

Zsírpenetrométer adatainak fizikai értelmezése

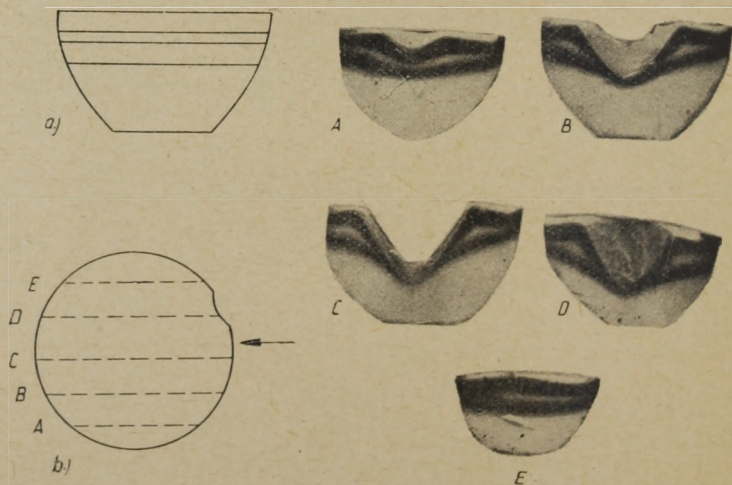
RAJKY ANTALNÉ — ZUKÁL ENDRE

Budapesti Műszaki Egyetem Élelmiszerkémiai Tanszék
Érkezett: 1959. június 6.

A szabványos magyar penetrométerrel végzett zsírpenetrációs vizsgálatok (1) azt mutatták, hogy a bitumeneknél használt penetrométer bizonyos meghatározott körülmények pontos betartása esetén ételzsíroknál is szignifikánsan reprodukálható eredményeket ad, vagyis egyes zsírfajták közötti különbségek nagyobbak, mint a párhuzamos mérések közötti eltérések.

A penetrométer az élelmiszerek között előforduló képlékeny anyagok vizsgálatára szolgáló készülékek sorában a laborográf és a gélszilárdságmérő mellé sorakozik. A laborográf elméleti alapjainak tisztázására szolgáló kutatások most vannak folyamatban. A pektingélek tulajdonságainak vizsgálatára szolgáló szilárdságmérő készülék elmélete viszonylag tisztázott. A zsírok konzisztencia-vizsgálatára alkalmas penetrométer adatainak fizikai értelmezésével, illetőleg az élelmiszer-penetrometria elméletének vizsgálatával azonban hazánkban még nem foglalkoztak.

Penetráció alatt meghatározott időmunka a vizsgálandó anyagba meghatározott körülmények (idő, kezdeti feltételek, stb.) között végbemenő behatolását értjük, amit a behatolás mélységével mérünk és jellemzünk. A felhasznált penetrométernél a penetráló test: kúp. Az erő, ami a vizsgálandó anyagba való behatolást előidézi, a kúp súlya. A kúp mozgásának lefékezéséből eredő tehetetlenségi erőt az általunk használt penetrométer-típusnál elhanyagolhatjuk, mivel a kúpot mérés előtt a zsír felületéhez érintjük.



I. ábra

Párhuzamosan egymásra öntött és megdermedt színes zsírrétegek elhelyezkedése. a) Középső függőleges metszet penetráció előtt. A, B, C, D, E a b) ábra szerint felszeletelt metszetek képe, penetráció után.

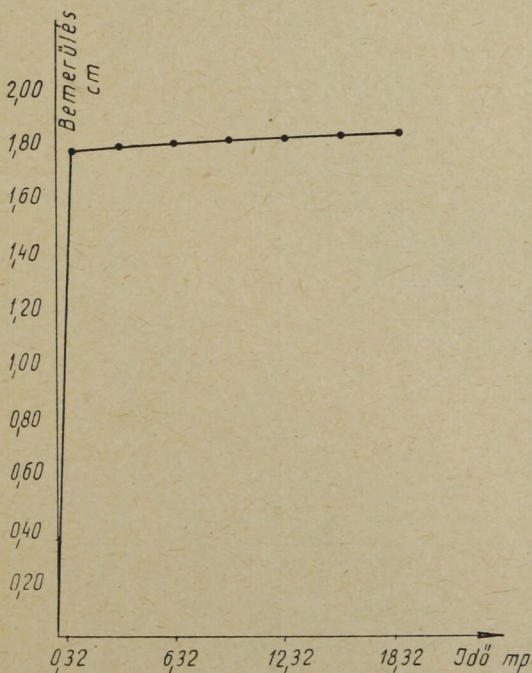
Tekintettel arra, hogy a kúpnak az anyagba behatoló keresztmetszete egyre nagyobb, állandó erő mellett, a behatolás sebessége növekvő behatolási mélység mellett csökken. A deformáció sebességének ez a deformációtól függő csökkenése különbözteti meg elsősorban a penetrációt a többi reológiai sajátságot vizsgáló módszertől. A módszer egyszerűsége mellett ez a sajátság bizonyos mértékig hátrány, mivel a kezdeti nagy erőhatások a testet erősen deformálják és a további süllyedésnek már nem az eredeti, hanem egy erősen deformált testnek a tulajdonságait vizsgáljuk. A deformációt mutatja az 1. ábra.

Megvizsgáltuk sertészsírok penetrációjánál az idő, a terhelő súly és a kúp alakja közötti összefüggést. Miképp azt előbb említettük, a süllyedés kezdetben gyors, majd lelassul és végül a kúp megáll. A megállás természetesen a penetrométerrel eszközölhető mérések idején belül értendő. A süllyedés sebességi viszonyait a vizsgált anyag viszkozitásával lehet elvileg kapcsolatba hozni, a bemerülés mértékét a megálláskor pedig az anyag szilárdsági tulajdonságaival (alsó folyási határ).

Az általunk végzett mérések (1. táblázat) azt mutatják, hogy sertészsír penetrálásánál a süllyedés sebességének vizsgálata az alkalmazott penetrométerrel nem lehetséges. Ha ugyanis a zsír hideg, akkor 0,2 mp-en belül nyugalmi állapotba jut a kúp, ha viszont meleg (10 C° felett), akkor is olyan lassú a kúp süllyedése 0,2 mp után, hogy számottevő bemerülést reprodukálhatóan csak úgy lehet mérni, ha a hőmérsékletet az egész készülékben, tehát a penetráló rúdban, kúpban és zsírtartó edényben jól lehet állandósítani.

Mivel az eredmények szerint a zsír deformációjának túlnyomó része már a legrövidebb mérési idő alatt lezajlik, a későbbi mérések során csak mintegy utánfolyást mérünk (2. ábra). 0,2 mp-nél rövidebb időtartamon belüli süllyedéseket viszont ezzel a készülékkel mérni nem lehet.

Gyakorlatilag tehát ezzel a penetrométerrel a sertészsír vizsgálatakor nyert ér-



2. ábra

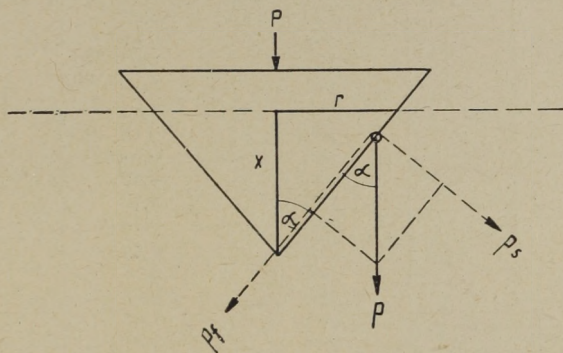
Penetráló kúp süllyedése sertészsírban 25,5 C°-on az idő függvényében.

A kúp bemerülésének mértéke sertézsírnál, az idő függvényében különböző körülmények (hőfok, kúpsúly) mellett

| Kúpsúly pond | Idő mp | Bemerülés cm |
|-----------------|-------------|-----------------|
| | <u>7 C°</u> | |
| 120 | 0,50 | 1,62 |
| | 2,24 | 1,62 |
| | 5,10 | 1,59 |
| 140 | 0,27 | 1,82 |
| | 0,32 | 1,76 |
| | 0,50 | 1,76 |
| | 2,00 | 1,70 |
| | 2,50 | 1,82 |
| 160 | 0,16 | 1,90 |
| | 0,18 | 1,88 |
| | 2,00 | 1,90 |
| | <u>4 C°</u> | |
| 25 | 0,21 | 0,50 |
| | 0,30 | 0,47 |
| | 2,85 | 0,51 |
| | 3,00 | 0,49 |
| 45 | 0,26 | 0,79 |
| | 0,32 | 0,78 |
| | 0,35 | 0,76 |
| | 0,50 | 0,77 |
| | 3,00 | 0,80 |
| | 3,00 | 0,79 |
| 65 | 0,25 | 1,04 |
| | 0,28 | 0,90 |
| | 0,30 | 1,00 |
| | 1,52 | 0,98 |
| | <u>3 C°</u> | |
| 60 | 0,35 | 0,17 |
| | 3,00 | 0,15 |
| | 6,10 | 0,17 |
| 80 | 0,30 | 0,25 |
| | 0,55 | 0,34 |
| | 6,12 | 0,25 |

tékek, nem a besüllyedés sebességére, hanem a besüllyedés végső mértékére (a zsírban fellépő feszültségekre) adnak felvilágosítást.

Ezzel a jelenség fizikai értelmezése könnyebbé válik, mivel tulajdonképpen annak az erőnek a meghatározására szorítkozik, amelyik egyensúlyt tart a penetráló kúp súlyával. A 3. ábrából látható, hogy a nehézségi erő két komponensre bontható, az egyik a kúp felületére merőleges és komprimálja a zsírt, a másik a kúp felületével párhuzamos és a zsírrészecskék egymás mellett való elcsúszását, vagyis a folyását idézi elő (nyíróerő).



3. ábra

A bemerülő kúp körül fellépő erők vázlata

$$\text{Besüllyedt kúpfelület } F = lr\pi = x^2\pi \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos \alpha}$$

$$l = \frac{x}{\cos \alpha}$$

$$l = x \cos \alpha$$

l = a bemerülő kúpész alkotója cm-ben

r = a bemerült kúpész sugara cm-ben

x = a bemerülés mértéke cm-ben

P = a kúp súlya pondban

$$\text{A kúpfelület egységén ható erő } p = \frac{P}{F} = \frac{P \cos \alpha}{\pi x^2 \operatorname{tg} \alpha}$$

A p komponensei közül a zsír belsejébe mutató, a zsír összenyomhatatlansága miatt a deformáció szempontjából gyakorlatilag nem jön számításba. Az edényben lévő zsír penetrálását a kúp felületével párhuzamosan ható, a zsír folyását előidéző komponens p_f okozza.

$$p_f = p \cos \alpha = \frac{P}{x^2} \cdot \frac{\cos^2 \alpha}{\pi \operatorname{tg} \alpha} = \frac{P}{x^2} \cdot k$$

ahol k -ba a penetráló test alakjától függő tényezőket foglaltuk. A kúp megállásakor p_f egyenlővé válik a zsírban a penetrálás hatására keletkező τ nyírófeszültséggel, tehát a zsírt feszültség szempontjából homogén izotrop-testnek tekintve

$$-\tau = p_f = \frac{P}{h^2} \cdot k \frac{\text{pond}}{\text{cm}^2}$$

Különböző körülmények mellett mért penetrációs értékek

| Előkezelés | Hőfok °C | Kúp súly* (P) pond | Bemérés (t) cm | P/t ² pond/cm ² |
|-----------------------------|-------------|--------------------------|----------------------|--|
| Friss, átglyúrt sertészsír | 4 | 25 | 0,26 | 370 |
| | | 40 | 0,36 | 310 |
| | | 60 | 0,37 | 440 |
| | | 80 | 0,42 | 454 |
| | | 100 | 0,47 | 455 |
| | | 120 | 0,50 | 480 |
| | 10 | 25 | 0,34 | 220 |
| | | 40 | 0,46 | 190 |
| | | 60 | 0,54 | 206 |
| | | 80 | 0,62 | 206 |
| | | 100 | 0,70 | 204 |
| | | 120 | 0,78 | 194 |
| | 14 | 25 | 0,55 | 83 |
| | | 40 | 0,74 | 73 |
| | | 60 | 0,94 | 68 |
| | | 80 | 1,05 | 73 |
| | | 100 | 1,07 | 87 |
| | | 120 | 1,30 | 72 |
| 18 | 25 | 0,98 | 26 | |
| | 40 | 1,36 | 22 | |
| | 60 | 1,65 | 22 | |
| | 80 | 1,83 | 24 | |
| | 100 | 2,13 | 22 | |
| | 120 | 2,23 | 24 | |
| Tárolt sertészsír átglyúrva | 4 | 25 | 0,38 | 170 |
| | | 40 | 0,52 | 150 |
| | | 60 | 0,57 | 185 |
| | | 80 | 0,62 | 210 |
| | | 100 | 0,67 | 220 |
| | | 120 | 0,77 | 204 |
| | 10 | 25 | 0,96 | 27 |
| | | 40 | 1,24 | 26 |
| | | 60 | 1,11 | 30 |
| | | 80 | 1,63 | 30 |
| | | 100 | 1,64 | 37 |
| | | 120 | 1,75 | 39 |
| 14 | 25 | 1,47 | 12 | |
| | 40 | 1,63 | 15 | |
| | 60 | 1,97 | 16 | |
| | 80 | 2,29 | 15 | |
| | 100 | 2,40 | 18 | |
| | 120 | 2,43 | 21 | |
| Tárolt sertészsír átglyúrva | 18 | 25 | 2,28 | 5 |
| | | 40 | 2,39 | 7 |

| Előkezelés | Hőfok C° | Kúpsúly* (P) pond | Bemerülés (H) cm | P/h ² pond/cm ² |
|---------------------------------------|-------------|-------------------------|------------------------|--|
| Olvasztott, keverve hűtött sertészsír | 4 | 25 | 0,21 | 570 |
| | | 40 | 0,29 | 475 |
| | | 60 | 0,38 | 417 |
| | | 80 | 0,44 | 415 |
| | | 100 | 0,48 | 435 |
| | | 120 | 0,50 | 480 |
| | 8 | 25 | 0,30 | 280 |
| | | 40 | 0,42 | 230 |
| | | 60 | 0,45 | 195 |
| | | 100 | 0,61 | 270 |
| | | 120 | 0,71 | 240 |
| | 14 | 25 | 0,44 | 130 |
| | | 40 | 0,50 | 160 |
| | | 60 | 0,63 | 150 |
| | | 80 | 0,73 | 150 |
| | | 100 | 0,85 | 135 |
| | | 120 | 0,88 | 155 |
| | 19 | 25 | 0,55 | 85 |
| | | 40 | 0,73 | 76 |
| | | 60 | 0,84 | 84 |
| | | 80 | 0,95 | 89 |
| 100 | | 1,08 | 85 | |
| 120 | | 1,19 | 84 | |

* 60°-os kúp.

ahol h a 0 sebességgel mozgó kúp besüllyedési mélysége. Ez az összefüggés a Rebinder által közölt egyenlettel megegyezik. (2)

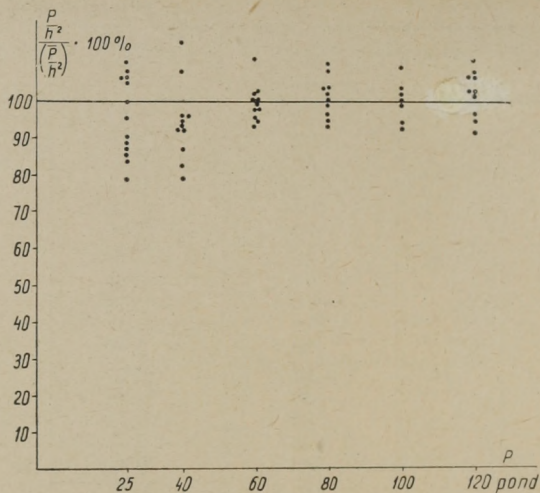
A kísérleti adatok a $-\frac{\tau}{k} = \frac{P}{h^2}$ összefüggéssel jó megegyezést mutatnak. A különböző terhelésnél bekövetkező penetrációs értékeket a 2. táblázatban foglaltuk össze.

Hogy az eltérő körülmények (hőfok, előkezelés) között végzett méréseket a súlytól függetlenül is szemléletesen összehasonlíthatjuk, a 4. ábrában összefoglaltuk a $\frac{P/h^2}{(P/h^2)}$ értékeket a P függvényében.

A variáció-elemzés azt mutatja (3) és az ábrából is látható, hogy az értékeknek a különböző súlyoknál bekövetkező szórása nem szignifikáns, vagyis a fenti összefüggés valóban fennáll.

A (k) összefüggés keresésére különböző hajlásszögű penetráló kúppal mértük meg ugyanannál a zsírnál azonos hőfokon a P/h^2 értékét. Az eredmények ingadozását 3 táblázat mutatja. Megállapítható, hogy a $k \cdot P/h^2$ független a kúpok hajlásszögétől.

A hőfokkal való összefüggést vizsgálva eredményeink a $\lg \tau = A - BT$ egyenlet (5. ábra) érvényességét igazolják. Az a körülmény, hogy $\lg \tau$ nem az $1/T$ függvényben ad egyenest, szintén bizonyítja, hogy a $k \cdot P/h^2$ az η -val nem analóg érték.



4. ábra
Relatív P/h^2 -nek P -től való függése

Ez az eredmény megegyezik a bitumenekre kapott $lg h = a + b.T$ értékkel (4), ugyanis

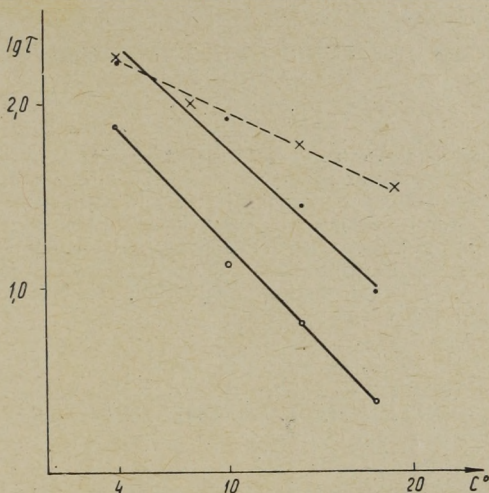
$$\begin{aligned}
 lg \tau &= lg \frac{P}{h^2} \cdot k = A - BT \\
 lg Pk - 2 lg h &= A - BT \\
 - lg h &= \frac{A - lg Pk}{2} - \frac{B}{2} T \\
 lg h &= a + bT
 \end{aligned}$$

$\frac{P/h^2 \cdot \cos^2 \alpha}{\pi \operatorname{tg} \alpha}$ értékek az α függvényében

3. táblázat

| 2α | 32° | 60° | 91° |
|--|------------|------------|------------|
| $k = \frac{\cos^2 \alpha}{\pi \operatorname{tg} \alpha}$ | 1,03 | 0,41 | 0,15 |
| P/h^2 pond/cm ² | 40 | 113 | 278 |
| k. P/h^2 pond/cm ² | 4,12 | 43,8 | 41,8 |

Kísérleteink tehát azt mutatják, hogy a τ -nak a $\tau = k \cdot P/h^2$ alapján kiszámítható értékei függetlenek a terheléstől és a kúp hajlásszögétől, tehát a készülék adataitól független adatként meghatározhatók és a kapott értékeket csak a zsírok állapota (hőfok, előkezelés) szabja meg.



5. ábra

τ függése a hőfoktól

o o o o tárolt zsír

. . . . friss zsír

x x x x olvasztott zsír

Munkánk során nyújtott értékes segítségéért köszönetet mondunk dr. Telegdy Kováts László tanszékvezető egyetemi tanárnak.

IRODALOM

- (1) Rajky, A.-né — Jármái, L.-né: Ezen folyóirat 2. 265, 1956.
- (2) Agranat, N. N. — Volarovics, M. P.: Kolloidnii Zsurnal 19, 3, 1957.
- (3) Telegdy Kováts, L.: Technikai Kurir 9, 92, 1938.
- (4) Pfeiffer, J. Ph. — van Doormaal, J.: Kolloid—Z. 76, 95, 1936.

ФИЗИЧЕСКОЕ ОБЪЯСНЕНИЕ ДАННЫХ ЖИРОВОГО ПЕНЕТРОМЕТРА

А. Райки и Е. Зукал

При физическом объяснении данных пользовались формулой $\theta P/n^2$. К, рассчитанной для вычисления предельного напряжения сдвига. На основе опытов данных доказали математическо-статистическим методом правильность соотношения. Дальше показали что предельное напряжение сдвига подобное нижнему пределу текучести,

и пригодное для характеристики состояния жиров, потому что эта величина независимая от веса конуса и других константов пенетromетра. Влияние температуры можно вычислить следующим соотношением: $\log \theta = A - Bt$.

PHYSIKALISCHE DEUTUNG DER MESSERGEBNISSE MIT DEM PENETROMETER

Frau A. Rajky — E. Zukál

Zur physikalischen Deutung der Messergebnisse mit dem Penetrometer wurde der $\tau = P/h^2k$ Zusammenhang eingeführt, der für die bei der Penetration entstehende Schubspannung gültig ist. Die Richtigkeit des Zusammenhanges wurde durch zahlreiche Versuchsergebnisse auf mathematisch-statistischem Wege bewiesen. Der dem Fließpunkt analoge Wert τ kann zur Charakterisierung der Fette dienen, weil er vom Gewicht des Kegels sowie von den Daten des Penetrometers unabhängig ist. Für die Temperaturabhängigkeit gilt $\log \tau = A - Bt$.

PHYSICAL INTERPRETATION OF THE MEASUREMENTS MADE WITH THE FAT PENETROMETER

Mrs. A. Rajky — E. Zukál

For the physical interpretation of the measurements with the penetrometer following relation has been introduced: $\tau = P/h^2k$.

This expression is valid for the shearing stress occurring as the result of penetration. The correctness of the relation was proved by using the methods of mathematical statistics on a number of experimental data. τ is comparable to the yield-value and can be used to characterize the state of various fats, because it is independent from the weight of the cone and the particulars of the penetrometer; its temperature-dependence can be expressed by the equation: $\log \tau = A - Bt$.

EVALUATION PHYSIQUE DES DONNÉES DU PÉNÉTROMÈTRE POUR GRAISSES

A. Rajky (Mme) et E. Zukál

Au cours de l'évaluation physique des données du pénétromètre les auteurs ont introduits la relation $\tau = P/h^2k$ valable pour la tension de cisaillement se produisant sous l'effet de la pénétration. Ils ont prouvé par l'analyse statistique la validité de la relation. Ils ont encore prouvé que τ , qui est une valeur ressemblant à la limite inférieure d'écoulement, peut servir pour caractériser l'état des sortes de graisses, parce qu'elle est indépendante du poids du cône et des données du pénétromètre. Pour la relation thermométrique ils ont obtenu le formule $\log \tau = A - Bt$.