

BESZEDA IMRE – STONAWSKI TAMÁS

A SZILVALEKVÁR VISZKOZITÁSA

VISCOSITY OF THE PLUM JAM

ÖSSZEFOGLALÓ

Közismert tény, hogy a megfelelően kifőzött szilvalekvár lehűlés után igencsak „kemény” állagúvá válik, de a lekvárfőzés befejeztével még melegen is meglehetősen nagy viszkozitású, alig folyik, így nehéz a befőttesüvegbe tölteni. Az egyik konzervgyár azzal a kéréssel keresett fel bennünket, hogy vizsgáljuk meg a szilvalekvár viszkozitásával kapcsolatos információkat, valamint végezzünk méréseket ezen tulajdonság meghatározására, mivel ez kritikus tényező a palackozási folyamatban. A jelen kutatás keretében bemutatjuk a szilvalekvár viszkozitásának meghatározására végzett méréseink előzetes eredményeit. A cikkben részletezzük a méréshez szükséges eszközöket, eljárásokat és a témához illeszkedő összefüggéseket. Ennek a feladatnak a megoldása nemcsak az ipari szférában, hanem az iskolai oktatásban is izgalmas projekt lehet. A téma középiskolai oktatásban történő bevezetésének egy lehetséges módját is bemutatjuk.

Kulcsszavak: szilvalekvár, folyékonyság, viszkozitás, mérés

ABSTRACT

It is a well-known fact that properly prepared plum jam becomes very "hard" after cooling down, but when the jam cooking is finished, it has a rather high viscosity, even when hot, and hardly flows, so it is difficult to pour it into the mason jar. One of the canneries contacted us with the request to investigate the information on the viscosity of plum jam and to perform measurements to determine this property, as it is a critical factor in the bottling process of the plum jam. In the framework of this research, we present the preliminary results of our measurements carried out on the viscosity of plum jam. We also detail in this article the tools and procedures required for the measurement, as well as the relationships related to the topic. Solving this problem can be an exciting project not only in the industrial sphere, but also in the primary or secondary school education. We also present a possible way of introducing the topic in secondary school education.

Keywords: plum jam, fluidity, viscosity, measurement

1. Bevezetés

Az utóbbi években tapasztalható az általános és középiskolai oktatás olyan témáinak elhagyása, amelyek valójában gyakran vannak jelen a mindennapi életünkben. Ezek közé tartozik például a folyadékok, általánosságban véve az

anyagok viszkozitásának kérdése. Mindennapi életünk során gyakran felmerül a kérdés, hogy mennyire könnyen folyik egy folyadék, például a víz, a benzin vagy az étolaj. Ha a technika irányába kanyarodunk, akkor pedig fontos megemlíteni a motorolajok viszkozitását is. Visszatérve a konyhába a méz viszkozitása is gyakran felmerül mint hétköznapi és érdekes kérdés. Ezek a témák nemcsak a mindennapi életünk részei, hanem a tanulók számára is izgalmas lehetőséget kínálnak a valós életből vett példák révén. Ismeretes, hogy a méz viszkozitása látványosan változik a hőmérséklet módosításával. A besűrűsödött, kemény mézet például egyszerűen felmelegítjük, és máris könnyen folyóssá alakul. Fontos megjegyezni, hogy az átlagemberek, valamint a diákok jelentős része is gyakran tévesen használja a *sűrűség* kifejezést a folyékonyság jellemzésére.

Jelen tanulmányban ezt a kérdést vizsgáljuk meg egy másik anyag, a szilvalekvár viszkozitása kapcsán. Köztudott, hogy a megfelelően kifőzött szilvalekvár lehűlés után kemény állagúvá válik. Ugyanakkor érdekes megfigyelni, hogy a főzés befejeztével is meglehetősen nagy a viszkozitása, nehezen folyik, és kihívást jelent a befőttesüvegbe történő betöltése. Fontos megérteni, hogy a viszkozitás az anyag folyási tulajdonságát, „folyékonyságát” jelöli.

A szilvalekvárral kapcsolatos mérések inspirációját egy konzervgyár adta, amely azzal keresett fel minket, hogy adjunk valamilyen információt, vagy végezzünk mérést a szilvalekvár viszkozitásával kapcsolatban. Ennek okaként azt nevezték meg, hogy a gyár a szilvalekvár gépi palackozását is tervezi, és a technológia kialakításához feltétlenül szükséges a keresett viszkozitási paraméter ismerete.

Alább bemutatjuk azokat az előzetes méréseket, amelyeket a szilvalekvár viszkozitásának meghatározására végeztünk.

2. A viszkozitás meghatározásának lehetőségei

Az első gondolatok a viszkozitásmérés kapcsán a szokásos módszerekre összpontosulnak, mint például egy test állandó sebességgel történő mozgatása a közegben (Stokes-törvény) vagy a közegnek valamilyen csövön történő átfolytatásával történő mérési eljárások (Ostwald- vagy Höppler-féle viszkoziméterek). Fontos megjegyezni, hogy ezek a módszerek általában inkább a könnyen folyó folyadékokra alkalmazhatók.

A Hagen–Poiseuille-törvény alapján történő mérés praktikusabb lehet, mint a fentebbi eljárások [1]. Tudjuk, hogy csőben áramló folyadék esetén az I folyadékáram (térfogatáram) a kontinuitási egyenlet szerint:

$$I = \frac{V}{t} = A \cdot v,$$

ahol V a t idő alatt átáramlott folyadék térfogata, A a cső keresztmetszete, és v a folyadék áramlási sebessége.

Egy r sugarú, ℓ hosszúságú csőben kis v sebességű áramlás fenntartásához $F = 8\pi\eta\ell v$ nagyságú erő szükséges, ahol η a folyadék viszkozitása (1. ábra).



1. ábra: Jelölések a csőben áramló folyadék esetén

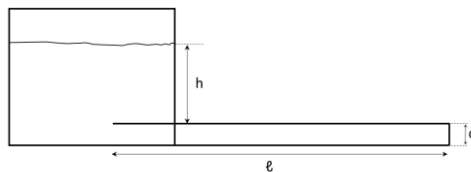
Az erőhatás nagysága kifejezhető a cső két végén levő nyomásértékekből:

$$F = (p_1 - p_2) \cdot A = (p_1 - p_2) \cdot r^2 \cdot \pi$$

Előbbiekből kifejezve a csőben a folyadékáramra a Hagen–Poiseuille-törvény néven ismert összefüggés adódik:

$$\frac{V}{t} = \frac{\pi}{8} \cdot \frac{1}{\eta} \cdot \frac{\Delta p}{\ell} \cdot r^4, \quad (1)$$

ahol $\Delta p = p_1 - p_2$ a cső két vége közötti nyomáskülönbség. Ekkor csak az adott idő alatt átáramlott folyadékmennyiséget kell megmérni, és az (1) összefüggésből a folyadék viszkozitása meghatározható. A térfogat, az idő, a cső sugara és hosszúsága viszonylag egyszerűen mérhető mennyiségek. Ha a cső két vége között közvetlenül nem tudunk nyomást mérni, akkor ügyesen összeállított mérési elrendezés esetén a nyomáskülönbség is egyszerűen kalkulálható. Ilyen megoldás lehet, ha egy edény aljából vízszintesen kivezetünk egy vékony csövet, és a cső végei közti nyomáskülönbséget a folyadékoszlop magasságából származó $\rho \cdot g \cdot h$ hidrosztatikai nyomásból származtatjuk. Ezt illusztrálja a 2. ábra.



2. ábra: Folyadék kifolyásának mérése edény aljába épített vékony kifolyócsővön

Ekkor, ha a h magasság nem túl nagy, a folyadék szintjén és a kifolyócső végénél is p_0 külső légnyomással számolhatunk, azaz a cső két vége közötti nyomáskülönbséget valóban a $\rho \cdot g \cdot h$ hidrosztatikai nyomás határozza meg. Amennyiben még azt is szeretnénk biztosítani, hogy a kifolyás miatt bekövetkező folyadékszint-csökkenés elhanyagolható legyen, érdemes egy nagyobb edényt, például egy 8-10 literes műanyag vödört használni. Ha ebből csak néhány deciliter folyik ki, akkor a folyadékszint csökkenése elhanyagolhatóan kicsi lesz.

A fent leírt mérési elrendezés alkalmas lehet például a víz viszkozitásának mérésére – erre később még visszatérünk –, azonban a szilvalekvár ránézésre és érzésre is sokkal nagyobb viszkozitással rendelkezik, így még vastagabb csövön is csak nagyon nagy nyomás mellett tud átfolyni.

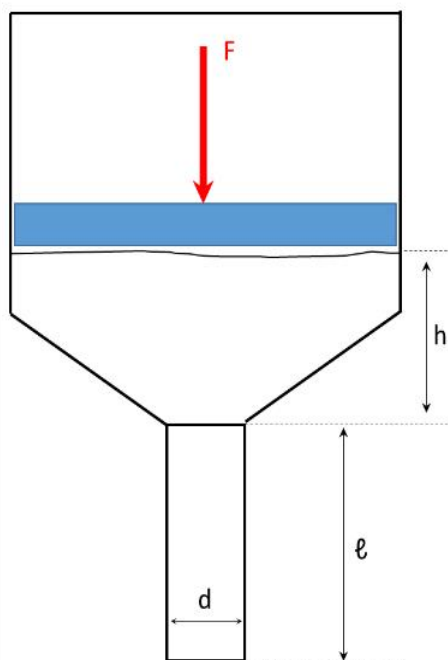
A szilvalekvár viselkedése kissé emlékeztet arra a kísérletre, amit az ausztráliai Queenslandi Egyetem Fizika Tanszékén 1927 óta végeznek a szurok „folyékonyságának”, azaz nagyon magas viszkozitásának bemutatására [2]. Ez a kísérlet még napjainkban is „folyik”. Bár a szurok viszkozitása valószínűleg szobahőmérsékleten sokkal magasabb, mint a lekvaré, mivel ebben a kísérletben egy-egy szurokcsepp csak kb. 10 évente cseppen le a tölcsérből. A [2] forrásban a szerzők becslést is adtak a szurok viszkozítására, és a kiértékelésnél ők is a Hagen–Poiseuille-törvényt használták, a nyomáskülönbséget a szurok felső szintje és a tölcsér csövének alja közötti távolságból számolták ki. E tölcséres kísérletet mi is kipróbáltuk, és azt tapasztaltuk, hogy a szilvalekvár órák alatt sem mozdul meg a tölcsérben szobahőmérsékleten. Mivel nem tudtunk évekig várni, a lekvár saját súlyából származó hidrosztatikai nyomáson túl plusznyomóerőt is alkalmaztunk a kísérletben.

3. A szilvalekvár viszkozitásának mérése

A tölcsérben való lefolytatás ötlete hasznosnak bizonyult a nehezen folyó szilvalekvár esetében is, azonban egy olyan tölcsért kellett választanunk, amely elég erős ahhoz, hogy a terhelésnek ellenálljon, és képes legyen nagy nyomóerőt is elbírní. Így esett a választásunk egy hurkatöltőre, amely a 3. ábrán látható. A szétszerelt hurkatöltő edényét függőlegesen elhelyeztük egy erős vas háromlábbon, hogy a kinyomócső alá még egy edény is elférjen, amibe a lekvár lefolyhat. Ezt az elrendezést mutatja a 4. ábra. A lekvár betöltése után a dugattyút ráhelyeztük a tetejére. A dugattyú saját tömege 770 gramm volt, de ez nem bizonyult elegendőnek a lefolyás megkezdéséhez. Ezután a dugattyú rúd-jára (a fogaslécra) egy 6,5 kg tömegű súlyzót helyeztünk, amit még tovább kellett növelni; egy 8,2 kg-os súlyzó hatására már szemmel látható ütemben kezdett lefelé mozogni a lekvár a csőben.



3. ábra: A szilvalekvár kifolyásának mérésére használt hurkatöltő mint „tölcsér”, amit függőlegesen fordítottunk (ld. 4. ábra)



4. ábra: A szilvalekvár lecsorgásának mérése a függőleges helyzetű hurkatöltőben történt, amelyet kvázi tölcserként használtunk. A dugattyúra ható plusz F nyomóerő a ráhelyezett súlyzó súlyából eredt

A Hagen–Poiseuille-törvényben a lekvár hidrosztatikai nyomása a [2]-ben is alkalmazott kiértékeléshez hasonlóan a 4. ábra jelöléseivel a $\Delta p = \rho \cdot g \cdot (h + \ell)$ összefüggésből számítható, de ahogy említettük, így nem indult meg a kifolyás. A nyomás növelésére a dugattyú 0,77 kg-os tömegéből, plusz a 8,2 kg-os súlyzó súlyából származó plusznyomással is számolva

$$\Delta p = \rho \cdot g \cdot (h + \ell) + \frac{F}{A} = \rho \cdot g \cdot (h + \ell) + \frac{m \cdot g}{r^2 \cdot \pi}$$

ahol A a dugattyú területe, F pedig a (0,77 + 8,2) kg tömegből származó nyomóerő.

Ezt behelyettesítve a Hagen–Poiseuille-törvény (1) képletébe, és abból kifejezve a viszkozitást:

$$\eta = \frac{\pi \cdot \Delta p \cdot d^4 \cdot t}{128 \cdot \ell \cdot V} \quad (2)$$

A viszkozitás értékét a (2) összefüggésből határoztuk meg három különböző hőmérsékleten:

20 °C, 38 °C és 58 °C hőmérsékleteken.

A mérési eljárásnál az alábbi konstansokat kellett meghatározni:

- A tölcser szárának (azaz a hurkatöltő műanyag kifolyócsövének) hossza (ℓ) és átmérője (d). (Bár a kifolyócső kúpos, a vége felé enyhén keskenyedik, de ettől eltekintünk.)
- A hurkatöltő-dugattyú átmérője (D).
- A lekvár sűrűségét (ρ) tömegméréssel határoztuk meg. Az általunk használt műanyag tárolódoboz 1 kg lekvárt képes színültig töltve befogadni. Amikor ezt a dobozt vízzel töltöttük meg, a mérleg 766 grammot mutatott, azaz $0,766 \text{ dm}^3$ térfogatú volt. Ezekből a szilvalekvár sűrűsége $\rho = \frac{m}{V} = \frac{1 \text{ kg}}{0,776 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3} = 1305,483 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ -nek adódott. Ezt a későbbiekben állandó értékűnek tekintettük.
- A kifolyt mennyiség térfogatának (V) meghatározását tömegmérésre vezettük vissza (konyhai mérlegen, gramm pontossággal): a kifolyt lekvár tömegét mértük, amiből a lekvár sűrűségének ismeretében a térfogatot kiszámítottuk.

A többi mennyiség (a lekvár átlagos magassága a tölcserben; a terhelő tömeg; a kifolyt lekvár tömege és a lecsorgási idő) mérésenként változik. Illusztrációként az 1. táblázatban megadjuk a 20°C -on végzett mérés adatait.

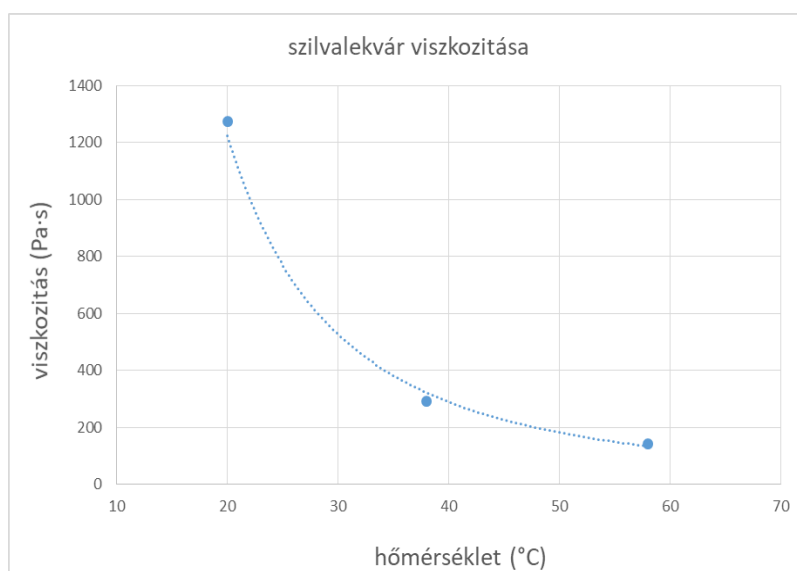
1. táblázat: A 20°C -on végzett mérési adatok

a tölcser szárának hossza:	$\ell =$	13,5	cm
a tölcser szárának átmérője:	$d =$	24,5	mm
a lekvár átl. magassága a tölcserben	$h =$	4	cm
a hurkatöltő dugattyúátmérője:	$D =$	12,1	cm
terhelő tömeg:	$M =$	8,97	kg
a lekvár sűrűsége:	$\rho =$	1305,483	kg/m^3
a kifolyt lekvár tömege:	$m =$	345	g
lecsorgási idő:	$t =$	525	sec
nehézségi gyorsulás (g):	$g =$	9,81	m/s^2

A lekvár melegítését konyhai sütőben végeztük, ahol kellő ideig vártunk és kevergettünk annak érdekében, hogy a hőmérséklet egyenletes eloszlású legyen. A hőmérsékletmérést egy Maxwell MT-25 901 típusú infrahőmérővel végeztük. Az első hőmérsékleten (20°C -on) háromszor mértük a lecsorgási időket, azonban a kapott három viszkozitásérték elég kis szóráson belül egyformának bizonyult, így a másik két hőmérsékleten már csak egy-egy lecsorgási időt mértünk. A három hőmérsékleten elvégzett mérések eredményeit a 2. táblázat és az 5. ábra mutatja.

2. táblázat: A szilvalekváron végzett viszkozitásmérések eredményei

T (°C)	T (K)	η (Pa·s)
20	293	1274,285
38	311	291,31522
58	331	141,29615



5. ábra: A szilvalekváron végzett viszkozitásmérések eredményei

Látható, hogy – amint várható is volt – a lekvár viszkozitása erősen függ a hőmérséklettől. Az itt bemutatott méréseket a 2023 novemberében főzött, palackozott, lehűlt szilvalekváron végeztük 2024 januárjában, azaz a visszamelegített lekvár méréseredményeit tükrözik. Bár a legmagasabb mérési hőmérsékletünk is csak 58 °C volt, feltételezhető, hogy a lekvár friss főzés utáni viszkozitása is hasonló nagyságrendű lehet. Ebből következtethetünk a palackozás körülményeire.

Nem zárható ki az sem, hogy a frissen főzött lekvár másképpen viselkedik. Ezért további méréseket érdemes végeznünk a következő szilvaszezonban, közvetlenül a főzés után, hogy pontosabb eredményeket nyerjünk.

Az eredmények alapján azt is könnyen feltételezhetjük, hogy a szilvalekvár nem-Newtoni folyadékként viselkedik, mivel egy minimális küszöb-nyomás-különbségre volt szükség ahhoz, hogy megmozduljon. Az ilyen típusú viselkedés pontosabb vizsgálata érdekében is további mérésekre van szükség.

4. Lehetőségek az oktatásban

Ahogy a bevezetőben említettük, a hétköznapi szóhasználatban gyakran összekeveredik a sűrűség és a viszkozitás fogalma, azaz a „folyékonyság” jellemzésére gyakran a sűrűség kifejezést használják. Bár ez nem tartozik az iskolai tananyaghoz, mégis érdemes lehet kicsit boncolgatni a témát az iskolában, akár a fent leírt mérést elvégezve, akár közönséges folyadékokkal, például vízzel végrehajtva a mérést. A szükséges eszköz a 2. ábra alapján könnyen elkészíthető, és a mérés is egyszerűen elvégezhető.

Ha nagyobb viszkozitású anyaggal szeretnénk dolgozni (például lekvár vagy méz), akkor vastagabb kifolyócsövet kell beépíteni. Ilyen esetben a viszkozitás hőmérsékletfüggése is könnyen illusztrálható és vizsgálható. Emellett jó választás lehet a motorolajok vizsgálata is, hiszen gyakorlatilag minden ember találkozik valamilyen formában ezekkel az anyagokkal is (bár kellemetlenséget okozhat, hogy ez az anyag az eszközökről nehezen távolítható el).

5. Konklúzió

A szilvalekvár viszkozitásának meghatározására végzett előzetes méréseink alapján megállapítottuk, hogy a viszkozitás értéke többeszerese a vízének, és jelentős hőmérsékletfüggést mutat. Annak érdekében, hogy még pontosabb eredményeket kapjunk, szükség van további mérésekre és vizsgálatokra (kisebb hőmérsékletugrásokkal, pl. 10 °C-onként végezni a mérést). A téma izgalmas lehetőségeket rejt magában az iskolai projektek számára is. Lehetőség van a viszkozitás és hőmérséklet kapcsolatának mélyebb megértésére, és a tanulók számára kihívást jelentő, érdekes kísérletek elvégzésére. Az ilyen típusú vizsgálatok nemcsak a fizika, hanem a kémia és a konyhaművészet területére is kiterjedhetnek, így interdiszciplináris projektek is létrehozhatók, amelyek külön jelentőséget kaphatnak a „komplex természettudományt” oktató iskolákban is.

Köszönetnyilvánítás

Köszönetünket szeretnénk kifejezni dr. Jekő Józsefnek a témafelvetésért.

FELHASZNÁLT SZAKIRODALOM

- Holics L. (2015): *Fizika*. Akadémiai Kiadó. Budapest.
R. Edgeworth, R.– Dalton, B. J.–Parnell, T. (1984): *The Pitch Drop Experiment*. Eur. J. Phys. 198–200. <https://doi.org/10.1088/0143-0807/5/4/003>

SZERZŐI ADATOK

Dr. Beszeda Imre PhD
Nyíregyházi Egyetem
Műszaki és Agrártudományi Intézet
beszeda.imre@nye.hu

Dr. Stonawski Tamás PhD
Nyíregyházi Egyetem
Műszaki és Agrártudományi Intézet
stonawski.tamas@nye.hu