredsstillende lav

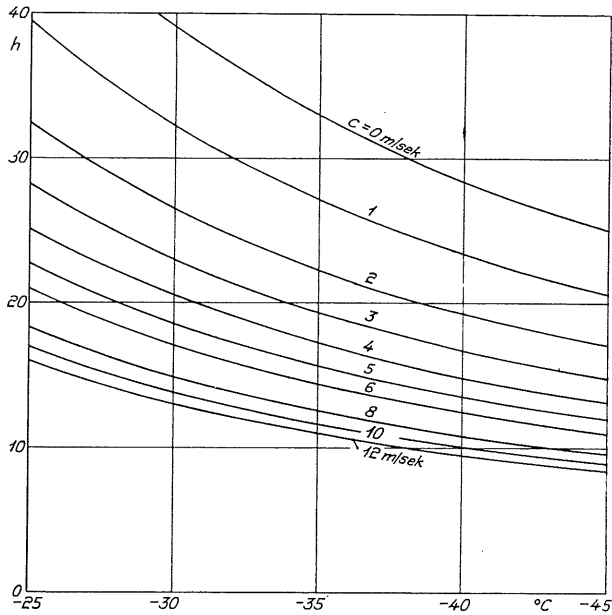


Fig. 10. Nødvendig frysetid i standard halvkasser uten lokk under samme betingelser som spesifisert for fig. 9. I vanlig praksis ( $-25$  til  $-30^{\circ}\text{C}$  og relativt lav lufthastighet) må ofte regnes med frysetider på omkring et døgn, ved stille kjøling opptil 2 døgn. Ved særlig lav temperatur ( $-40^{\circ}\text{C}$ ) og meget høy lufthastighet (over ca.  $7 \text{ m/sek.}$ ) kan frysetiden reduseres til ca. 12 timer.

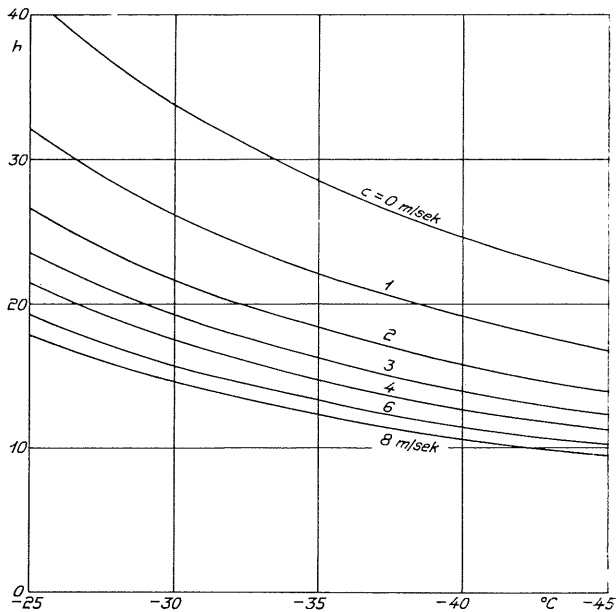


Fig. 11. Nødvendig frysetid for sild i 105 mm høy pappkartong med lokk, med eller uten alginat eller vann, ved forskjellig temperatur og lufthastighet. Betingelsene for øvrig er som spesifisert i forbindelse med fig. 9. Frysetiden er av samme størrelsesorden som for halvkasser uten lokk.



middeltemperatur. Begynnelsestemperaturen er forutsatt  $t_1 = 10^\circ\text{C}$ , som vel sjelden overskrides i praksis.

Som det fremgår kan man for halvkasser med påspikret lokk ikke redusere frysetiden under et døgn, selv med temperatur  $-40^\circ\text{C}$  og ekstremt

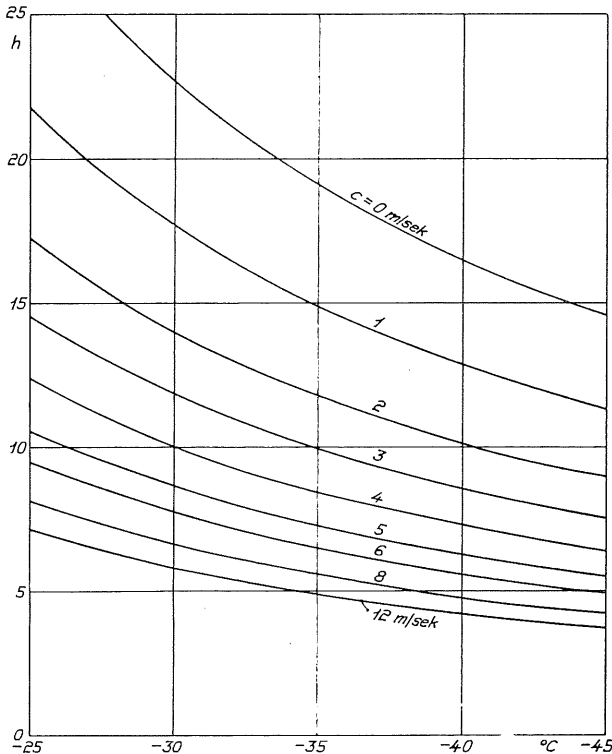


Fig. 12. Nødvendig frysetid for tørr sild i åpne kartonger med høyde 105 mm, som funksjon av lufttemperatur og hastighet. Betingelser for øvrig som spesifisert for fig. 9. Ved bruk av særlig lav temperatur ( $-40^\circ\text{C}$ ) og lufthastighet over ca. 6 m sek. kan frysetiden presses ned til ca. 6 timer.

høye lufthastigheter. Slik frysing ofte drives i dag, med lav lufthastighet og temperatur  $-25$ — $30^\circ\text{C}$ , må regnes med at nedfrysingen tar omkring 2 døgn (fig. 9).

For standard halvkasser uten lokk kan frysetiden presses ned i ca. 12 timer ved stor lufthastighet og  $-40$ — $45^\circ\text{C}$ . Under vanlige forhold ved de fleste anlegg må også her regnes med frysetider betydelig over et døgn (fig. 10).

For 105 mm høye, åpne kartonger kan frysetiden under gunstige forhold presses ned i ca. 6 timer (fig. 12).

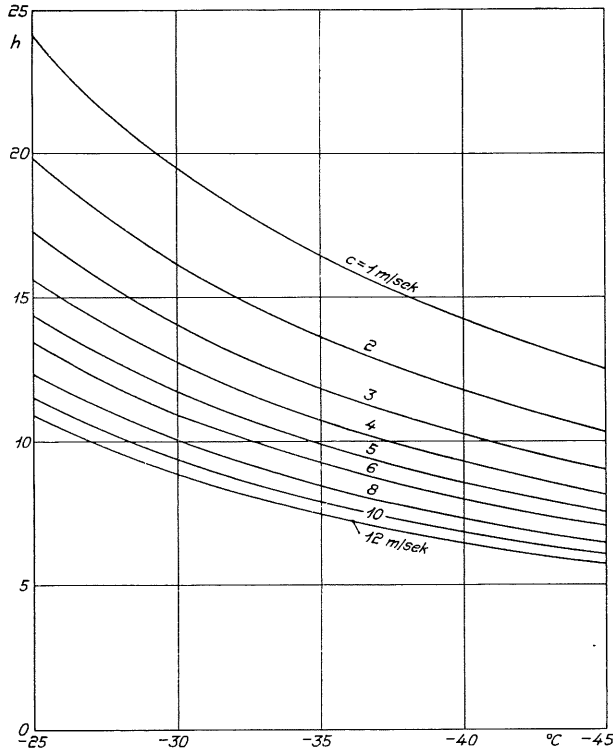


Fig. 13. Nødvendig frysetid for sild i vann eller alginat og åpne kartonger, som funksjon av lufttemperatur og hastighet. Betingelser for øvrig som spesifisert for fig. 9. Frysetiden er betydelig lenger enn for tørr sild ved større hastigheter.

### *Frysing ved gjennomblåsing.*

I betraktning av den sterke effekt av konveksjon mellom de enkelte sild i åpen emballasje, som er påvist, er det nærliggende å forsøke frysing ved direkte luftsirkulasjon gjennom kassene. En serie prøver ble gjort med et arrangement som fremgår av *fig. 14*. Silden ble pakket i halvkasse, dels forsynt med bunn av finmasket netting, dels med vanlig sprinkelbunn med 5 slisser av 10 mm bredde. Kassen ble innsatt i en ramme og tettet rundt kanten ved innstapping av et pakningsmateriale. Kaldluften ble presset igjennom sildemassen nedenfra og opp. Luftmengden ble bestemt ved hjelp av en blende innbygget i kanalen, og trykktapet over kassen med mikro-manometer.

Temperaturen i silden ble registrert i 30 punkter, tilfeldig fordelt over hele kassen. Termoelementene var plasert så vidt mulig i midten av de

enkelte sild. Dessuten ble lufttemperaturen før og etter kassen registrert. Temperaturforløpet i de enkelte punkter under et av forsøkene er gjengitt i *fig. 15*.

Noen resultater av målingene er sammenstillet i *Tab. III*. Omregningen til middel lufttemperatur  $-30^{\circ}\text{C}$  er gjort på samme måte som før. Som det fremgår er frysetiden til  $-12^{\circ}\text{C}$  maksimaltemperatur redusert helt ned til 4,2 og 6,4 timer for den beste og dårligste kassen, dvs. til en brøkdel av den tid som er nødvendig for luftfrysing med vanlige metoder.

I tabellen er også angitt beregnet, nominell lufthastighet for fritt kasse-tverrsnitt. Tallet inkluderer en del lekkasje forbi kassen, som vanskelig helt

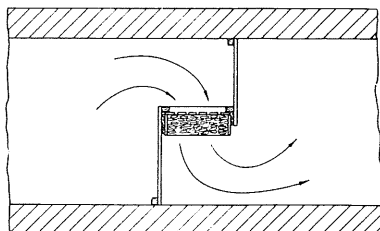


Fig. 14. Skjematisk arrangement for forsøk med frysing av sild i halvkasse (vanlig «frysekasse») ved gjennomblåsning.

kan unngås. Temperaturdifferansen i luften umiddelbart før og etter kassen er da også en del større enn det som svarer til total målt luftmengde. Lekkasjen var størst ved de første forsøkene, og ble delvis tettet igjen etter hvert. Den luftmengde som virkelig passerer gjennom sildemassen, tilsvarende en nominell hastighet som neppe overstiger 0,5 m/sek.

Virkelig lufthastighet mellom sildene er selvfølgelig vesentlig større enn den således beregnede nominelle hastighet. Umiddelbart over kassen ble målt en vertikalhastighet, som varierte tilfeldig sprangvis over hele tverrsnittet mellom 0 og ca. 6 m/sek, tilsvarende fordelingen av kanalene i silde-massen. Luftstrømmen kom ut i form av tilfeldig fordelte, tynne stråler i forskjellige retninger. Nedfrysingsforløpet for de enkelte målepunkter viser en tilsvarende variasjon, som det fremgikk av *fig. 15*.

Forsøk nr. 55 og 56 ble utført med storsild, størrelse 3,4 pr. kg, nr. 57 og 58 med vårsild av størrelsen 5,7 pr. kg. Frysetiden for de siste forsøkene var betydelig lenger enn for de første, ca. 6 timer mot ca. 4 3/4 time for de første, på grunn av at den bløtere silden hadde større tendens til å bake seg sammen. Derved oppstår partier som er mindre gjennomtrengelige for luften, og enkelte punkter blir hengende etter i frysingen. Det er nøyaktig det samme som man har ved vanlig lakefrysing.

Det er sannsynlig man vil kunne oppnå en betydelig, ytterligere re-

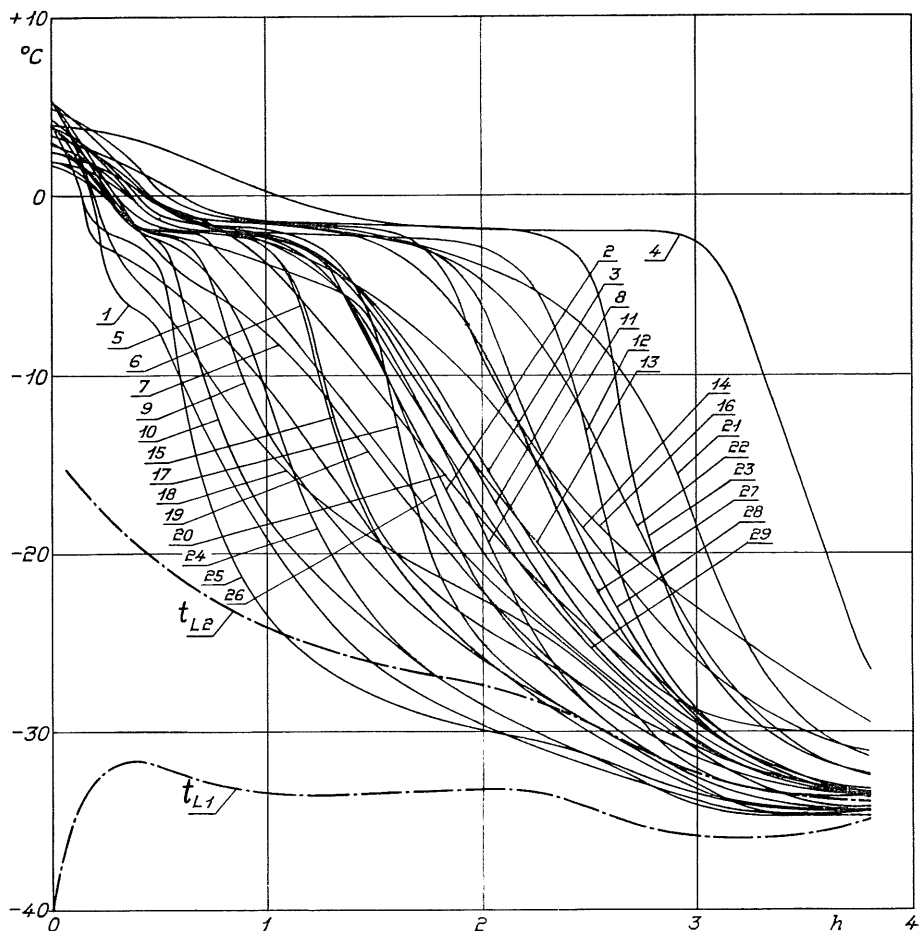


Fig. 15. Temperaturforløpet for 29 punkter i kassen ved frysing av vintersild ved gjennomblåsning. Temperaturen er målt i midten av de enkelte sild. Målepunktene er spredt over hele kassen.  $t_{L1}$  og  $t_{L2}$  er lufttemperaturen målt før og etter kassen.

Som det fremgår er frysetiden for de enkelte målepunkter sterkt varierende, avhengig av luftstrømningsforholdene rundt hver enkelt sild. Nødvendig tid for full gjennomfrysing er midlertid vesentlig kortere enn ved konvensjonell frysemetode og samme emballasje.

duksjon i frysetiden ved forkjøling av silden før den pakkes i kassene, spesielt for noe bløt og småfalle vare. Derved unngås så sterk tendens til sammenbaking, og man får mindre motstand og jevnere luftfordeling.

Den nye metoden bør lett kunne utnyttes praktisk ved konstruksjon av egnete fryserer, noe som formentlig ikke skulle by på så store vanskeligheter. Den vil derved kunne bidra til å løse problemet om et effektivt og kvalitetsmessig tilfredsstillende system for «bulkfrysing» av fiskeslag som sild, makrell, småsei o.l.

Tabell III.  
Oversikt over fryseforsøk med gjennomblåsing.

For- søks- nr.	Emballasje	Vekt av sild kg	Mid- del beg. temp. $t_1$ °C	Nomi- nell luft- hast. m/sek	Trykk- tap over kassen mm H <sub>2</sub> O	Mid- del luft- temp. $t_L$ —°C	Frysetid i timer til høyeste temp. i silden =			Frysetid korrigert til $t_1 = 10^\circ\text{C}$ og $t_L =$ — $30^\circ\text{C}$ ved nedfr. til			Anmerkninger
							—4°C	—12°C	—20°C	—4°C	—12°C	—20°C	
55	Kasse med nettingbunn uten lokk	51,7	3,0	1,0	33,2	36,5	3,21	3,90	4,40	4,26	5,18	5,84	Storsild, 3,4 stk. pr. kg
56	Normal frysekasse uten lokk	51	3,5	0,8	37,4	34,0	3,15	3,40	3,60	3,84	4,15	4,30	
57	Normal frysekasse uten lokk	52	6,0	0,8	37,2	29,0	5,15	6,40	6,88	5,15	6,40	6,88	Vårsild, 5,7 stk. pr. kg
58	Normal frysekasse uten lokk	52	7,5	0,5	40,3	33,0	4,08	5,16	5,84	4,63	5,87	6,64	Vårsild, 5,7 stk. pr. kg

*Temperaturutjevning etter frysingen.*

Ved uttak av fryseren vil temperaturen i varen normalt være temmelig ujevn, overflaten vil være sterkt nedkjølt mens temperaturen i kjernen ligger betydelig høyere. For et så ujevnt materiale som sild er det ofte bare et enkelt eller noen få punkter som henger etter. For å undersøke hvor lang tid det vil ta før tilstanden er noenlunde utjevnet etter at varen er satt inn til lagring, under forutsetning av at den stues inn slik at den ikke får vesentlig kjøling utenfra, ble det gjort en del målinger. Kassen ble anbrakt i en beholder, som var innvendig tykt isolert med et lett materiale med liten varmekapasitet (steinullmatter), og som på forhånd var nedkjølt til omtrent den middeltemperatur man ventet etter utjevningen. Beholderen med kassen var også under utjevningsperioden plasert i fryserommet, for å unngå enhver varmeinnlekking utenfra. Et eksempel på temperaturkurvenes forløp er vist i *fig. 16*.\*

Utjevningen innenfor et snitt går ganske hurtig, og er nokså fullstendig etter 3–4 timer. Mellom de enkelte snittene tar det betydelig lenger tid, p.g.a. større ledningsvei, og det kan ta opptil et par døgn før temperaturen er helt utjevnet over hele kassen.

Den likevektstemperaturen som etter hvert innstiller seg, avhenger selvfølgelig av temperaturfordelingen, og de høyeste temperaturene i kjernen spiller forholdsvis stor rolle når man ikke ligger langt under frysepunktet. Eventuelle ufrosne partier vil virke svært uheldig på grunn av den store kuldemengde de beslaglegger, selv om de er forholdsvis små. Det er derfor meget viktig at man ikke tar varen ut av fryseren for tidlig. Det bør forlanges at temperaturen etter utjevning ikke skal være høyere enn forut-

Tabell IV.

*Oversikt over temperaturutjevningsforsøk.*

Forsøk nr.	Emballasje	Fryser-temp. — °C	Målt sildtemp. etter frysing, — °C		Utjevningstemp. — °C	Anm.
			Høyeste	Laveste		
U 1	Kasse	31,7	7,5	29,5	22,0	Tørr sild
U 2	Kasse	32,5	5,6	27,2	20,5	Tørr sild
U 3	Kartong	32,7	12,8	28,5	25,5	Tørr sild
U 4	Kartong	34,2	7,5	28,0	21,0	Tørr sild
U 5	Kartong	40,0	11,0	31,0	22,5	Tørr sild
U 6	Kartong	40,0	15,0	32,5	27,0	Sild + vann
U 7	Kartong	40,0	16,0	36,0	29,0	Sild + vann
U 8	Kartong	35,5	2,0	23,0	13,0	Tørr sild
U 9	Kartong	40,0	8,0	31,0	25,0	Tørr sild
U 10	Kasse	42,0	11,0	35,0	25,0	Tørr sild

\* Innheftet bak i boken.

satt lagringstemperatur, idet nedkjølingen i stabel på et lagerrom vil gå svært langsomt.

Resultatet av 10 utjevningsforsøk er referert i *Tab. IV*, og *fig. 17* viser omtrentlig sammenheng mellom høyeste kjernetemperatur og utjevnings-temperaturen. Det ser ut til at man kan regne med omtrent samme middelkurve for kasser og kartonger ved frysing i luft av  $-30$  til  $-40^{\circ}\text{C}$ . Spredningen er ikke større enn man må vente for slike forsøk.

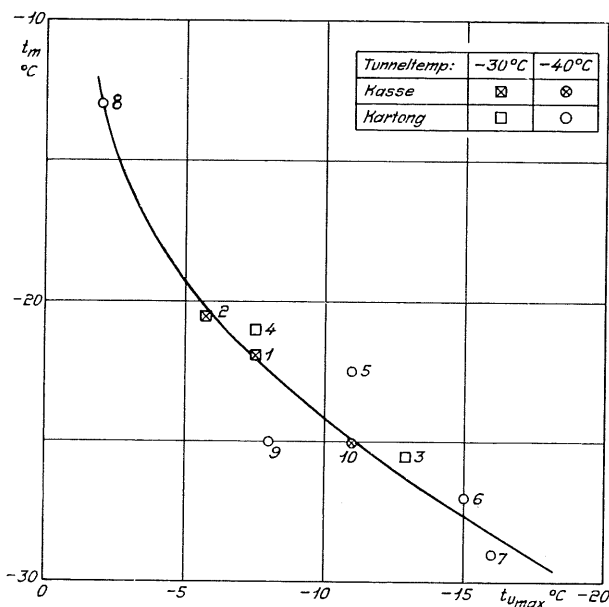


Fig. 17. Sammenhengen mellom utjevningstemperaturen og høyeste kjernetemperatur ved uttaking av fryseren for sild i halvkasser og kartonger. Frysingen er utført med tunneltemperatur henholdsvis ca.  $-30^{\circ}\text{C}$  og ca.  $-40^{\circ}\text{C}$ . Det ser ut til at resultatene for begge emballasjetyper og temperaturer kan angis tilstrekkelig nøyaktig for praktisk bruk ved en enkelt kurve.

Som man ser, bør man forlange kjernetemperatur lavere enn  $-10 - 15^{\circ}\text{C}$  for å få tilfredsstillende forhold. Den praksis som har vært hevdet, å regne frysetiden til  $-4^{\circ}\text{C}$  kjernetemperatur, er derfor meget farlig, og kan føre til betydelige kvalitetstap.

### *Konklusjon.*

Prøvene viser at man ved overgang til mer hensiktsmessige – tynnere – pakninger kan oppnå en vesentlig reduksjon i frysetiden ved konvensjonell luftfrysing. Ved overgang fra standard halvkasse med innvendig høyde 165 mm til en massiv pappkasse med høyde 105 mm kunne frysetiden reduseres med 50 til 70%. Reduksjonen var størst ved stor lufthastighet.

Det ble funnet, at ved frysing av pakninger uten lokk gir konveksjon ned i sildemassen et vesentlig bidrag til varmeovergangen, som reduserer frysetiden betydelig. Av denne grunn lønner det seg også å bruke betydelig større lufthastighet enn man tidligere har regnet med. Ved blokkfrysing med vann eller alginatsjele må regnes med en reduksjon i fryserens kapasitet, og en stor lufthastighet gir mindre fordeler enn for tørr sild.

Ved direkte gjennomblåsing er det mulig å oppnå en vesentlig reduksjon av frysetiden, selv i emballasje av forholdsvis stor høyde. Det er målt frysetider under 4 timer for storsild i standard halvkasser. Den nye metoden bør kunne finne anvendelse for praktisk og kvalitetsmessig tilfredsstillende «bulkfrysing» av sild, makrell m.v.

I og med de fordeler som ligger i frysing i åpen emballasje, bør luftfrysere for sild bygges med særlig hensyn til å beherske rimproblemet.

Temperaturen i silden utjevner seg temmelig fullstendig i løpet av de første par døgn etter uttaking av fryseren. Det er nødvendig for å komme ned på en tilfredsstillende lav lagringstemperatur og drive nedfrysingen til en temperatur i kjernen som ikke overstiger  $-10$  til  $-15^{\circ}\text{C}$ .



*Summary in English.*

The purpose of this work is to provide more accurate data for the calculation and design of air blast freezers for herring and similar fish. 58 samples were frozen in the following types of packing:

- 50 kg standard, wooden herring boxes without lid.
- 50 « « « « « with lid on.
- 22 kg flat cardboard boxes without lid.
- 22 « « « « with lid on.

For the two latter types, tests were made also to ascertain the influence of adding water and alginate jelly to the herrings for «block freezing». The dimensions of the boxes are given in *Table I*.

Two different blast tunnels were used in the tests, as shown in *Figs. 1 and 2*. Air temperature was varied from  $-30$  to  $-42^{\circ}\text{C}$ , velocity from 0 to 12 m/sec. Different types of herrings were used, according to season and availability. A survey of test conditions and main results is given in *Table II*.

The temperatures in individual herrings and air were recorded by means of thermocouples, to an accuracy of  $\pm 1/2^{\circ}\text{C}$ . The thermocouples were distributed over 6 or 7 cross-sections of the box. Examples of the temperature development during freezing are given in *Figs. 3 to 6*, for each of the types of package mentioned.

*Figs. 7 and 8* give the necessary freezing time as a function of air velocity for an initial fish temperature of  $10^{\circ}\text{C}$  and mean air temperature  $-30^{\circ}\text{C}$ . The curves correspond to a maximum recorded final temperature of  $-4$ ,  $-12$  and  $-20^{\circ}\text{C}$ , respectively. Each set of curves correspond to the following conditions:

- A: Standard boxes with lid.
  - B: Standard boxes, open.
  - C: Cardboard boxes with lid, with or without water or alginate jelly added.
  - D: Open cardboard boxes, dry herring.
  - E: Open cardboard boxes, herring + water or alginate jelly.
- Safe freezing time as a function of air temperature and velocity for the

same conditions and a maximum, final core temperature of  $-12^{\circ}\text{C}$  is recorded in *Figs. 9 to 13*.

The results show that the influence of air velocity on the freezing rate in open containers is considerably greater than for a solid, homogenous slab, obviously as a result of convection between the herrings. In an effort to further increase this effect, freezing by air blast through the herring mass was tried. The arrangement is shown in *Fig. 14*, the results of 4 tests are given in *Table III*. *Fig. 15* is a diagram of herring and air temperatures for one of the boxes.

It was found that the freezing time can be reduced very considerably by this new method, to as low as 4,2 to 6,4 hours for  $-30^{\circ}\text{C}$  air, depending on the herring characteristics.

When the box is taken out of the freezer, the temperature in the fish is rather uneven. It is of practical interest to know to what maximum core temperature the fish must be cooled, to arrive at a sufficiently low storage temperature after equalisation. Additional heat removal in storage, when the boxes are tightly stacked, will necessarily be extremely slow, and should be avoided.

An example of temperature relaxation after freezing is given in *Fig. 16*. While the equalization over the individual cross-section is fairly complete after 3 or 4 hours, the time for total equalization within the whole box is considerably longer.

Results of 10 relaxation tests are given in *Table IV* and *Fig. 17*.

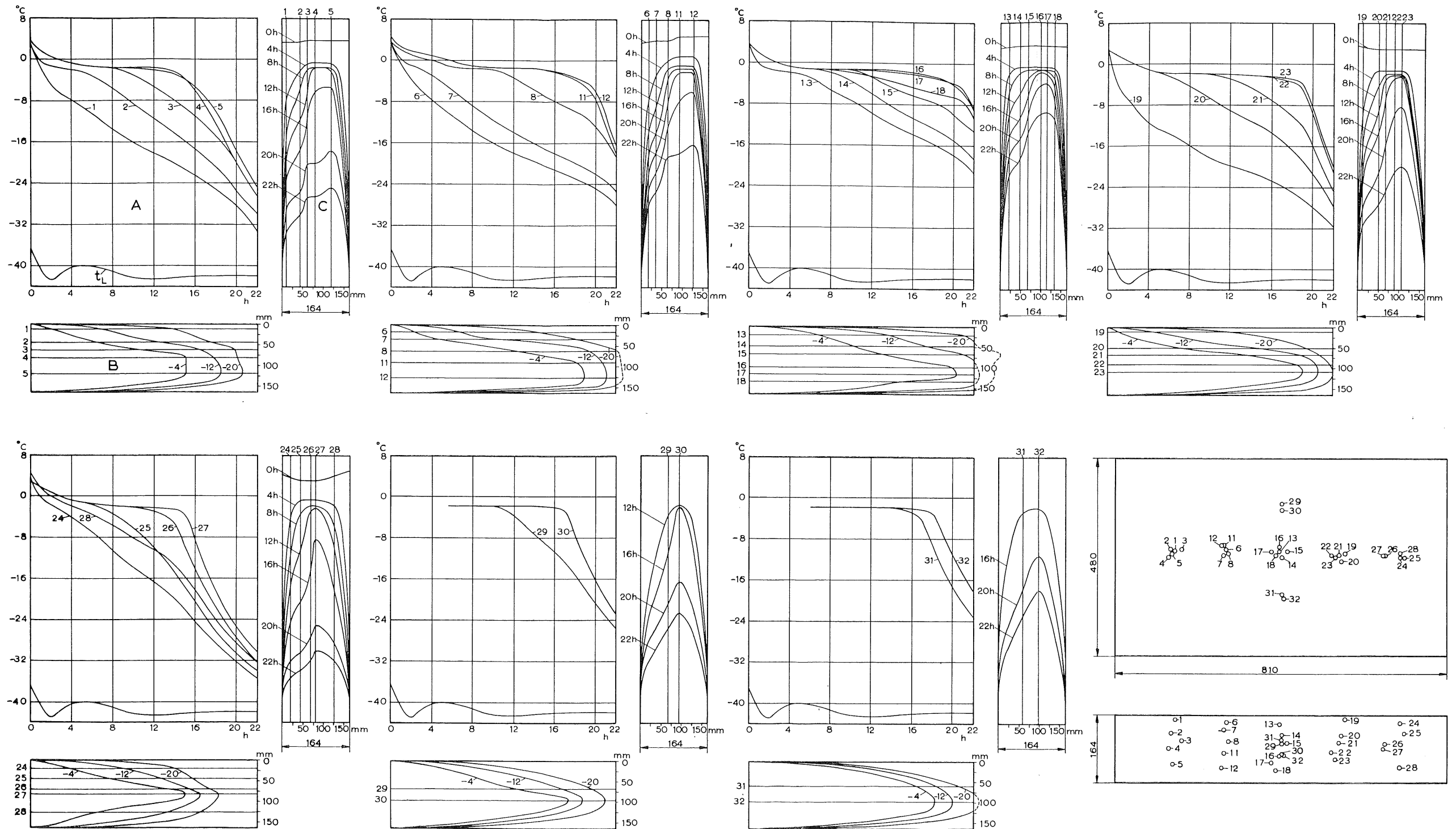


Fig. 3. Typiske kurver for nedfrysing av 52,5 kg sild i standard halvkasse med lokk påsatt (forsøk nr. 50). Termoelementene er plasert i silden som vist i skissen nederst til høyre, fordelt på 7 tverrsnitt. For hvert snitt er opptegnet temperaturforløpet som funksjon av tiden for de enkelte målepunkter (diagram A), isotermer i tids-tykkelse-diagram (B) og isochroner i temperatur-tykkelse-diagram (C). Middellufttemperatur under

prøven var  $t_L = -42,0^\circ\text{C}$ , lufthastighet 3 m/sek., frysetid til  $-12^\circ\text{C}$  i det sist frysende kjernetverrsnitt 22,4 timer. Frysetiden kan mest nøyaktig tas ut av isotermene. På grunn av det isolerende luftlag under lokket blir frysingene noe usymmetrisk. Dessuten er det en del tilfeldig variasjon mellom de enkelte tverrsnitt, som gjen-speiler den normale ujevnhet i pakkingen ved løs ifylling av sild.

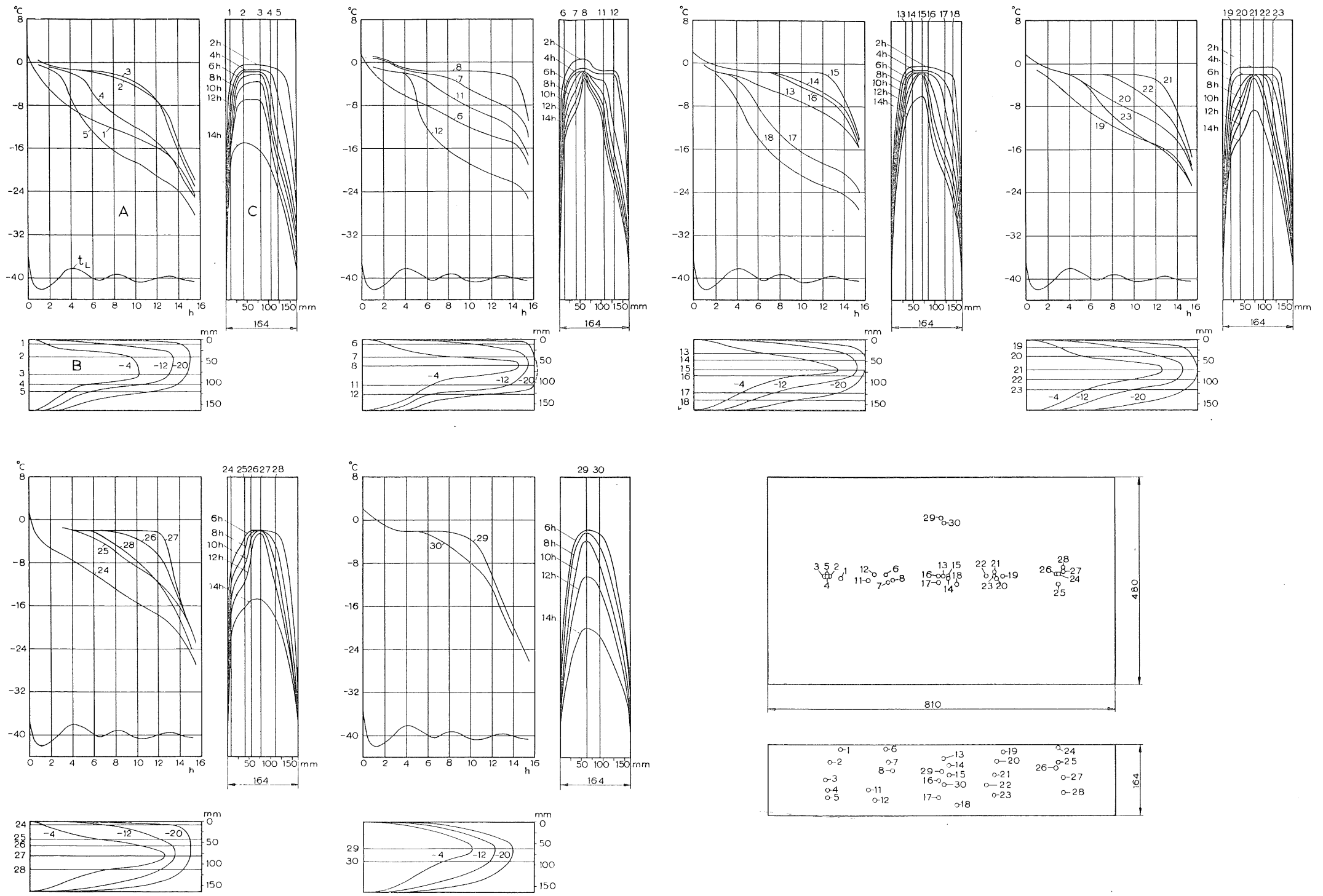


Fig. 4. Nedfrysing av 54 kg sild i halvkasse uten lokk (forsøk nr. 49). Middellufttemperatur under prøven var  $-40^{\circ}\text{C}$ , hastigheten 2,75 m/sek., og frysetiden til  $-12^{\circ}\text{C}$  kjernetemperatur 15,6 timer. Betegnelse er for øvrig som i fig. 3.

Som man ser kan man oppnå en vesentlig reduksjon av frysetiden ved å vente med påsetting av lokket til etter frysingen er ferdig.

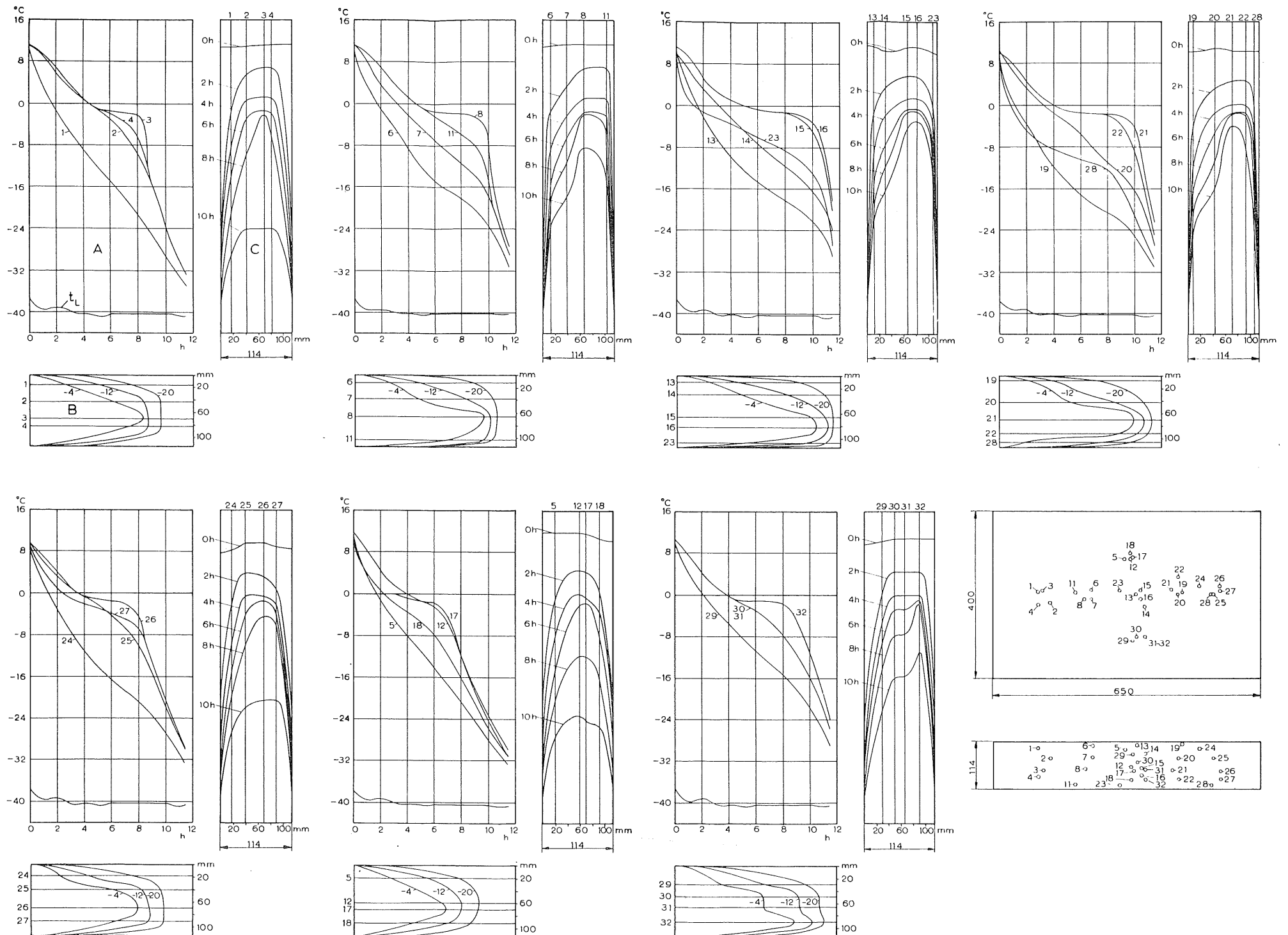


Fig. 5. Nedfrysing av 25 kg fetsild i kartong med lokket påsatt (forsøk nr. 34). Mellomrommet mellom silden var utfyllt med ferskvann. Middellufttemperatur under prøven var  $-40^{\circ}\text{C}$ , hastighet 7,5 m/sek. og frysetid til  $-12^{\circ}\text{C}$  i kjernen 11,0 timer. Betegnelser som i fig. 3. Også her blir frysingen sterkt usymmetrisk p.g.a. det isolerende luftlag under lokket.

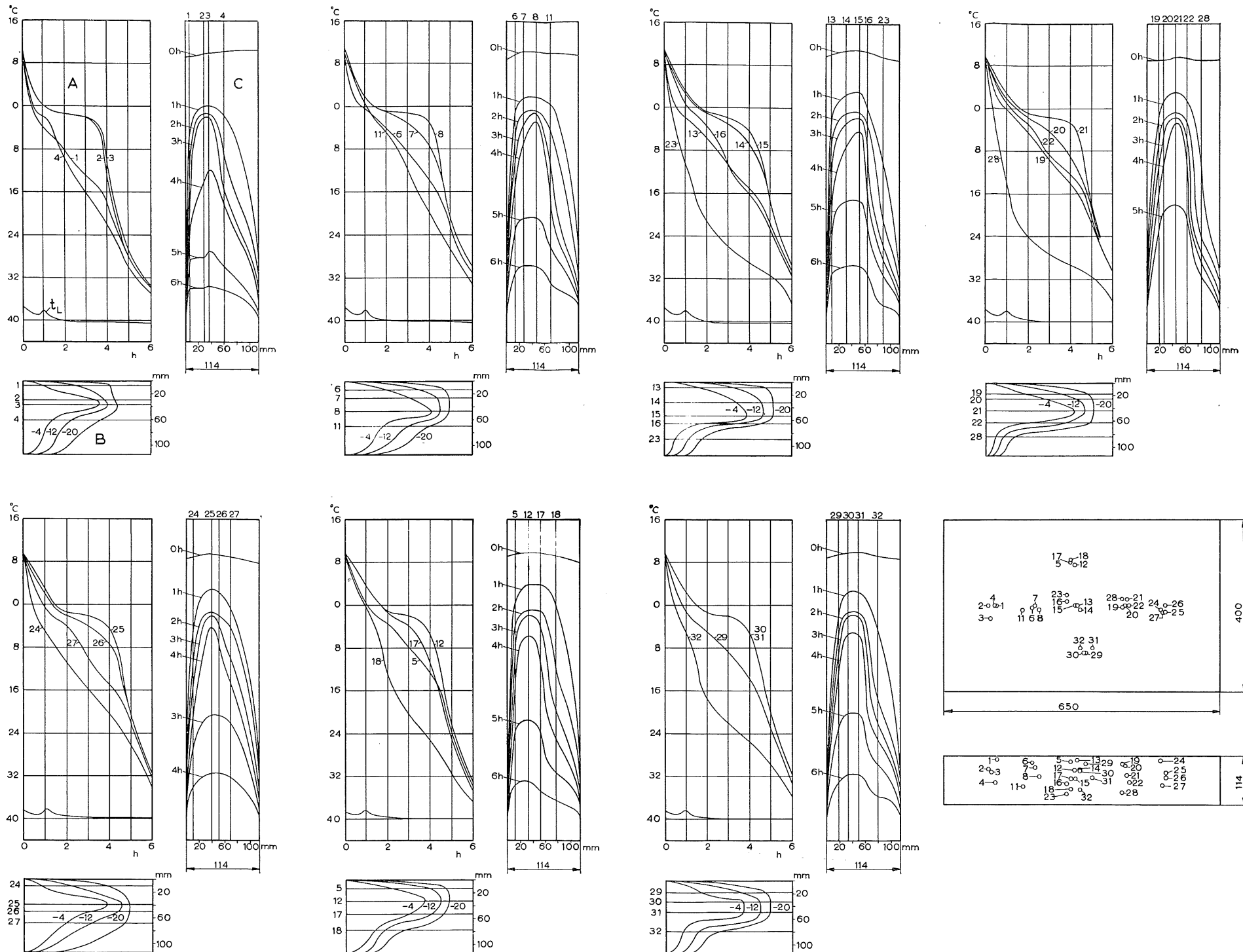


Fig. 6. Nedfrysing av 22,5 kg fetsild i åpen kartong (forsøk nr. 40). Middellufttemperatur under prøven — 39,8°C, hastighet 6 m/sek. og frysetid til — 12°C i kjernen 4,7 timer. Betegnelser som i fig. 3.

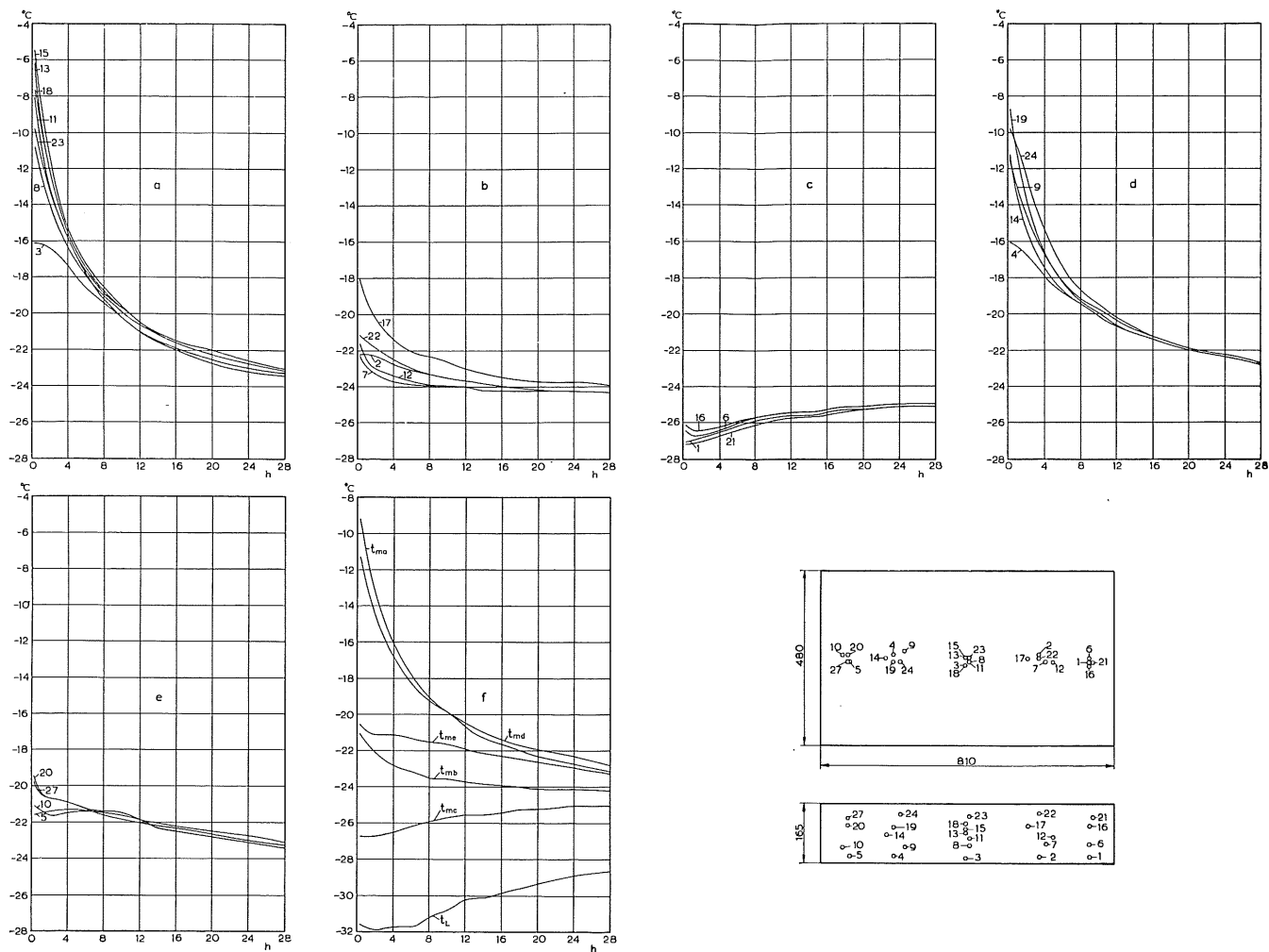


Fig. 16. Temperaturforløpet i en standard halvkasse etter avsluttet nedfrysing. Diagrammene a til e viser temperaturforløpet for 5 forskjellige tverrsnitt i kassen. Målepunktene beliggenhet framgår av figuren i nedre høyre hjørne. Diagram f viser hvordan middeltemperaturen for de enkelte snitt varierer og lufttemperaturen i lagerrommet  $t_L$ .

Mens utjevningen innen de enkelte snitt er nokså fullstendig etter noen få timer, krever utjevningen over kassens lengde og bredde vesentlig lenger tid.