

HŰTÉSTECHNIKA ALAPJAI

12. ELŐADÁS

FAGYASZTÁS, ÉS FAGYASZTOTT TÁROLÁS TERVEZÉSÉNEK ALAPJAI





FAGYASZTÁSI HŰTŐTELJESÍTMÉNY-IGÉNY

A fagyasztás hűtőteljesítmény-igénye a 11. ELŐADÁS 3. dián leírttal azonos módon számítható, azzal a különbséggel, hogy a termékből elvonandó hőt ($\Phi_{B,1}$) és a fagyasztás idejét (t) – a 11. ELŐADÁS. helyett – a továbbiak szerint határozzuk meg:

$$Q_{B,1} = m \cdot c_p \cdot (T_o - T_f) + L_j \cdot \Delta\varphi \cdot x + c_{pf} \cdot (T_f - T_u)$$

m – a termék tömege [kg]

c_p – a termék fagypont feletti fajhője [kJ/kg K], vízé: $c_{p,víz} = 4,2$ kJ/kg K

T_o – a fagyasztás kezdeti hőmérséklete (8 °C), [°C]

T_f – a termék fagyáspontja [°C], ld. 10. dia

L_j – a víz fagyáshője, $L_j = 334,4$ kJ/kg

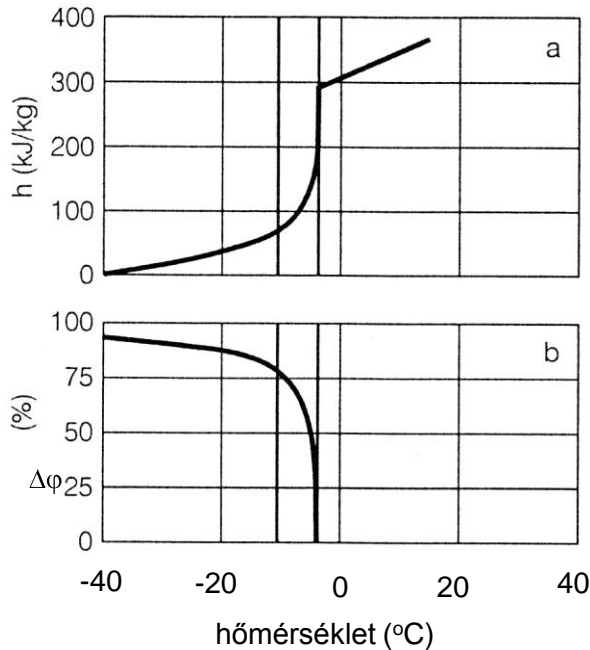
$\Delta\varphi$ – a T_u – ig kifagyott jég aránya [kg/kg], ld. 10. dia

x – a termék víztartalma (kg/kg), ld. Beke Gy. HŰTŐIPARI KÉZIKÖNYV 2. Kötet

c_{pf} – a termék fagypont alatti fajhője [kJ/kg K], jégé: $c_{p,jég} = 2,1$ kJ/kg K

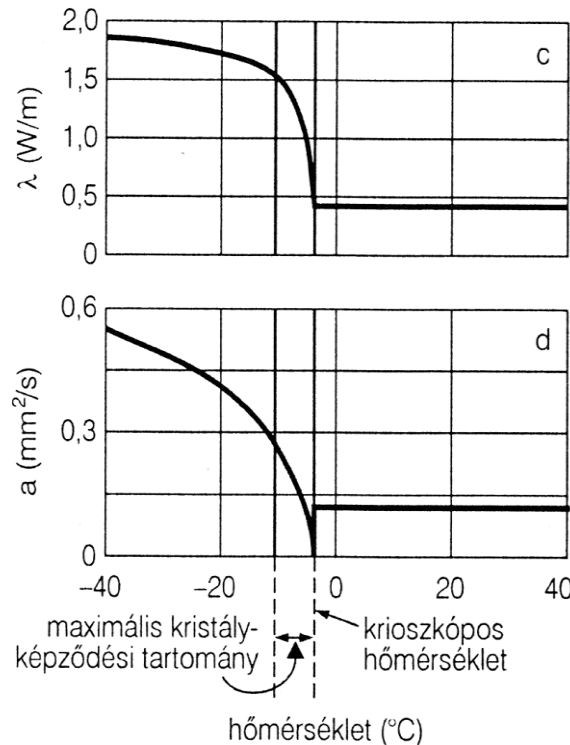
T_u – az utóhűtés (fagyasztás) hőmérséklete [°C], $T_u = -18$ °C

ÉLELMISZEREK HŐFIZIKAI JELLEMZŐI



Entalpia

Kifagyott víz

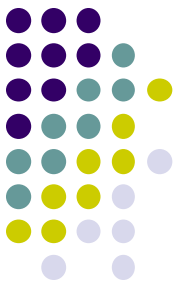


Hővezetési tényező

Hőmérséklet-vezetési tényező

Megjegyzések: (1) – a fajhő: $c_p = \Delta h / \Delta T$, ld. előző dián $\Phi_{B,1}$ számítását!
(2) - Élelmiszerekre vonatkozó hőmérsékletfüggő értékek, és azok modellezése: ld. pl. FOOD TEMP X CODE szoftver, FR&PERC, UK

ELŐHŪTÉSI IDŐ



A FAGYASZTÁS TELJES IDEJE (t)

$$t = t_e + t_f + t_u$$

t_e – előhűtés ideje 8 °C-ról a fagyáspontra (ha a terményt magasabb hőmérsékleten takarították be, először – a fagyasztón kívül - 8 °C-ra kell előhűteni!)

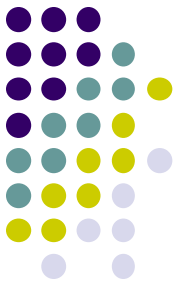
t_f – fagyási idő a fagyáspontról -5 °C-ra

t_u – utóhűtés ideje -5 °C-ról -18 °C-ra

AZ ELŐHŪTÉSI IDŐ (t_e) SZÁMÍTÁSA

Fagyasztás előtt a terméket a fagyasztón kívül le kell hűteni $T_e = 8$ °C-ra. Ezzel az előhűtési szakaszban – azaz: T_e -ről a fagyáspontra (krioszkópos hőmérsékletre, T_f -re) való hűtéskor a pára kibocsátás, és a felület nedvesedése csökkenthető, így a részecskék összefagyása elkerülhető! Az előhűtés a 11. ELŐADÁS során tárgyalt hűtési eljárás, ezért az előhűtési időt is az ott tárgyalt módon kell számítani. Mivel az előhűtési idő, a fagyasztási és az utóhűtési időhöz képest viszonylag kicsi, ezért számítását el szokták hagyni.

FAGYÁSI IDŐ



FAGYÁSI IDŐ (t_f) SZÁMÍTÁSA

$$t_f = \frac{\rho \cdot L}{\Delta T} \cdot \left(R \cdot \frac{X^2}{\lambda} + P \cdot \frac{X}{\alpha} \right)$$

Ahol: ρ - az élelmiszer sűrűsége (kg/m^3)

L - a fagyáshoz elvonandó fázisváltási hő, $L=L_f \cdot x$. $\Delta\phi$ (ld. 4. dia), (kJ/kg)

ΔT – a fagyáspont (T_f) és a hűtőközeg (T_h) hőmérsékletkülönbségének átlagos értéke

$$T_u = -5 \text{ °C-ig: } \Delta T = \frac{(T_f - T_h) - (T_u - T_h)}{\ln\left(\frac{T_f - T_h}{T_u - T_h}\right)}$$

P és R - Plank-féle formatényezők, ld. következő dia

X – a réteg- vagy lapvastagság fele (m)

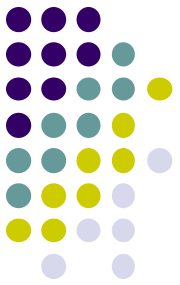
λ - az élelmiszer hővezetési tényezője (kJ/m K)

α - hőátadási tényező az élelmiszer és a hűtő - közvetítőközeg között, közelítő

számítását ld. 11. ELŐADÁS 10. dia, azaz: $\alpha = 5,8 + 3,9 \cdot v_h$,

Itt: v_h – a hűtő - közvetítőközeg (levegő) sebessége (m/s)

PLANK-FÉLE FORMATÉNYEZŐ



b_1	b_2	P	R
1	1	0,1677	0,0417
1,5	1	0,1875	0,0491
2	1,5	0,2308	0,0656
2	2	0,2500	0,0719
2,5	2	0,2632	0,0751
3	2	0,2727	0,0776
3	3	0,3000	0,0849
3,5	3,5	0,3181	0,0893
4	3	0,3156	0,0887
4	4	0,3330	0,0929
4,5	3	0,3215	0,0902

Ahol: b_1 – hossz (l)/vastagság (2X)
 b_2 - szélesség (m)/vastagság (2X)
P és R - formatényezők

UTÓHŰTÉSI IDŐ



UTÓHŰTÉSI IDŐ (t_u) SZÁMÍTÁSA

$$t_u = \frac{1866 \cdot X^2 \cdot n \cdot c \cdot \rho}{\lambda} \cdot \left(\lg \frac{T_f - T_h}{T_u - T_h} - 0,0913 \right) \cdot \left(\frac{1}{Bi} + 0,5 \right)$$

Ahol az eddig ismeretlen jelölések:

n – tényező, a Bi-szám függvényében az alábbi táblázatból kell kiválasztani:

Bi	0,25	0,5	1	2	4	10	20	>100
n	1,21	1,188	1,156	1,112	1,065	1,02	0,008	1,00

Bi – Biot-szám, $Bi = (\alpha \cdot 2X) / \lambda$

c – fajhő, esetünkben az entalpia alapján (ld. 5. dia): $c = \Delta h / (-5 - T_u)$

FAGYASZTÁSI MÓDSZEREK JELLEMZŐI



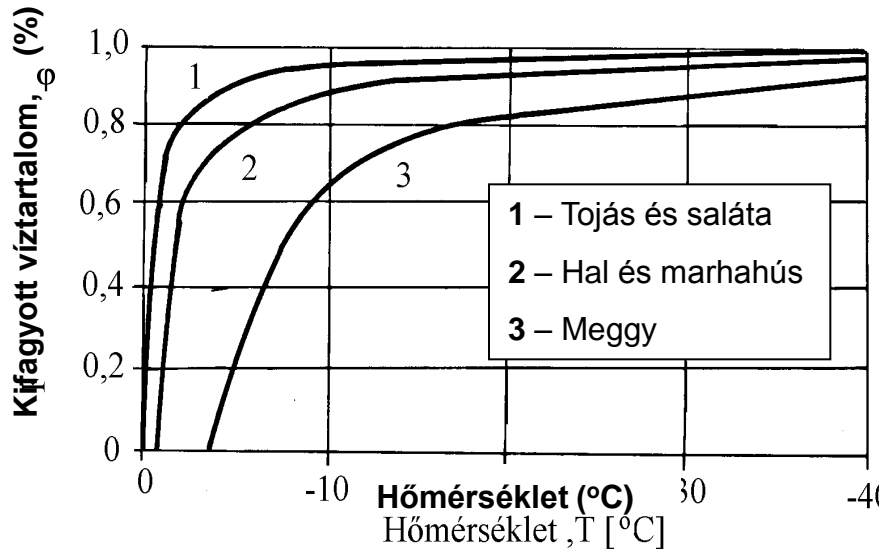
A módszerek berendezéseit Id. 4. ELŐADÁS!

Fagyasztási módszer	Hőátzármasztási tényező (W/m ² K)	Fagyasztási idő -18 °C-ra (min)	Élelmiszerek
Levegővel való fagyasztás Fagyasztóteremben (tárolás) Fagyasztóalagútban, 3 - 5 m/s Spirál (szalagos) fagyasztón Fluidizációs fagyasztón	6 - 9 25 - 30 25 90 - 140	1800 - 4320 15 - 20 12 - 19 3 - 4	Sertés és marha testek Zöldborsó ömlesztve Hamburger, halrudak Zöldborsó és -bab ömlesztve
Kontakt vagy félkontakt fagyasztás Lemezes fagyasztóban Kapartfalú fagyasztóban	100 -	25 0,3 - 0,5	Készétel (konzerv), 1 kg Jégkrém
Bemerítéses fagyasztás		10 - 15 0,5 4 - 5	Csomagolt narancsital Zöldborsó Hamburger, halrudak
Kriogén fagyasztás (LIN)	1500	1,5 0,9 2 - 5 0,5 - 6	Kenyér, 0,5 kg Sütemény, 0,5 kg Hamburger, hal Gyümölcs, zöldség

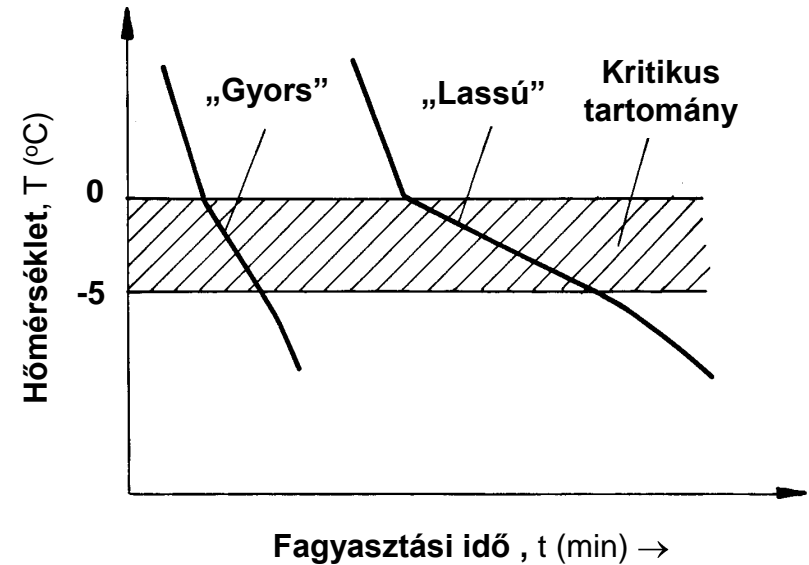
GYORSFAGYASZTÁS ÉS „SOKKOLÁS”



KIFAGYÁSI GÖRBÉK



GYORSFAGYASZTÁS



MINÉL GYORSABB A FAGYASZTÁS ANNÁL KISEBB MÉRETŰ JÉGKRISTÁLYOK KELETKEZNEK, ÉS JAVUL A TERMÉK MINŐSÉGE

A GYORS HŰTÉS ÉS FAGYASZTÁS SOKKOLJA, AZAZ ELPUSZTÍTJA A MIKROBÁKAT, ÉS JAVÍTJA A TERMÉK BIZTONSÁGÁT

FAGYASZTÁS SEBESSÉGE



A FAGYASZTÁS SEBESSÉGÉNEK SZÁMÍTÁSA

A fagyasztás sebessége a fagyási réteg haladási sebessége, amely alapján többek között a 10. dián definiált gyorsfagyasztás és „lassú” fagyasztás is definiálható. Meghatározása: a Plank – féle – formatényezők nélküli – fagyási időből szokásos az alábbiak szerint:

$$w = \frac{X}{t_f} = \frac{\alpha \cdot (T_f - T_h)}{\rho \cdot L \cdot \left(1 + \frac{\alpha \cdot X}{2 \cdot \lambda}\right)}$$

A fenti összefüggés minden tényezője korábban már ismertetésre került!

Plank szerint gyorsfagyasztásnak tekinthető az a fagyasztási eljárás, amelyben az átlagos lineáris fagyasztási sebesség nagyobb, mint $w = 5$ cm/h, és lassúnak, ha mértéke $(0,1-1)$ cm/h alatti. A hűtőlevegő hőmérséklete gyorsfagyasztásnál: $T_h = (-35) - (-40)$ °C, míg lassúnál: $T_h = (-20) - (-25)$ °C

PÁROLGÁSI VESZTESÉG



NÉHÁNY ÉLELMISZER FAGYASZTÁS ALATTI PÁROLGÁSI VESZTESÉGE

Termék	Fagyasztási idő (óra)	Tömegveszteség (%)	Megjegyzés
Szilva, egész	3,0	0,4	ömlesztett (tálcás), előhűtés nélkül, alagútfagyasztás (-30 °C, 4 m/s légsebesség)
Őszibarack, felezett	4,0	0,3	
Fehér paprika, egész	2,0	0,9	
Tök, szeletelt	3,5	1,7	
Parajkrém	4,0	1,5	
Natúr lecsó	4,0	0,9	
Szilvágombóc	4,0	0,3	cellofántasak, alagút-fagyasztás (-35 °C, 4 m/s légsebesség), sertéspörkölt 10 °C alá hűtve
Sertéspörkölt	4,0	0,3	
Bőrös félsertés	26,0	0,8	5–10 °C-ra előhűtve, fagyasztás boxban
Szarvasmarha, hátsó	41,0	0,6	
Császárszalonna (függesztett)	20,0	1,1	
Sertéskaraj, csontozott, csomagolt	48,0	0,1	

Almási (1964), Beke (1970) és a Kertészeti Egyetem Élelmiszer- és Hűtőtechnológiai Tanszéke mérései (1984–1986) nyomán

PÁROLGÁSI VESZTESÉG SZÁMÍTÁSA

$$\Delta S = \beta \cdot A \cdot (p_{\text{éa}} - \varphi \cdot p_{\text{a}}) \cdot t_{\text{te}}$$

Ahol:

ΔS – a fagyasztás ideje alatti tömegveszteség (g)

β - víz párolgási tényezője

A – az élelmiszer felülete (m²)

$p_{\text{éa}}$ - vízgőznyomás az élelmiszer felületén a fagyasztás

átlaghőmérsékletén (N/m²)

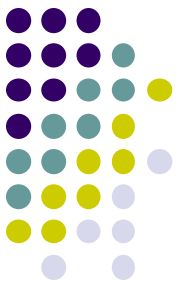
φ - levegő relatív páratartalma

p_{a} – telített vízgőznyomás a

hűtőlevegő átlaghőmérsékletén (N/m²)

t_{te} – teljes fagyasztási idő

FAGYASZTOTT ÉLELMISZEREK TÁROLHATÓSÁGA



TÁROLHATÓSÁGI IDŐTARTAM ÉS HŐMÉRSÉKLET ÖSSZEFÜGGÉSE

A fagyasztott tárolás alatt bekövetkező változások (romlások) ún. TTT - vizsgálatokkal történik. A TTT – jelentése: **T**ime (idő) - **T**emperature (hőmérséklet)- **T**olerance (tűrőképesség). Tehát, azt vizsgálják, hogy adott hőmérsékleten (T) mennyi idő (t) után jelentkezik valamilyen érzékelhető minőségi változás, amely a termék fogyaszthatóságát már korlátozza. E változás megjelenésének ideje a tárolhatósági /fogyaszthatósági idő.

COLDCHAIN ADATBÁZIS

A Frisbee – projekt egyik célkitűzése olyan szoftver és adatbázis kidolgozása, amely többek között a fagyasztott termékek biztonságára, a tárolhatósági idő meghatározására irányul, a teljes hűtlánc figyelembevételével. A COLDCHAIN adatbázisra vonatkozó részletes információ érhető el a www.frisbee.szie.hu honlapon.