



MAGYAR AGRÁR- ÉS ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM

**LIPID-SZÉNHIDRÁT KÖLCSÖNHATÁSOK TANULMÁNYOZÁSA
MODELL RENDSZEREKBEN**

DOI: 10.54598/006180

KOVÁCS ANIKÓ
BUDAPEST
2025

A doktori iskola

megnevezése: **Élelmiszertudományi Doktori Iskola**

tudományága: **Élelmiszertudományok**

vezetője: **Simonné Dr. Sarkadi Livia**
Egyetemi tanár
MATE, Élelmiszertudomány és Technológia Intézet
Élelmiszerkémiai és Táplálkozástudományi Tanszék

Témavezetők: **Badakné Dr. Kerti Katalin**
Egyetemi docens
MATE, Élelmiszertudomány és Technológia Intézet
Gabona és Iparinövény Technológia Tanszék

Dr. Somogyi László
Egyetemi docens
MATE, Élelmiszertudomány és Technológia Intézet
Gabona és Iparinövény Technológia Tanszék

.....

Az iskolavezető jóváhagyása

.....

A témavezetők jóváhagyása

Tartalom

1. Bevezetés	6
2. Célkitűzés.....	7
3. Irodalmi áttekintés.....	8
3.1 Lipidek tulajdonságai	8
3.1.1 Lipidek kristályosodása	8
3.1.2. Lipidek kristályszerkezete	9
3.1.3 Lipid polimorfia.....	9
3.1.4 Zsírkeverékek fázisviselkedése	12
3.1.5 Lipidek termodinamikai vizsgálata.....	13
3.1.6 Mikrostruktúra, textúra és reológiai tulajdonságok	14
3.2 Pálmazsír	17
3.3 Kókuszzsír.....	20
3.4 Tejzsír.....	22
3.5 Szénhidrátok	25
3.6 Cukorcsökkentés és Cukorhelyettesítés	26
3.7 Lipid-szénhidrát rendszerekkel kapcsolatos kutatások	27
3.7.1 Szacharóz hatása a zsír kristályosodásra	28
3.7.2 Szacharóz hatása a zsírok reológiájára és állományára	30
3.7.3 Szacharóz szemcseméretének és nedvességének hatása a zsír alapú termékek feldolgozhatóságára	32
3.7.4 Édes íz és cukorhelyettesítés lipid-szénhidrát rendszerekben	34
3.7.5 Zsír és egyéb szilárd anyag keverékekkel kapcsolatos eredmények	35
3.8 Zsírok és zsírkeverékek ismertebb fizikai vizsgálati módszerei	36
3.8.1 Zsírrendszerek reológiai jellemzőinek mérése	36
3.8.2 Zsírkeverékek termikus jellemzőinek vizsgálatai.....	37
4. Anyagok és Módszerek.....	39
4.1 Zsírsvösszetétel meghatározása.....	40

4.2 Szemcseméret-meghatározás	41
4.3 Szilárd zsírtartalom mérése	41
4.3.1 Statikus szilárd zsírtartalom mérés	41
4.3.2 Dinamikus szilárd zsírtartalom mérés.....	41
4.4 Viskozitásmérés	42
4.5 Állománymérés.....	43
4.6 Termoanalitikai vizsgálatok	44
4.7 Statisztikai kiértékelés	46
5. Eredmények és azok értékelése.....	47
5.1 Zsírsavösszetétel meghatározás	47
5.2 Szénhidrátok szemcseméretének mérése.....	48
5.3 Szilárd zsírtartalom meghatározás.....	49
5.3.1 Tiszta zsírok és zsír-szacharóz rendszerek SFC értékeinek meghatározás.....	49
5.3.2 Különböző szemcseméretű szacharóz-pálmazsír rendszerek SFC értékeinek meghatározása.....	51
5.3.3 Különböző szénhidrát-pálmazsír rendszerek SFC értékeinek meghatározása.....	54
5.4 Viskozitásmérés	56
5.4.1 Tiszta zsírok és zsír-szacharóz rendszerek viszkozitásának meghatározása	56
5.4.2 Különböző szemcseméretű szacharóz-pálmazsír rendszerek viszkozitásának meghatározása.....	61
5.4.3 Különböző szénhidrát-pálmazsír rendszerek viszkozitásának meghatározása	64
5.5 Állomány vizsgálat.....	66
5.5.1 Tiszta zsír és zsír-szacharóz rendszerek állományának meghatározása	66
5.5.2 Különböző szemcseméretű szacharóz-pálmazsír rendszerek állományának meghatározása.....	69
5.5.3 Különböző szénhidrát-pálmazsír rendszerek állományának meghatározása	70
5.6 Termoanalitikai mérések	71
5.6.1 Termoanalitikai előkísérletek.....	71
5.6.2 Tiszta zsír és zsír-szacharóz rendszerek termoanalitikai meghatározása	75

5.6.3 Különböző szemcseméretű szacharóz-pálmazsír rendszerek termoanalitikai jellemzése	80
5.6.4 Különböző szénhidrát-pálmazsír rendszerek termoanalitikai meghatározása	83
5.7 Cukorhelyettesítés	85
5.7.1 Cukorhelyettesítés hatása az állományra	85
5.7.2 Cukorhelyettesítés hatása a viszkozitásra	87
5.7.3 Cukorhelyettesítés hatása a termikus tulajdonságokra	89
Következtetések és javaslatok.....	95
Új tudományos eredmények.....	97
Összefoglalás	98
Summary	101
Mellékletek.....	104
M1. Irodalomjegyzék	104
M2. Kiegészítő ábrák és táblázatok.....	113

Rövidítések és Jelölések Jegyzéke

3-MCPD- 3-monoklór-1,2-propándiol

DAG- diglicerid

DSC- Differenciális Pásztázó Kalorimetria (Differential Scanning Calorimetry)

FFA- Szabad zsírsavak (Free Fatty Acids)

L- linolsav

NMR- Mágneses magrezonancia spektroszkópia (Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy)

O- olajsav

OOO- triolein

P- palmitinsav

PPP- tripalmitin

S- sztearinsav

SFC- Szilárd zsír tartalom (Solid Fat Content)

SSS- trisztearin

TAG- Triglicerid

USD- US dollár, pénznem

WHO- World Health Organization: Egészségügyi Világszervezet

1. Bevezetés

Az élelmiszerkereskedelemben az édesipari termékek jelentős globális piacot tesznek ki, mely folyamatosan bővül az új fogyasztói igényeknek és elvárásoknak, valamint a kutatásoknak és innovációknak köszönhetően. A becslések szerint az édesipar 2021-2028 között várhatóan 4,2%-os összetett éves növekedési ütemmel fog bővülni. 2020-ben elérte a 210,3 milliárd USD globális élelmiszeripari piaci értéket, melyből az európai piac 60 milliárd USD-t tesz ki (Internet1).

Az édesipari termékek jelentős részének fő összetevői között megtalálhatók a lipidek és szénhidrátok. Jellemzően a két makronutriens mátrixa alkotja ezen termékek alapját. Maguk a lipid-szénhidrát rendszerek meghatározó fontosságúak, mivel alapvetően befolyásolják az élelmiszerek ízét, textúráját, strukturális stabilitását és tápértékét. A megfelelő lipid-szénhidrát rendszer lehetővé teszi az élelmiszerek kívánt textúrájának és szerkezetének megőrzését, és segíti az ízek és aromák hatékony eloszlását az élelmiszerekben, ezáltal fokozva azok vonzerejét a fogyasztók számára. Emellett hozzájárulnak az élelmiszerek táplálkozási értékéhez, biztosítva az esszenciális zsírsavak és egyéb tápanyagok optimális bevitelét. A lipid-szénhidrát rendszereknek kiemelt szerepük van az élelmiszerek hosszabb tárolhatóságának és stabilitásának biztosításában is, mivel az olajok és zsírok segíthetnek az oxidáció megelőzésében, míg a szénhidrátok megőrzik az élelmiszerek textúráját és szerkezetét.

Maguk a zsírkrémek széles körű felhasználási területtel és jelentőséggel rendelkeznek a sütőipartól a csokoládégyártásig. Az édességekben és süteményekben a zsírkrémek töltelékként, díszítőként és állománykialakítóként szolgálnak. Továbbá esszenciálisak például a csokoládémanufaktúrákban, ahol segítenek a trüffelek, pralinék és más csokoládés édességek megfelelő állományának és ízvilágának kialakításában. Emellett a zsírkrémek fontos szerepet játszanak a péksüteményekben, fagylaltokban, desszertkrémekben és egyéb édességekben, hozzájárulva azok ízélményéhez és szerkezetéhez. Ezenkívül az élelmiszeriparban használt zsírkrémek egyre inkább kielégítik az egészségtudatos fogyasztók igényeit is annyiban, hogy kevesebb cukorral és adalékanyagok nélkül készülnek.

Az élelmiszeriparban folyamatos az innováció és a fejlesztés a lipid-szénhidrát rendszerek terén, amelyek új megoldásokat keresnek a változó fogyasztói igényekre válaszolva. Ahhoz, hogy a komplex élelmiszeripari mátrixokat megértsünk elengedhetetlen az alapok megértése, ezáltal a két makronutriens egymás közötti kölcsönhatásainak tanulmányozása modell rendszerekben. Ez alapján választottam kutatási témámnak ezek vizsgálatát.

2.Célkitűzés

A doktori munkám során célom a lipid- szénhidrát komplexek állománykialakító tulajdonságainak vizsgálata volt. Az elvégzett vizsgálataim során a szénhidrátok zsírokra gyakorolt hatását kívántam feltérképezni. Ehhez kiindulási modell rendszernek tipikus édesipari zsír (pálma közép frakció) és tipikus édesipari szénhidrát (szacharóz) keverékét választottam. Ezt követően pedig módosítottam mind a lipid és mind a szénhidrát fázist. A kutatásom technológiai felhasználhatóságra pedig az elkészített keverékek legfontosabb fizikai jellemzőinek mérése és elemzése alapján kívánok következtetni.

Céлом a **lipid fázis anyagi minőségének változtatásával** a szacharóz különböző zsírokra gyakorolt hatásának feltérképezése. Ehhez kutatásom kiterjesztettem, más a pálmához hasonló célokra felhasznált zsírokra. Céлом a minél szélesebb körű feltárás, így a szacharóz mind állati eredetű és mind laurikus zsírokra gyakorolt hatásának tanulmányozása.

Továbbá célom a különböző szénhidrátok pálmazsír alapú rendszerekre gyakorolt hatásának vizsgálata. Annak megállapítása, hogy a **szénhidrátok összetettségi fokának** függvényében hogyan változik a lipid-szénhidrát komplexek viselkedése. Ezen a tématerületen belül kifejezetten az, hogy a mono-, di-, oligo- és poliszacharidok hogyan befolyásolják a pálmazsír alapú zsírkrémek legfontosabb fizikai tulajdonságait.

A kutatásom során továbbá célom volt annak megállapítása, hogy a **szénhidrátok szemcsemérete** hogyan hat a zsírkrémek fizikai tulajdonságaira, mely megállapításához két különböző szemcseméret eloszlású szacharóz alkalmazásával is elvégeztem a kísérleteket.

A fentiek megállapításához célom volt a krémek **termikus viselkedésének**, azon belül is az olvadási és kristályosodási profiljuknak, valamint entalpia értékeik alakulásának vizsgálata. Valamint annak feltárása, hogy a szénhidrát jelenléte befolyásolja-e a zsír adott hőmérsékleten mért szilárd anyag tartalmát. **Reológiai** vizsgálatok elvégzésével, annak megállapítása, hogy a látszólagos viszkozitás és a nyírófeszültség értékek hogyan változnak. Valamint célom a szénhidrátok zsírok **állományára** gyakorolt hatásának megvizsgálása, azon belül is a keménység, a megmunkáláshoz szükséges munka, valamint az adhéziós tulajdonságok változásának feltárása.

Valamint a munkám kiegészítéseként kitérnék a **cukorhelyettesítés** lehetséges hatásainak vizsgálatára a lipid-szénhidrát alaprendszerre. Ezt alapul véve célom egy cukoralkohol és egy intenzív édesítőszer alkalmazásával készített zsírkrémek esetén a fenti fizikai paraméterek vizsgálata.

3. Irodalmi áttekintés

A komplex lipid-szénhidrát rendszerek viselkedésének megértéséhez és tanulmányozásához elengedhetetlen az összetevők tulajdonságainak és viselkedésének önállóan való megismerése. Ezért dolgozatom irodalmi áttekintésében először a lipidek legfőbb tulajdonságait fogom bemutatni, majd jellemzem a felhasznált zsírokat. Ezt követően kitérek az alkalmazott szénhidrátok és cukorhelyettesítők rövid jellemzésére. Ezek megismerése után pedig a komplex zsír-cukor rendszereken végzett eddigi kutatási eredményeket fogom bemutatni. Végül pedig kitérek a fontosabb mérési módszerek jelentőségének bemutatására.

3.1 Lipidek tulajdonságai

Az élelmiszeriparban előforduló zsírok és olajok zsírsavak glicerinszármazékai, ezek a legnagyobb részben trigliceridek (TAG), azonban tartalmazzak még kisebb százalékban mono- és diglicerideket. Maguk a trigliceridek a glicerinnel együtt főként 4-24 szénatomból álló alifás zsírsavakat tartalmaznak. Mind a táplálkozásban mind az élelmiszerfeldolgozásban fontos szerepük van. Az ember számára nélkülözhetetlen esszenciális zsírsav tartalmuk és a zsíroltható vitamin tartalmuk. Technológiai szempontból pedig részt vesznek az élelmiszerek állományának, ízének és aromájának kialakításában (Marangoni et al., 2012).

A zsírok fizikai tulajdonságait alapvetően meghatározza a kémiai összetétel, valamint a molekulák sokszínűsége is. A fizikai tulajdonságok között a legjelentősebbek az olvadási-, kristályosodási tulajdonságok, valamint a zsiradékok reológiai jellemzői, mert ezek vannak a legnagyobb hatással a zsiradékokkal készült élelmiszerekre, azok állományára, ízére.

A zsiradékokra jellemző, hogy nem egy adott hőmérsékleten olvadnak, illetve kristályosodnak, hanem egy bizonyos hőmérséklet-intervallumban történnek a fent említett folyamatok. Ezt a jelenséget a zsírsavak eltérő olvadási és kristályosodási hőmérséklete adja. Például az olajsavnak (C18:1) 17°C, a sztearinsavnak (C18:0) 74°C és palmitinsavnak (C16:0) 63°C az olvadási hőmérséklete. Az olvadási és kristályosodási tulajdonságokat az is befolyásolja, hogy az egyes trigliceridek milyen kristályszerkezetben stabilizálódnak. A zsírok szerkezetének kialakulása nem csak hőmérsékletfüggő, hanem időfüggő is. A stabilizálódási idő erősen függ a külső körülményektől, elsősorban azonban a hőmérséklettől (Soós, 2014).

3.1.1 Lipidek kristályosodása

A zsírok kristályosodási tulajdonsága az egyik legfontosabb fizikai paraméter a végtermék szempontjából. Maga a kristályosodási folyamat két lépésből áll, magképződés és kristálynövekedés. Azonban mielőtt bármilyen kristályosodás elkezdődne tútelítettséggel vagy túlhűtéssel kell létrejönnie a kiindulási anyagban. A magképződés olyan folyamatként írható le,

amelyben a molekulák érintkeznek, orientálódnak és kölcsönhatásba lépnek egymással, hogy erősen rendezett struktúrákat, úgynevezett magokat képezzenek. A kristálynövekedés ezeknek a magoknak a geometriai növekedése. Környezetüknek megfelelően a kristályok többé-kevésbé szabályosan növekednek. A magképződés és a kristálynövekedés folyamata nem zárja ki egymást, végbemehet a magképződés miközben egy másik kristály növekedik. Ez megnehezíti, hogy külön-külön jellemezzük a két eljárás kinetikáját. A zsírok kristályosodásának kinetikája függ az összetételtől, a feldolgozás körülményeitől, ezért az élelmiszeriparban kiemelten fontos ezek ellenőrzése a megfelelő kristálynövekedés eléréséhez (Himawan et al, 2006).

3.1.2. Lipidek kristályszerkezete

A zsírok és olajok az egészen egyszerű, többkomponensű szerkezetektől egészen az összetett kristályos szerkezetekig változhatnak, amelyekben már rengeteg kristályfázis létezhet egymás mellett (Gibson, 2018). Ezáltal a zsírok és olajok kristályosodási és oladási viselkedése hangsúlyozottan összetettebb, mint az olyan egyszerű rendszereké, amilyen például a cukroké (Vaclavik et al., 2014). Általánosságban a szobahőmérsékleten folyékony triglicerideket olajoknak, míg a főként kristályos triglicerideket zsíroknak nevezzük. Egyes zsírok összetett anyagok lehetnek; nemcsak többkomponensű keveréknek, hanem többfázisúaknak is tekinthetők. Az ilyen zsírokban jelenlévő fázisok száma valóban összemérhető a jelenlévő különböző trigliceridek számával, amely a legtöbb zsír esetében 10-nél is több lehet. Ez az oladási hőmérsékletek széles skáláját eredményezi (Gibson, 2018).

A zsír kristályszerkezete alapvetően befolyásolja a zsír fizikai tulajdonságait, mint például az állagot és olvadáspontot. A felvett kristályszerkezet függ a jelenlévő zsíradék típusától, a zsírsavak eloszlásától és típusától a molekulán belül, a zsír tisztaságától és a kristályosítási körülményektől (hőmérséklet, hűtési sebesség, nyírás, oldószer). Amikor a triglicerid molekula kristályosodik, a láncok egymás mellé rendeződnek, hogy köztük a lehető legtöbb van der Waals-kölcsönhatás léphessen fel. A lánchossz növekedésével nő a láncok közötti távolság, míg a dőlésszög növelésével csökken (Marangoni, 2005).

3.1.3 Lipid polimorfia

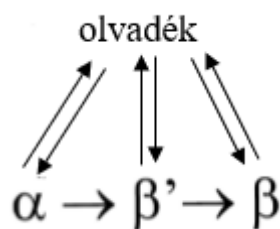
A polimorfia a kémiai összetevők különböző kristályos vagy folyékony kristályos formát alkotó képessége. Az oladási és kristályosodási viselkedés az egyes polimorfok esetén eltérő. A 3 tipikus polimorf változat a zsírok esetén az α , β' és β . Ezek tulajdonságait az 1. táblázat foglalja össze.

1. táblázat: A zsírok tipikus polimorf formái és azok fő fizikai tulajdonságai (Rajah, 2014)

Polimorf változat	Stabilitás	Sűrűség	Olvadáspont	Morfológia
α	legkevésbé stabil	legkisebb	legkisebb	amorf
β'	metastabil	közepes	közepes	téglalap alakú
β	legstabilabb	legmagasabb	legmagasabb	tű alakú

Az α a legkevésbé stabil, úgynevezett instabil állapot, amely könnyen átalakul β' vagy β formátumba a hőkezelés függvényében. A β' változat közép stabil (metastabil) forma, margarinkok és célzsírok (shorteningek) esetén használják, mert ezekhez optimális a kristály morfológiája és kristály hálózata ezáltal megfelelő reológiai és állománybeli tulajdonságokat eredményez. A legstabilabb forma a három közül a β , amely tű alakú kristályokat hoz létre. Az élelmiszer zsírokban, a β' polimorfia átalakulása β formátumba gyakran a végtermék minőségének csökkenését okozza, a kristálymorfológiában és hálózatban bekövetkező változások miatt (Rajah, 2014).

Abban az esetben, ha két kristályos forma közül az egyik stabilabb és az átkristályosodás csak a stabilabb irányába megy végbe, a folyamatot monotrópnak nevezzük. Az egyik polimorf forma átalakulása egy másikba a szilárd anyag olvadásával vagy anélkül is lehetséges (olvadékközvetítéses vagy szilárd-szilárd átmenet). A 1. ábra mutatja be a zsírkristályosodás és átkristályosodás lehetséges dinamikáját a szilárd állapot polimorfiája szempontjából. Fontos megemlíteni, hogy az α , β' , és β formák közvetlenül az olvadékból is kialakulhatnak, míg az egymásba való átalakulás ($\alpha \rightarrow \beta' \rightarrow \beta$) irreverzibilis (Marangoni, 2005).

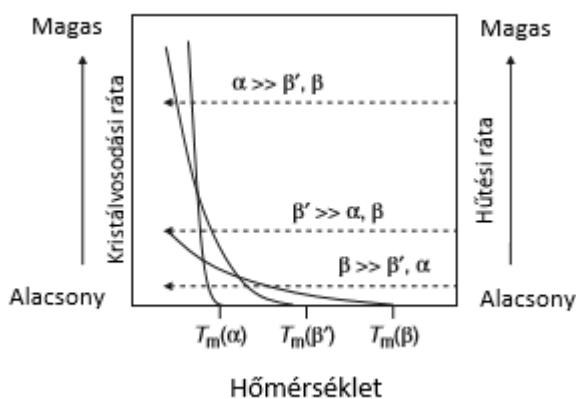


1. ábra: A zsírkristályosodás és átkristályosodás lehetséges dinamikái (Marangoni, 2005 alapján)

A zsírok polimorfiáját jelentősen befolyásolja a zsírsavösszetétel. A zsírsavösszetétel két kategóriája jöhet számításba, az első a homogén trigliceridek, amelyekben a TAG három zsírsav molekulája azonos. A második a heterogén TAG-ok, amelyekben különböző zsírsav-komponensek kapcsolódnak három különböző glicerín szénatomhoz. Hagemann (1988) kutatásában a homogén TAG-ok olvadási viselkedésében egy általános tendenciát mutatott ki. Ez alapján a telített homogén TAG-okban az α , β' és β formák olvadáspontja megnő, ha a

szénatomszámot 8-ról 30-ra jöveljük. A különböző polimorfoknál viszont eltérő ez a növekedés az α forma olvadáspontja a szénatomok növekedésével egyenletesen növekszik, míg a β' és β formák olvadáspontja „cikk-cakk” módon nő. Valamint megállapította, hogy a homogén TAG-ok esetében a β forma érhető el. Ez speciális függőséget mutat a kettős kötés konformációjától és a kettős kötés helyzetétől. Így például a transz telítetlen TAG-ok magasabb olvadáspontot mutatnak, mint a cisz telítetlenek minden kettős kötési pozícióban. A trigliceridek zsírsavösszetétele szoros összefüggésben van a β' tendenciával. Azok a trigliceridek, amelyek különböző zsírsavakból épülnek fel stabilabbak β' formában. Például a tejszír, ami hosszú és rövid szénláncú, telített és telítetlen zsírsavakból épül fel, β' stabil, valamint a pálmazsír is β' stabil, az aszimmetrikus vegyes trigliceridjeinek köszönhetően (Rajah, 2014).

A makroszkopikus aspektusban a zsír polimorfia kihat az olvadásra, kristályosodásra és az azt követő átalakulásokra. Ezáltal az α esetében a legalacsonyabb az olvadási hőmérséklet, β' esetén közepes és a legmagasabb a β formátum esetén. Azonban a kristályosodási viselkedés összetettebb, meghatározza a kristályosodási médium típusa, a hőmérséklet és a hűtési sebesség. Általánosságban a β forma oldat fázisból kristályosodik, de mindhárom forma képes akár tisztán olvadékból is kikristályosodni. Tiszta folyadék esetén a három forma kristályosodásának relatív sebességét és mértékét a gócképződés sebessége határozza meg, amely az α esetében a legmagasabb, β' esetén közepes és a β esetén a legalacsonyabb (Rajah, 2014).



2. ábra: Relatív kristályosodási sebesség ábrázolása a hűtési sebességgel összehasonlítva (Rajah, 2014 alapján)

Ezáltal a polimorf függő kristályosodási kinetikán alapulva elengedhetetlen, hogy megtaláljuk azt optimális hűtési sebességet. Az adott polimorf kristálmódosulat kialakításához legmegfelelőbb sebesség kiválasztható (2. ábra). Az α forma kristályosodásának a magas hűtési sebesség, míg a β formának a legalacsonyabb hűtési sebesség kedvez. Azonban elméleti alapon nehéz megjósolni az optimális hűtési sebességet a specifikus polimorf formák esetében, kísérleti úton kaphatunk pontosabb képet. Továbbá több polimorf forma egyidejű kristályosodása is előfordulhat, mivel a

kristályok gócképződését valószínűségi jelenségek határozzák meg. Ezért kísérleti úton fontos meghatározni a megfelelő hűtési sebességet a különböző zsírok esetén (Rajah, 2014).

Ezek mellett idegen anyagoknak a kristályosodó folyadékhoz való szándékos hozzáadásával módosíthatók zsírkristályok kristályosodási viselkedése. Ahhoz, hogy ez sikeresen létrejöjjön a következőket kell betartani. Az idegen anyag rendelkezzen a zsírkristályokhoz hasonló molekuláris alakkal és polimorfiával. Legyen hőstabil. Illetve megfelelő mértékű túlűtést kell alkalmazni, hogy a spontán magképződést elkerüljük (Rajah, 2014).

3.1.4 Zsírkeverékek fázisviselkedése

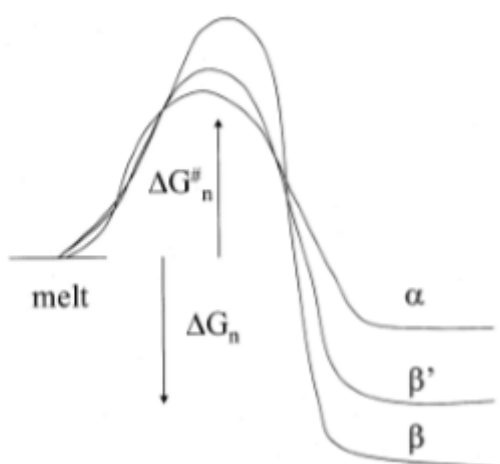
Ahogy már szó volt róla a természetben előforduló zsírok és lipidek különböző típusú TAG keverékei. Az olvadással, kristályosodással és átalakulással, kristálymorfológiával és aggregációval kapcsolatos bonyolult viselkedésük részben a TAG-komponensek fizikai tulajdonságainak, és ami még fontosabb, részben a keverék fázisviselkedésének eredménye. A vegyes zsírtartalmú rendszerekben ennek a bonyolultságnak a megoldásához szükséges a specifikus TAG komponensek két- és háromkomponensű keverékeinek alapvető tanulmányozása. Három tipikus keverékfázis fordul elő a kétkomponensű szilárd zsírkeverékekben abban az esetben, ha a két komponens folyékony állapotban minden koncentrációarány esetén elegyedik. Ezek a következők: szilárd oldatfázis, eutektikus fázis és vegyületképződés. A TAG keverékek esetében két tényező befolyásolja egyidejűleg a keverési fázisviselkedését: a lánc-lánc kölcsönhatások és a polimorfizmus. A lánc-lánc kölcsönhatásokat a lánchosszúságtól változó TAG-komponensek kémiai természete, a telítettség vagy a telítetlenség, valamint a telítetlen láncok izomer konformációja (cisz vagy transz) befolyásolja. A polimorfizmus hatása az elegyedő és eutektikus fázisok képződésében mutatkozik meg, elegyedő keverékek képződnek kevésbé stabil polimorfokkal (az α és β' formákkal), és az eutektikus fázisok hajlamosak a stabil polimorfban (β forma) előfordulni. Ezen túlmenően a lánchosszúság szerkezetének eltérései hatással vannak a keverőrendszerekre, gátolt az elegyedő fázis kialakítása a különböző lánchosszúságú zsíroknál. A telített homogén TAG-ok keverékében egy korlátozott elegyedő fázisú eutektikus fázis képződik a stabil polimorf számára, amikor a lánchosszúság különbség nem nagyobb, mint 2, amint az a PPP és SSS keverékénél látható. Azonban a PPP és SSS keverékében az α és β' polimorfok számára elegyedő keverék keletkezett. Ez azt jelenti, hogy amikor a kevert PPP és SSS folyadékot lehűtjük, hogy α vagy β' formává alakuljon, és ha további polimorf átalakulás következik be β formává, a keverék elegyedőből szeparálttá változik. Ezek az eredmények jelzik a polimorfizmus hatásának fontosságát a keverékrendszerre, és szem előtt kell tartani, amikor az ember a TAG-ok optimális keverékét keresi olyan élelmiszerekben, ahol a zsírok fázisszétválasztása nem előnyös. Molekuláris összetett kristályok képződését figyelték meg

telített/telítetlen vegyes zsírsavas TAG-ok keverékeiben. A molekuláris összetett kristályok képződése az eutektikus keveredési rendszerek speciális esetének tekinthető, amely a TAG-ok közötti specifikus molekuláris kölcsönhatások eredményeként jön létre. A molekuláris összetett kristály képződésének az élelmiszeripari felhasználásban az a jelentősége, hogy a β' – β átalakulás sebessége és mértéke ezeknél feltűnően nagyobb, mint az összetett TAG-okban (Rajah, 2014).

3.1.5 Lipidek termodinamikai vizsgálata

A hosszú szénláncoknak viszonylag sok időre van szükségük ahhoz, hogy egymáshoz igazodjanak, stabil kristályformát alakítsanak ki. Ahogy korábban már említettem, a kristályosodás hajtóereje az alulhűtés vagy más néven túlhűtés. Abban az esetben, ha az anyagot olvadáspont alatt tartjuk, ahol az anyag bár túlhűtött mégsem kristályosodik, abban az esetben metastabil állapotban van. Ebben a régióban a molekulák igyekeznek stabil elrendeződést felvenni a kristályos szilárd anyag kialakulásához, és csökkentik a kristályosodás hajtóerejét.

Elég nagyfokú túlhűtés esetén a molekuláknak nincs elegendő idejük arra, hogy a termodinamikailag legstabilabb elrendeződésbe rendeződjének, éppen ezért hajlamosak metastabil formákban kristályosodni. Fontos, hogy a metastabil formáknak alacsonyabb a szabad energiájuk a magképződéskor ($\Delta G_n^\#$), mint a stabilabb formáknak. Ezt a 3. ábra mutatja. Így a metastabil formák könnyebben képződnek. Ez egy tisztán kinetikai hatás. A metastabil formák szabad képződési energiája (ΔG_n) alacsonyabb, mint a stabil formáké, mivel ez a forma szabad energiája a legnagyobb. Így, bár a metastabil formák termodinamikai stabilitása alacsonyabb, a folyamat kinetikája miatt hajlamosabbak könnyebben kialakulni. Ez megmagyarázza, hogy miért ezek alakulnak ki először, annak ellenére, hogy olvadáspontjuk alacsonyabb, mint a stabilabb formáké (Marangoni, 2005).



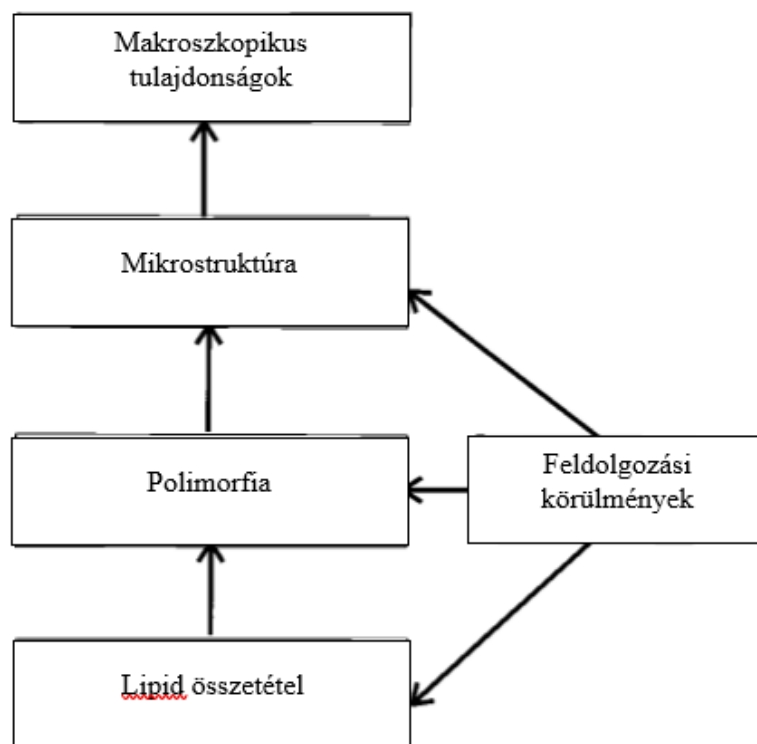
3. ábra: Különböző polimorf formák képződési energiája és a formák közötti szabad energiakülönbség (Marangoni, 2005 alapján)

3.1.6 Mikrostruktúra, textúra és reológiai tulajdonságok

Az élelmiszerzsírok egyik legfontosabb makroszkopikus fizikai tulajdonsága a reológia, amely leírja a margarin és más spreadek kenhetőségét, a csokoládé roppanását, valamint az ömlesztett zsírok és emulziós termékek simaságát, szájérzetét és stabilitását. Ezenkívül a reológiai tulajdonságok ellenőrzése szükséges a gyártási folyamatokban például a szivattyúzásra történő állapotváltozás leírásához, valamint a töltési tulajdonságok meghatározására. Az élelmiszer-zsírok reológiai tulajdonságait számos tényező határozza meg, amelyek két kategóriába sorolhatók (Marangoni and Hartel, 1998). Az első csoportot a belső tényezők adják, beleértve a zsírok molekuláris összetételét (TAG-ok, összetevők és adalékok), az alkotó TAG-ok kristályainak polimorfizmusát és a zsírkristályok mikroszerkezetét (morfológia, kristálméret-eloszlás és kristályhálózat kialakulása). A második kategóriába tartoznak a külső feldolgozási körülmények, beleértve a hőmérséklet-ingadozást, nyírást, a szivattyúzás és csővezetékben történő szállítás alatti áramlási sebességet stb.

A zsírtartalmú élelmiszerek egyik legjelentősebb minőségi jellemzője függ a végtermékben létrejövő zsírkristályhálózat makroszkopikus jellemzőitől. Bebizonyították, hogy a reológiai vizsgálatok (a kúpos penetrometriás vizsgálatok) során megállapított zsírok keménysége szoros összefüggést mutatott az érzékszervi vizsgálatok során megállapított keménységgel. Ezek mellett Narine és Marangoni (1998) tanulmánya szerint közvetlen kapcsolat van a zsírok elasztikus modulusa és a penetrometriával meghatározott keménység index között. Ezért a zsír kristályhálózat elasztikus modulusa indikátora a makroszkopikus konzisztenciának.

A zsírkristályok szerkezeti szintjei közül, amelyik leginkább befolyásolja a makroszkopikus tulajdonságokat az a mikroszkopikus szint, mert ez állt legközelebb a makroszkopikushoz. A zsírkristályok egyes mikrostruktúrái a rendszertől függően 80- 120 mikrométer átmérőig változhatnak, ezért közelebb állnak a makroszkopikus szinthez, mint a trigilcerid molekulák szerkezete vagy bizonyos polimorfiák. A makroszkopikus tulajdonságok befolyásolását az 4. *ábra* mutatja be.



4. ábra: A makroszkopikus tulajdonságokat befolyásoló tényezők (Narine és Marangoni, 1998 alapján)

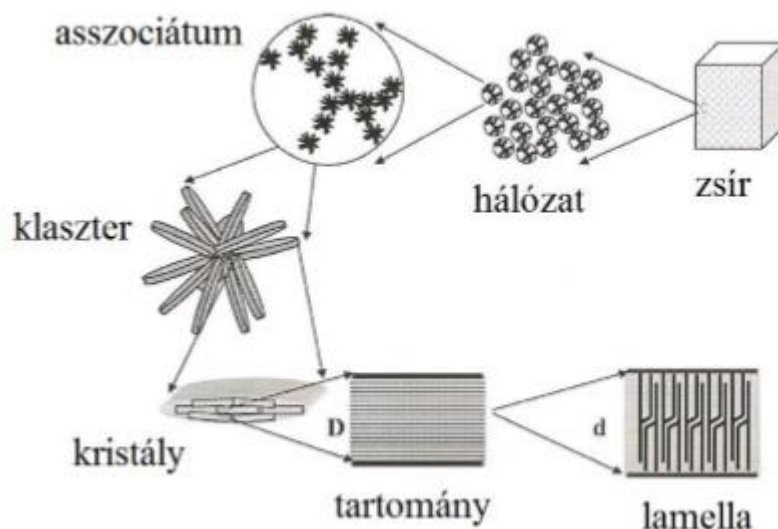
A zsír kristályhálózat növekedése az alábbi módon írható le:

A mintában jelenlévő trigliceridek az olvadékból bizonyos polimorf állapotban kristályosodnak. Ezek a kristályok tömeg- és hőátadás folyamatán keresztül nagyobb mikrostruktúrákká csoportosulnak. Ez az aggregációs folyamat mindaddig folytatódik, amíg a mikrostruktúrák összegyűjtésével egy folytonos háromdimenziós hálózat nem jön létre. Mikrostrukturális szinten a hálózat egy ortodox amorf szilárd anyag, míg az intramikrostrukturális szint fraktál jellegű. A hálózat makroszkopikus reológiai tulajdonságait befolyásolják a háló kialakulása során meghatározott szerkezeti szintek, azaz az egyes trigliceridek szerkezete, a kialakuló egyes kristályos egységek szerkezete, a polimorf jellege és legfőképpen a mikrostrukturális szint. A mikroszerkezeti szint fontos a hálózat viselkedése szempontjából, mivel a mikrostruktúrák olyan elemekből állnak, amelyek fraktálgeometriában vannak elrendezve.

A belső tényezők közül a zsírkristályok mikroszerkezete nagymértékben befolyásolja a reológiai tulajdonságokat (Marangoni, 2005; Marangoni et al., 2012). Marangoni és munkatársai kutatás alapján tehát a makroszkopikus szerkezet a mikroszerkezetek kölcsönhatásának következménye, és így a mikroszerkezeti jellemzők befolyásolják. (Narine és Marangoni, 1998).

Tang és Marangoni (2007) kutatások során a kolloid zsír kristály hálózatot tanulmányozták. Megállapították, hogy az élelmiszerek érzékszervi és fizikai tulajdonságait jelentősen befolyásolja a kolloid hálózat elasztikussága. A legtöbb félszilárd zsír termék állományát meghatározza a

szilárd komponens a rendszerben, ami normális esetben egy háromdimenziós koloid zsír kristályhálózatban létezik. Hasonlóan a koloid gélekhez, a kristályosodáskor a zsírkristályok aggregálódnak és klaszterekké, pelyhekké és végül kristályhálózattá nőnek (5. ábra). A hő, tömeg és lendületátvitel körülményei a zsír kristály hálózat kiépítésekor szignifikánsan befolyásolja a végső mikrostruktúrát és a zsír makroszkopikus fizikai tulajdonságait (Tang és Marangoni, 2007).



5. ábra: A zsíradékok szerkezetének hierarchikus felépítése (Tang és Marangoni, 2007. alapján)

Kimutatták, hogy a nyírási elasztikus modulus, amelyet kis deformációs reológiai vizsgálatokkal határoznak meg, képes az anyag keménységét előrejelezni, valamint érzékeny a zsírok natív mikrostrukturális szerkezetének változására. A tárolási modulus (G') vagy egyéb reológiai mértékek azonban nem hozhatók egyszerűen összefüggésbe a hálózatot alkotó triglicerid molekulák molekuláris szerkezetével. A zsírok reológiai tulajdonságai kombinált eredménye a szilárd zsírtartalomnak, a zsír kristály mikrostruktúrájának, beleértve a zsírkristályok alakját, méretét és eloszlását a (Tang és Marangoni, 2007).

Összességében elmondható, hogy az olajok és zsírok fontos összetevői a feldolgozott élelmiszereknek, széles körben alkalmazzák őket és a receptek szignifikáns részét teszik ki. A fent bemutatott tulajdonságaiknak köszönhetően pedig nagyban hozzájárulnak a késztermék fizikai és érzékszervi tulajdonságaihoz. 1960 óta azonban az olajok és zsírok élelmiszergyártók rendelkezésére bocsátásának formái jelentősen megváltoztak. Ez főként a fogyasztói életmódban bekövetkező változásoknak, valamint az egészséggel, élelmiszerbiztonsággal és kiegyensúlyozott étrenddel kapcsolatos fogyasztói aggályoknak köszönhető. Ezeket az igényeket sok élelmiszerfejlesztés követte. Így előtérbe kerültek a transzzsírmentes, alacsonyabb telített

zsírsavtartalmú, esetenként akár új táplálkozási előnyökkel is rendelkező zsírok, melyek tanulmányozása elengedhetetlen a további fejlesztések érdekében (Rajah. 2014).

Így került előtérbe az általam választott fő zsiradék a pálma, melynek élelmiszeripari szerepét a következő fejezetben fogom bemutatni.

3.2 Pálmazsír

Az olajpálma gyümölcséből kétféle zsiradék nyerhető, a húsból a pálmaolaj (vagy pálmazsír) és a magból a pálmamagolaj. Pálmaolajnak a zsírsavak telítettségét tekintve kiegyensúlyozott zsírsav tartalma van, a telített és a telítetlen zsírsavak majdnem megegyező mennyiségben vannak jelen (Gustone, 2002). 9 fő zsírsav van jelen a pálmazsírban ezek közül a palmitinsav és olajsav felelős a teljes zsírsavtartalom 44% és 40%-ért (2. táblázat). A többi zsírsav a pálmazsírban a mirisztinsav, sztearin és linolsav. Az olajpálma hújának zsiradéka nagyon kis mennyiségben laurinsavat, sztearinsavat, palmitoleinsavat, linolénsavat és arachinsavat is tartalmaz (Omar et al, 2015).

2. táblázat: Pálmazsír jellemző zsírsav összetétele (Wahid et. al., 2011)

Zsírsav	Szénatomszám	Mennyiség (tömeg%)
laurinsav	12:0	0,0-0,4
mirisztinsav	14:0	0,5-2,0
palmitinsav	16:0	40,1-47,5
palmitoleinsav	16:1	0,0
sztearinsav	18:0	3,5-6,0
olajsav	18:1	36,0-44,0
linolsav	18:2	6,5-12,0
linolénsav	18:3	0,0-0,5
arachinsav	20:0	0,0-1,0

A zsírok és olajok főként TAG keverékek és a pálmazsír nagyjából 93-95% TAG-et tartalmaz (3. táblázat). Ezek mellett 5-8% DAG (digliceridek) is jelen van és szabad zsírsavak, amelyek meghatározóak lehetnek a fizikai tulajdonságokban. A két domináns TAG a POP (28%) és a POO (24%) ezek mellett jelentős mértékben van jelen PLO, PLP, PPP (5%), POS és OOO. A többi TAG kevesebb mint 3%-ban van jelen (Omar et al, 2015).

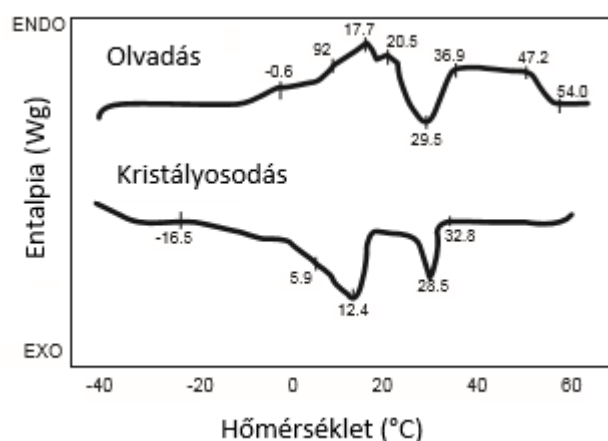
3. táblázat: Pálmazsír triglicerid összetétele (Omar et al, 2015)

Trigliceride	Mennyiség (%)
OLL	0,6
PLL	1,9
MLP	0,9
OLO	2,0
PLO	10,8
PLP	8,9
MPP	0,7
OOO	3,9
POO	24,3
POP	27,7
PPP	5,1
SOO	2,1
POS	4,6
PPS	0,8
SOS	0,3

A pálmazsír β' stabil zsiradék, de négy polimorf formával rendelkezik ezek a sub- α , α , β' és β . A pálmazsír kristályosodásának tanulmányozása elengedhetetlen, mert jelentősen befolyásolja a végtermék minőségét. A pálmazsír kristályosodása komplexebb eljárás, a lassú kristályosodási viselkedésnek köszönhetően lassan éri el a végső stabil kristályállapotot, ami a termék utó szilárduláshoz vezethet. A kémiai összetétel, mint a TAG, DAG, szabad zsírsav tartalom (FFA) és egyéb összetevők befolyásolják a pálmazsír kristályosodását. A fázisviselkedése a különböző TAG-nek a szilárd státuszban általában befolyásolja a kristályosodási eljárás hatékonyságát. Pálmazsír ezek mellett képez részben kristályosodott oldatot és több kristályformát tartalmazó keverék oldatot. Ez a tendencia részben a szimmetrikus, egy olajsavas és két telített zsírsavat tartalmazó TAG-nek köszönhető, mint a POP. Valamint az aszimmetrikus TAG jelenléte is erősen befolyásoló, azáltal, hogy ezek növelik az α -forma életidejét és csökkentik az SFC-t (Omar et al, 2015).

Ahogy az előző fejezetekben is szó volt róla a zsír kristályosodási kinetikájának ismerete fontos az élelmiszeripari folyamatok szabályozásakor annak elérésnek érdekében, hogy a megfelelő minőséget lehessen előállítani. Pálmazsír differenciális pásztázó kalorimetriás (DSC) vizsgálatokor (6. ábra) a kristályosodás során két elkülöníthető csúcs figyelhető meg. Ez a két csúcs a két különböző TAG csoportnak köszönhető, amelyek különböző hőmérsékleten

kristályosodnak. Az egyik csoport magasabb olvadással rendelkezik, ezek a háromszorosan telített TAG-ek, mint a PPP, PPS és az MPP. Ezek a magasabban olvadó TAG-ek nagyjából 28,5°C-on kristályosodnak. A másik csoport, ami alacsonyabb hőmérsékleten kristályosodik, főként alacsonyabb olvadású TAG-et tartalmaz, amely 12,4°C-on kristályosodnak. Az olvadás során a termogrammon megfigyelhető két széles csúcs. Ezek ugyanazt a két különböző TAG csoportot jelölik, az első endoterm csúcs reprezentálja az alacsonyabb olvadású TAG-et, amely teljesen felolvad 29,5°C-on, míg a második a magasabb olvadású TAG-et jelöl, amely 36,9-54°C között olvad (Omar et al, 2015).



6. ábra: A pálmazsír olvadása és kristályosodása (Omar et al, 2015)

A pálmazsír esetében megfigyeltek még újra kristályosodási vagy utókristályosodási folyamatokat. A pálmazsír alapú termékek utókristályosodását a lassú kristályosodási sebességnek tulajdonították, ami gyártási nehézségekhez vezet. A pálmazsír utókristályosodása növeli a végtermék keménységét több héttel a gyártás után. Timms (1984) és Duns (1985) alapján, az utókristályosodás másik lehetséges oka a β' kristályforma szilárd állapotú átalakulása β változatba a kristályhálózatban a kristályosodás után. Az átalakulás durva kristályokhoz vezet, ezáltal a termék szemcsésségéhez, amely elfogadhatatlan a vevők számára. Ward (1998) munkája alapján a zsíroknak mindig van egy tendenciájuk, hogy a legstabilabb kristályformába átalakuljanak a tárolás során, ha a stabil kristályformát nem érték el a feldolgozás során.

A pálmazsír az elmúlt évtizedekben az egyik legfontosabb étkezési zsiradékká vált világszerte. Mivel szobahőmérsékleten szilárd és a különböző frakciói eltérő olvadási profillal rendelkeznek, így nagyfokú felhasználhatóságra tett szert. Ezeknek a funkcionális tulajdonságoknak köszönhetően lehetővé tette a transz-zsírsavmentes termékek fejlesztését és így a részben hidrogénezett zsírok felhasználásának elkerülését. Azonban a pálmazsírral szemben is vannak különböző aggályok részben a relatív magas telített zsírsav tartalma miatt, részben termelésének fenntarthatósága miatt. A pálmazsír hozama a legmagasabb a többi olajtermelő

növényhez képest (4-6 mt/év), viszont magasabb az esélye az emberi szervezetre káros hatású 3-MCPD és a glicidoészterek keletkezésének a finomítási lépések során, mint a többi olaj esetében (Hinrichsen, 2016).

3.3 Kókuszszír

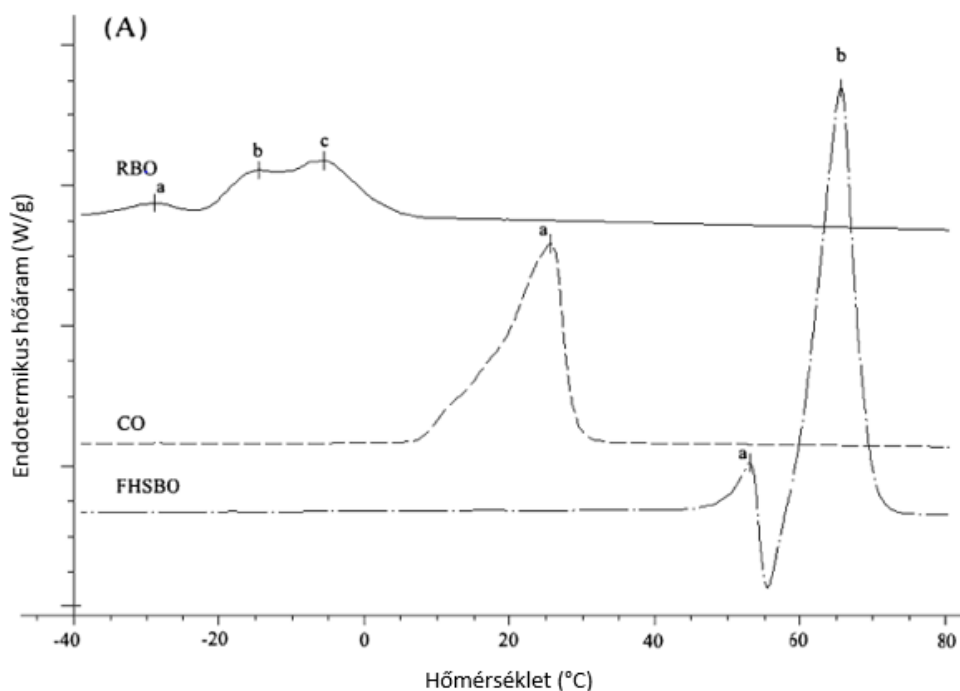
A laurikus zsírok különállónak számítanak a zsírok és olajok világában. Csak kevés van belőlük, drágák és általános körülmények között nehezen elegyednek más zsírokkal. A laurikus zsír elnevezés onnan származik, hogy a legjellemzőbb zsírsavuk a laurinsav (C12:0). A csoport egyik legfontosabb képviselője a kókuszszír (Gustone, 2002).

A kókuszszírt a kókusz száraz húsából a koprából nyerik, amely 65-68% olajtartalommal és 4-7% víztartalommal rendelkezik. Zsírsavösszetételét (4. táblázat) tekintve a legjelentősebb mennyiségben laurinsavat tartalmaz 48% körül, ezt követően 18% mirisztinsavat (C14:0), a többi zsírsav egyenként nem lépi át a 8%-os küszöbértéket. Ez az összetétel azt eredményezi, hogy a kókuszszír relatív alacsony hőmérsékleten olvad és szűk olvadási tartománnyal rendelkezik 24-29°C körül. A természetes zsiradékok esetében nem jellemző a szűk olvadási tartomány (kivétel kakaóvaj), ez a tulajdonsága meghatározza az alapanyag árát. Viszont az alacsony telítetlensége miatt stabil az oxidációval szemben. (Gustone, 2002)

4. táblázat: A kókuszszír jellemzői zsírsavösszetétele (ND-nem detektálható)

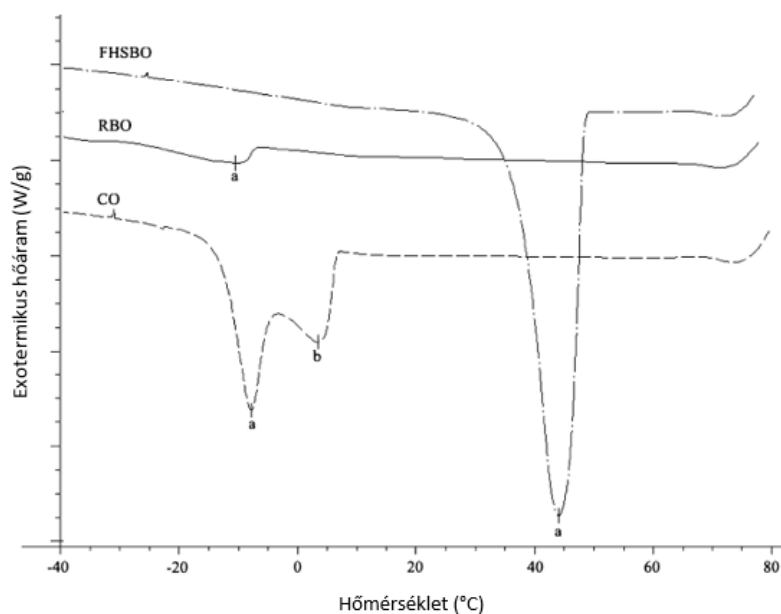
Zsírsav	Szénatomszám	Mennyiség (tömeg %)
kapronsav	6:0	ND-0,7
kaprilsav	8:0	4,6-10,0
kaprinsav	10:0	5,08-8,0
laurinsav	12:0	45,1-53,2
mirisztinsav	14:0	16,8-21,0
palmitinsav	16:0	7,5-10,2
sztearinsav	18:0	2,0-4,0
olajsav	18:1	5,0-10,0
linolsav	18:2	1,0-2,5
linolénsav	18:3	ND-0,2
arachinsav	20:0	ND-0,2

A kókuszszír olvadási tulajdonságainak termoanalitikai vizsgálata során jellemzően egy csúcsot mutattak ki 25,66°C-nál (7. ábra). Ez egy közepes olvadási tulajdonságú zsírnak felel meg (Prakash et al., 2011).



7. ábra: Kókuszszír (CO), Teljesen hidrogénezett szójabab olaj (FHSBO) és Rizs korpa olaj (RBO) oladási görbéje (Prakash et al., 2011)

A kristályosodás vizsgálata során viszont két csúcsot detektáltak kókuszszír esetében. Az első csúcs $-7,93^{\circ}\text{C}$ -nál, míg a második $3,93^{\circ}\text{C}$ -nál (8. ábra). Ez a közepes láncú telített zsírsav tartalomnak köszönhető (Prakash et al., 2011).



8. ábra: Kókuszszír (CO), Teljesen hidrogénezett szójabab olaj (FHSBO) és Rizs korpa olaj (RBO) kristályosodási görbéje (Prakash, és mtsai., 2011)

3.4 Tejzsír

A tejzsír a zsírsavösszetételt tekintve az az egyik legösszetettebb zsír, 400 különböző zsírsavat tartalmaz, köztük telített zsírokat különböző szénláncosszal és telítetlen zsírsavakat. Az átlagos összetételt az 5. táblázat szemlélteti, azonban ez eltérhet az állatok táplálása és genetikájának következtében. A legnagyobb mennyiségben palmitinsavat, olajsavat és sztearinsavat tartalmaz (Metin és Hartel, 2012).

5. táblázat: A tejzsír jellemző zsírsavösszetétele (Metin és Hartel, 2012)

Zsírsav	Szénatomszám	Mennyiség (tömeg %)
vajsav	4:0	4,15
kapronsav	6:0	2,13
kaprilsav	8:0	1,19
kaprinsav	10:0	2,59
laurinsav	12:0	2,87
mirisztinsav	14:0	9,53
mirisztolajsav	14:1	0,82
pentadecánsav	15:0	0,89
palmitinsav	16:0	28,08
palmitoleinsav	16:1	1,48
margarinsav	17:0	0,52
sztearinsav	18:0	11,68
olajsav	18:1	26,15
linolsav	18:2	3,74
linolénsav	18:3	0,38
arachinsav	20:0	0,09
egyéb	-	3,09

A tejzsír egyik egyedi tulajdonsága a jelentős mennyiségű rövid szénláncú (C4:0, C6:0) zsírsavakban mutatkozik meg. Ezek mennyisége és elhelyezkedése jelentős szerepet játszik a zsír tulajdonságainak meghatározásában, mint az olvadási tulajdonságok és íz. A másik egyedi tulajdonsága a konjugált linolsav (C18:2) tartalma, amit az egyedi egészségügyi előnyeiről ismertek. Jensen (2002) kutatása alapján több ezer különböző triglicerid (TAG) van a tejzsírban. A tíz legjelentősebb TAG-ot a 6. táblázat mutatja (Metin és Hartel, 2012).

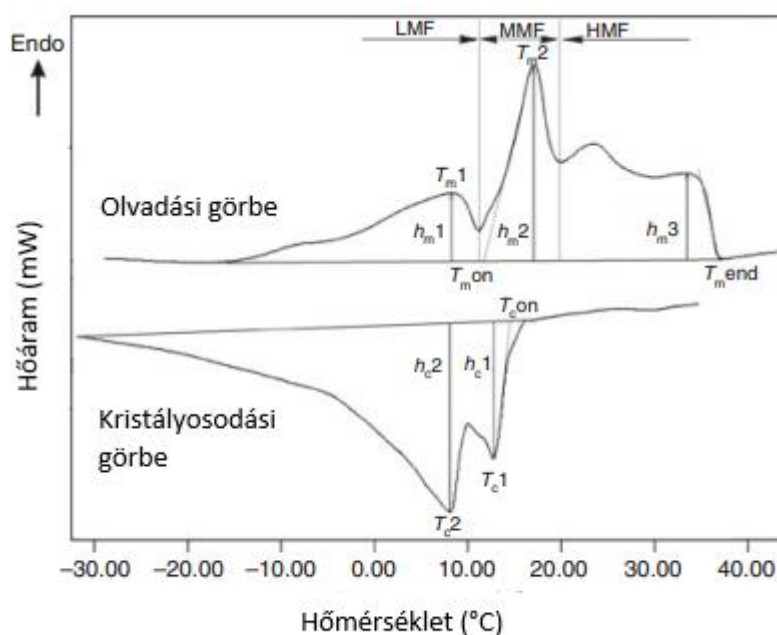
6. táblázat: A tejsír legjelentősebb trigliceridjei (Metin és Hartel, 2012)

TAG	Koncentráció (mol%)
C4:0; C16:0, C18:1	4,2
C4:0; C16:0, C16:0	3,2
C4:0; C14:0, C16:0	3,1
C14:0; C16:0, C18:1	2,8
C16:0; C18:1, C18:1	2,5
C4:0; C16:0, C18:0	2,5
C16:0; C16:0, C18:1	2,3
C16:0; C18:0, C18:1	2,2
C6:0; C16:0, C18:1	2,0
C4:0; C14:0, C18:1	1,8

A tejsír trigliceridjeiben megfigyelhetők rövid szénláncok, hosszú szénláncok, telített és telítetlen zsírsavak, melyek még komplexebbé teszik a tejsír kristályosodását. Amikor a tejsírt hűtik, a hasonló olvadási ponttal rendelkező TAG-ok kevert kristályokat képeznek, amelyek összetétele nagy mértékben függ a kristályosodás körülményeitől (pl.: hűtési sebesség). Továbbá a komplex kevert kristályos forma miatt a tejsír általában β' formátumban kristályosodik. A tejsír kristályosodását befolyásolja a túlhűtés hőfoka, az összetevők közötti oldhatóság, a kristályosítási módszer, polimorfia és a temperálási hőmérséklet és idő. A széles körű molekuláris összetétel miatt a tejsír olvadási tartománya -40 -tól 40°C -ig terjed, bármely köztes tartományban a tejsír folyékony olaj és szilárd zsír keveréke, amit a különböző TAG-ok fázis interakciói határoznak meg. Az olvadási vagy tisztulási pont, általánosságban az a hőmérséklet, ahol már nem tartalmaz semennyi szilárd zsírt a rendszer. Ez a tejsír esetében tipikusan $35-37^\circ\text{C}$, de lehet akár 40°C is az eredetétől függően. Molekuláris összetettsége alapján a tejsír nem mutatja a homogénebb összetételű zsírok (pl. kakaóvaj) összetett polimorfizmusát. A tejsírről gyakran azt gondolják, hogy egyetlen formában, a β' polimorf formában kristályosodik, de a legújabb tanulmányok kimutatták, hogy a tejsír polimorf viselkedése valójában sokkal összetettebb. Lopez és munkatársai (Lopez et al, 2007) 6 különböző kristályformát találtak a tejsírban köztük β polimorfot. Véleményük szerint az ömlesztett tejsírban a gócképződés mindig heterogén, ahol a kristályosodás az idegen részecskék (katalitikus szennyeződések) felületén indul meg. Magasabb túlhűtés vagy alacsonyabb hőmérséklet növeli annak lehetőségét, hogy egy szilárd részecske katalizálja a nukleációt. Emiatt a gócképződési sebesség nagyobb a nagyobb túlhűtés esetén. A hűtés során keletkező zsírkristályok más, kissé eltérő összetételű kristályok gócképződését kísérik, mivel katalitikus szennyeződésként szolgálnak. Még a monogliceridek és a szabad zsírsavak is

katalitikus szennyeződésként működhetnek a tejszír kristályosításában. A tejszírban a kristálynövekedés relatív lassú. Általában a kristályok növekedési sebessége a szupertelítettségétől, a molekulák kristályfelületre való diffúziós sebességétől és attól az időtől függ, amely ahhoz szükséges, hogy a molekula illeszkedjen a kristályrácsra. A diffúzió nem fontos a tejszírkristályok növekedésében, mivel sok a kristályrácsot alkotóhoz hasonló trigliceridek. Ezek a molekulák könnyen beilleszkedhetnek a kristályrácsba, de egy ideig egy üres helyet is elfoglalhatnak a kristály felületén, mielőtt eldiffundálnának. Ezért egy kis időre van szükség, amíg a megfelelő triglicerid megérkezik a szabad helyre, hogy beépüljön a kristályba. Ez a verseny késlelteti a kristálynövekedést. Izotermikus körülmények között akár 24 órát is igénybe vehet a folyamat (Metin és Hartel, 2012).

A 9. ábra tejszír olvadási és kristályosodási görbéjét mutatja be, amelyen jól látható, hogy két csúcs rajzolódik ki a kristályosodás során. Az első csúcs 7°C körül jelent meg, míg a második csúcs 16°C körülire tehető. Az olvadási görbén három endotermikus csúcsot lehet látni, amelyeket a h₁, h₂ és h₃ jelölés mutat. Ez a három csúcs három különböző frakciót jelöl. Az alacsony- (LMF), közepes- (MMF), és a magas olvadáspontú (HMF) frakciókat mutatja (Tomaszewska-Gras, 2015).



9. ábra: Tejszír kristályosodási és olvadási görbéje (Tomaszewska-Gras, 2015)

Az egyedülálló különbség a tejszír és a növényi zsírok között, hogy a tejszír természetes állapotában globuláris formátumban található egy nagyon komplex membránnal körülvéve. Ez a membrán a vizes fázisában található kémiai anyagoknak és enzimeknek köszönhetően megvédi a zsíradékot a kémiai és lipolitikus reakcióktól. Ezen kívül a membrán a fizikai károsodástól is védi a zsíradékot a kezelések során. Megvédi a flokkulációtól és az összetapadástól (Rajah, 2014).

3.5 Szénhidrátok

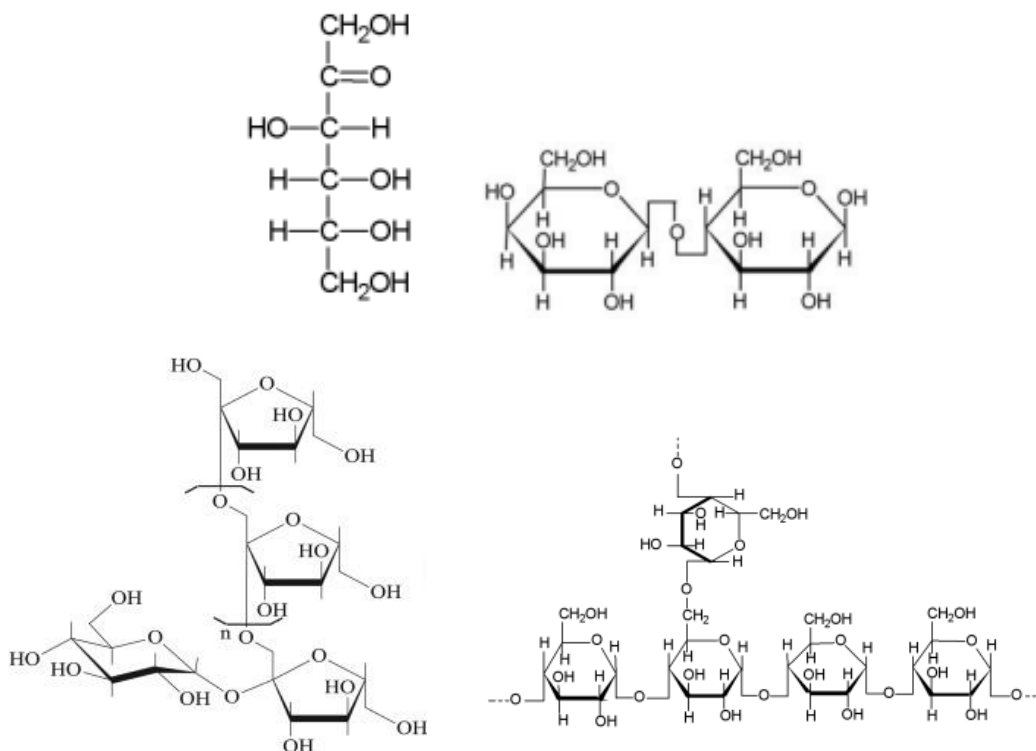
Az édesipari termékek másik fő összetevője a szénhidrátok, ezek alkotó elemei a cukrok, amelyek 3-8 szénatomból épülnek fel. Lehetnek polihidroxi-aldehyde, polihidroxi-keetonok, illetve ezek származékai. Az élelmiszerek szempontjából fontos monoszacharidok a hexózok (pl.: glükóz, fruktóz, galaktóz), melyek szabadon, valamint kötött formában vannak jelen (Csapó és Csapóné, 2003). Közülük a fruktóz vagy más néven gyümölcscukor számos fizikai és funkcionális tulajdonsággal rendelkezik. 1,2-1,8-szer édesebb (hőmérséklet függvényében változik az érték), mint a szacharóz (kristálycukor) így kiválóan hozzájárul az élelmiszerek édes ízének kialakításához (Kirk-Othmer, 2006). Az íz kialakítás mellett az élelmiszerek színéhez is hozzájárul a karamellizáció során. Higroszkópos tulajdonsággal rendelkezik, tehát képes megkötni a vizet az élelmiszerekben, valamint csökkenti a fagyáspontot. Fruktóz jellemző szemcsés formátumban található meg a kereskedelmi forgalomban, tipikus szemcsemérete 200-600 µm (Hanover és White, 1993).

A különböző egyszerű cukrok képesek egymással kapcsolódni glikozid kötéssel, így kialakíthatnak di-, oligo, illetve poliszacharidokat (10. ábra). A diszacharidok közül az egyik legjelentősebb a szacharóz, amelyet egy glükóz és egy fruktóz molekula épít fel, az élelmiszerek édes ízének kialakításában játszik fontos szerepet. Emellett szintén hozzájárul a színek kialakításához a karamellizáció és a Maillard-rekáció révén. Hozzájárul az élelmiszerek állományának kialakításához, valamint növeli a viszkozitást. A kereskedelmi forgalomban szemcsés, illetve porított verzióban is megtalálható. A kristályos szacharóz átlagos szemcsemérete 700 és 1400 µm, míg a porcukor esetében az őrlés 120 µm-es szemcseméret alá történik jellemzően (Tiefenbacher, 2019).

A monoszacharidok képesek további kapcsolódásra is, így nem csak diszacharidokat tudnak képezni, hanem oligo- és poliszacharidokat is. Ezek számos monoszacharid összekapcsolódásával keletkező molekulák. Az oligoszacharidok jellemzően 3-10 molekulából tevődnek össze, míg a poliszacharidok még ennél is több molekula összekapcsolódásával jönnek létre. Az oligoszacharidok egyik képviselője az inulin, amely fruktózegységekből áll össze és csak végződéseiben tartalmaz glükózt. Az inulin kevésbé édes, mint a szacharóz, nagyjából 1-14%-a az édesítő képessége (hőmérséklet függvényében változik) a szacharózhoz viszonyítva. Alkalmazzák az élelmiszeriparban részleges cukorpótlásra, édesség csökkentésére és a rosttartalom növelésére. Valamint képes megkötni a vizet a higroszkópos tulajdonsága miatt. Az inulin jellemző szemcsemérete kutatások alapján 21-421 µm között alakult (Qiao, 2022).

A poliszacharidok közé tartozik a keményítő, amely D-glükóz-építőkövekből épül fel. Jellemzően por formában kapható, szemcsemérete 5-25 µm között változik. Nem rendelkezik édesítő erővel.

Az élelmiszeriparban a keményítő alkalmazható kis százalékban (2-6%) történő bekeveréssel alacsony költségű krémek édességének csökkentésére (Tiefenbacher, 2019).



10. ábra: Fruktóz, Szacharóz, Inulin és Keményítő felépítése

(Csapó és Csapóné, 2003, Moldoveanu, 2021)

A szénhidrátok is kiemelten fontos szerepet játszanak az élelmiszer mátrixokban és hozzájárulnak azok végső tulajdonságaihoz (pl.: íz, szín, állomány). Bár a zsír alapú édességekben főként mono- és diszacharid kerülnek felhasználásra. A bevezetésben említett cukorcsökkentési törekvések miatt az oligo- és poliszacharidok alkalmazása is megnőtt.

3.6 Cukorcsökkentés és Cukorhelyettesítés

A világon az emberek 30%-a (2,1 milliárd) túlsúlyos vagy elhízott (Dobbs et al, 2014; Miele et al, 2017). A táplálkozás során a cukor (a későbbiekben ez mindenkor az egyszerű szénhidrátokra utal) adja a 25%-át az ajánlott 2000 kJ kalória bevitelnek (Lustig et al, 2012). Ez jelentősen nagyobb, mint a WHO által ajánlott maximum 10%. A túlzott cukorfogyasztás összeköthető olyan káros egészségügyi hatásokkal, mint az elhízás, a 2-es típusú cukorbetegség, szív- és érrendszeri problémák és néhány rákbetegség-típus kialakulása (Luo et al, 2019). Emiatt az élelmiszeripar területén a cukorcsökkentés kiemelten jelentős kérdés, hiszen befolyásolhatja az egyének cukorbevitelét.

Az egyik lehetőség oligoszacharidok és poliszacharidok alkalmazása intenzív édesítőszerekkel. Kutatások alapján az inulin kombinálva steviával megfelelő cukorhelyettesítőnek bizonyult csokoládékban (Di Monaco et al, 2018).

A cukorcsökkentésre másik lehetőség a csak édesítőszerek alkalmazása, melyeket két csoportba sorolhatunk; az egyik a már fent említett intenzív édesítőszerek a másik a cukoralkoholok vagy poliolok. Ez utóbbiak a cukor redukciós termékei, felhasználásuk a termékekben közel azonos mennyiség történik, mint a cukornak. Ebbe a csoportba tartozik a xilit, mely azonos édesítő hatással rendelkezik, mint a cukor, olvadási hőmérséklete 94°C (Aidoo et al, 2013). Az intenzív édesítőszerek esetében a cukorral azonos édesítő hatás elérése érdekében jóval kevesebb mennyiséget szükséges felhasználni. Ennek a csoportnak az egyik képviselője a stevia, amely egy természetes édesítőszer, olvadáspontja 196°C. Azonban mindegyik cukorhelyettesítési lehetőség kihívásokat rejt magában. Annak elérése érdekében, hogy a késztermék a szacharózzal készült termékhez viszonyítva megfelelő érzékszervi és technofunkcionális tulajdonságokkal rendelkezzen, termékenként szükséges megvizsgálni az alternatívákat (Moraes & Bolini, 2010).

Továbbiakban bemutatom a lipid-szénhidrát rendszerek kapcsán eddig tapasztalt kutatási eredményeket.

3.7 Lipid-szénhidrát rendszerekkel kapcsolatos kutatások

A pálmazsír fontos alapanyaga az édesiparnak a természetes félszilárd konzisztenciájának köszönhetően, ami lehetővé teszi a részlegesen hidrogénezett zsírok kiváltására. Transz zsírsav mentes, relatív alacsony árú, nem oxidálódik könnyen a többi olajhoz és zsírhoz képest. Az összetételének diverzitása lehetővé teszi, hogy különböző frakciókat különítsünk el benne, ami által széles körben felhasználható a zsiradék.

Azonban a zsírok sok esetben nem önmagukban, hanem folyamatos mátrixként vannak jelen, amelyek magukba foglalják a nem zsír összetevőket (West és Rousseau, 2019). A leggyakoribb nem zsír összetevő a zsír alapú édességekben a szacharóz (Krüger, 1999; Beckett, 2008), ami édességet és telt szájérzetet kelt (Jamieson, 2008), valamint energiát ad ($4 \text{ kcal} \cdot \text{g}^{-1}$) (Aidoo et al., 2013).

A zsír alapú édesipari termékek a gyakorlatban félszilárd szuszpenziók, amelyekben a nem zsír összetevő, mint a szacharóz, a tej szárazanyag vagy a kakaópor a folyamatos zsírfázisban oszlanak el. (Götz et al., 2005; Sokmen and Gunes, 2006; Afoakwa et al., 2009; Dahlenborg et al., 2011; Carvalho-da-Silva et al., 2013; Svanberg et al., 2013).

A zsírfázis kristálymorfológiája, polimorfikus viselkedése, és a nem zsír összetevőkkel való kölcsönhatása befolyásolja a feldolgozhatóságot, a késztermék minőségét és az érzékszervi

tulajdonságait. A keverékek érzékszervi tulajdonsága továbbá függ a szénhidrát méretétől és a mátrixban történő eloszlásától. A diszpergált részecskék megváltoztathatják a kristályosodási folyamatot és a végső keménységet, mely szintén következményekkel járhat a gyártási folyamatokra és érzékszervi tulajdonságokra.

A kizárólag lipid rendszerekkel ellentétben -, ahol a trigliceridek kristályosodása addig történik, amíg a térkitöltés bekövetkezik- ezekben a rendszerekben a zsír térbeli rendeződését és a kristályosodási útját befolyásolja a jelen lévő diszpergált részecske, ami akár 70 térfogatszázalék is lehet a termékekben. A különböző méretű diszpergált részecskék befolyásolhatják a zsír migrációját (Altimiras et al. 2007, Nightingale et al, 2012), valamint a hűtés mértékét és sebességét, ami a zsírkristályok kialakulásához és növekedéséhez szükséges (Bowser 2006, Dhonsi & Stapley 2006, Ferandes et al 2013, Hartel 2013, Sonwai & Rousseau 2008, Svanberg et al 2011a, 2011b).

3.7.1 Szacharóz hatása a zsír kristályosodásra

A keverékek kristályosodása heterogén gócképződéses, a rendszerben található szennyeződés miatt. Mind a gócképződést mind a kristálynövekedést befolyásolják a diszpergált részecskék. Úgy találták, hogy a szacharóz nukleációs helyet biztosít a kristályosodás során. Dhonsi and Stapley (2006) munkájuk során arra következtettek, hogy a kakaóvaj heterogén gócképződése a szacharóz kristályokon kevésbé stabil kristály polimorfiához vezet. Svanberg és munkatársai (2011a) azt találták, hogy a szacharóz csökkenti az indukciós időt a kakaóvaj gócképződéséhez, abban az esetben, ha előtte megfelelően előkristályosították a zsíradékot.

West és Rousseau (2016) kutatása megállapította az NMR-el végzett mérések alapján, hogy a szacharóz jelenléte szignifikánsan befolyásolta a szilárd zsírtartalom értékeket. Közvetlenül hűtés után a két minta SFC értékei $13,2 \pm 0,9$ és $14,3 \pm 0,6$ % volt, míg szacharózzal keverve ezek ez értékek $17,3 \pm 0,8$ és $9,6 \pm 1,7$ % voltak. Azonban a tárolás során minden esetben a tiszta zsírok SFC értéke volt magasabb a krémekhez képest.

A DSC mérések alapján megállapították, hogy a szacharóz jelenléte szignifikánsan befolyásolta az entalpia értékeket, a krémek esetében kisebb entalpiát tapasztaltak. Ez alapján a szacharóz jelenléte gátolhatja a kristályosodást, amely összecseng az SFC mérés során tapasztalt eredményekkel. A zsír alapú édesipari termékek állományát befolyásolja a zsírkristály-hálózat tulajdonsága, amelynek reológiai viselkedése kollektívan adódik az SFC-ből, a feldolgozásból, mikrostruktúrából és az összetevők kölcsönhatásából.

A kristályosodás gátlása kiváltó oka lehet, hogy a hozzáadott anyag legtöbbször az aktív kristály növekedési helyeken adszorbeálódik. Azonban az emulgeálószer hiánya és a cukorkristályok felülete és a környező TAG között kölcsönhatás hiány miatt jelen esetben nem annyira valószínű.

Másik lehetőség a diszpergált cukorkristályok jelenlétéből adódóan a folytonos fázis viszkozitásának jelentős növekedése. Az ipari kristályosodási eljárásokban a tömegtranszport csökkent a kristálynövekedési sebességet, ha a viszkozitás jelentős növekedése következik be, ami a molekuláris diffúzió csökkenéséhez vezet (Walstra et al., 2001)

Egy másik kutatás során megállapították, hogy a szacharóz hozzáadása erősítette a kristályképződést, elnyomta a β kristály formát, ezek a szacharóz-zsír blendek viszkoelasztikus tulajdonsága és állománya tovább változott a folyamatos újra kristályosodásnak köszönhetően (West és Rousseau, 2017).

West és Rousseau (2019) pálmaolajon és pálma közép frakción végzett kísérleteikkel megállapította a DSC vizsgálatok során, hogy a szacharóz jelenléte befolyásolta az olvadási profilt, valamint a β' és β kristályok kialakulását. A szacharóz jelenlétében nem alakultak ki β kristályok, ami azt indikálja, hogy a szacharóz képes megkönnyíteni a kívánt β' kristályok képződését a legtöbb feldolgozási körülmény között.

A kristálymorfológiát vizsgálva megállapították, hogy a pálmazsír kezdeti kristálmérete szignifikánsan csökkent a szacharóz jelenlétében. Ezt két jelenség magyarázhatja. Elsőként, hogy a szacharóz hozzákeverése megőrizte a növekvő zsírkristályokat. Fontos, hogy nem volt jele a TAG gócképződésnek a szacharóz felületén, ami arra enged következtetni, hogy nem segítette elő a kristályosodást. A másik lehetőség, hogy a korlátozott kristálynövekedést felerősítette a rendelkezésre álló korlátozott fizikai tér, mivel az újonnan kialakult zsírkristályok kénytelenek voltak zárt térben növekedni, tekintettel a diszpergált részek által elfoglalt jelentős térfogatfrakcióra. Tároláskor a szacharóz-zsír keverékek zsírkristályhálózata apró, tű alakú kristályokból állt. Érdekes módon a mikroszkópos vizsgálatok alapján úgy tűnt, hogy kisebb cukorrészecskék is beépültek ezekbe a zsírkristály-összeállításokba.

Svanber et al. (2011a, 2011b) az elsők között voltak, akik bemutatták, hogy zsírkristályok kezdtek növekedni a szacharóz felületén kakaóvaj esetén. Hubbes és munkatársai kísérlettel bizonyították, hogy az idegen felületek elősegítik a heterogén kristályképződést tiszta trigliceridek esetén (Hubbes et al, 2020).

Jégkrémek esetén megállapították, hogy a szacharóz befolyásolja a rendszer fizikai tulajdonságát, mint például a fagyáspontot. A cukortartalom növelése a víz mennyiségéhez képest tendenciálisan csökkent a jégkrém fagyás pontját (Rajah, 2014).

Simones és munkatársai (2021) kimutatták, hogy a szacharóz jelenléte felgyorsította a kakaóvaj magképződését és növekedését, de csökkentette az emulgeálószer hatását, ami feltételezhetően a cukorkristályok felületén való adszorpciójuknak köszönhető. A szacharóz mind

az emulgeálószer jelenlétében, mind azok hiányában késleltette a β IV-es formából β V-be való átmenetet, valószínűleg egy β IV-es formát stabilizáló mechanizmus révén.

3.7.2 Szacharóz hatása a zsírok reológiájára és állományára

További kutatások során kimutatták, hogy a zsír alapú édességek reológiáját meghatározza a folytonos zsír fázis fizikai tulajdonságai, mint a szilárd zsírtartalom, kristály morfológia, a zsír kristályhálózatának kialakulása, valamint a nem zsír diszperzió összetétele és a keletkező interakciók a fázisok között. (Tscheuschner and Wunsche, 1979; Van Den Tempel, 1979; Jeffery, 1993; Tscheuschner, 1994; Bouzas and Brown, 1995; Kulozik et al., 2003; Liang and Hartel, 2004; Schantz and Rohm, 2005; Sokmen and Gunes, 2006; Do et al., 2007; Pérez-Martínez et al., 2007; Rao, 2007; Tang and Marangoni, 2007). Legtöbbször az ilyen rendszerek nyírásra vékonyodó, nem Newtoni pszeudoplasztikus anyagok, mérhető folyáshatárral (τ_0) (Chevalley, 1999; Rector, 2000; Schantz and Rohm, 2005; Chhabra, 2006).

Az oszcillációs viszkozitás mérés során a tárolási modulus (G') értéke kisebb mértékben változott a tárolás során a szacharózos mintákban, amely arra enged következtetni, hogy kristályosodás tovább halad, valószínűleg a szacharóz jelenléte okozta zsír kristálymag fejlődésének következtében. Másik lehetőség, hogy a szacharóz más interakciós hatást váltott ki, minthogy emelte a zsírfázis viszkozitását. A frekvenciasöpítés során megállapították, hogy a szacharóz jelenléte szignifikánsan növelte a tárolási és a veszteségi modulus értékét. A növekedés, amit a krémek viszkoelasztikus tulajdonságaiban tapasztaltak, arra enged következtetni, hogy merevebb kristályszerkezet alakult ki ezekben a mintákban. A krémek viszkozitása szignifikánsan nagyobb volt a tiszta zsiradékhoz viszonyítva. A szacharóz hozzáadása növelte a komplex viszkozitást (West és Rousseau, 2016).

West és Rousseau (2019) reológiai vizsgálatok során kimutatták, hogy a szacharóz növeli a tárolási modulus értékét a tárolás után. További kutatások szerint a térfogat frakció és a részecskék között kölcsönhatások megváltoztathatják a kolloid szuszpenzió reológiáját (Trappe and Weitz, 2000). A szacharóz 50%-os hozzáadása a zsírhoz befolyásolhatja annak a térbeli eloszlását és a merevségét, mivel a zsír kénytelen olyan rendszerben kristályosodni, ahol a teljes térfogat 37%-kal csökkent a diszpergált fázis befogadásának érdekében. Az állomány tekintetében a szacharóz hozzáadása szignifikánsan növelte a keménységet, a feldolgozási körülményektől függetlenül.

A zsír-szacharóz rendszereket, ha elegendő szemcsés komponenssel rendelkeznek, reológiaiilag csoportosítani lehet lágy szilárd anyagként vagy szerkezetileg paszták csoportjába. A lágy szilárd anyagok szilárdhoz hasonló reológiai tulajdonsággal rendelkeznek, amíg megfelelő méretű feszültség nem éri őket (látszólagos folyáshatár), ezt követően folyadékszerű viselkedést

mutatnak (Stokes and Firth, 2008). Hogy megértsük a kapcsolatot a mikroszkopikus és makroszkopikus reológiai tulajdonságaiban a lágy szilárd élelmiszereknek és pasztáknak, az ismert reológiai modellek használata az alap. Ez lehetővé teszi a termékek racionális tervezését az állag és a tápérték közötti egyensúly optimalizálása érdekében. A kutatás során a reológiai viselkedés és a szerkezeti struktúra közötti kapcsolatot vizsgálták két különböző folytonos zsír rendszerben, pontosabban olvasztott kekszkrémekben és csokoládéban (Shewan, 2021).

Az édes keksztöltelék általában egy szimpla szuszpenzió, ahol a szacharóz a zsírban diszpergálásra került. A szacharózt por formájában adják hozzá, ahol a részecskék kisebbek, mint $100\text{ }\mu\text{m}$. A szacharóz szemcseméret-eloszlása egy fontos paraméter, mivel a kisebb részecskéknek nagyobb zsírtartalomra van szükségük ahhoz, hogy elérjék a kívánt állagot, míg a nagy, fel nem oldott részecskék száraz és kavicsos érzetet okoznak a szájban evés közben (Koeferli et al, 1996). Ezért fontos, hogy kiegyensúlyozott legyen a nagy és a kis részecskék aránya.

A másik fő összetevő a rendszerben a zsír, melynek mennyisége 23-45%-ig változik jellemzően, a termék előírásainak megfelelően (Manley, 2000). Ezek a krémek pseudoplasztikus viselkedést mutatnak, azaz egy bizonyos nagyságú nyírófeszültség szükséges a folyáshoz. Azonban, a folyáshatár átlépése után a viszkozitás csökken a nyírósebesség növelésével (Beckett, 2008). A kekszek töltelékeként használatos édes krémeknek a reológiáját szobahőmérsékleten a zsírkristályok, valamint a cukorszemcsék formájában lévő szilárdanyag-tartalom együttesen szabályozza. Ez magas folyási feszültséghez vezet (Karyappa and Hashimoto, 2019), ami egy megkövetelt előírás, hiszen a saját súlya alatt nem folyhat el, amikor a keksz közé kerül. Mégis képes könnyen folyni, amikor magas hőmérsékletnek és magas nyíró feszültségnek tesszük ki, mint például a keksz elfogyasztása (Triantafillopoulos, 1988).

A csokoládé sokkal összetettebb, mint a kekszkrém, de 40°C felett szuszpenzióvá bizonyul, ami esetében szintén a szilárd fázisa folyékony zsíradékban diszpergálásra került. A legtöbb csokoládé 25-35% zsírt tartalmaz, ami magába foglalja a kakaóvaját és a tejszírt a tejszokoládé esetében (Beckett, 2008). A szilárd fázisban megtalálhatóak szacharóz, tejfehérje és kakaó részecskék. A folyékony csokoládé reológiai viselkedéséről sokan kutatták, különös tekintettel a konszolás és a temperálás hatásaira. A folyékony csokoládé szintén pseudoplasztikus folyadék viselkedéssel rendelkezik. Időfüggő (tixotrópia) viselkedése is felfedezhető, ahol állandó nyírási sebesség mellett a viszkozitás az idő függvényében csökken (Servais et al., 2003). Ezt általában a Casson modellel jellemzik, amelyet ipari standard modellként használnak csokoládé viszkozitás esetében. Köztudott, hogy a csokoládé reológiai viselkedésében domináns a szilárd fázis térfogata és a szemcseméret eloszlása (Afoakwa et al., 2007; Beckett, 2008; Do et al., 2007; Servais et al., 2002; van der Vaart et al., 2013).

Shewan és munkatársai a kutatásuk során megállapították, hogy a csokoládé minták relatív viszkozitása magasabb szilárd frakcióknál magasabb értéket mutatott. A csokoládéminták esetében ez azt jelzi, hogy az alacsonyabb zsírtartalmú minták viszkozitása eleve nagyobb, mint a magasabb zsírtartalmúaké, feltehetően a szilárdanyag-tartalom relatív növekedése miatt. (Shewan et al, 2021)

3.7.3 Szacharóz szemcseméretének és nedvességének hatása a zsír alapú termékek feldolgozhatóságára

Az előző fejezetben ismertetett kutatások alapján elmondható, hogy a szacharóz jelenléte szignifikánsan befolyásolta mind a folyamatos zsír fázis reológiáját, mind a kristályosodás sebességét.

A zsíros édességek textúrája és kristályosodása nagymértékben függ a folyamatos zsírfázis fizikai tulajdonságainak (ϕ) és - ami fontos - az összetevők közötti kölcsönhatásoknak a kombinációjától. Például a szacharóz részecskeméret-eloszlása és felülete, valamint az emulgeálószer típusa és koncentrációja mind hatással van a zsíros termékek feldolgozhatóságára és érzékszervi tulajdonságaira. Hasonlóképpen a nedvesség is káros hatással lehet, mivel a nem zsíros összetevők csomósodását okozza, ami rossz keveredést eredményez. A részecskék kölcsönhatásainak jellemzése ezért kritikus fontosságú a cukrászati termékek optimális előállítását szabályozó tényezők stabilizálásához (West és Rousseau, 2017).

A nem zsír -összetevők térfogatfrakciója és a szemcseméret eloszlása erősen befolyásolja a reológiát. A felület és a folyamatos zsír fázissal való kölcsönhatás növekszik a szemcseméret csökkentésével, mivel az növeli a folyáshatár leküzdéséhez szükséges energiagátat és ez magasabb viszkozitást eredményez (Beckett, 1994; Mongia and Ziegler, 2000; Ziegler et al., 2001; Walstra, 2003; De Graef et al., 2011; Fernandes et al., 2013). Ez a fogyasztók szempontjából megnöveli a termék keménységét és csökkenti a kenhetőséget (Chevalley, 1999; Beckett, 2008; Afoakwa et al., 2007b; Afoakwa et al., 2008b). A termékekben, mint például a csokoládé az optimális szacharóz szemcseméret átmérő körülbelül 30 μm , annak érdekében, hogy megfelelő állományt érjünk el (Jeffery, 1993). A durvább részecskék szemcsés érzetet kelthetnek, míg a finomabbak befolyásolják a fluiditást (Beckett, 2008).

A szacharóz kristályossága szintén hatással van a zsír újra kristályosodására. Például a zsírkiválás vizuálisan csökkent az amorf cukrot tartalmazó készítményekben a kristályos porcukorhoz képest. Ezt annak tulajdonították, hogy az amorf cukornak simább a felülete, és ezért kevesebb az átkristályosodást elősegítő aktív hely. Továbbá, a porcukor lekerekített alakja az amorf módon megszilárdult cukor részecskéihez képest egy kanyargósabb, jobban közre zárt

rendszer hozhat létre, ami végső soron akadályozhatja az olaj migrációját, ami a β_1 kristályok növekedésért felelős (Bricknell és Hartel, 1998).

Diszperziók esetén a szilárd rész frakciójának szemcseméret-eloszlása befolyásolja a reológiát és állományt. A fajlagos felület és a szemcseméret eloszlás befolyásolja a folyáshatárt, a plasztikus viszkozitást, a kenhetőséget és a keménységet (Afoakwa et al. 2008a, 2008b, 2008c). Azonban ezeket a tulajdonságokat többnyire vagy teljesen felolvasztott diszperziók esetén vizsgálták, vagy a teljesen megszilárdult termékekben. Ezáltal a különböző szemcseméret eloszlású szacharóz részek hozzáadásának a kristályosodási kinetikára kifejtett direkt hatására és a folyékony olajat tartalmazó zsír kristályhálózat stresszel szembeni ellenálló képességére vonatkozóan a mai napig nem született meg minden igényt kielégítő magyarázat.

A Hubbes és munkatársai (2020) a kutatásuk során arra jutottak, hogy mivel a határfelületek göcképző helyként szolgálnak a zsírok kristályosodásához, a kristályosodási kinetika megnőtt a részecskék hozzáadásával. Azonban a kristályosodási kinetika növekedése meglehetősen mérsékelt jellegű volt és csak kis eltérések voltak a különböző szacharóz diszperzításközött. A szacharóz jelenléte a pálmazsír diszperzióban nagyban befolyásolta az elasztikus tulajdonságokat, jelentős különbségekkel a különböző szemcseméret eloszlások esetén. A zsír láthatóan kikristályosodik a cukorszemcsék felületéről, ezáltal nyugalmi körülmények között a szacharóz a kristályosodás során a zsírkristály hálózatba kötődik, aggregált, töltött és részecske erősítésű kolloid gélt képezve. A kis részecskék nagy száma különösen hozzájárul a szerkezeti tulajdonságokhoz, mivel kapcsolódási pontként működnek, ami nagyobb potenciállal rendelkező kolloid géleket eredményez. Ez a magasabb elasztikus modulusban és magasabb törési ellenállásban mutatkozik meg. Az eredmények azt mutatják, hogy az apró szemcsék hatása a szerkezeti tulajdonságokra jelentősebb, mint a többi szilárd anyag hozzájárulása a szerkezeti tulajdonságokhoz. A finom részecskefrakció eltávolítása a szerkezeti tulajdonságok romlásához vezetett. Ezáltal a kisebb részecskeméretű frakció alkalmazása a nagyobb fajlagos felület által biztosított több kötési pontnak köszönhetően például csökkentheti a zsírkiválást nyugtákrémekben (Hubbes et al., 2020).

Richardson és munkatársai (2018) kutatásának általános célja az volt, hogy felmérje a szacharóz szemcseméretének manipulációjának hatását a csokoládé brownie fizikai és érzékszervi tulajdonságaira. Egy kontrollként használt kristálycukrot (kereskedelmi forgalomban kapható, 200-5181 μm) és négy szitált cukor szeparátumot (710, 500, 355 és 212 μm -es szemcseméret) határoztak meg őrléssel és szitálással. A kontroll kristálycukor és az egyes cukorfrakciók részecskeátmérőjét és átmérőeloszlását megmérték. Ennek eredményeként öt cukorkezelést határoztak meg a csokoládés brownie-készítményekhez; kontroll (C_{200-5181 μm}), nagy szemcsés

pótlás (LPR₉₂₄₋₁₈₇₇ μm), közepes szemcsés pótlás (MPR₆₂₇₋₁₂₁₄ μm), kis szemcsés pótlás (SPR₄₅₉₋₉₇₂ μm) és egy ismert MIX szemcseméret-eloszlású minta. A mintákat érzékszervi (hedonikus és intenzitás), műszeres (textúra és szín) és összetételi (nedvesség és zsír) elemzésekkel vizsgálták. A legkisebb cukorfrakciót (SPR₄₅₉₋₉₇₂ μm) tartalmazó brownie-mintákat szignifikánsan édesebbnek érzékelték, mint bármely más mintát ($p < 0,05$). Az ezt a frakciót tartalmazó brownie-k voltak a legpuhább és legnedvesebb minták is ($p < 0,05$). A textúráját szignifikánsan a legnagyobb szemcsés (LPR₉₂₄₋₁₈₇₇ μm -es) brownie-nak kedvelték ($p < 0,05$). A brownie-minták sötétsége nőtt ($p < 0,05$) a cukorszemcseméret csökkenésével. Ezért a cukor részecskeméretének módosítása befolyásolja a csokoládé brownie-k fizikai és érzékszervi tulajdonságait, és gyakorlati megközelítésként használható a cukor csökkentésére cukrászati süteményekben.

Afoakwa és társai (2007b) kutatásuk során különböző csokoládékat vizsgálva kimutatták, hogy a diszpergált részecskék szemcseméret növekedése a Casson-plasztikus viszkozitás, a Casson-hozamérték, a folyáshatár és a látszólagos viszkozitás csökkenését eredményezte, ami az alacsonyabb zsír- és lecitin szinteknél határozottabb volt.

A nedvességnek gyakran direkt hatása van a zsír alapú édességekre. A diszpergált részecskék vonzó poláris erők és kapilláris hatás révén csoportosulnak, ami gyenge keveredést és fokozott részecskeheterogenitást, valamint a viszkozításra gyakorolt káros hatásokat eredményez (Nováková et al., 2002). Ez nagyrészt annak köszönhető, hogy a szacharóz alacsony affinitással rendelkezik a folyamatos fázisban. A nedvesség hatása korlátozta a higroszkópos, alacsony kalóriatartalmú összetevők, például a glükóz vagy a fruktóz használatát is (Afoakwa és mtsai., 2007a).

3.7.4 Édes íz és cukorhelyettesítés lipid-szénhidrát rendszerekben

Az egészségtudatosabb táplálkozás következtében a fogyasztók körében megjelent az igény a csökkentett kalóriatartalmú, alacsony zsírtartalmú élelmiszerek iránt. Ez vezetett a light élelmiszerek elterjedéséhez, amiknek alacsony vagy csökkentett a zsír tartalma és ezt gyakorta ötvözik kalóriamentes intenzív édesítőszerrel. Az ilyen a termékek magas minőségű gyártása megköveteli a megértését a zsír- édesítő kapcsolatának, ami magába foglalja a gyártási problémákat. Információkra van szükség, hogy a zsír mennyisége befolyásolja az ízérzékelését a szénhidrátoknak és intenzív édesítőszernek. Érzékszervi tanulmányok (Wiet et al, 1993) bizonyították a kapcsolatot az édesség és a zsírtartalom között. Tanulmányok szerint (Skramlik, 1926) az édes összetevőket máshogy érzékeljük vizes, illetve olajos fázisban. Egy kutatás szerint (Mackey, 1958) a szacharint könnyebben kimutatták vízben, mint olajban, feltételezve, hogy a zsír gátolja a szacharin nyálban történő oldhatóságát. Másik kutatás (Drewnowski et al. 1989) során tejzsír és szacharózt keverték különböző arányban és kimutatták, hogy a zsír mennyiségének

növelésével kis mértékben csökkent az édes íz-érzékelés. A csokoládés, illetve vaníliás tejek esetében 10% cukorral, fruktózzal vagy glükózzal édesítve az édesség-érzet csak kis mértékben változott a zsírtartalom növelésével (Wang, 1987, Pangborn, 1989). Azonban a cukorral megegyező édesítő képességű aszpartám felhasználásakor szignifikáns csökkenést mutattak ki az édes íz érzékelésében a magas zsírtartalomnál. Ami feltételezhetően az aszpartám alacsony oldhatóságának köszönhető a zsíradékban. Arra a következtetésre jutottak, hogy a zsír elfedi az ízérzékelő receptorok egy részét, mivel a vízben oldott 5% cukor oldatot a zsírban oldott 25%-os oldattal érezték ekvivalensnek (Wiet et al, 1993).

A cukorhelyettesítők negatívan befolyásolják a folyási tulajdonságokat (Clayton and Conn, 2005). Például úgy találták, hogy a cukoralkoholok csökkentik a csokoládé minőségét a gyengébb folyási tulajdonságoknak köszönhetően (Zumbé and Brinkworth, 1993). Másik kutatás kimutatta, hogy a maltitol adja a leghasonlóbb viszkozitást a szacharózhhoz viszonyítva, miközben az izomalt szignifikánsan növelte a viszkozitást (Sokmen and Gunes, 2006). Steviol glikoziddal végzett kutatások során, ahol inulinnal és dextrózzal keverték, mint tömegnövelő szerek azt találták, hogy az nem befolyásolta szignifikánsan a csokoládé keménységét a (Shah et al., 2010).

3.7.5 Zsír és egyéb szilárd anyag keverékekkel kapcsolatos eredmények

Ipari szempontból a diszpergált részecskéket, például cukorkristályokat vagy tejport tartalmazó készítmények szintén jelentősen befolyásolhatják a pálmaolaj (PO) kristályosodását és a polimorf viselkedést. Például Yoshikawa et al. (2016) részletesen beszámolt a talkumrészecskék hatásáról a pálmazsír termikus és reológiai tulajdonságaira. Konkrétan azt figyelték meg, hogy talkum hozzáadása javította az alacsonyabb olvadáspontú kristályok képződését, miközben csökkentette a magasabb olvadáspontú kristályok mennyiségét. Megállapították, hogy a talkum hozzáadása sűrűbb és finomabb szemű zsírkristály hálózathoz vezetett pálmaolajban, ezáltal befolyásolva a célzsirok (shorteningek) szerkezeti tulajdonságait. Ezáltal bemutatva, hogy az idegen részecskék elősegítik a kristályosodást a fajlagos felület és a részecskék növekvő tömeghányadának függvényében.

A szilikát nem használják élelmiszeriparban, de hasonló hatása van a pálmaolaj kristályosodására, mint a cukornak azzal az előnnyel, hogy monodiszperz, kereskedelmi forgalomban elérhető különböző felületi kémiával. West és Rousseau (2020) kutatása során kereskedelmi forgalomban kapható pálmaolajat kevert szilikával és C-18-as szilikával 0; 0,5; 1 és 5%-ban. Az első hidofil a második hidrofób adalékként. A szemcseméretük 230-400 (37-63 μm) és 200-400 mesh (37-74 μm) volt. A kutatás során azt tapasztalták, hogy az olvadás során mért entalpia értéke növekedett a szilika hozzáadásával. A kristályosodás fokozódott a C-18 szilika jelenlétében az előnyös hidrofób tulajdonságának köszönhetően, a szilika még képes volt

elősegíteni a heterogén gócképződést is a hidrofób tulajdonsága ellenére. A mérések alapján az entalpia értékét jobban befolyásolja a diszpergált részecskék koncentrációja, mint a felületi kémia.

3.8 Zsírok és zsírkeverékek ismertebb fizikai vizsgálati módszerei

3.8.1 Zsírrendszerek reológiai jellemzőinek mérése

A technológiai alkalmazhatóság vizsgálatának szempontjából a reológiai mérések bizonyulnak a legalkalmasabb módszereknek. Számos mérés létezik az élelmiszerek reológiai jellemzőinek felderítésére. A különféle tesztek gondos kiválasztása függ az élelmiszer típusától, az alkalmazástól és a műszerek rendelkezésre állásától (Tabilo-Munizaga és Barbosa-Cánovas, 2005). Matita (2016) elmagyarázta annak jelentőségét, hogy mennyire fontos az élelmiszerek reológiai tulajdonságainak ismerete az egyes területeken, kezdve a folyamatirányítástól, a minőségellenőrzésen keresztül a fogyasztói érzékszervi vizsgálatokkal bezárólag. Ha a csokoládégyártás példáját vesszük, a reológiai tulajdonságok meghatározása hasznos lehet a jó minőségű végtermék elérése érdekében, mivel leírhatja a zsírok összetételében és a feldolgozási körülményekben bekövetkező változások hatásait (Gonçalves és Lannes, 2010). Illetve az eddig bemutatott irodalmak alapján látszik, hogy egyéb zsír alapú édességek esetén is kiemelten fontos a reológiai tulajdonságok ismerete.

Barnes (2000) megállapította, hogy a folyáshatárral rendelkező anyagokra a Casson és Herschel-Bulkley modellek illeszthetők a legjobban. Mivel a zsír-cukor rendszerek megfelelnek ennek az attribútumnak és az állítást számos kutatás (Afoakwa et al., 2009; Liu et al., 2012; Soto et al., 2020; Stanciu és Ouerfelli 2020) is alátámasztja, ezért ezeket a modelleket használtam a modellillesztés során.

$$\text{Herschel-Bulkley modell: } \tau = \tau_0 + \eta_{pl} \cdot (\dot{\gamma})^n$$

$$\text{Casson modell: } \tau^{0,5} = \tau_0^{0,5} + \eta_{pl}^{0,5} \cdot (\dot{\gamma})^{0,5}$$

Ahol a τ – nyírófeszültség (Pa), τ_0 – határ-nyírófeszültség, folyáshatár (Pa), η_{pl} – plastikus nyírási viszkozitás, (Pa·s), $\dot{\gamma}$ – nyírási sebesség, (1/s) γ – nyírási deformáció, % n – folyásindex.

A reológiai tulajdonságokkal összefüggésben van az élelmiszerek állománya, mely fontos érzékszervi jellemző, mivel befolyásolja az étel ízét és a szájérzetet. Az állománymérés magában foglalja az élelmiszer reakciójának mérését, amikor olyan erőknek van kitéve, mint a vágás, nyírás, rágás, összenyomás vagy nyújtás (Marshall, 1990). Az élelmiszerek keménysége és tapadóssága függ az összetételtől. A keménység és a kenhetőség a fogyasztók által legfontosabb érzékelt tulajdonságok. A margarinok, spreadek keménységét és kenhetőségét jelentősen befolyásolja az összetétele, főként a szilárd zsír tartalma. A magasabb szilárd zsírtartalom a keménység növekedéséhez és a kenhetőség csökkenéséhez vezet (Glibowski et al., 2008).

3.8.2 Zsírkeverékek termikus jellemzőinek vizsgálatai

Az olajok és zsírok fizikai tulajdonságainak legfontosabb szempontja az olvadási és kristályosodási viselkedésükhöz kapcsolódik. Ha a körülmények megváltoznak, a kristályok habitusa, a kristályméret és a kristálys szám is módosul. Ezek a változások végül a termék végleges állapotát is befolyásolják. A kristályosodási profilt a zsírkristályok kialakulásának kezdete jellemzi, amely a molekulák átrendeződésével függ össze a magas telített TAG-ok jelenléte miatt, és a kristályosodás vége, amelyet általában a molekulák aggregációja és tömörödése tükröz (Zhang és mtsai., 2013).

A termikus vizsgálatok, mint például a differenciális pásztázó kalorimetria (DSC) az anyagok széles körének - beleértve a fémeket, polimereket és üvegeképző szilárd anyagokat - reakciókinetikájának vizsgálatára használható. A két alap eljárás a reakció kinetika megállapítására az izotermikus és nem izotermikus módszer.

Az izotermikus kísérletek során előre meghatározott hőmérsékletre temperáljuk a mintát és az idő függvényében monitorozzuk annak viselkedését. Másik lehetséges módszer a zsírok kristályosodási kinetikájának vizsgálatára a pulzáló magmágneses rezonancia spektroszkópia (pNMR). A leggyakrabban használt eljárás az izotermikus fázis átalakulás kinetikájának leírása az Avrami model, amelyet először 1940-ben publikáltak. Az Avrami modell szerint:

$$f(t) = a * (1 - e^{-k*t^n})$$

Ahol „f” a szilárd zsír mennyisége az adott időben [%], „a” az f értéke ahogy közeledik a végtelenhez [%], „t” az idő [sec], „k” a kristályosodási ráta konstans, ami elsősorban a kristályosodási hőmérséklettől függ és „n” az Avrami együttható, amely a magképződés időfüggésének és azon dimenziók számának kombinált függvénye, amelyekben a növekedés végbemegy. Amikor DSC-t használunk a kristályosodási kinetika követésére, „f” a felszabadult kristályosodási hő [J/g] és „a” a látens hő [J/g] (Lawler és Dimick, 2002).

A DSC mérés esetében az olvadási tulajdonságok vizsgálatokor bebizonyították, hogy az átmeneti hőmérsékletekre és a kialakult csúcsokra hatással van a hőmérséklet változtatásának sebessége. A csúcsok nagysága és kialakulásának hőmérséklete a fűtési sebesség növelésével növekszik. Magas pásztázási sebességek magas olvadáspontokat eredményeznek, köszönhetően a zsíradékok rossz hővezető képességének: nagy pásztázási sebességnél, nincs idő arra, hogy a hő teljesen átjárja a zsírt. Továbbá a megnövelt fűtési sebesség hatására az olvadási görbe kisimul és ennek következtében fontos információk veszhetnek el (Tan, és mtsai., 2001). Tiszta anyagoknál a kezdeti értékeket azonosnak lehet tekinteni, azonban a triacilglicerinnel kevert zsírok a különböző

hűtési sebességek hatására különbözőképpen kristályosodnak, más lesz a csúcsok alakja és mérete, valamint más lesz az elválasztási fok a polimorfának köszönhetően. (Tomaszewska-Gras, 2013)

Az oladási tulajdonságok vizsgálatai során az olaj- és zsírminták több endoterm csúcsot mutatnak. A többszörös csúcs kialakulásának két fő oka van. Az egyik a TAG-ok jelenléte és különböző sajátosságaiknak a megléte. A TAG-ok jellemzői meghatározzák a zsiradékok tulajdonságainak kialakításában. A másik fő ok az eredeti TAG kristályok oladási és kikristályosodási tulajdonságai, valamint az ezt követő oladásuk, amelyet polimorfia jelenségeként ismert és bemutattam a 3.1.3 fejezetben. Az oladási és kristályosodási tulajdonságok a legmeghatározóbbak a zsiradékok többszörös csúcskialakításában. Fontos még megemlíteni, hogy egy bizonyos hőmérséklettartományban két vagy több TAG szerkezete egyidejűleg is megváltozhat, ennek következtében pedig átfedő oladási átmenetek, valamint elmosódott csúcsok figyelhetők meg. (Tan, és mtsai., 2001)

4. Anyagok és Módszerek

Munkám során mind iparból közvetlenül beszerzett anyagokkal mind kereskedelmi forgalomban megvásárolható anyagokkal dolgoztam. Az alapanyagokat különböző gyártóktól szereztem be, melyek a következők voltak:

Pálmazsír: LoveDiet, GLC-mentes Kft, Újlengyel (jellemző összetétele az 5.1 fejezetben)

Kókuszzsír: Cocofood, Palm-Food Kft, Budapest (jellemző összetétele az 5.1 fejezetben)

Tejzsír: Bunge Zrt., Martfű (jellemző összetétele az 5.1 fejezetben)

Szacharóz (durva szemcsés, finom szemcsés): Koronás, Magyar Cukor Zrt, Kaposvár

Fruktóz: Benefin, BGB Interherb Kft, Budapest

Inulin: Biorganik Online Kft, Budapest

Keményítő: Hungrana Kft, Szabadegyháza

Xilit: Magyar Cukor Manufaktúra Kft, Kaposvár

Stevia: PaleoCentrum Kft, Budapest

A minták elkészítését a célkitűzésben ismertetett szempontok szerint végeztem el, annak érdekében, hogy az élelmiszeripari technológia alkalmazhatósága minél jobban érvényesüljön.

A célkitűzéseimnek megfelelően a kiindulási zsiradékomból a pálma közép frakció volt (továbbiakban az egyszerűsítés kedvéért a dolgozatban pálmazsír), amelyhez 50% mennyiségben kevertem szacharózt. A két alapanyagot szobahőmérsékleten (~25°C) elegyítettem, a zsír fázis felolvasztása nélkül kézi keveréssel. A keverési arányt tipikus édesipari krémek szacharóz-zsír keverési aránya alapján választottam meg, illetve irodalmi kutatások alapján (West és Rousseau, 2016, 2019).

A célkitűzésnek megfelelően a lipid fázis módosításához a kísérletbe bevont további zsírokat, szakirodalom alapján választottam, annak megfelelően, hogy technológiai funkciójuk ne térjen el jelentősen a pálmától, valamint igyekeztem olyan zsírokat alkalmazni, amelyek alapján minél szélesebb körű jellemzést fogok kapni a szénhidrátok lipidekre gyakorolt hatásáról. Ezek alapján választottam, mint laurikus zsír a kókuszzsírt, mint állati eredetű zsír a tejzsírt. Ezeket szacharózzal kevertem szintén 50-50%-os arányban, felolvasztás nélkül.

A szénhidrát fázis módosításakor különböző polimerizációs fokú szénhidrátokat elegyítettem pálmazsírral szobahőmérsékleten. Monoszacharidként fruktózt, diszacharidként a kiindulási rendszerhez használt szacharózt, oligoszacharidként az inulint végül pedig poliszacharidként a keményítőt elegyítettem. Továbbá a szemcseméret hatásának

feltérképezéséhez kiegészítettem a szacharóz esetében a mintáimat külön durva szemcsés, illetve finom szemcsés szacharóz vizsgálatára.

A kísérleteimet kiterjesztettem két cukorhelyettesítő alkalmazására is. A széleskörű feltárás érdekében egy cukoralkoholt, a xilitet és egy intenzív édesítőszert a steviát választottam erre a célra. Az édesítőszeres esetében a keverési arányt az édesítő erejük alapján határoztam meg, így a xilitet a cukorral megegyezően 50 tömegszázalékos arányban kevertem pálmazsírral, a steviát pedig 20-80 arányban (20% stevia 80% pálmazsír). Az édesítőszeres szilárd formában kerültek bekeverésre a többi mintával azonos módon. A mintákat és azok jelölését a 7. táblázat foglalja össze.

7. táblázat: A kísérletbe vont minták jelölése

Minta megnevezése	Jelölés
Pálma közép frakció	P
Pálma közép frakció-Fruktóz	PF
Pálma közép frakció-Szacharóz (kristályos)	PKC
Pálma közép frakció-Szacharóz (por)	PPC
Pálma közép frakció-Inulin	PI
Pálma közép frakció-Keményítő	PK
Tejzsír	T
Tejzsír-Szacharóz	TC
Kókuszszír	K
Kókuszszír-Szacharóz	KC
Pálma közép frakció-Xilit	PX
Pálma közép frakció-Stevia	PS

4.1 Zsírsavösszetétel meghatározása

A zsírsavösszetétel meghatározása gázkromatográfiás módszerrel történt metil-észterből, az ISO 12966-3:2016 és ISO 129664:2015 szabvány alapján.

A mintákat először hexánban feloldottam, majd dimetil-karbonátot és nátrium-metilát/MeOH oldatot (6g Na-metilát 150 ml metanolban oldva) adtam hozzá. Ezt 60 másodpercig rázattam, majd 5 percet pihentettem és felöntöttem csapvízzel. A mintákat ezután szűrőpapíron és vízmentes Na₂SO₄-on átszűrtem. Majd a gázkromatográf segítségével a zsírsavakat a retenciós idejük alapján azonosítottam. A méréshez használt kolonna SGE BPX 70 típusú volt. A hőmérsékletprogram 150°C-210°C-ig (1,3°C/perc) felfűtött, majd 5 percig tartotta a mintát 210°C-on. A vivőgáz (nitrogén) áramlása 0,6 ml/perc, a mintabeadás 14 psi (0,965 bar) nyomáson történt.

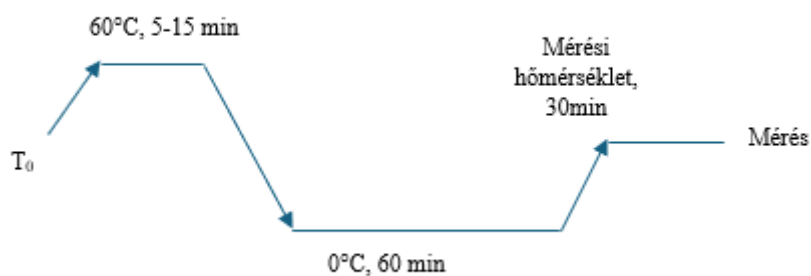
4.2 Szemcseméret-meghatározás

A szemcseméret meghatározása a QICPIC moduláris részecskeméret- és alakelemző készülékükkel történt. A műszer nagy sebességű képelemzést végez impulzusfényforrást használatával, a nanoszekundumos megvilágítási idővel a részecskék optikailag mozdulatlanoknak tűnnek, miközben egy nagy felbontású, nagy sebességű kamera akár 500 képkocka/másodperc frekvenciával rögzíti a részecske-vetületeket. A QICPIC nagy teljesítményű algoritmusok segítségével a legrövidebb idő alatt több millió részecskét értékel ki.

4.3 Szilárd zsírtartalom mérése

4.3.1 Statikus szilárd zsírtartalom mérés

A minták szilárd zsír tartalmának (SFC) meghatározása magmágneses rezonancia spektroszkópiával (NMR). Az NMR készülék segítségével felvehető a komplexek olvadási és szilárdulási profilja. A mérés az ISO 8292-1 és ISO 8292-2 szabvány alapján végeztem el. Az olvadási profilhoz mintákat először teljesen felolvasztottam, majd a mintatartókba helyeztem és hűtőszekrényben kristályosítottam őket azonos ideig. A méréshez 5, 15, 30, 35, 50°C körül értékeken termosztáltam 30 percen keresztül, majd a készülék segítségével rögzítettem a különböző hőmérsékletekhez tartozó szilárd zsírtartalom értékeket (11. ábra). Mindegyik minta esetén 3 párhuzamos mérést végeztem a fenti hőmérsékleteken.



11. ábra: NMR mérés menete

4.3.2 Dinamikus szilárd zsírtartalom mérés

Egyes minták esetében végeztem dinamikus szilárd zsírtartalom mérést is, amely során a kristályosodást vizsgáltam. A felolvasztott mintákat 3 különböző hőmérsékleten termosztáltam, 5, 15, 25°C-on és az idő függvényében rögzítettem a szilárd zsírtartalom alakulását. Minden minta esetén 3 párhuzamos mérést végeztem.

4.4 Viszkózitásmérés

A minták látszólagos viszkózitásának mérését Brookfield DVE rotációs viszkóziméterrel határoztam meg (12. ábra). A készüléket a mérések előtt kalibráltam a hozzá tartozó standard newtoni folyadékkal.



12. ábra: Brookfield DVE rotációs viszkóziméter

Minden esetben az elvégzett előkísérletek alapján határoztam meg a mérési körülményeket. Így a megválasztott mérési hőmérséklet 30°C volt és a mérőfej a készülékhez tartozó 64-es mérőfej volt. A méréshez 80g mintát mértem be szobahőmérsékleten ($\sim 25^{\circ}\text{C}$) a készülék mintartójába, majd temperáltam a mérési hőmérsékletre a készülék mintatarójához tartozó temperáló köpennyel. Maghőmérővel ellenőrizem a minták hőmérsékleten minden mérés megkezdése előtt. A mintákat növekvő nyírási sebesség mellett vizsgáltam és rögzítettem az egyes fordulatszámokhoz tartozó látszólagos viszkózitás adatokat. A mérés során a minták állandó hőmérsékletét a temperáló köpeny biztosította. A kapott adatokból meghatároztam a nyírósebességet és nyírófeszültséget. Majd az így kapott értékekre az irodalmi adatok alapján kiválasztva Herschel-Bulkey és Casson modellt illesztettem az Excel Solver program segítségével. A modellek illeszkedéséhez vizsgáltam a determinációs együttható (R^2), a mérési hiba (RMSE) és a mérés hibaszázalék értékét (RMSE%). Minden minta esetében 3 párhuzamos mérésre került sor.

4.5 Állománymérés

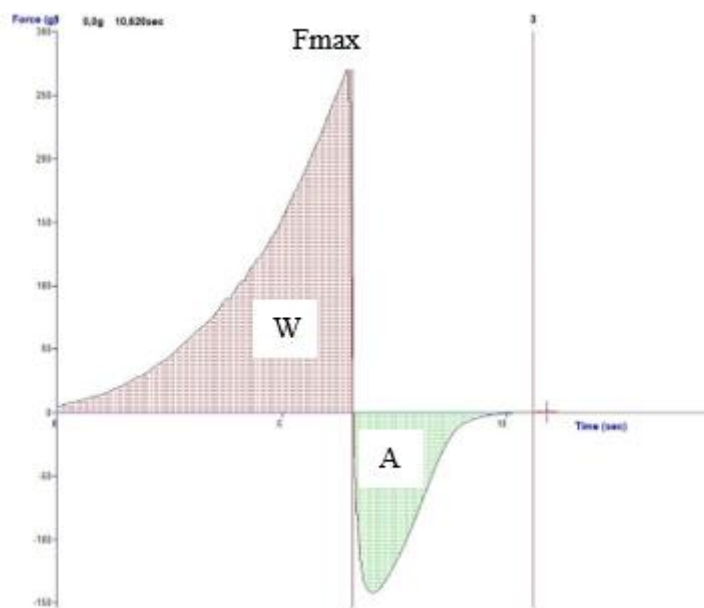
A minták állományának mérését a Stable Micro System TA.XT 2 szerkezetvizsgáló készülékkel végeztem el (13. ábra).



12. ábra: Stable Micro System TA.XT 2 állománymérő készülék

A készülék terhelőoszlopán keresztfej mozog felfelé, illetve lefelé állandó sebességgel. A keresztfejben egy erőmérő cella található. A keresztfejre a vizsgálni kívánt anyagtól és a vizsgálati céltól függően különböző fejek rögzíthetők. Ezekkel lehet a különböző igénybevételeket (nyomó, nyíró, szűrő, vágó) modellezni. A vizsgálandó anyag a mikro- és makro szerkezetének megfelelően bizonyos erővel ellenáll az igénybevételnek. A fellépő erők a műszerhez csatlakoztatott számítógép segítségével rögzíthetők. A mérések elvégzéséhez minden esetben a mintákat azonos körülmények között (szobahőmérsékleten, lezárt mintatartóban) tároltam.

A mérések előtt a műszert kalibráltam egy 2kg-os súly segítségével. A méréshez a spreadeknél alkalmazott 45°-os kúp mérőfejet alkalmaztam, melynek kiindulási pozícióját kalibráltam a mintatartóhoz képest, így minden mérés során azonos magasságból érkezett a fej a mintába, mely 10 mm volt. A méréshez a mérőfej haladási sebessége a minták elérésig $2\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$ volt, a minta felületének érzékelését követően $1\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$ sebességgel halad a fej a mintába egészen 80%-os behatolásig, majd innen ugyan ezzel a sebességgel vissza a kiindulási pozícióba. A kúpos mintatartót minden esetben szintig töltöttem és elegyenlítettem a minta felületét. A méréseket szobahőmérsékleten ($\sim 25^\circ\text{C}$) végeztem el, közvetlen a mintabetöltést követően. Ezzel a penetrometriás méréssel közvetlenül mérhető a behatoláskor mért maximális erő (F_{max}), a behatoláskor végzett munka (W) és a minták adhéziós ereje (A) (14. ábra). Ezek számítását a Texture Expert program segítségével végeztem el. Mindegyik mintánál 10 párhuzamos mérést végeztem.



14. ábra: Penetrometriás görbe jellemző lefutása spread-ek vizsgálatánál
(F_{max} : maximális erő, W : összenyomáshoz szükséges munka, A : adhéziós erő)

4.6 Termoanalitikai vizsgálatok

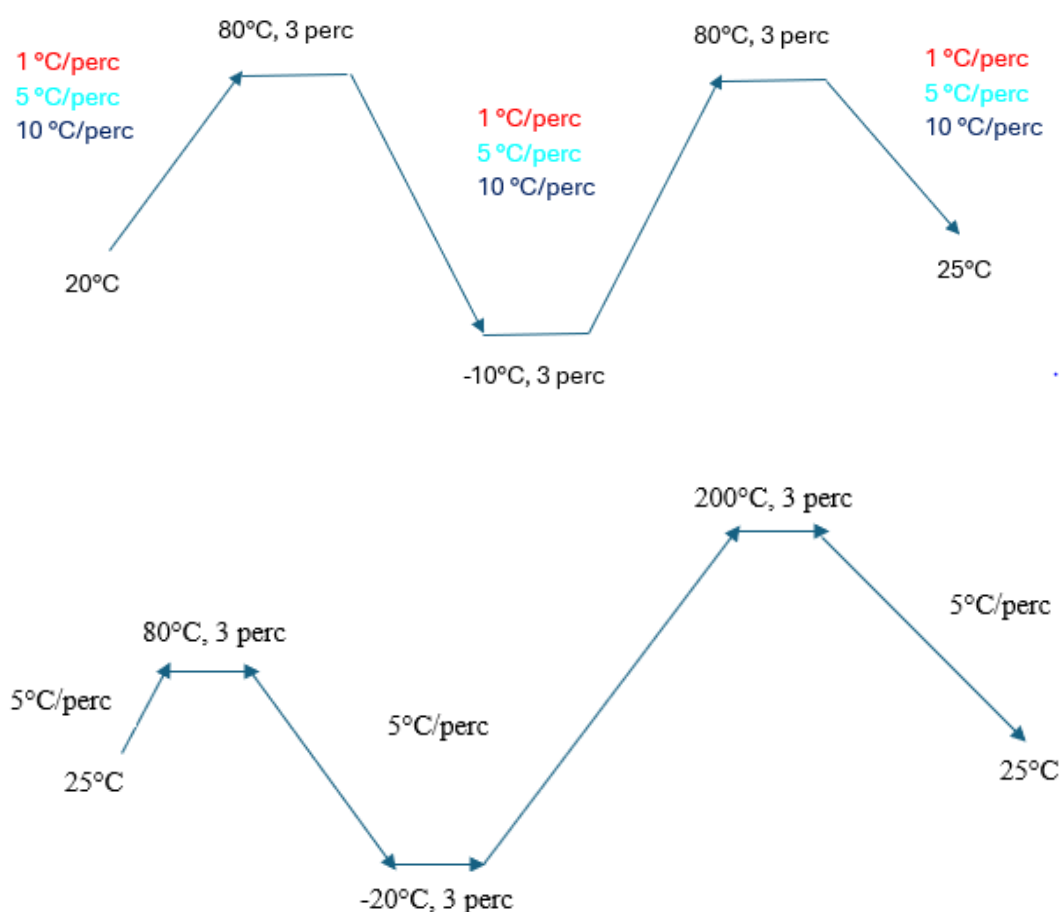
A minták kalorimetriás vizsgálatát NETZSCH DSC 3500 mikrokaloriméterrel végeztem (15. ábra).



15. ábra: Netzsch DSC 3500 mikrokaloriméter

A differenciális pásztázó kaloriméter (DSC) alkalmas az anyagok termikus viselkedésének vizsgálatára. A mérés során a referencia és a mérendő minta hőkapacitásának különbsége mérhető lineárisan növekvő hőmérséklet értékek mellett az idő függvényében. Az eredményekből megállapítható a fázisátalakulásokhoz tartozó hőmérséklet értékek (olvadás, kristályosodás). A vizsgálat előnye, hogy gyors és roncsolás mentes mérést tesz lehetővé. A mérés során mintánként 10-15 mg-ot mértem be 100 μ l-es alumínium küvettába analitikai mérleg segítségével. A kontroll

zsírok vizsgálatánál referenciának üres mintatartót használtam, a keverékek vizsgálatához pedig a felhasznált tiszta zsírt. A méréseket nitrogén gáz jelenlétében végeztem el. A vizsgálatokat először előkísérleteket végeztem 1-5-10°C/min sebességgel. A mintákat 80°C-ra felfűtöttem a zsírok teljes olvadásának elérése érdekében. Ezután -10°C-ra való hűtés következett majd egy újabb felfűtés 80°C-ra, annak érdekében, hogy a szilárdulási és olvadási tulajdonságok vizsgálatát is el tudjam végezni. A program végén a mintákat szobahőmérsékletig hűtöttem a könnyebb eltávolítás érdekében (16. ábra). Ezen előkísérletek alapján meghatároztam a mérési protokollt, melynél minden esetben 5°C/min sebességgel mértem a mintákat és a második felfűtésnél 200°C-ig hevítettem, annak érdekében, hogy minden szénhidrát elroncsolódjon (16. ábra). A kiértékelést a Proteus Analyses program segítségével végeztem el. Rögzítettem a hőmérséklet függvényében a DSC értékeket és a program segítségével meghatároztam a kristályosodás és olvadás kezdeti és vég hőmérsékletét (Onset, End) a csúcshőmérsékleteket (Peak) és az entalpia (Area) értékeket. Minden minta esetén 5 párhuzamos mérést végeztem.



16. ábra: DSC mérés hőmérséklet-vezetési programja

a) előkísérletek; b) mérési protokoll

4.7 Statisztikai kiértékelés

A mérések esetében a párhuzamos mérésekhez átlagot és szórás számoltam. Majd a statisztikai kiértékelést az IBM SPSS Statistic 27 program segítségével végeztem el. A minták összehasonlításához MANOVA-t és ANOVA-t használtam. Abban az esetben, ha ezek szignifikáns különbséget mutattak, post hoc tesztet alkalmaztam. Mivel elsősorban a páronkénti összehasonlítás volt a célom, ezért a további kiértékelést a Tukey post hoc teszttel végeztem el. Ennek segítségével megállapítottam, hogy a tiszta zsíros, illetve a zsír-szénhidrát keverékek mért eredményei között van-e szignifikáns különbség.

Annak elemzésére, hogy a szénhidrát lánchossza vagy a szemcsemérete mutat-e magasabb összefüggést a kapott eredmények között, Pearson féle korrelációi elemzést végeztem. Valamint a kapott eredmények komplexebb kiértékelésére lineáris diszkriminancia analízist végeztem, vizsgálva, hogy a csoportok minden esetben elkülönülnek-e egymástól, azaz a minták különböznek-e a vizsgált paraméterek alapján.

5. Eredmények és azok értékelése

5.1 Zsírsavösszetétel meghatározás

A kísérletbe bevont zsiradékok pontos jellemzése és feltárása érdekében első lépésben zsírsavösszetétel meghatározást végeztem, amelynek eredményét a 8. táblázat foglalja össze.

8. táblázat: A kísérletbe vont zsírok zsírsavösszetétele

	Pálmazsír	Tejzsír	Kókuszzsír
C4:0		1,7	
C6:0		1,4	0,4
C8:0	0,0	1,0	6,8
C10:0	0,0	2,6	5,7
C10:1		0,3	
C12:0	0,2	3,4	46,8
C13:0		0,1	
C14:0	1,0	11,5	19,1
C14:1		1,0	
C15:0	0,1	1,2	
C16:0	42,8	34,0	9,6
C16:1	0,2	1,9	
C17:0	0,1	0,6	
C17:1			
C18:0	4,4	10,3	2,9
C18:1 tr	0,07	1,80	
C18:1 cis	41,2	21,2	6,8
C18:2 tr	0,24	1,21	
C18:2 cis	8,8	1,5	
C19:0			1,7
C18:3 tr	0,07		0,05
C18:3 cis	0,2	0,4	
C20:0	0,4	0,2	0,1
C20:1	0,1	0,1	
C22:0	0,1	0,1	
C24:0	0,1		
C24:1			
not identified	0,01	2,64	0,13
Total %	100,00	100,00	100,00
transz	0,38	3,01	0,05
Σ SAFA	49,1	68,0	93,0
Σ MUFA	41,6	26,3	6,8
Σ PUFA	9,3	3,1	0,1

A kapott eredmények megegyeznek az irodalomban megtalálható adatokkal. A pálmazsír esetében a két legjellemzőbb zsírsav az irodalmi adatok alapján a palmitinsav (C16:0) és az olajsav (C18:1). Jellemzően ezek 40,1-47,5% valamint 36,0-44,0 között mozognak (Wahid et. al 2011). Az elvégzett mérés alapján a C16:0 42,8% míg a C18:1 zsírsav 41,2% mennyiségben van jelen. A tejszír esetében látszik, hogy széles spektrumban tartalmaz különböző zsírsavakat, de ebben az esetben is a két legnagyobb mennyiségben jelen lévő megegyezik a pálmazsírival, ezek mellett még nagyobb mennyiségben tartalmaz mirisztinsavat (C14:0). Szakirodalmi adatok alapján C16:0 28%, C18:1 24%, a C14:0 10% körüli értéken mozog (O'Donnell Megaro et al, 2011). Az általam kapott eredmények sorban 34,0%, 21,2% és 11,5%. A kókuszszsír esetében a zsírsavösszetételből is jól látszik, hogy a laurinsav (C12:0) a legjellemzőbb zsírsav. Mellette még található nagyobb mennyiségben C14:0 és C16:0. A források alapján a C14:0 C:16,8-21,0 % és a C16:0 7,5-10,2% (Codex Alimentarius). Az általam mért eredmények jelen esetben is egyeznek az irodalommal, C12:0 46,8%, C14:0 19,1%, C16:0 9,6%.

A mérés során összesítettem a telített és telítetlen zsírsavak mennyiségét is a felhasznált alapanyagoknál. A pálmazsír esetében nagyjából fele-fele arányban találhatók telített (SAFA) és telítetlen zsírsavak (MUFA, PUFA). A telítetlen zsírsavak közül az egyszeresen telítetlenek (MUFA) vannak jelentős mennyiségben. A tejszír és a kókuszszsír esetében már ez az arány jobban eltolódik a telített zsírsavak irányába. A tejszírnál a zsírsavösszetételben 68%, míg a kókuszszsír esetében 93% telített zsírsav szerepel. Az irodalomban található adatok a pálmazsír esetében a SAFA 59%, MUFA 39%, a tejszírnál 73% és 25% míg a kókuszszsírénél 91% és 7% (Soós A., 2014). Ezek alapján elmondható, hogy itt is egyezés figyelhető meg az szakirodalmi adatokkal.

5.2 Szénhidrátok szemcseméretének mérése

A zsírok mellett a felhasznált szénhidrátokat is vizsgáltam, ezek pontosabb jellemzésére szemcseméret elemzést végeztem. Mivel az irodalmi források is rámutattak, hogy ezen információk jelentősen befolyásolhatják a kész elegy tulajdonságait (West és Rousseau, 2017; Afoakwa et al. 2008a, 2008b, 2008c; Richardson et al, 2018). A mérés során rögzítettük a szemcseméret eloszlásokat, melyek diagrammjait az *II. melléklet* tartalmazza (*M58-M62. ábra*). A mért adatokból kinyertük a legkisebb, legnagyobb szemcseméretet és mediánt (*9. táblázat*).

9. táblázat: A kísérletbe vont szénhidrátok szemcseméretének jellemzése

Minta	X ₁₀ -legkisebb mért szemcseméret [μm]	X ₉₀ -legnagyobb szemcseméret [μm]	VMD- medián [μm]
Kristálycukor	665,84 $\pm$ 4,43	1739,89 $\pm$ 8,10	1201,20 $\pm$ 11,07
Porcukor	14,52 $\pm$ 0,23	184,13 $\pm$ 17,13	82,25 $\pm$ 8,95
Fruktóz	280,37 $\pm$ 3,19	857,32 $\pm$ 10,84	534,4 $\pm$ 6,34
Inulin	45,53 $\pm$ 0,73	161,20 $\pm$ 2,17	102,02 $\pm$ 1,28
Keményítő	10,97 $\pm$ 0,02	28,25 $\pm$ 0,65	22,28 $\pm$ 5,15

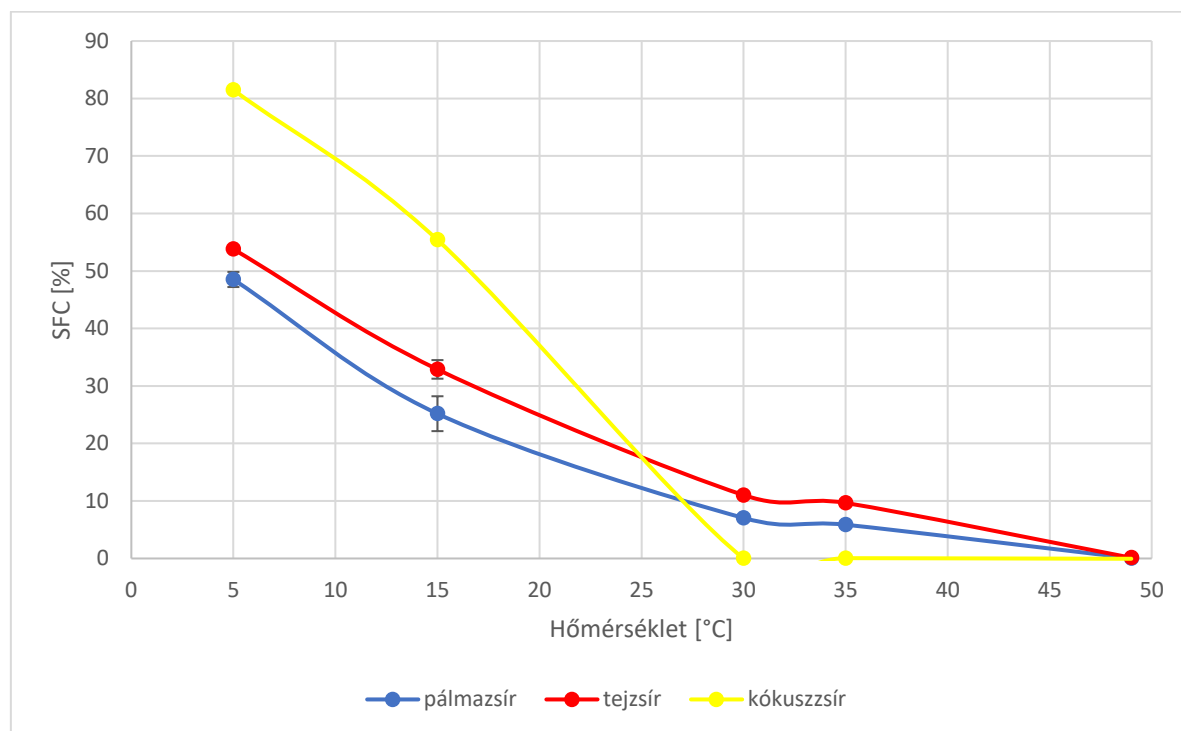
A kapott medián értékek alapján megállapítható, hogy a kristálycukor szemcsemérete volt a legnagyobb, majd csökkenő sorrendben fruktóz, inulin, porcukor és a keményítő követte. A mért értékek minden esetben az irodalomban meghatározott (Tiefenbacher, 2019; Qioa, 2022) intervallumok közé estek így a vártak megfelelő eredményeket kaptam.

5.3 Szilárd zsírtartalom meghatározás

5.3.1 Tiszta zsírok és zsír-szacharóz rendszerek SFC értékeinek meghatározás

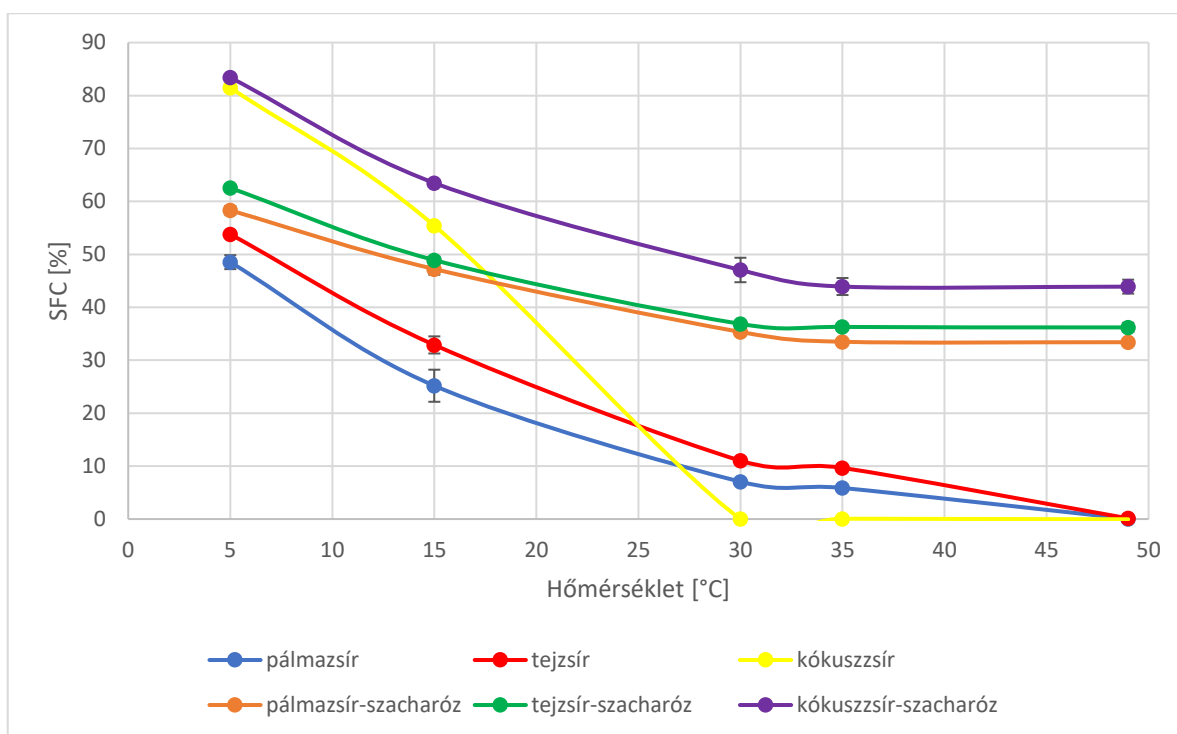
Az alapanyagok megvizsgálása után folytattam a kísérletimet a szilárd zsírtartalom mérésével. Vizsgálva, hogy a különböző szacharidok, befolyásolják-e a zsírok szilárdulását. Ezekhez a mérésekhez Bruker Minispec NRM készüléket használtam, mely segítségével különböző hőmérsékleten mértem a minták szilárd zsír tartalmát az anyagok és módszerek fejezetben ismertetettek szerint. A kapott szilárd zsír-tartalom értékek átlagát és szórását minden esetben a hőmérséklet függvényében ábrázoltam. Először a tiszta zsírokat vizsgáltam meg, majd ezt követően a lipid-szénhidrát keverékeket. A tiszta zsíroknál kapott eredményt a 17. ábra szemlélteti, melyeknél itt is az irodalmi adatokkal megegyező eredményeket kaptam. A mért adatok alapján jól látszik, hogy 5°C-on kókuszszírnak volt a legmagasabb szilárdzsír tartalma (81,5%), amely a szűk olvadási tartományának köszönhetően meredeken csökkent az általam mért hőmérsékleti tartományban és 30°C-on az SFC érték 0%-ra csökkent és a zsír felolvadt. Irodalmi mérések során a 5-30°C-os hőmérséklet tartományban az alábbi értékeket tapasztalták a kókuszszír esetében 81,06% (5°C), 69,70% (10°C), 54,61% (15°C), 34,54% (20°C), 25,86 % (25°C) and 0,17% (30°C) (Dhaygude et. al 2018). A tejszír esetében 54% volt a kiindulási SFC értéke 5°C-on, ami ahogy az ábrán is látszik, egészen közelít a pálma 48%-os értékéhez. A mérési eredmények alapján a két zsír olvadási profilja nagyon hasonló, mindkettő széles olvadási tartománnyal rendelkezik. Az SFC értékük 45°C környékén éri el a 0%-ot. Az általam mért pálma közép frakció és az AMF irodalomban mért olvadási profillal többségében megegyezik.

Mohamed, I. (2013) munkájában a pálmazsír olvadási profiljánál a jellemző adatok: 20°C-on 42%, 30°C-on 6–9%, 35°C-on 1–3,5% és 40°C-on legfeljebb 1,5 %. Míg O'Brian (1998) a tejszír vizsgálatánál megállapította, hogy a 10°C és 20°C között gyors csökkenés figyelhető meg, amit egy mérsékelt csökkenő szakasz követ 30°C-ig, majd ismét csökkenés tapasztalható egészen 40°C-ig, amikor is a tejszír már teljesen felolvadt állapotba kerül.



13. ábra: A tiszta zsírok olvadási SFC görbéi (n=3)

A tiszta zsírok SFC értékeinek vizsgálata után, elvégeztem a kísérletet a zsír-szacharóz keverékekre is és rögzítettem szintén a hőmérséklet függvényében az SFC értékeket (18. ábra). A mérések során igyekeztem feltérképezni, hogy a szacharóz szilárd zsírtartalom befolyásoló hatása a zsír típusától függetlenül bekövetkezik-e.



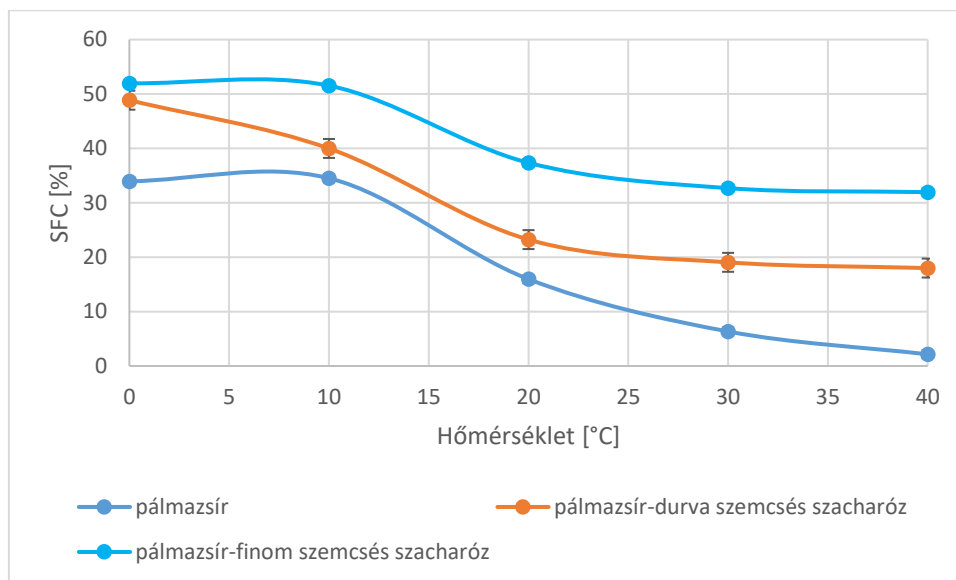
14. ábra: A tiszta zsírok és zsír-szacharóz rendszerek olvadási SFC görbéinek átlaga (n=3)

A szacharóz hatására emelkedés látható az SFC értékekben mindegyik minta esetében minden mért hőmérsékleten. Mintáknál 30°C-ig meredekebb csökkenés figyelhető meg majd azt követően egy kisebb mértékű csökkenés volt már csak detektálható. A mérés alapján megállapítható, hogy a szacharóz emelte a szilárd anyag tartalmat a zsiradék típusától függetlenül. Az irodalmi adatok esetében nem egyértelmű a szacharóz hatása a szilárdzsír tartalomra vonatkozóan. West és Rousseau (2016) kutatásában a tiszta pálmazsír esetén a kezdeti SFC nőtt, míg a pálmaolaj repceolaj keverék esetén csökkent a szacharóz hozzáadásának hatására. Így a tiszta zsírok esetén megállapítható, hogy a szacharóz a szilárd anyag tartalom növekedését okozza.

5.3.2 Különböző szemcseméretű szacharóz-pálmazsír rendszerek SFC értékeinek meghatározása

5.3.2.1 Statikus SFC mérés

A kapott eredmények is igazolják, hogy a szacharóz hozzáadása a zsiradékhoz befolyásolja annak olvadási paramétereit. Ezért további vizsgálatokat végeztem, amelyek során arra kerestem a választ, hogy a szacharóz molekulák eltérő szemcseméret eseté azonos vagy különböző szilárd anyag tartalmat eredményeznek. Hiszen az irodalmi források (West és Rousseau, 2017) szerint a szemcseméret meghatározó tényező lehet a zsír-szacharóz rendszerek tulajdonságában. Ennek vizsgálatára pálmazsír-durva szemcsés szacharóz és pálmazsír-finom szemcsés szacharóz keverékét használtam. Az így kapott eredményeket a 19. ábra szemlélteti.

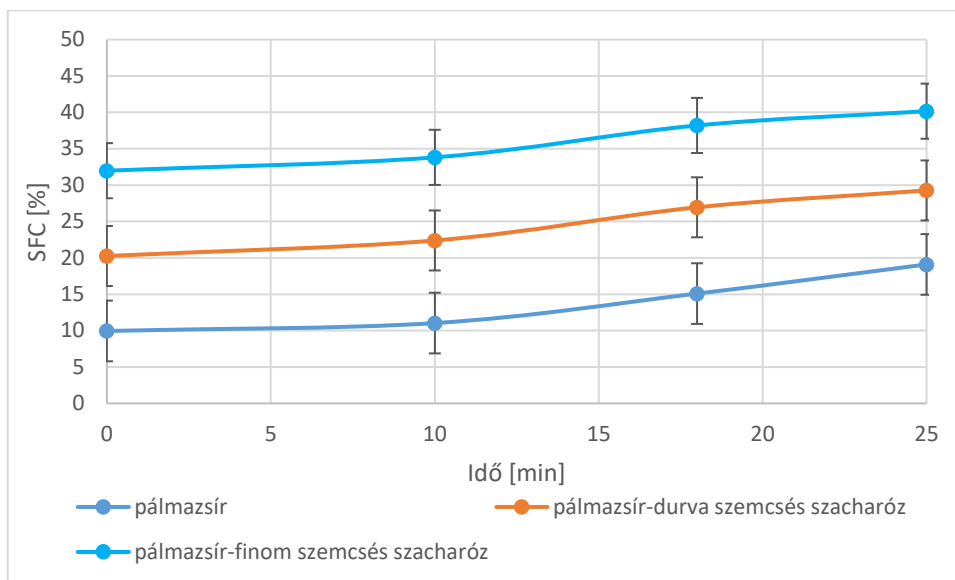


15. ábra: Pálmazsír-szacharóz oladási SFC görbéinek átlagai a különböző szemcseméret függvényében (n=3)

A mérések során először az oladási tulajdonságokat vizsgáltam meg. Jól látszik, hogy ebben az esetben is a szénhidrát hozzáadásának hatására növekedett az SFC érték. A durva szemcsék esetén a kiindulási SFC 49% volt a finom szemcsék esetén 52%. Jól látható, hogy a kezdeti szilárd anyag tartalom a finom szemcsék esetében volt magasabb. A különböző szemcseméretű szacharóz esetében a görbék lefutása hasonlóan alakul. Mindegyik mérési pont esetén a finom szemcsés szacharózzal készült minta adta a legmagasabb szilárd anyag tartalom százalékot. Így 40°C-on a durva szemcsés minta értéke 18% lett, míg a finom szemcsés minta értéke 32%. Ezek alapján megállapítható, hogy a szemcseméret befolyásolja a zsiradékok oladási tulajdonságait, minél kisebb a szemcseméret, az SFC annál nagyobb.

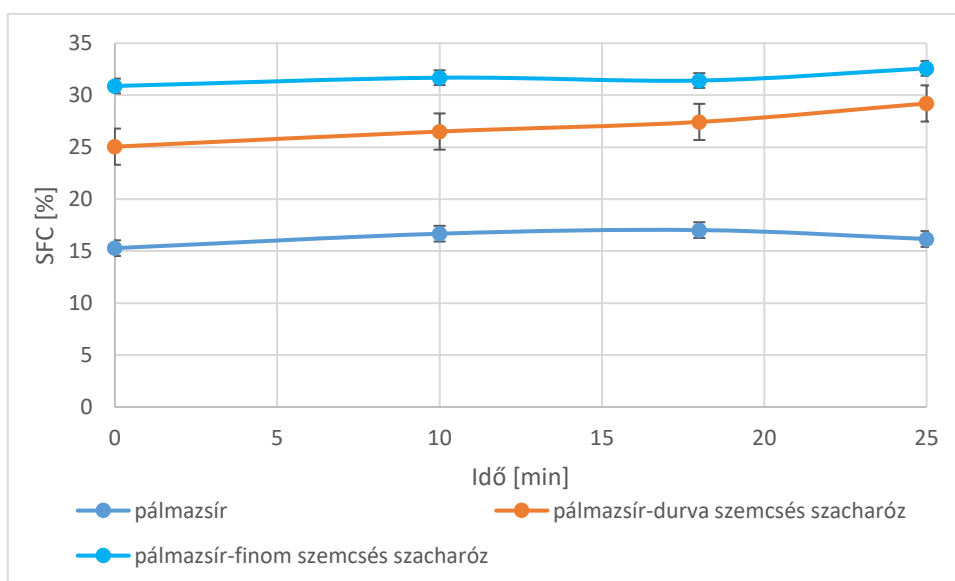
5.3.2.2 Dinamikus SFC mérés

Ezt követően megvizsgáltam a szilárdulásra gyakorolt hatásai is a különböző szemcseméretű cukornak. A vizsgálatot 3 hőmérsékleten végeztem el, 5, 15 és 25°C-on. Az így kapott idő-SFC görbéket a 20-21-22. ábrák szemlélteti.



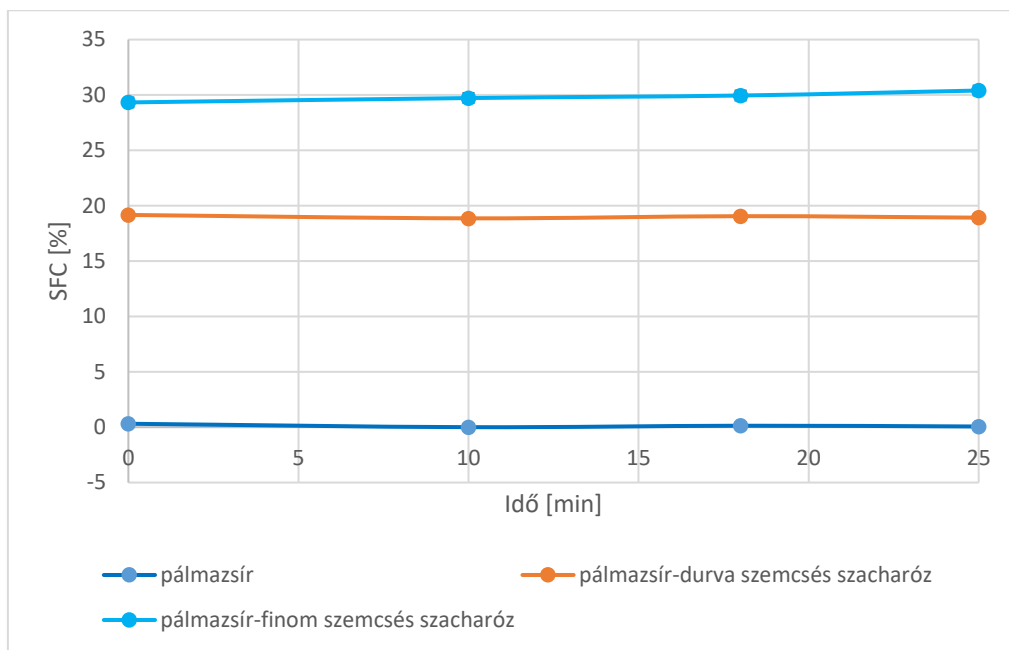
16. ábra: A pálmazsír-szacharóz szilárdulási SFC görbéinek átlaga a szemcseméret függvényében 5°C-on (n=3)

Az 5°C-on mért szilárdulás esetén, jól látszik, hogy az időbeli lefolyásában az SFC érték mindegyik minta esetében közel azonos mértékben növekedett. A pálmazsír esetén 9,8%-ról 19%-ra, a durva szemcsés minta esetén 20%-ról 29%-ra, a finom szemcsés minta esetén 32%-ról 40%-ra.



17. ábra: A pálmazsír-szacharóz szilárdulási SFC görbéinek átlaga a szemcseméret függvényében 15°C-on (n=3)

A mérést 15°C-on is elvégeztem, mely során az 5°C-os méréshez hasonló eredményeket kaptam. Ebben az esetben a vártnak megfelelően kisebb változás figyelhető meg a szilárd anyag tartalomban. A pálmazsír esetében 16%, a durva szemcsés szacharóznál 29%, a finom szemcsés szacharóznál 32,6% volt a végső SFC érték.



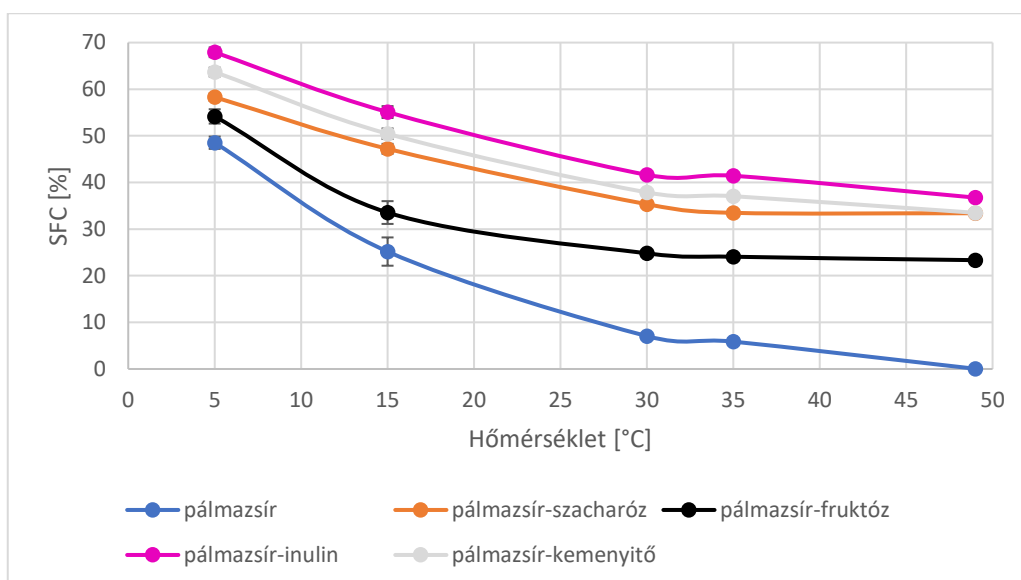
18. ábra: A pálmazsír-szacharóz szilárdulási SFC görbéinek átlaga a szemcseméret függvényében 25°C-on (n=3)

Az utolsó mérési hőmérséklet a 25°C volt. Ennél az ábrán láthatóan (22. ábra) nem következett be szilárd anyag tartalom változás a mérési időintervallum alatt. A pálmazsír esetében a zsír felolvadva maradt, míg a durva szemcsés mintában 19% volt a szilárd anyag mennyisége a finom szemcsésben pedig 30%. Az ábrák alapján jól látszik, hogy minden esetben a szilárdulás mérésekor is a finom szemcsés szacharózzal kevert pálmazsír értékei voltak a legmagasabbak.

A kapott eredmények igazolják, hogy a szemcseméret befolyásolja, mind az olvadását mind a szilárdulását a felhasznált zsiradék. Összességében a szemcseméret csökkentése növeli az SFC értéket. Az irodalmi kutatások szerint ez annak köszönhető, hogy a nagyobb szemcseméretű szacharóz részecskék a simább felület miatt kevesebb aktív helyet biztosítanak, így kevésbé segítik az újra kristályosodást (Bricknell és Hartel, 1998).

5.3.3 Különböző szénhidrát-pálmazsír rendszerek SFC értékeinek meghatározása

Ezt követően a pálmazsír-szénhidrát keverékek SFC értékeit vizsgáltam meg, hogy feltárjam azt, hogy a különböző szénlánc hosszúságú szénhidrátok hogyan befolyásolják a tiszta zsír szilárd zsirtartalom értékeit és ezáltal annak oladási tulajdonságait. A kísérlet során vizsgáltam, hogy az eltérő szénhidrátok milyen irányban befolyásolják az SFC értékek alakulását. A mérés során kapott eredményeket a 23. ábra mutatja be, ahol ábrázoltam a kiindulási tiszta pálma közép frakció, a fruktózzal, szacharózzal, inulinnal és keményítővel készült minták SFC értékeinek változását a hőmérsékletváltozás hatására.



19. ábra: A palmazsír-szénhidrát rendszerek oladási SFC görbéinek átlaga ($n=3$)

A mérési eredmények alapján jól látszik, hogy mindegyik szénhidrát esetében növekedett a szilárd anyag tartalom a csak palmazsírt tartalmazó mintához képest. Az 5°C-on mért kiindulási SFC értékeknél az inulinnal készült minta mutatta a legmagasabb értéket, ebben az esetben 68%-volt a kezdeti szilárd anyag tartalom érték. Majd ezt követte a keményítő mintája (64%), utána a szacharózzal (58%) készült végül a fruktózos (54%). A hőmérséklet emelésével és az oladás megkezdésével a kapott görbék alakja hasonló. Azonban különböző mértékű csökkentést mutatnak. Míg a tiszta zsír esetében nagyobb mértékű csökkenés figyelhető meg, a közel 50°C-on mért utolsó mérési pont esetében jól látszik, hogy a minta felolvadt és az SFC értéke 0% lett. Addig a szénhidrátos minták esetében maradt még szilárd anyag a rendszerben. A fruktóznál 25% szilárd anyag maradt míg a másik három mintánál 33-37% között mozgott az érték.

A fenti eredmények alapján jól látszik, hogy a szénhidrátok hozzáadása a rendszerhez befolyásolja a szilárd anyag tartalom alakulását, ezáltal a minták oladási tulajdonságát és ennek köszönhetően az ipari technológiában befolyásolják a gyártási paramétereket. Valamint a kapott adatok alapján elmondható, hogy a különböző szénhidrátok hozzáadása az alacsonyabb hőmérséklet esetében eltérő SFC értékeket eredményez.

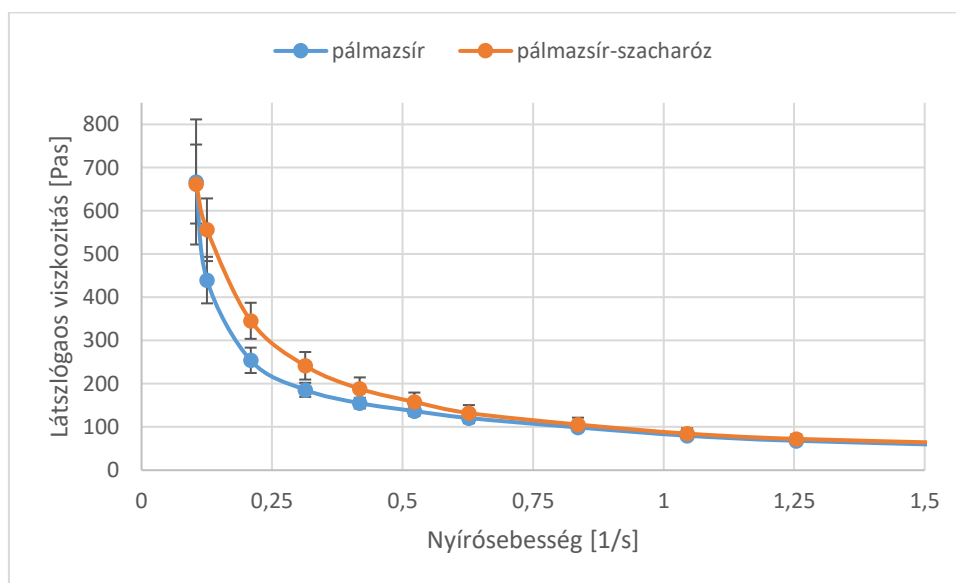
A teljes SFC görbék statisztikai elemzését elvégezve az ANOVA alapján megállapítható (M31. táblázat), hogy van olyan minta pár, mely között szignifikáns különbség van ($F(4;20) = 3,879$, $p=0,017$). A Tukey teszt segítségével elvégzett páronkénti összehasonlítás alapján (M32. táblázat) a tiszta palmazsír SFC értékei szignifikánsan eltérnek a keményítő és inulinos minta értékeitől ($p<0,05$). Azonban a többi mintapár között nincs szignifikáns eltérés. Az egyes pontokon mért SFC értékeket külön vizsgálva viszont elmondható, hogy mindegyik szignifikánsan különbözik egymástól (M33. táblázat).

Az eredmények elemzése során kerestem arra is a választ, hogy a szemcseméret vagy a szénlánc hossza befolyásolja-e jobban a szilárd zsírtartalom értékeit. Ennek vizsgálatára Pearson féle korreláció analízist végeztem, mely esetében a szemcseméretnél -0,35 míg a lánc hosszánál 0,55 volt a korrelációs együttható (M34. táblázat). Az együttható abszolút értéke minél közelebb esik az egyhez, annál szorosabb a kapcsolat a két érték között. Ezek alapján megállapítható, hogy bár a cukornál megfigyeltek szerint a szemcseméret befolyásolja az SFC értékeit, ebben az esetben még sem az volt a fő befolyásoló tényező, hanem a szénhidrát lánc hossza.

5.4 Viszkozitásmérés

5.4.1 Tiszta zsírok és zsír-szacharóz rendszerek viszkozitásának meghatározása

A minták további elemzésére rotációs viszkozitás mérést végeztem. Vizsgáltam a minták látszólagos viszkozitás értékének változását a növekvő nyírási sebesség mellett. Diagrammon ábrázoltam a mért átlag értékeket és a szórást. Majd az átlag értékekből meghatároztam a nyírófeszültséget, melyet szintén a nyírósebesség függvényében ábrázoltam. Ezt követően a mért görbék teljes kiértékelésére pedig modellillesztést végeztem. Minden esetben vizsgáltam, hogy hozzáadott szénhidrát minősége hogyan befolyásolja a mért értékeket. A vizsgált minták az irodalmi kutatások alapján várva minden esetben nyírásra vékonyodó tulajdonságot mutattak.



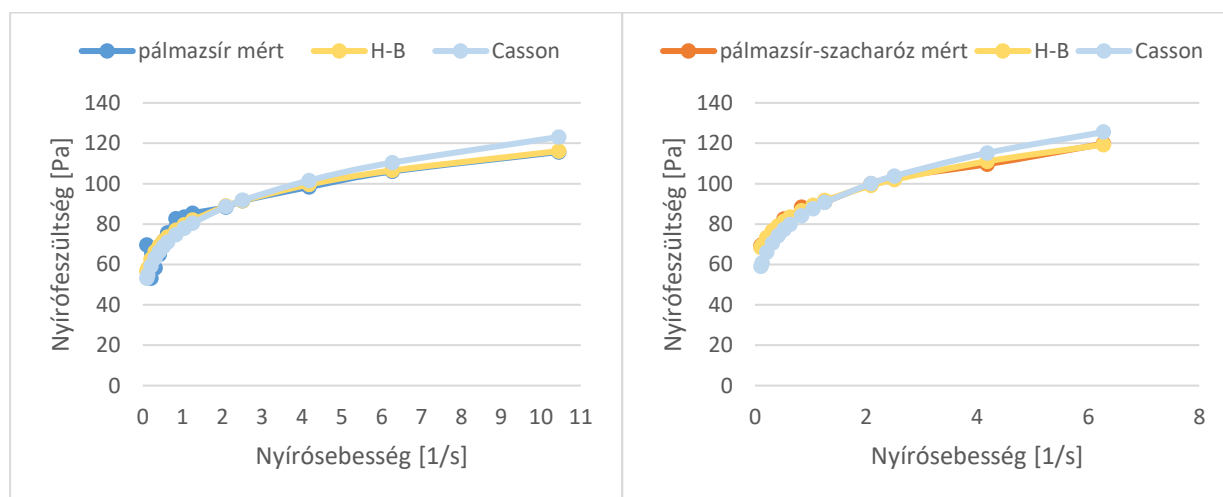
20. ábra: Pálmazsír és Pálmazsír-szacharóz minták látszólagos viszkozitásának átlaga ($n=3$, $T=30^{\circ}\text{C}$)

A különböző nyírósebességnél mért pálmazsír és pálmazsír-szacharóz keverék minták értékeit a 24. ábra ábrázolja. A látszólagos viszkozitás értékek csökkentek mindkét esetben a nyírósebesség növelésével. A szacharózzal készült minták értékei többségében magasabb látszólagos viszkozitás értéket mutattak. Korábbi kutatások kimutatták, hogy a szacharóz jelenléte növeli az olaj viszkozitását, és csökkentheti a folyékony állapotú triacilgliceridek diffúziós képességét a növekvő zsírkristályok felszíne felé (Maleky and Marangoni, 2011; Du et al., 2014, West, 2018).

Valamint West és Rousseau (2016-os) kutatásában kimutatta oszcillációs viszkozitás mérése során, hogy a szacharóz hozzáadása növeli a tárolási (G') és a veszteségi modulus (G'') értékeket, ez feltehetően a merevebb kristályszerkezet következménye. Az általam mért eredmények így megfelelnek a szakirodalomban ismertetteknek.

Az átlagértékekből kiszámoltam a nyírófeszültség értékeket és a nyírósebesség függvényében ábrázoltam azokat. A szakirodalomban található leírások alapján az ilyen krémek folyáshatárral rendelkeznek, amit az általam elvégzett mérések is igazolnak. Így elvégezhető a Herschel-Bulkey és a Casson modell illesztése. Az így kapott görbéket ábrázoltam a 25. ábra.

A kapott nyírófeszültség értékek itt is a pálmazsír-szacharóz minta esetében voltak magasabbak. Ahogy a görbéken is látszik mindkét modell illeszkedése hasonló, a determinációs együttható (R^2) 0,91 mindkét esetben. A H-B modell esetében a becslési hiba (RMSE) 5,26 Pa és a hozzá tartozó hibaszázalék (RMSE%) 6,58%, a Casson modellnél 6,14 Pa és 7,77%. Ez alapján a Herschel-Bulkey modell illesztés volt pontosabb a tiszta pálmazsíros minta esetében. A szacharózzal készült mintánál a választott modellek pontosabb illeszkedést mutatnak, az R^2 mindkét modell esetében 0,99 volt. RMSE 0,96 Pa RMSE% 1,1 % volt a HB modellnél, a Casson modell esetében az értékek 5,29 Pa és 6,2%. Így elmondható, hogy a szacharózzal készült minta esetében is a Herschel-Bulkey modell illesztése volt pontosabb. A modellek által kapott paramétereket a 10. táblázat foglalja össze.

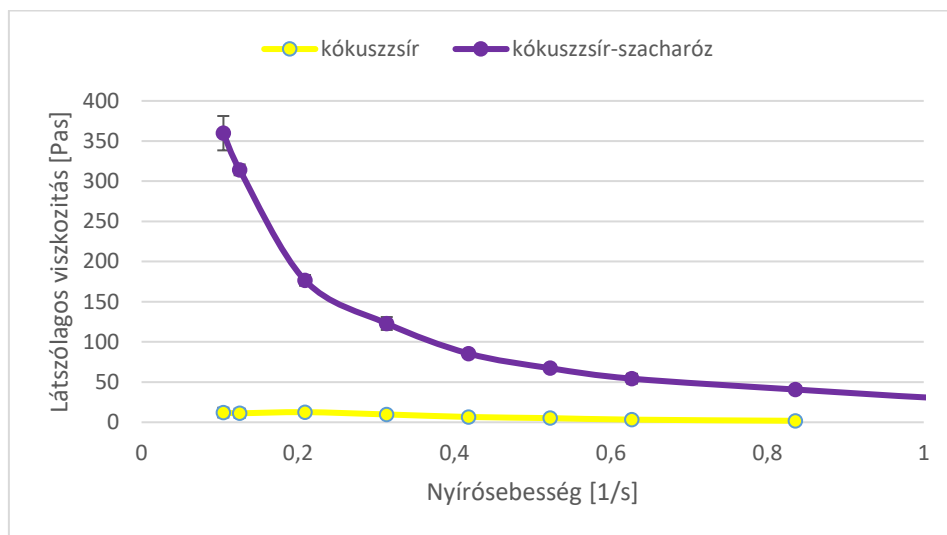


21. ábra: Pálmazsír (bal) és Pálmazsír-szacharóz (jobb) minták nyírófeszültség értékei és az illesztett Herschel-Bulkey (H-B) és Casson modell

10. táblázat: Pálmazsír és Pálmazsír-szacharóz minták Herschel-Bulkey (H-B) és Casson modell paraméterei

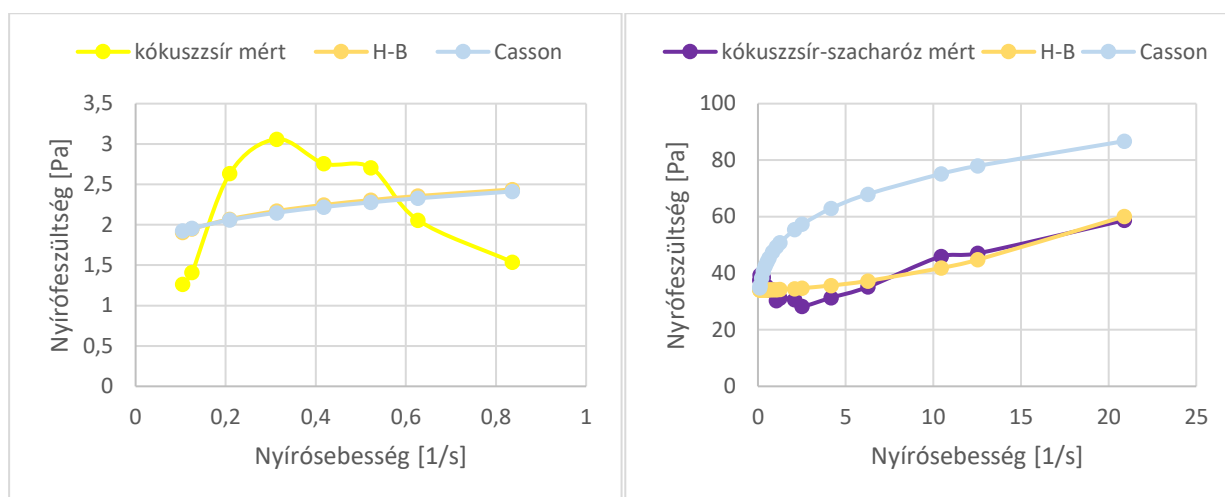
H-B	tau0	K	n	Casson	tau0	eta	n
pálmazsír	17,68	61,43	0,20	pálmazsír	10,01	1,91E-06	10,24
pálmazsír-szacharóz	47,35	41,44	0,30	pálmazsír-szacharóz	10,04	2,13E-06	10,44

A pálmazsír után elvégeztem a másik két zsíradék vizsgálatát. A kókuszzsír esetében is nyírásra vékonyodó tulajdonságok figyelhetők meg mindkét mintánál. A pálmazsírhez hasonlóan szintén a szacharózzal készült minta látszólagos viszkozitás értékei voltak magasabbak a tiszta zsírhoz viszonyítva (26. ábra). A tiszta zsír látszólagos viszkozitás értékei jóval alacsonyabbak voltak a szacharózos mintához viszonyítva.



22. ábra: Kókuszzsír és Kókuszzsír-szacharóz minták látszólagos viszkozitásának átlaga ($n=3$, $T=30^{\circ}\text{C}$)

A számolt átlag értékekből meghatároztam nyírófeszültség értékeket és elvégeztem a pálmazsírnál is alkalmazott modell illesztést (27. ábra).



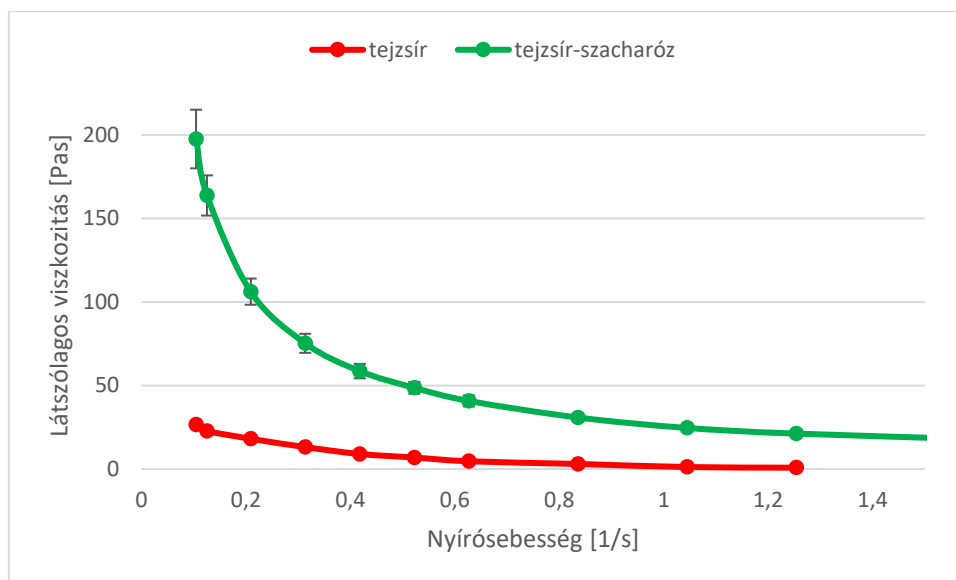
23. ábra: Kókuszszír (bal) és Kókuszszír szacharóz (jobb) minták nyírófeszültség értékei és az illesztett Herschel-Bulkey (H-B) és Casson modell

A nyírófeszültség értékek a kókuszszír-szacharóz mintánál voltak magasabbak, tehát jelen esetben is a szacharóz hozzáadása növelte a nyírófeszültséget. Ennél a mintánál a szakirodalom szerint választott modellek illesztése azonban már nem bizonyult annyira megfelelőnek. Azonban a kutatásom során nem az egyes mintákhoz legjobban illeszkedő modell megtalálása volt a cél, hanem a pálmazsír esetében alkalmazott modellek megfigyelése eltérő zsírtípusnál. A 27. ábrán is látszik, hogy a tiszta zsír esetében nem illeszkednek a görbék a mért értékekhez. Szakirodalomban hasonló nyírófeszültség görbét kókuszszírra vonatkozóan még nem ismertettek, csak tejzsír esetében írták le (Glibowski et al., 2008). A determinációs együttható 0,09 és 0,07 volt, a becslési hiba 0,63 Pa volt mindkét esetben a hozzá tartozó hibaszázalék 28,7% és 29,3%. A szacharózzal készült minta esetében a Casson modell szintén nem mutatott pontos illeszkedést, az R^2 0,33, RMSE 20,77 Pa, RMSE % 38,7% volt. A Herschel-Bulkey modell esetében az illeszkedések jobbnak bizonyultak a Casson modellhez képest, R^2 0,78, RMSE 3,43 Pa, RMSE % 9,2% volt. A két modellhez számolt paramétereket a 11. táblázat foglalja össze.

11. táblázat: Kókuszszír és Kókuszszír-szacharóz minták Herschel-Bulkey (H-B) és Casson modell paraméterei

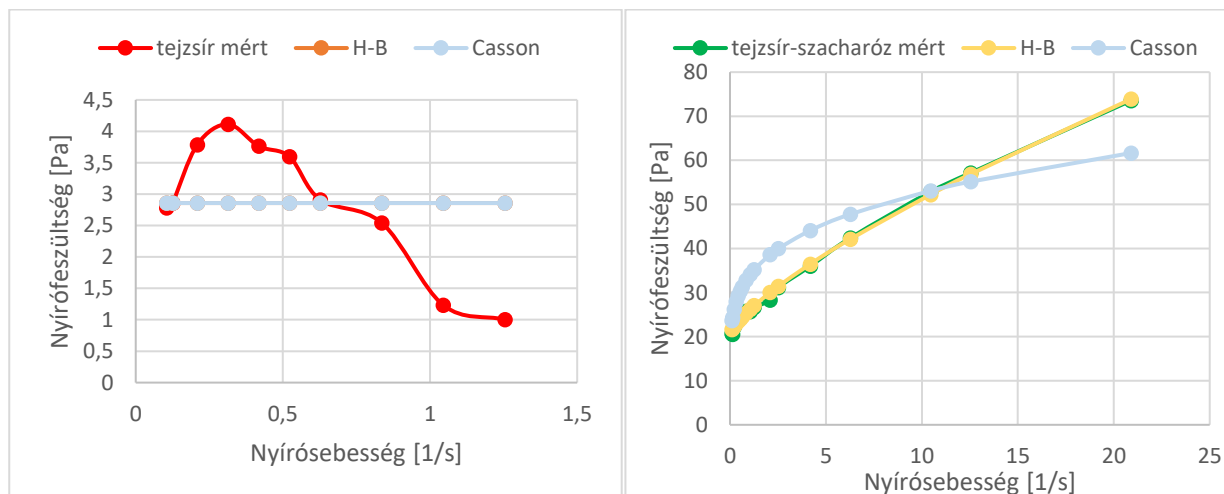
H-B	tau0	K	n	Casson	tau0	eta	n
kókuszszír	0	2,49	0,12	kókuszszír	1,1	1,79E-05	5,81
kókuszszír-szacharóz	34,08	0,13	1,74	kókuszszír-szacharóz	8,0	7,63E-07	10,0

A tejszír esetében is elvégeztem a kiértékelést. A nyírásra vékonyodó tulajdonság (azaz a látszólagos viszkozitás csökkenése) itt is jól megfigyelhető. A tejszír-szacharóz keverék eredményezte jelen esetben is a magasabb látszólagos viszkozitás értékeket (28. ábra).



24. ábra: Tejszír és Tejszír-szacharóz minták látszólagos viszkozitásának átlaga ($n=3$, $T=30^{\circ}\text{C}$)

Ahogy látszólagos viszkozitás értékeknél, úgy a nyírófeszültség esetében is hasonló eredményeket kaptam a kókuszszírhoz hasonlóan. A nyírófeszültség értékek a szacharózzal készült mintánál voltak magasabbak (29. ábra).



25. ábra: Tejszír (bal) és Tejszír-szacharóz (jobb) minták nyírófeszültség értékei és az illesztett Herschel-Bulkey (H-B) és Casson modell

A modell illesztés során a kókuszszírhoz hasonló eredményeket kaptam a tejszírnál is. A tiszta zsír esetében a választott modellek illeszkedés nem pontos, mindkettőnél az R^2 0,76, a becslési hiba 1,0 Pa, valamint a becslési hibaszázalék 34,97%, ami nagyon magas. A tejszír és szacharóz keverékénél a többi zsiradékénál tapasztaltaknak megfelelően a Herschel-Bulkey modell illesztése pontosabb volt, mint a Casson modellé. A determinációs együttható 0,99 és 0,91, RMSE

0,85 Pa és 6,67 Pa, RMSE% 2,6% és 17,8% volt. A modelleknél kapott paramétereket a 12. táblázat foglalja össze.

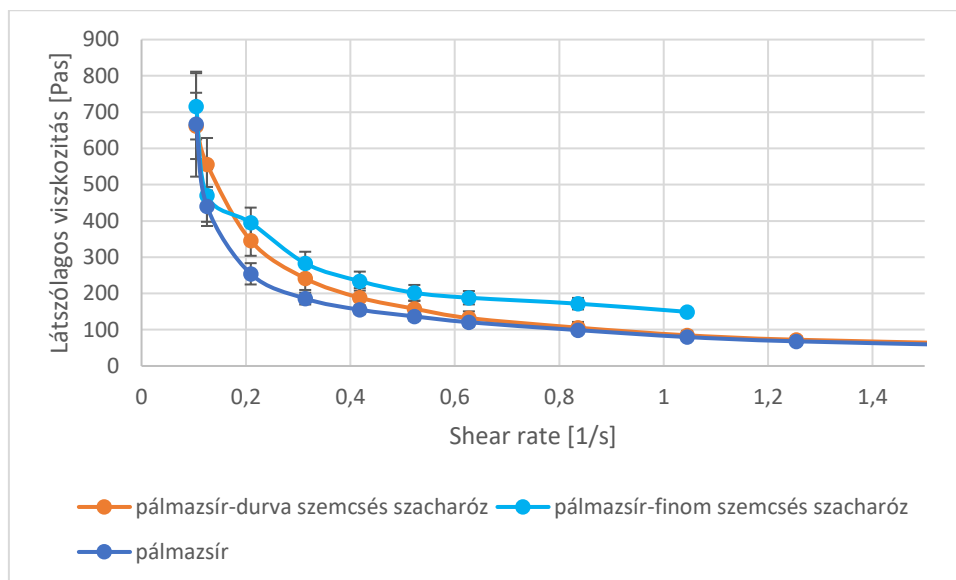
12. táblázat: Tejzsír és Tejzsír-szacharóz minták Herschel-Bulkey (H-B) és Casson modell paraméterei

H-B	tau0	K	n	Casson	tau0	eta	n
tejzsír	1,38	1,47	0	tejzsír	2,86	1,99216E-05	0,487
tejzsír-szacharóz	20,64	5,38	0,75	tejzsír-szacharóz	5,0	8,62939E-07	10,0

Az így kapott eredmények alapján elmondható, hogy mindegyik zsír esetében a szacharóz hozzáadása növelte mind a látszólagos viszkozitás mind a nyírófeszültség értékeit. A választott irodalmi modelleket többségében csokoládé és ahhoz hasonló komplex rendszereknél modellezésére használják, így nem meglepő, hogy a tiszta zsiradékok esetében többségében gyenge determinációs együtthatót kaptam, valamint magasabb becslési hibaszázalékot. A szacharózos minták esetében elmondható, hogy a mérési eredmények és számítások alapján két modell közül a Herschel-Bulkey modell tűnik alkalmasabbnak a zsír-szacharóz rendszerek modellezésére. Mivel a determinációs együttható jobban közelített az 1-hez és a hibaszázalék is kisebb volt.

5.4.2 Különböző szemcseméretű szacharóz-pálmazsír rendszerek viszkozitásának meghatározása

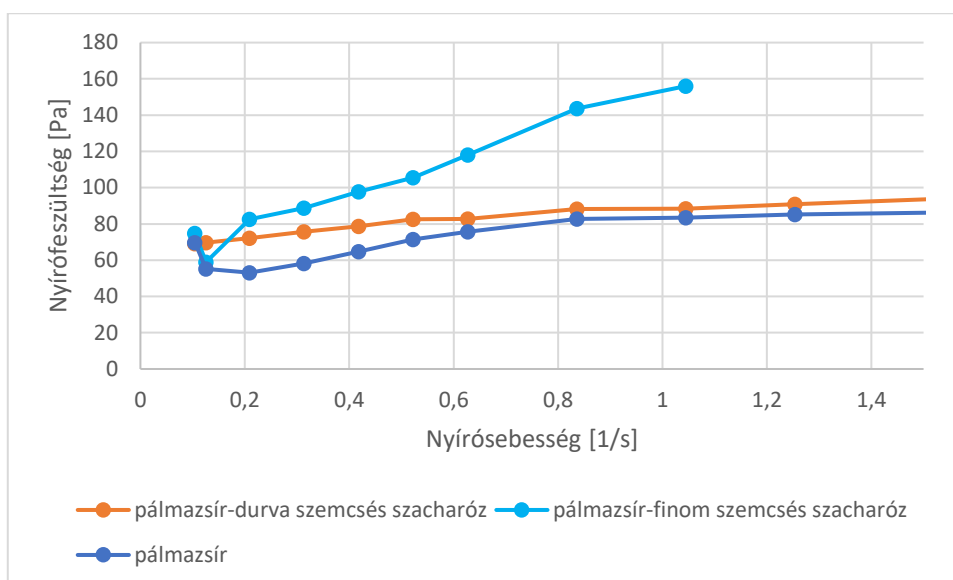
Vizsgáltam a szemcseméret hatását is a pálmazsír viszkozítására ezek alapján látható, hogy mind a finom szemcsés szacharóz, mind a durva szemcsés szacharóz hozzáadása befolyásolta a viszkozitás értékeit. A mért nyírósebességek többségénél a finom szemcsés szacharózzal készült minta látszólagos viszkozitása magasabb volt, mint a durva szemcsés szacharózzal készült minta értékei (30. ábra).



26. ábra: Pálmazsír-durva szemcsés szacharóz, Pálmazsír-finom szemcsés szacharóz és Pálmazsír minták látszólagos viszkozitásának átlaga ($n=3$, $T=30^{\circ}\text{C}$)

A minták eredményeit tovább elemeztem és a nyírósebesség függvényében ábrázoltam a nyírófeszültséget (31. ábra). A kisebb nyírósebesség értékek esetében a minták azonos értékeket mutattak, azonban 0,4 1/s felett a finom szemcsés minta értékei nagyobb mértékű növekedést mutattak a durva szemcsés mintához képest. Ezek alapján a kisebb szemcseméret hatására jobban megnő a nyírófeszültség értéke.

A mért eredmények korrelálnak az irodalmi adatokkal. Számos más kutatás során megállapították, hogy a kisebb szemcseméret magasabb viszkozitást eredményez, mert növeli a zsír fázissal való kölcsönhatást, ami növeli a folyáshatárhoz szükséges energiát (Beckett, 1994; Mongia and Ziegler, 2000; Ziegler et al., 2001; Walstra, 2003; De Graef et al., 2011; Fernandes et al., 2013). Afoakwa (2007b) szintén megállapította, hogy a szemcseméret növekedése csökkenti a látszólagos viszkozitást.



27. ábra: Pálmazsír-durva szemcsés szacharóz, Pálmazsír-finom szemcsés szacharóz és Pálmazsír minták nyírófeszültség értékei

Ezekre a mintákra is elvégeztem a modell illesztést és a kapott paramétereket 13. táblázat tartalmazza.

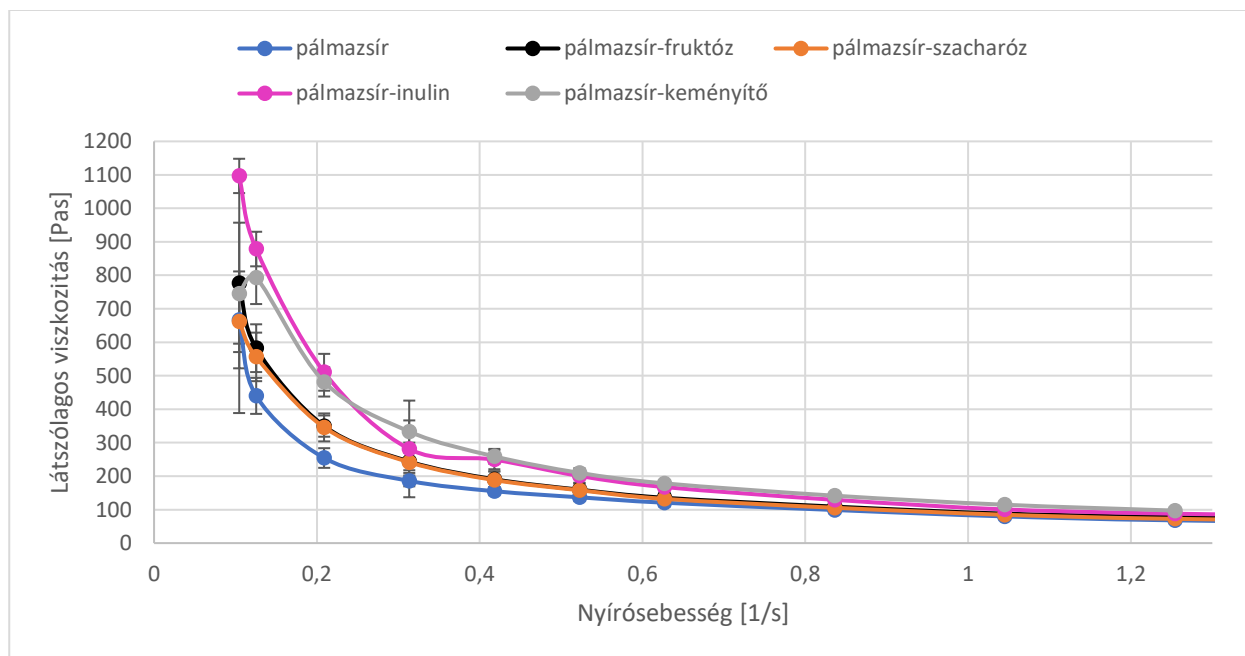
13. táblázat: Pálmazsír-durva szemcsés szacharóz, Pálmazsír-finom szemcsés szacharóz és Pálmazsír minták Herschel-Bulkey (H-B) és Casson modell paraméterei

H-B	tau0	K	n	Casson	tau0	eta	n
pálmazsír	17,68	61,43	0,20	pálmazsír	10,01	1,91E-06	10,24
pálmazsír-durva szemcsés szacharóz	47,35	41,44	0,30	pálmazsír-durva szemcsés szacharóz	10,04	2,13E-06	10,44
pálmazsír-finom szemcsés szacharóz	0,35	0,98	1,0	pálmazsír-finom szemcsés szacharóz	4,57	6,01E-06	9,51

A H-B modell esetében a determinációs együttható értéke 1 volt, a becslési hiba 0,01 Pa és a hiba százalék is 0,01% így a kapott modell illeszkedése pontos. A Casson esetében bár az R^2 0,99 volt a becslési hiba 21,5 Pa és a százalék 20,4% volt. Így megállapítható, hogy a Herschel-Bulkey modell jobban illeszkedik a finom szemcsés mintánál is, illetve, hogy a finom szemcsés szacharózzal készült minta esetében pontosabb a modell, mint a durva szemcsés szacharózzal készült mintánál.

5.4.3 Különböző szénhidrát-pálmazsír rendszerek viszkozitásának meghatározása

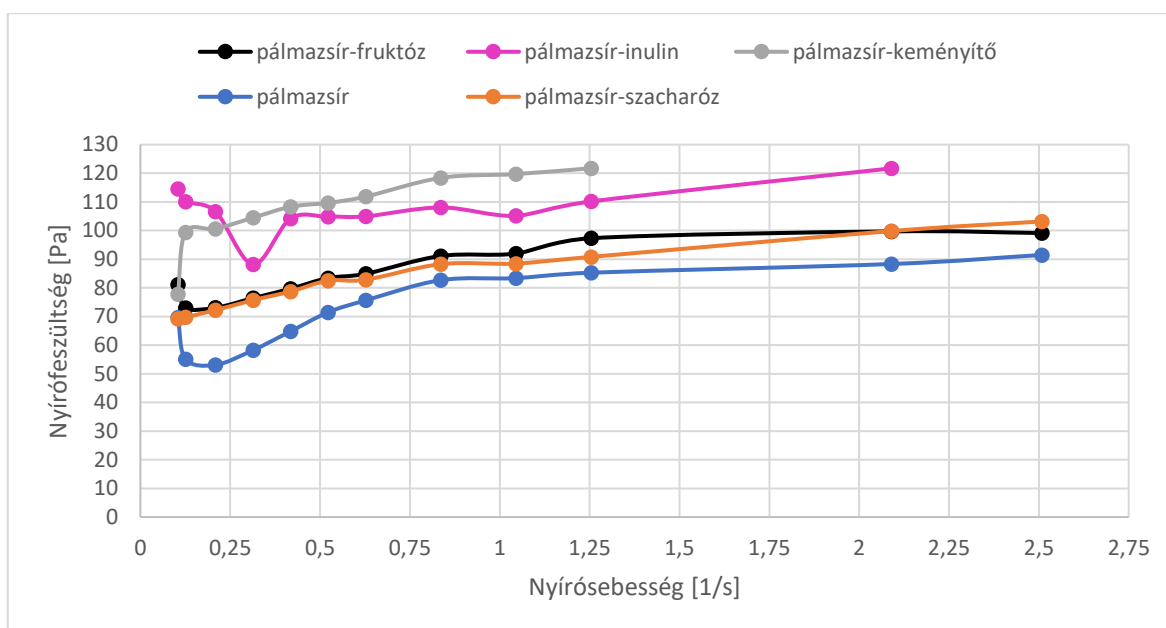
Megvizsgálva a különböző szacharidok hatását a pálmazsírra a következő eredmények adódtak. A 32. ábra nyírósebesség függvényében mutatja be a látszólagos viszkozitás értékeket. Mindegyik minta jelen esetben is nyírásra vékonyodó viselkedést mutat.



28. ábra: Pálmazsír, Pálmazsír-fruktóz, Pálmazsír-szacharóz, Pálmazsír-inulin, Pálmazsír-keményítő minták látszólagos viszkozitásának átlaga ($n=3$, $T=30^{\circ}\text{C}$)

Jól látható, hogy mindegyik mátrix esetén magasabb viszkozitást kaptunk, mint a tiszta pálmazsír értékei. Kezdetben az inulinnal készült mutatta a legmagasabb viszkozitás értékeket, azonban a nyírósebesség növekedésével az értékek csökkentek és a keményítő mintát mutatott magasabb viszkozitás értékeket. A fruktózzal és a szacharózzal készült minták értékei voltak a legközelebb a pálmazsírhoz viszonyítva. A vizsgált monoszacharid és diszacharid között nem volt jelentős eltérés viszkozitás értékekben.

A mintákhoz elkészítettem a nyírósebesség-nyírófeszültség diagramot is (33. ábra). Ebben az esetben is a viszkozitás diagrammal azonos eredményt kaptam. A legmagasabb nyírófeszültség értékekkel a keményítő mintát rendelkezett, majd ezt követte az inulinnal készült minta, valamint a fruktózzal és a szacharózzal készült. Ez utóbbi kettő hasonló lefutású. Ezek alapján megállapítható minél hosszabb a szénlánc annál nagyobb nyírófeszültség értékeket tapasztaltam. Azonban ahogy az előző kísérletemben is bemutattam a szemcseméret csökkentése növeli a viszkozitást, így jelen esetben nem kizárható, hogy a tapasztalt nyírófeszültség növekedés részben a szemcseméret csökkenés következménye.



29. ábra: Pálmazsír, Pálmazsír-fruktóz, Pálmazsír-szacharóz, Pálmazsír-inulin, Pálmazsír-keményítő minták nyírófeszültség értékei

A modell illesztés ezekre a görbékre is elvégeztem, az így kapott paramétereket a 14. táblázat foglalja magába.

14. táblázat: Pálmazsír, Pálmazsír-fruktóz, Pálmazsír-szacharóz, Pálmazsír-inulin, Pálmazsír-keményítő minták Herschel-Bulkey (H-B) és Casson modell paraméterei

H-B	tau0	K	n	Casson	tau0	eta	n
pálmazsír	17,68	61,43	0,20	pálmazsír	10,01	1,91E-06	10,24
pálmazsír-fruktóz	25	75	0,1	pálmazsír-fruktóz	12,05	1,91E-06	10,23
pálmazsír-szacharóz	47,35	41,44	0,30	pálmazsír-szacharóz	10,04	2,13E-06	10,44
pálmazsír-inulin	104,89	1,88	2,98	pálmazsír-inulin	14,02	1,60E-06	10,59
pálmazsír-keményítő	0,079	119,78	0,13	pálmazsír-keményítő	14,04	1,84E-06	10,65

Itt is vizsgáltam minden esetben a modellek illeszkedésének pontosságát. Ehhez a korábban ismertetett determinációs együtthatót (R^2), becslési hibát (RMSE) és becslési hibaszázalékot (RMSE%) határoztam meg. A kapott eredményeket a 15. táblázat foglalja magában mindegyik minta esetében.

15. táblázat: Pálmazsír, Pálmazsír-fruktóz, Pálmazsír-szacharóz, Pálmazsír-inulin, Pálmazsír-keményítő minták modell illesztésének pontossága (H-B: Herschel-Bulkey, C: Casson)

	pálmazsír		pálmazsír-fruktóz		pálmazsír-szacharóz		pálmazsír-inulin		pálmazsír-keményítő	
modell	H-B	C	H-B	C	H-B	C	H-B	C	H-B	C
R^2	0,91	0,91	0,88	0,91	0,99	0,99	0,38	0,08	0,86	0,85
RMSE	5,26	6,14	10,39	6,83	0,96	5,29	6,16	15,95	4,62	5,87
RMSE%	6,6	7,8	10,7	8,0	1,1	6,2	5,7	15,4	4,3	5,52

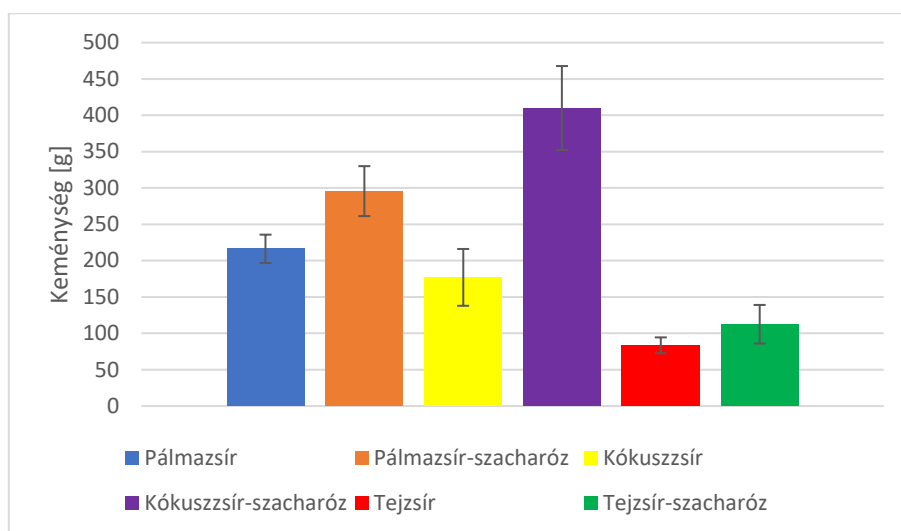
A paraméterek alapján jól látható, hogy a választott modellek a szacharózos minták esetében a legpontosabbak ($R^2=0,99$). A legrosszabb illeszkedés az inulinnál tapasztalható, ezt követi a keményítő mintája, tiszta zsír és a fruktózzal készült. Egy minta kivételével minden esetben a Herschel-Bulkey modell bizonyult pontosabbnak, az egyedüli kivétel a fruktózzal készült keverék, ahol a Casson modell esetén 0,91 volt a determinációs együttható, míg a Herschel-Bulkey modellnél 0,88.

Összességében elmondható, hogy a szénhidrát hatására növekedés figyelhető meg a látszólagos viszkozitásban, zsírtípustól függetlenül. A mért eredmények alapján a kisebb szemcseméret magasabb viszkozitás értéket eredményez. A szénhidrátlánc hosszával egyenesen arányos a nyírófeszültség értéke, a keményítőnél a legnagyobb, fruktóznál, illetve szacharóznál a legkisebb, azonban ezek nem különböznek szignifikánsan. Pontos következtetés jelen esetben nem vonható le arról, hogy a szénhidrát láncossága vagy szemcsemérete befolyásolja-e jobban a pálmazsír viszkozitását (Pearson féle korreláció együttható abszolút értéke mindkét esetben 0,2, M35. táblázat).

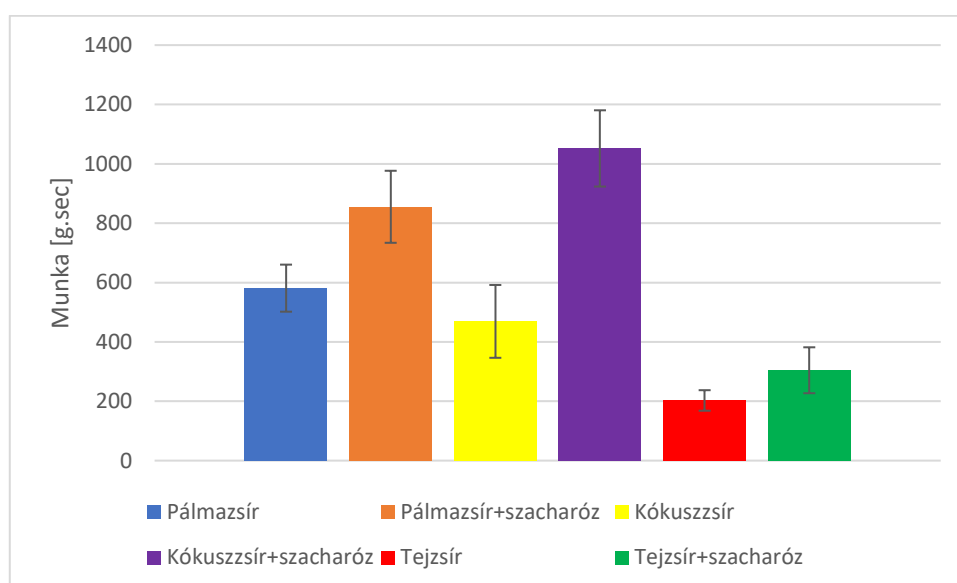
5.5 Állomány vizsgálat

5.5.1 Tiszta zsír és zsír-szacharóz rendszerek állományának meghatározása

A szénhidrátok zsírokra gyakorolt hatásainak további elemzésére állomány vizsgálatot végeztem, hogy pontosabb képet kapjunk a viselkedésükről. A margarinkhoz és spreadekhez használt módszert választottam a vizsgálatok elvégzésére és rögzítettem a minták keménységét, az összenyomásukhoz szükséges munkát, illetve az adhéziós erőt. A kapott eredmények átlagát és hozzájuk tartozó szórás értékeket a 34.-35. diagramok segítségével ábrázoltam.



30. ábra: Tiszta zsírok és zsír-szacharóz minták keménységének átlaga (n=10)

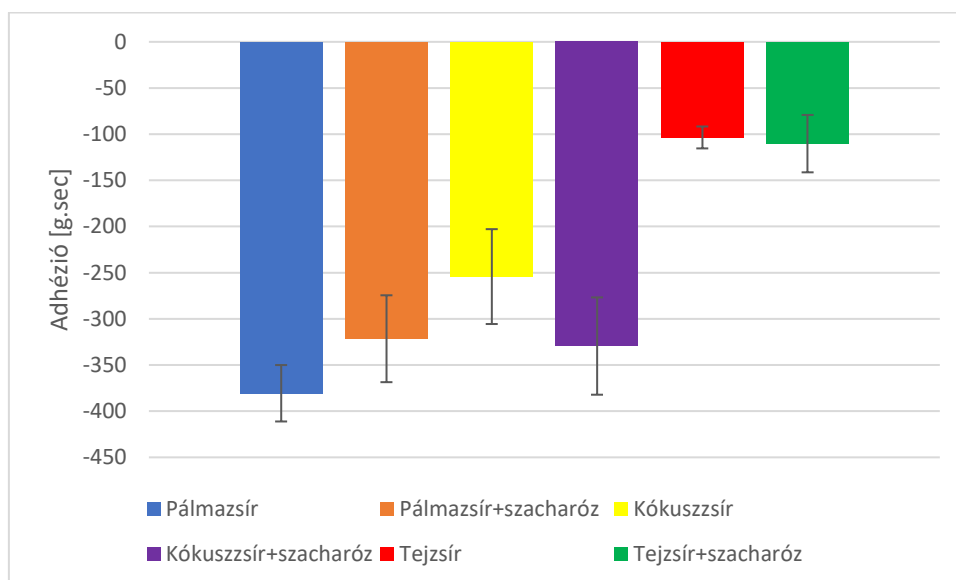


31. ábra: Tiszta zsírok és zsír-szacharóz minták összenyomásához szükséges munkájának átlaga (n=10)

A keménység és az összenyomáshoz szükséges munka egymással korrelációban lévő értékek. Ezt jól szemlélteti a fenti két diagram is (34-35. ábra). A szobahőmérsékleten mért eredmények alapján a tiszta zsírok esetében a pálmazsír→kókuszzsír→tejzsír keverék csökkenő sorrend figyelhető meg. Míg a szacharózos minták esetében kókuszzsír→pálmazsír→tejzsír sorrend. Azonban mindegyik minta esetében jól látható, hogy a szacharóz hozzáadása megnövelte a minták keménységét és ezzel együtt az összenyomásukhoz szükséges munkát is. A pálmazsír keménysége 37%-kal növekedett a szacharóz hozzáadásával, míg a munka 47%-kal. A kókuszzsírnál az értékek a keménység estében 132%-kal a munka 124%-kal növekedett. A tejzsírnál pedig a keménység 35%-os növekedést mutatott, míg a munka 51%-ost. A szórás értékeket ábrázolva az oszlopdiagrammokon jól látszik, hogy a párhuzamos mérések között a legtöbb minta esetében magas volt a szórás. Ez a rendszerek variabilitásának köszönhető. Az adatok pontosabb elemzésére végeztem statisztikai kiértékelést. A MANOVA alapján biztosan van olyan minta pár, melyek

között szignifikáns a különbség (M36. táblázat). A páronkénti összehasonlításához Tukey tesztet használtam (M37. táblázat), amely alapján a pálmazsír és a kókuszszír esetében szignifikánsan különböztek a tiszta zsírok és szacharózos változataik ($p < 0,05$) mind a keménység mind a munka értékekben, míg tejszír esetében nem volt szignifikáns különbség ($p < 0,05$). West és Rousseau (2019) kutatásuk során szintén bizonyították, hogy szacharóz hozzáadásával növekedett a pálmazsír keménysége. Ez a megnövekedett szárazanyag tartalomnak vagy a merevebb kristályhálózatnak lehet az eredménye. A tiszta zsírokat egymással, illetve a zsír-szacharóz mintákat is egymással összevetve elmondható, hogy a tiszta pálmazsír és kókuszszír kivételével mindenhol szignifikáns különbség ($p < 0,05$) állapítható meg.

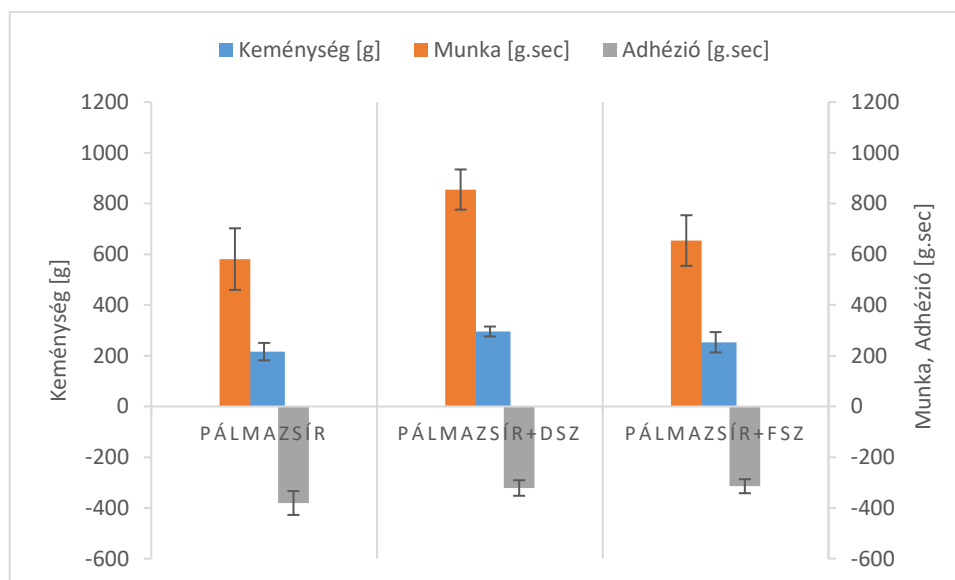
Az adhéziós értékeke vizsgálva azonban nem tudunk egyértelmű következtetést levonni a szacharóz hozzáadásának hatásáról (36. ábra). A kókuszszír és a tejszír esetében a szacharóz hozzáadásával növekedés figyelhető meg az értékekben, míg a pálmazsír esetében csökkenés. A szórás értékek itt is magasak voltak. Statisztikai vizsgálatok alapján (M36-M37. táblázat), szignifikáns különbség fedezhető fel a tiszta zsír, illetve zsír-szacharóz keverékek között a pálmazsír és a kókuszszíros mintáknál, míg tejszíros minták estében itt sem tapasztalható szignifikáns eltérés ($p < 0,05$). Ebben az esetben is összehasonlítottam a tiszta zsírokat egymással, illetve a szacharózos mintákat és csak a kókuszszír-szacharóz és pálmazsír-szacharóz keverékek között nem volt szignifikáns különbség ($p < 0,05$).



32. ábra: Tiszta zsír és zsír-szacharóz minták adhéziós értékeinek átlaga ($n=10$)

5.5.2 Különböző szemcseméretű szacharóz-pálmazsír rendszerek állományának meghatározása

Továbbiakban vizsgáltam a szemcseméret hatását a pálmazsír állományára, az így kapott eredményeket a 37. ábra szemlélteti.



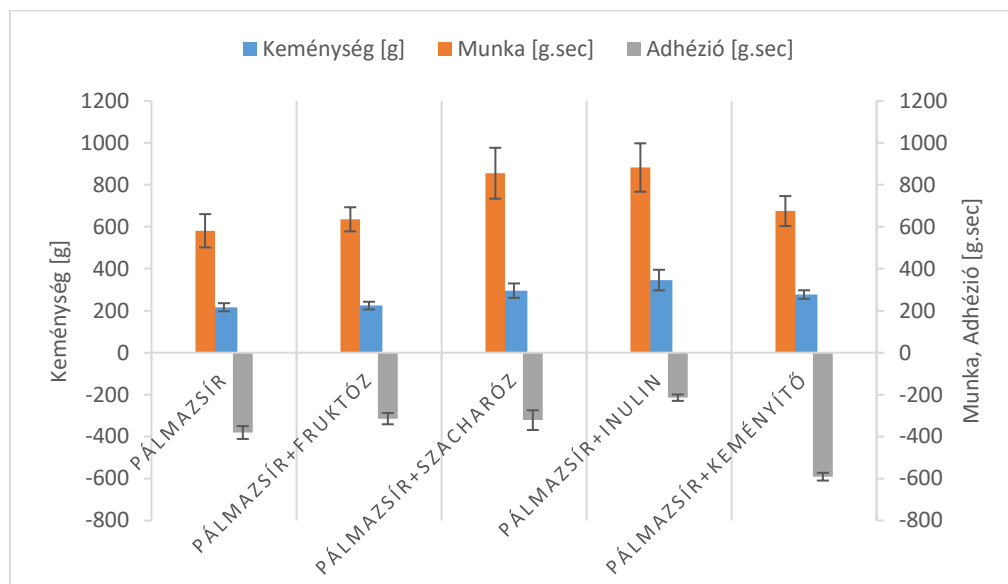
33. ábra: Szemcseméret hatása az állományra, a Pálmazsír, Pálmazsír-durva szemcsés szacharóz (Pálmazsír-DSZ) és Pálmazsír-finom szemcsés szacharóz (Pálmazsír-FSZ) minták keménységének, megmunkáláshoz szükséges munkájának meg adhéziós erejének átlaga (n=10)

Mindkét szemcseméretű szacharóz növelte a keménységet és a munkát a tiszta zsiradékhoz képest. A pálmazsír esetében 216 g és 581 g.sec volt a két érték, durva szemcsével keverve 296 g, és 855 g.sec, finom szemcsével pedig 253 g és 654 g.sec. A két szacharóz közül a durva szemcsével készült minta adott magasabb értékeket ezekben az attribútumokban. Tehát a szemcseméret növekedése a keménység növekedéséhez vezetett. Az adhézió esetében megállapítható, hogy a szacharóz hozzáadásával csökkent az érték, minél kisebb volt a szemcseméret, annál kisebb lett a mért érték. Így az eredmények a pálmazsírnál -381 g.sec, durva szemcsés szacharóznál -323 g.sec és finom szemcsés szacharóznál -314 g.sec. A MANOVA (M38. táblázat) és utána végzett Tukey post hoc teszt alapján (M39. táblázat) a pálmazsírhoz képest mindegyik minta szignifikáns különbséget mutat ($p < 0,05$), valamint a durva szemcsés és finom szemcsés minták között is szignifikáns a különbség a keménység és a munka értékekben. Szakirodalmi forrásokban eltérő eredményeket tapasztaltak a szemcseméret állományra gyakorolt hatásában. Csokoládék vizsgálata estén a szemcseméret megnöveli a keménységet és csökkenti a kenhetőséget (Chevalley, 1999; Beckett, 2008; Afoakwa et al., 2007b; Afoakwa et al., 2008b). Komplex lisztes rendszerek esetében ugyanakkor a végzett kutatás során azt tapasztalták, hogy a kisebb szemcseméretű szacharózzal készült minták állaga volt puhább (Richardson és munkatársai, 2018). Ezek alapján megállapítható, hogy a komplex rendszerek esetén a vizsgált rendszer összetétele (pl.: tartalmaz emulgeálószer) illetve fizikai tulajdonságai (pl.: vízaktivitást)

befolyásolják az eredményeket. Így az általam kapott eredmények is a csak zsír-szacharóz tartalmú mátrixokra érvényesek.

5.5.3 Különböző szénhidrát-pálmazsír rendszerek állományának meghatározása

Ezt követően a mérést elvégeztem a különböző szénhidrátokkal vizsgált minták esetében is, az így kapott eredményeket a 38. ábra szemlélteti.



34. ábra: Szénhidrátok hatása a pálmazsír állományára, Pálmazsír, Pálmazsír-fruktóz, Pálmazsír-szacharóz, Pálmazsír-inulin, Pálmazsír-keményítő minták keménységének, megmunkáláshoz szükséges munkájának és adhéziós erejének átlaga (n=10)

Mindegyik szénhidrát hozzáadása növekedést okozott a keménység és a munka értékekben a tiszta pálmazsírhoz viszonyítva. A tiszta zsír mért átlag értéke 216 g, a fruktózos minta 224 g-os értéket eredményezett, szacharóz esetében 296 g volt, inulin 346 g és keményítő esetén 227 g volt a keménység. A behatolási munka értéke pedig sorban 581 g.sec, 636 g.sec, 855 g.sec, 883 g.sec és 675 g.sec volt. A szénlánc növekedésével a mono-, di és oligoszacharid esetén arányosan nőnek az értékek, azonban a keményítővel, mint poliszachariddal készült minta nem követi a tendenciát. A kapott eredmények ennél a mintánál a fruktóz és a szacharóz közé esnek. Elvégeztem a minták statisztikai kiértékelését is. A MANOVA alapján megállapítható (M36. táblázat), hogy van olyan minta pár, ahol szignifikáns különbség állapítható meg. A Tukey post-hoc teszt alapján (M37. táblázat) a tiszta zsír értékeihez képest a fruktóz nem mutatott szignifikáns különbséget a keménység és a behatolási munka eredményeiben, valamint a keményítő a behatolási munka értékekben ($p < 0,05$). A mintákat egymással is összevetve a keménység esetén a szacharóz-keményítő és a fruktóz-keményítő nem tér el szignifikánsan. A behatolási munka esetén pedig a szacharóz-inulin, fruktóz-keményítő ($p < 0,05$).

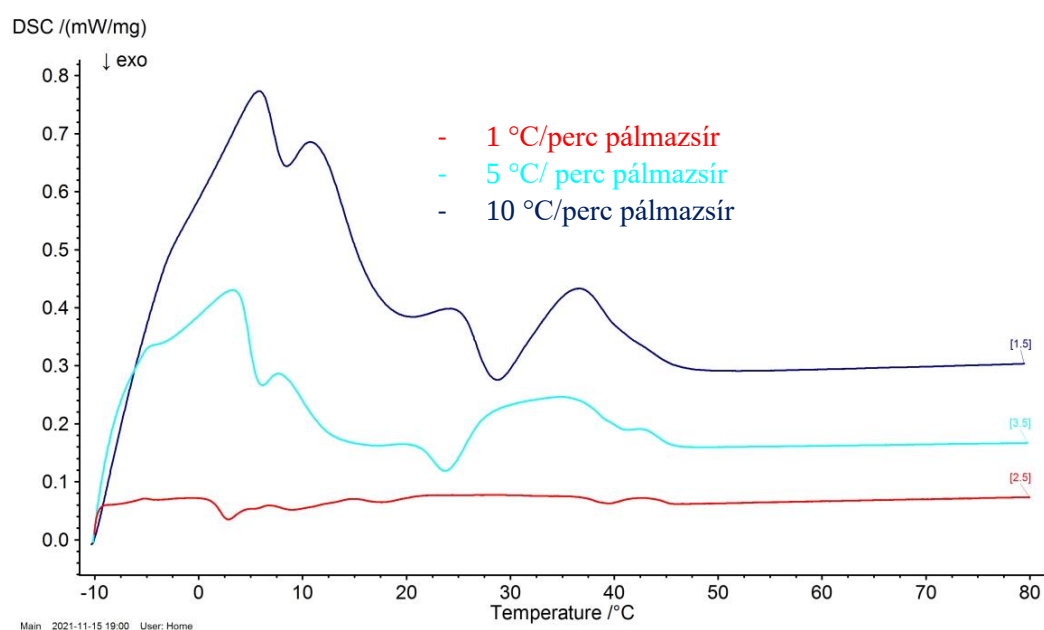
Az adhéziót vizsgálva ezeknél a mintáknál nem figyelhető meg egyértelmű tendencia a szénhidrátok hatásával kapcsolatban. A pálmazsír értéke -381 g.sec, ehhez képest alacsonyabb volt

a mért érték a fruktóz, szacharóz és inulin esetén, melyek értékei sorban -314 g.sec, -323 g.sec, -215 g.sec volt. A keményítő hatására pedig növekedés tapasztalható, -591 g.sec volt az adhézió értéke. Minden esetben szignifikáns volt a különbség (*M37. táblázat*) a tiszta pálmazsírhoz viszonyítva ($p < 0,05$), valamint a mintákat egymással összevetve is minden esetben szignifikáns különbséget tapasztaltam ($p < 0,05$). Az eredmények eltérését vélhetően az eltérő anyagi tulajdonságok okozzák, az állománymérés esetén sem állapítható meg egyértelmű korreláció a szemcseméret és a lánc hossz alapján (Pearson féle korrelációs együttható abszolút értéke mindhárom paraméter során közel azonos volt, *M40. táblázat*).

5.6 Termoanalitikai mérések

5.6.1 Termoanalitikai előkísérletek

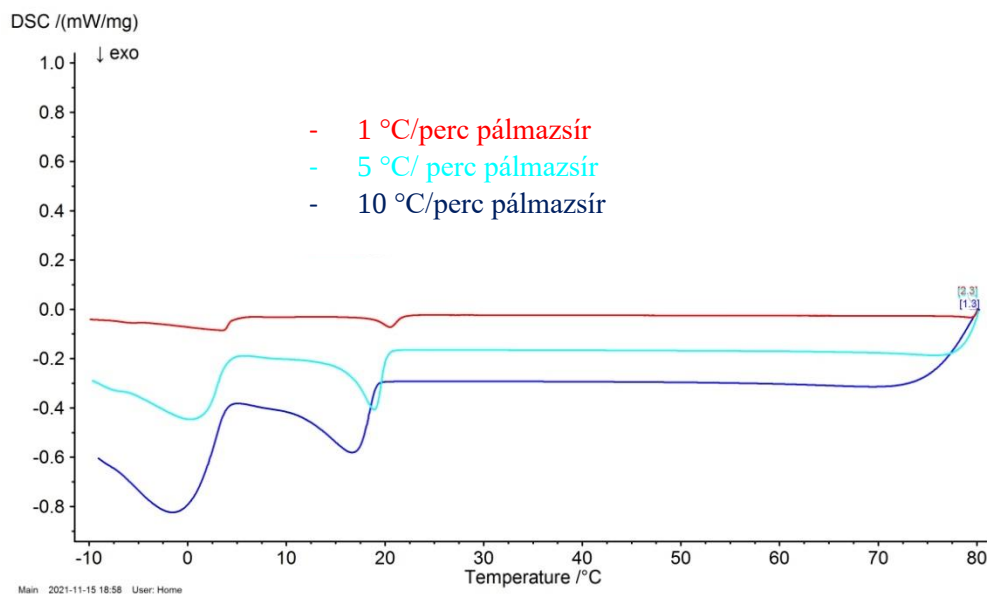
Ahogy az irodalmi áttekintésben is szó volt róla a zsírok DSC vizsgálatok esetében a megfelelő hűtési és fűtési sebesség megállapítása kiemelten fontos, hogy megfelelő képet kapjunk a kristályosodásról és az olvadásról. Ezért először a tiszta zsírok esetében előkísérleteket végeztem 1-5-10 °C/perc értékekkel. Rögzítettem az olvadási és kristályosodási tulajdonságokat. Először a pálmazsír esetén végeztem el a kísérleteket. Az olvadás során mért átlag görbéket a 39. ábra szemlélteti.



35. ábra: Pálmazsír átlag DSC görbéi eltérő fűtési sebesség esetén ($n=5$)

A mérés során egy több csúcsból álló termogramot kaptam eredményül. Az 1°C/perc-es minta esetében a csúcsok ellaposodtak és pontosan nem meghatározhatók. A 10°C/perces mérés esetében az első csúcshőmérséklet 6,5°C-nál jelent meg, majd két kisebb csúcs következett (25,5°C, illetve 36,7°C). Az 5°C/perces minta esetén az első csúcs 3,3°C-nál jelentkezett, majd a második csúcs elnyúlva 29-35°C között jelent meg. Kutatási eredmények alapján a 10°C/perces mérés esetén a

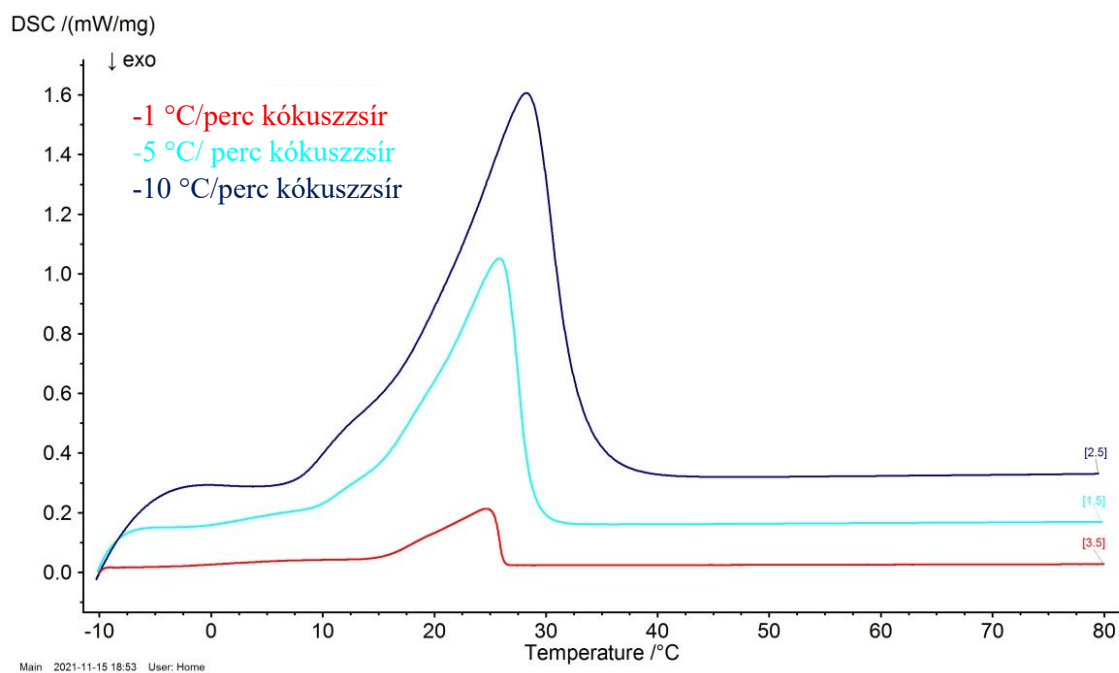
25,55°C és 36,7°C-os csúcsok nagyon közeliek az irodalmi adatokhoz (Omar et al, 2015). A kristályosodás esetén a 40. ábrán látható eredményt kaptam.



36. ábra: Pálmazsír átlag DSC görbái eltérő hűtési sebesség esetén ($n=5$)

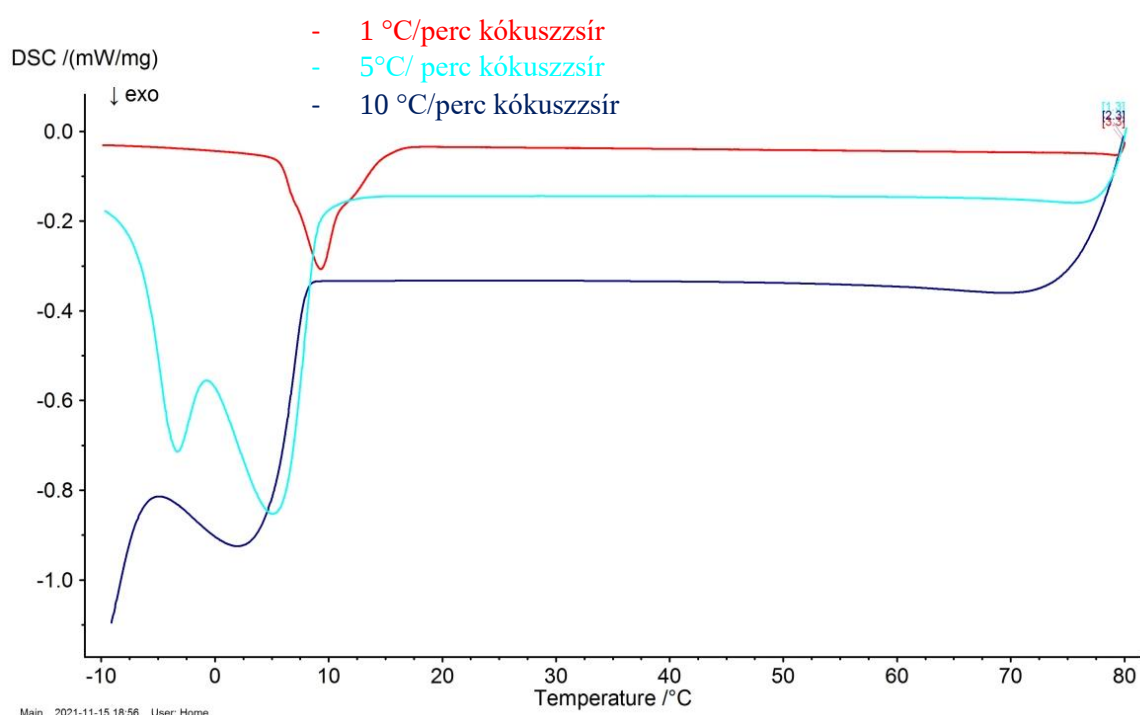
A pálmazsír kristályosodása során az eltérő hűtési sebességek esetén három nagyon hasonló görbét kaptam. Az 1°C/perces mérés esetén a csúcsok az olvadáshoz hasonlóan kicsik. A csúcspontok hasonló hőmérsékleten, -2-0°C között és 18°C környékén alakultak ki mind a három mérés során. A detektált két csúcs feltehetően a két különböző TAG csoporthoz tartozik.

Ezt követően a kókuszzsír esetén is elvégeztem a DSC méréseket. Az különböző sebességekhez tartozó olvadási görbéket a 41. ábra szemlélteti.



37. ábra: Kókuszzsír átlag DSC görbái eltérő fűtési sebesség esetén ($n=5$)

A három termogram jól elkülönül egymástól. A leggyorsabb, 10°C/perces mérés esetében volt a legnagyobb a hőáram, a csúcserőket 27-28°C körül érte el a minta. Ezt követte az 5°C/perces minta, ahol a csúcserőket 25-26°C körül érte el. Végül az 1°C/perces hőmérsékletprofillal mért minta csúcspontja volt a legalacsonyabb 24-25°C. A diagramról könnyen megállapítható, hogy a kókuszszír esetében egy lassú kezdeti szakasz figyelhető meg, majd egy viszonylag gyors, határozott csúcs jelenik meg. Korábbi mérésekben is hasonló olvadási hőmérsékleteket jegyeztek fel, 25,66°C-os csúcserőket kaptak eredményül (Prakash, és mtsai., 2011). Továbbá irodalmi adatok alapján az 1°C/perces, valamint a 10°C/perces mérések eredményeül hasonló 25°C körüli csúcserőket kaptak (Tan, és mtsai., 2001). A kristályosodás esetén is rögzítettem a kókuszszír termikus viselkedését (42. ábra).

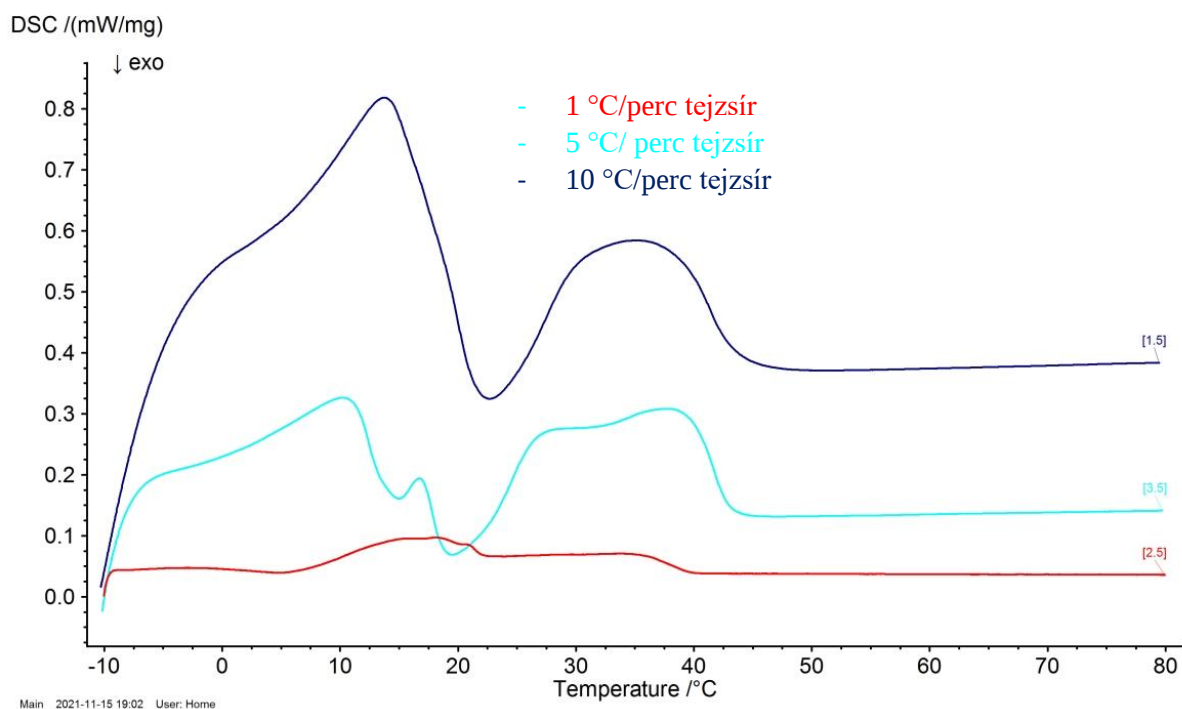


38. ábra: Kókuszszír átlag DSC görbái eltérő hűtési sebesség esetén ($n=5$)

A kapott görbék alapján megállapítható, hogy az 1°C/perces mérés során egy lassú kezdeti szakasz alakult ki, éppen ezért a kristálygóc kialakulás viszonylag lassú, azonban a megfelelő hőmérséklet elérése után a kristályosodás gyors és egységes. A kristályosodás csúcserőjét 11,3°C-nál érte el a kapott értékek alapján. 5°C/perces minta esetében egy dupla csúcsos görbét kaptam (csúcshőmérsékletek: -3°C, 4,9°C), amely arra enged következtetni, hogy egy kristályátalakulás következhetett be, α kristály módosulat alakult át β' metastabil kristályba. Ez az átalakulás a 10°C/perces mérés esetében nem tudott bekövetkezni a gyors hőmérsékletváltozás miatt. Ez az átalakulás, tehát a második csúcs megjelenése előző kutatásokból kiderül, hogy -16-(-17)°C körüli hőmérsékleten megy végbe (Tan, és mtsai., 2001). Itt a legtöbb a kialakult kristály, azonban a kristályok kialakulásakor felszabadult hő miatt -10°C-ig nem fejeződött be a kristályátalakulás.

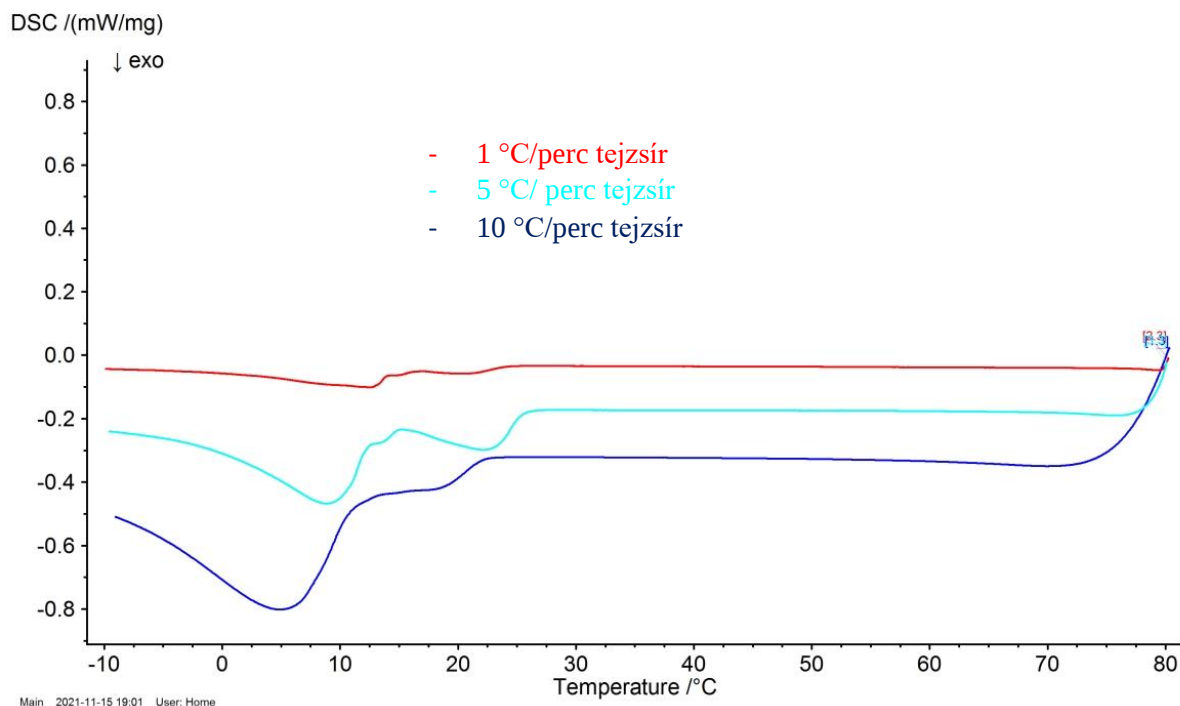
Irodalmi adatok alapján az 5°C/perces mérés esetén hasonló csúcshőmérsékleteket detektáltak, ebben az esetben a két csúcshőmérséklet -7,93°C, illetve 3,93°C volt (Prakash, és mtsai., 2011).

Végül pedig a kísérletbe vont utolsó zsír, a tejszír esetén is elvégeztem az előkísérletet. Az így kapott olvadási görbét a 43. ábra szemlélteti.



39. ábra: Tejszír átlag DSC görbái eltérő fűtési sebesség esetén ($n=5$)

A kapott görbék alapján a pálmazsírhoz hasonlóan itt is az 1°C/perces minta esetében nem alakult ki látható csúcs, a görbe teljesen elsimult. Az 5 és 10°C/perces minták esetében alakultak ki csúcsok. Az első 10-14°C között, a második pedig elnyújtottan 35°C környékén. Az olvadás során minél gyorsabban változtatjuk a hőmérsékletet, tehát minél gyorsabb lefolyású a mérés, annál meredekebb és élesebb csúcsokat kapunk. A kristályosodáshoz hasonlóan a sebesség csökkentése a csúcsmagasságok csökkenését eredményezi (Tomaszewska-Gras, 2015). Azonban a túl gyors fűtési sebesség hatására elveszhetnek egyes információk. Az olvadás mellett rögzítettem a tejszír kristályosodását az eltérő sebességek mellett, melyet a 44. ábra szemléltet.



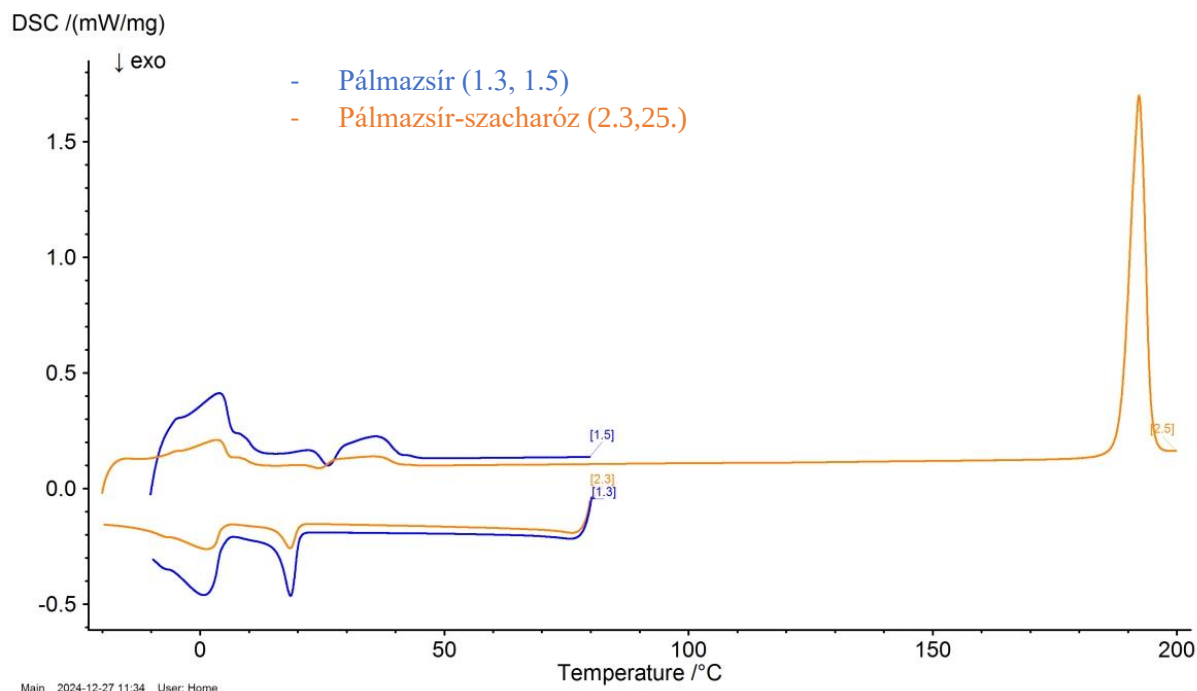
40. ábra: Tejzsír átlag DSC görbái eltérő hűtési sebesség esetén ($n=5$)

Az 1°C/perces minta esetében itt is megfigyelhető a görbe ellaposodása, két alig látható csúcs alakult ki a mérés során (11,3°C, 20,3°C) azonban az 5°C/perces mérés esetében már két határozottabb csúcs látszik (9,4°C, 21,7°C). A két csúcs egy átkristályosodást jelent, ahol az első csúcsnál kialakult kristályok a második csúcs eléréséig átalakultak. A 10°C/perces minta esetén az első csúcs erőteljesebben jelentkezett (5,5°C), azonban a második csúcs elmosódott és elnyúlt, tehát ebben az esetben nem alakult ki stabil kristályszerkezet. Korábbi kutatások szintén alátámasztják a tejzsír kristályosodási hőmérsékletét. 1°C/perces hőmérsékletprofillal mérve a csúcserőérték 20,7°C, valamint 15,8°C. Továbbá megállapították, hogy minél lassabban változik a hőmérséklet, annál kisebb értékeket vesznek fel a csúcserőértékek, valamint az entalpiaváltozás értékek is (Tomaszewska-Gras, 2015).

5.6.2 Tiszta zsír és zsír-szacharóz rendszerek termoanalitikai meghatározása

Az előkísérletet alapján az 5°C/perces sebességet választottam a további méréseimhez, annak érdekében, hogy a csúcsok ne csökkenjenek le túlságosan, illetve, hogy a gyors sebesség miatti információvesztést csökkentsem. A differenciális pásztázó kalorimetriás mérés esetében vizsgáltam mindegyik zsíradék típusnál a szacharóznak a zsírok olvadására, illetve kristályosodására gyakorolt hatását. A mérések során rögzítettem a hőmérsékletváltozás hatására bekövetkező változásokat és a program segítségével elvégeztem a kiértékelést. Meghatározva a minták olvadásának és kristályosodásának kezdeti (onset) és végső (end) hőmérsékletét. A görbék

csúcspontját (peak), valamint a görbe alatti terület (area) kiszámításával az entalpia értékeket. A továbbiakban ezeket az eredményeket fogom bemutatni.



41. ábra: Pálmazsír és Pálmazsír-szacharóz minták átlag DSC görbéi (n=5)

A pálmazsír esetében kapott DSC mérések során jól látszik a széles olvadási tartomány. A szacharóz hozzáadásával a kapott olvadási és kristályosodási görbék hasonló lefutásúak (45. ábra). A csúcsok meghatározhatók, azonban a szacharózos minta esetében kevésbé élesek, a görbék elnyújtottabbak. A szacharóz olvadása jól kivehető csúcsot eredményezett 192 °C-on. A kristályosodás során a kezdeti és végső hőmérséklet valamint a csúcsok minimálisan magasabb hőmérséklet felé tolódtak el a szacharóz hozzáadásával. Az entalpia értékek (area) pedig csökkentek. A kristályosodás megkezdésének kezdeti és végső hőmérsékletét a szacharóz jelenléte nem befolyásolta jelentősen (16. táblázat).

16. táblázat: Pálmazsír és Pálmazsír-szacharóz minták kristályosodási DSC paramétereinek átlaga és szórása

hűtés	onset (°C)	peak (°C)	peak (°C)	area (J/g)	area (J/g)	end (°C)
pálmazsír	20,10±0	0,25±0,21	18,85±0,07	-20,02±0,20	-6,41±0,07	-9,60±0
pálmazsír-szacharóz	20,50±0,61	1,27±0,23	18,67±0,38	-17,20±4,15	-4,04±0,96	-9,47±0,98

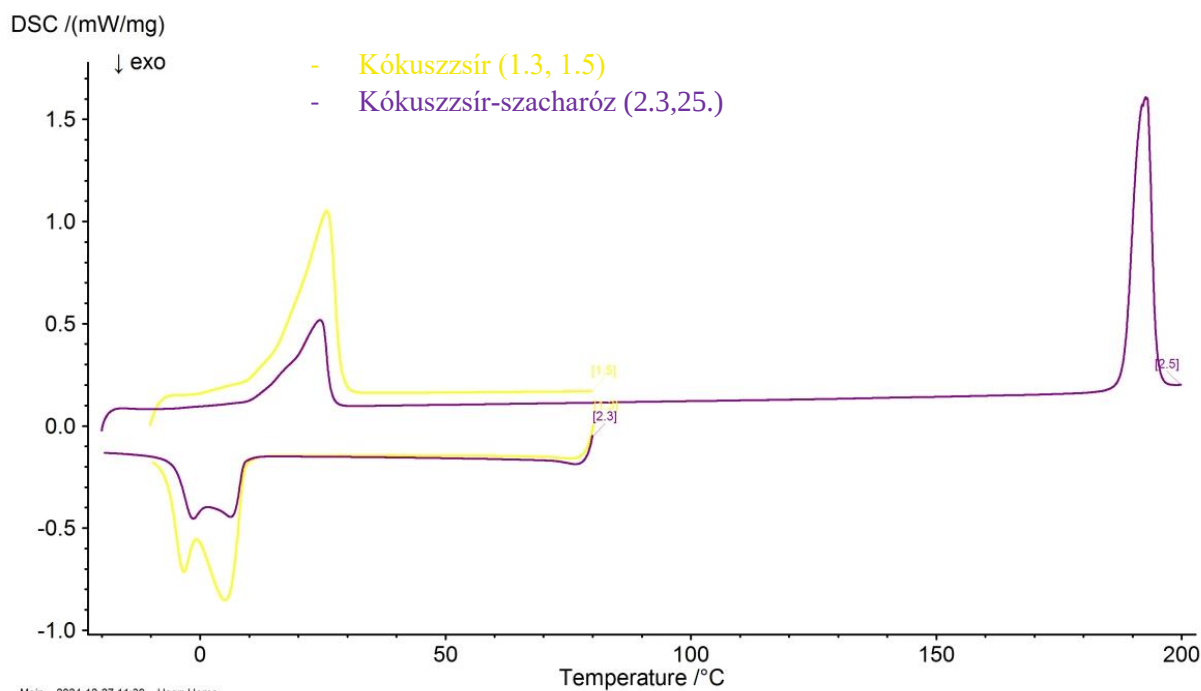
A fűtés során is hasonló eredményeket kaptam (17. táblázat). A szacharóz hatására a csúcsok magasabb hőmérséklet felé tolódtak el az entalpia értéket pedig csökkentek. Azonban itt a zsírkristályok olvadása a szacharóz hozzáadásával alacsonyabb hőmérsékleten megkezdődött és a folyamat magasabb hőmérsékleten ért véget.

17. táblázat: Pálmazsír és Pálmazsír-szacharóz minták olvadási DSC paramétereinek átlaga és szórása

fűtés	onset (°C)	peak (°C)	peak (°C)	peak (°C)	peak (°C)	area (J/g)	area (J/g)	area (J/g)	end (°C)
pálmazsír	-9,75 ±0,07	3,30 ±0,14	7,65 ±0,07	35,00 ±0,14	-	51,15 ±1,28	17,72 ±0,06	-	36,70 ±0,28
pálmazsír- szacharóz	-18,97 ±1,27	3,57 ±0,15	12,23 ±1,27	35,60 ±0,1	192,00 ±0,26	14,53 ±3,63	8,47 ±2,1	58,92 ±14,18	40,40 ±0,2

Az általam kapott eredményeket hasonlítva az irodalomhoz elmondható, hogy West és Rousseau (2016) kutatása során szintén entalpia csökkenést figyeltek meg pálmazsír esetén a szacharóz hozzáadásával, melyet úgy véltek, hogy a szacharóz kristályosodás gátló hatásának következménye lehet.

Ezt követően elvégeztem a kókuszszír esetében is a mérést.



42. ábra: Kókuszszír és Kókuszszír-szacharóz minták átlag DSC görbéi (n=5)

A kókuszszír DSC eredményeinél látható a szűk olvadási profil. A szacharózos minta esetében itt is megfigyelhető, hogy a csúcsok kevésbé élesek (46. ábra). Ahogy a 18. táblázat is mutatja a hűtés során a csúcsok hőmérséklete növekedett, míg az entalpia értéke csökkent. A kristályosodás a szacharózzal készült minta esetében kicsit alacsonyabb hőmérsékleten kezdődött el viszont magasabb hőmérsékleten ért véget így összességében a folyamat gyorsabban lezajlott.

18. táblázat: Kókuszszír és Kókuszszír-szacharóz minták hűtési DSC paramétereinek átlaga és szórása

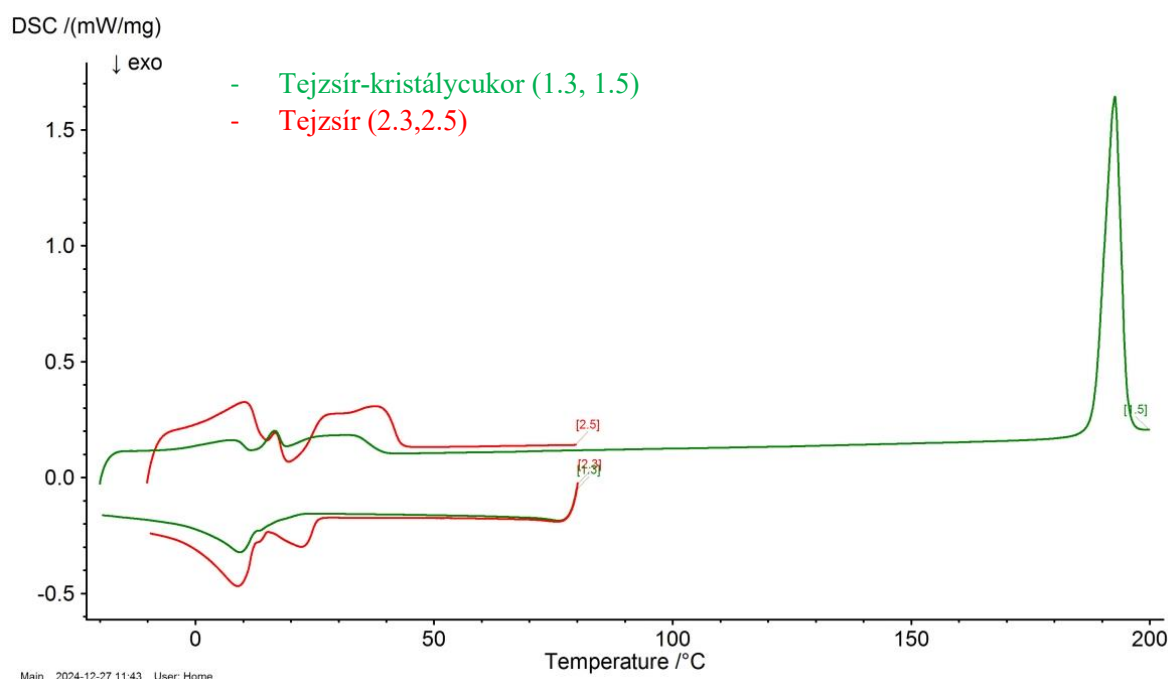
hűtés	onset (°C)	peak (°C)	peak (°C)	area (J/g)	end (°C)
Kókuszszír	8,84±0,38	-4,52±1,54	3,94±0,72	-87,47±2,96	-6,96±0,32
Kókuszszír-szacharóz	8,7±0,2	-0,2±1,74	6±0,82	-38,6733±3,0	-5,2±0,17

Az olvadásnál a szacharóz olvadása éles csúcsként kivehető 192°C-on. A kókuszszír felolvadásához tartozó csúcsok közel azonosak mindkét minta esetében (19. táblázat). Azonban az entalpia értékekben itt is jól megfigyelhető a szacharóz entalpia csökkentő hatása. A tiszta kókuszszír esetében mért értékek a szakirodalmi adatokkal megegyezők, Dhaygude és munkatársai (2018) kókuszszírok vizsgálata során 24,61°C körüli csúcshőmérsékletet kaptak, valamint 80,24 J/g entalpia értéket. A zsírkristályok olvadási tartománya alacsonyabb hőmérsékleti értékekre tehető a szacharóz jelenlétében.

19. táblázat: Kókuszszír és Kókuszszír-szacharóz minták fűtési DSC paramétereinek átlaga

fűtés	onset (°C)	peak (°C)	peak (°C)	area (J/g)	area (J/g)	end (°C)
kókuszszír	15,64±0,42	25,68±0,28	-	85,84±3,34	-	28,38±0,41
kókuszszír-szacharóz	13,87±0,55	24,37±0,06	192,33±0,4	38,74±3,13	76,80±7,25	26,60±0,1

A tejszír esetében is elvégeztem a termoanalitikai vizsgálatot, amely során kapott átlag görbéket a 47. ábra szemlélteti.



43. ábra: Tejszír és Tejszír-szacharóz minták átlag DSC görbéi (n=5)

A tejszír esetében a kristályosodás során a tiszta zsír esetében jól kivehető kettő csúcs míg a szacharózos minta esetében a második csúcs gyengén detektálható. A szacharóz jelenléte tehát befolyásolta a kristálymódosulatok létrejöttét a tejszír esetén. A detektált csúcs eltolódott a magasabb hőmérséklet irányába. A szacharózos mintánál a második csúcs gyenge kivehetősége miatt ebben az esetben csak egy entalpia értéket tudtam meghatározni. A másik két zsíradékhoz hasonlóan itt is megállapítható az entalpia csökkenése a szacharóz hozzáadásának hatására (20. táblázat). A kristályosodás alacsonyabb hőmérsékleten kezdődött meg a szacharózos mintáknál és magasabb hőmérsékleten fejeződött be, mely szintén megegyezik a kókuszszír kristályosodásánál tapasztaltakkal.

20. táblázat: Tejszír és Tejszír-szacharóz minták hűtési DSC paramétereinek átlaga és szórása

hűtés	onset (°C)	peak (°C)	peak (°C)	area (J/g)	area (J/g)	end (°C)
tejszír	27,32±0,96	8,96±0,21	20,28±1,36	- 27,80±0,84	- 4,05±2,63	- 0,04±0,29
tejszír-szacharóz	23,80±0,17	9,30±0,3	-	- 17,80±1,03	-	1,03±0,46

Az olvadási tulajdonságok vizsgálatokor a tiszta zsírnál, szintén határozottabban jelennek meg a csúcserőterek. Az első csúcs 10°C körül a második elnyújtottabb részben pedig két kisebb csúcs figyelhető meg 17°C és 36 °C körül. A szacharóz hozzáadása itt is az entalpia csökkenéséhez vezetett, illetve a csúcsok eltolódásához alacsonyabb hőmérsékletre (21. táblázat). A kristályok olvadásának tekintetében a szacharóz jelenlétében alacsonyabb hőmérsékleten kezdődik a folyamat és alacsonyabb hőmérsékleten is ér véget.

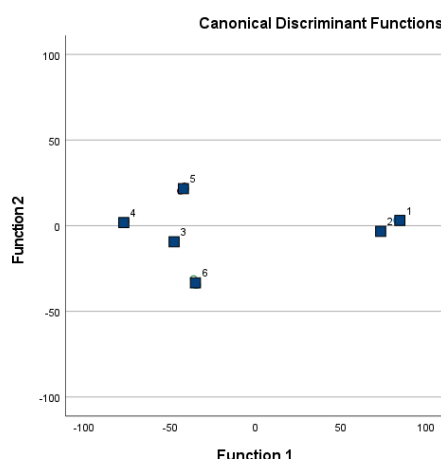
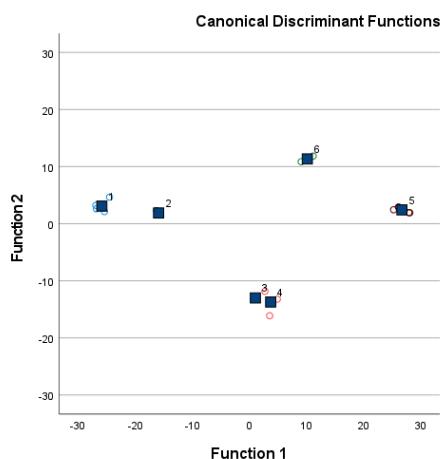
21. táblázat: Tejszír és Tejszír-szacharóz minták fűtési DSC paramétereinek átlaga

fűtés	onset (°C)	peak (°C)	peak (°C)	peak (°C)	peak (°C)	area (J/g)	area (J/g)	area (J/g)	end (°C)
tejszír	-9,86 ±0,05	10,62 ±0,26	16,96 ±0,15	35,96 ±1,89	-	67,54 ±2,34	37,16 ±3,74	-	41,64 ±1,06
tejszír-szacharóz	-17,30 ±1,39	7,97 ±0,23	16,73 ±0,15	30,50 ±1,0	192,30 ±0,36	4,78 ±1,07	11,10 ±1,38	64,37 ±5,76	39,73 ±0,64

A DSC eredmények alapján általánosan elmondható, hogy a szacharóz jelenlétnek hatására csökkentek a görbealatti területek, azaz az entalpia értékek a zsír típusától függetlenül. A csúcsok nehezebben detektálhatók, és a hozzájuk tartozó hőmérsékletek eltolódtak mind a kristályosodás mind az olvadás esetén. A kristályosodás során a magasabb hőmérséklet felé mozdította a szacharóz jelenléte a csúcsok detektálhatóságát mindegyik mintánál. Míg az olvadás során a pálmazsír esetében magasabb, a másik két mintánál alacsonyabb hőmérsékletet eredményezett. A szacharóz olvadása minden esetben jól meghatározott csúcsként jelenik meg. A kristályosodás és az olvadás hőmérsékleti tartományát vizsgálva megállapítható, hogy a kristályosodás alacsonyabb hőmérsékleten, tehát később kezdődik a szacharóz jelenlétében azonban magasabb hőmérsékleten

ér véget tehát hamarabb lezajlik. Ezek alapján a kristálygócok kialakulását gátolja a szacharóz jelenléte, azonban magát a kristálynövekedést viszont elősegíti. A zsírkristályok olvadása alacsonyabb hőmérsékleten kezdődik el a szacharóz hatására és a tejzsír és a kókuszszír esetében alacsonyabb hőmérsékleten is befejeződik, míg a pálmazsír esetében magasabb hőmérsékleten.

A mérések során kapott eredményeket további statisztikai elemzésnek is alávettem. Lineáris diszkriminancia analízist végeztem, annak vizsgálatára, hogy a minták a paraméterek alapján elkülöníthetők-e teljes mértékben csoportokra. A kiértékelést elvégeztem külön a hűtési szakaszra és külön a fűtési szakaszra is. A 48. ábra alapján jól látszik, hogy mind a hűtés mind a fűtés esetében a csoportok jól elkülöníthetők, a csoportba sorolás minden esetben 100% volt (M41.-M42. táblázat). Így megállapítható, hogy a szacharózos minták elkülönülnek a tiszta zsírokhoz képest az összes DSC mérés paraméterét figyelembe véve.



1. K
2. KC
3. P
4. PKC
5. T
6. TC

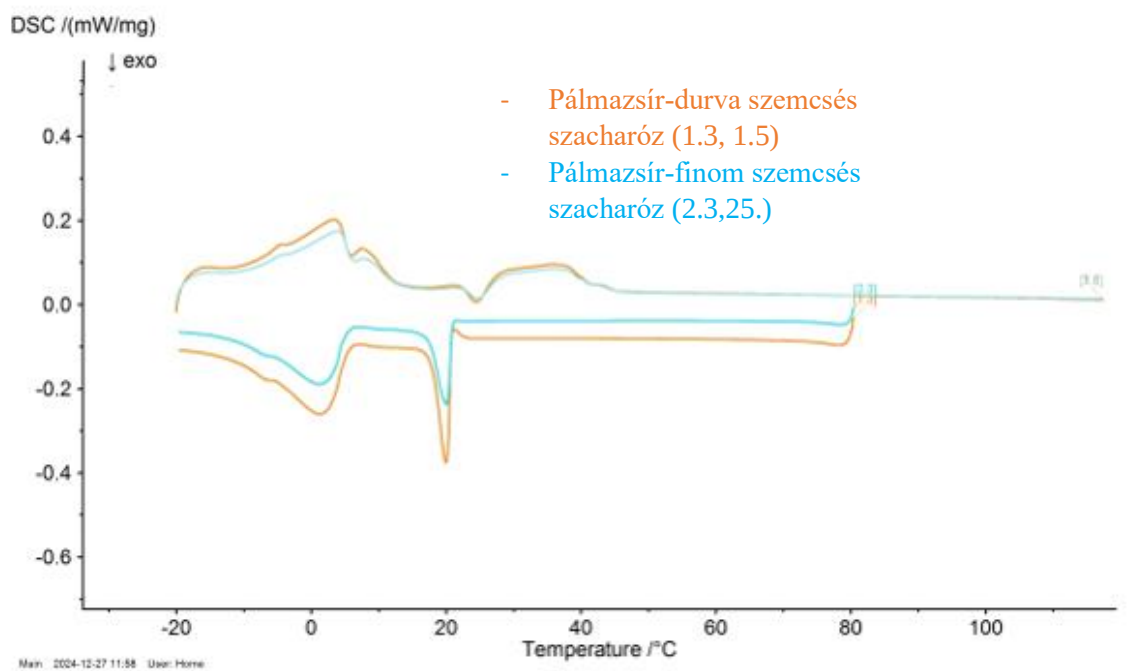
:

44. ábra: Különböző zsír-szacharóz (K-kókuszszír, KC-kókuszszír-szacharóz, P-pálmazsír, PKC-pálmazsír-szacharóz, T-tejzsír, TC-tejzsír-szacharóz) minták DSC paraméterinek LDA eredménye

[Hűtés/kristályosodás (bal oldali ábra): Function1-74%, function2-12%, Fűtés/olvadás (jobb oldali ábra): Function1- 90%, function2-6%]

5.6.3 Különböző szemcseméretű szacharóz-pálmazsír rendszerek termoanalitikai jellemzése

Továbbiakban végeztem kísérleteket finom szemcsés és durva szemcsés szacharózzal, hogy lássam befolyásolja-e a szemcseméret a DSC görbéket (49. ábra) és paramétereiket.



45. ábra: Különböző szemcseméretű szacharózzal készült pálmazsír minták átlag DSC görbéi (n=5)

Mindkét minta esetében detektálható az összes zsiradékra jellemző csúcs. A finom szemcsés szacharózzal készült minta esetében a csúcsok kicsivel kisebbek, ez főként a minták kristályosodásakor láthatók.

A hűtés során közel azonos hőmérsékleten kezdődött meg a kristályosodás, viszont a finom szemcsés szacharózzal készült minta esetében alacsonyabb hőmérsékleten ért véget. A csúcssok elhelyezkedésében nem tapasztalható eltérés. Azonban, ahogy a görbéken is látszott az entalpia értékek alacsonyabbak voltak a finom szemcsés minta esetében. A teljes entalpia a durva szemcsés mintáknál -19,41 J/g volt míg a szemcseméret csökkentésével ez szintén csökkent -16,84 J/g-ra (22. táblázat).

22. táblázat: Pálmazsír-durva szemcsés szacharóz és Pálmazsír-finom szemcsés szacharóz minták hűtési DSC paramétereinek átlaga és szórása

Hűtés	onset (°C)	peak (°C)	peak (°C)	area (J/g)	area (J/g)	end (°C)
pálmazsír-durva szemcsés szacharóz	20,75 ±0,07	1,2 ±0,0	19,95 ±0,07	-14,13 ±2,3	-5,28 ±0,72	-7,85 ±0,07
pálmazsír-finom szemcsés szacharóz	20,85 ±0,07	1,1 ±0,14	19,65 ±0,49	-12,43 ±0,69	-4,41 ±0,5	-9,2 ±0,28

A fűtés során a kristályok azonos hőmérsékleten kezdtek el olvadni mindkét minta esetében. A csúcsok közel azonos helyen voltak detektálhatók. Az entalpia értéke a kristályosodásnál tapasztaltakkal megegyezően itt is csökkentek (23. táblázat). Illetve a kristályok felolvadásra a finom szemcsés minta esetében pár fokkal hamarabb ment végbe, mint a durva szemcsés szacharózzal készült esetében.

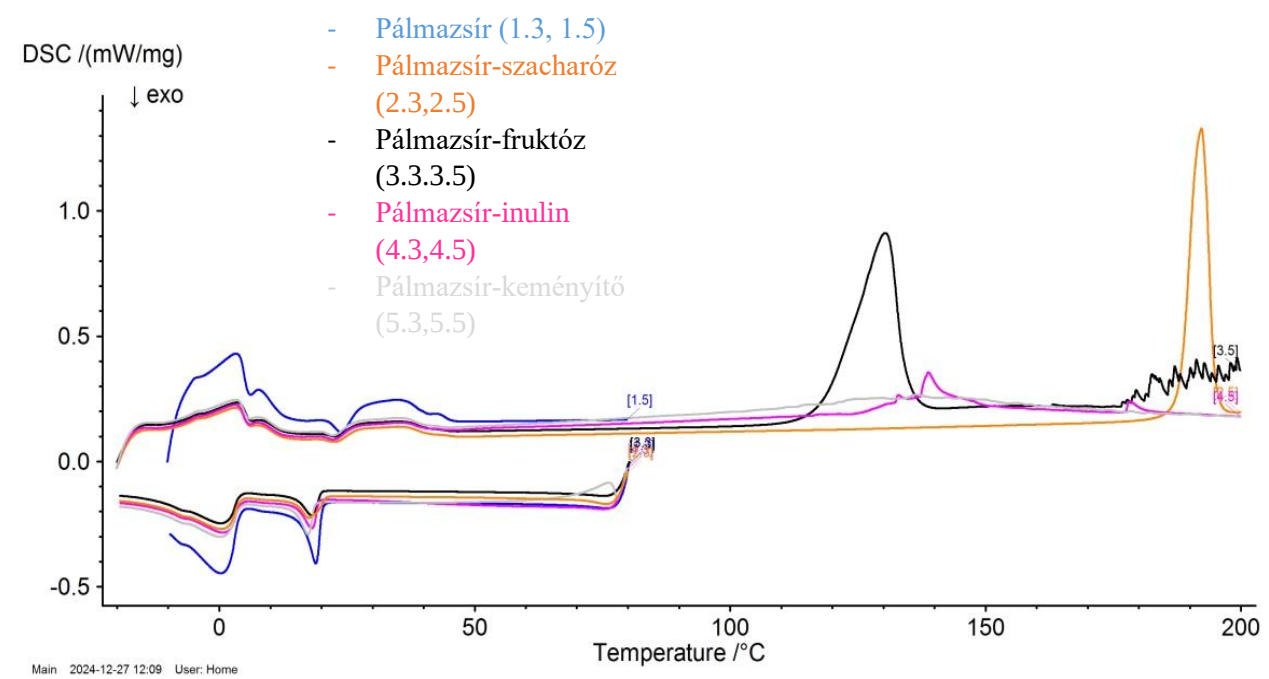
23. táblázat: Pálmazsír-durva szemcsés szacharóz és Pálmazsír-finom szemcsés szacharóz minták fűtési DSC paramétereinek átlaga és szórása

fűtés	onset (°C)	peak (°C)	peak (°C)	peak (°C)	peak (°C)	area (J/g)	area (J/g)	area (J/g)	end (°C)
pálmazsír- durva szemcsés szacharóz	-16,1 ±0,0	3,35 ±0,07	5,95 ±0,07	35,85 ±0,07	191,95 ±0,07	17,09 ±2,74	11,425 ±1,76	63,17 ±3,51	40,3 ±0,14
pálmazsír- finom szemcsés szacharóz	-16 ±0,0	3,85 ±0,07	6,5 ±0,14	35,75 ±0,35	191 ±0,14	14,855 ±0,80	9,7535 ±1,17	59,275 ±0,04	38,5 ±1,13

Összességében elmondható, hogy a szemcseméret befolyásolja a DSC mérés eredményét, ami főként az entalpia értékek csökkenésében nyilvánul meg, azonban a két minta között nincs szignifikáns különbség az entalpia értékek alapján ($p < 0,05$).

5.6.4 Különböző szénhidrát-pálmazsír rendszerek termoanalitikai meghatározása

Ezt követően még különböző szénhidrátok hatását is elemeztem a pálmazsír olvadására és kristályosodására. Az így kapott DSC görbéket az 50. ábra szemlélteti.



46. ábra: Különböző szénhidrát és pálmazsír minták átlag DSC görbéire ($n=5$)

Majd itt is az összes minta esetében elvégeztem a kiértékelést mind a hűtési (24. táblázat) mind a fűtési (25. táblázat) szakaszra.

24. táblázat: Pálmazsír, Pálmazsír-szacharóz, Pálmazsír-fruktóz, Pálmazsír-inulin, Pálmazsír-keményítő minták hűtési DSC paramétereinek átlaga és szórása

hűtés	onset (°C)	peak (°C)	peak (°C)	area (J/g)	area (J/g)	end (°C)
pálmazsír	20,10±0	0,25±0,21	18,85±0,07	-	-	-9,60±0
pálmazsír-szacharóz	20,50±0,61	1,27±0,23	18,67±0,38	17,20±4,15	4,04±0,96	-9,47±0,98
pálmazsír-fruktóz	20,10±0,28	0,40±0,28	18,30±0,42	11,38±0,57	3,58±0,28	10,35±0,64
pálmazsír-inulin	19,43±0,11	0,73±0,06	18,03±0,12	15,37±0,44	-3,76±0,1	10,33±1,36
pálmazsír-keményítő	18,93±0,29	0,33±0,15	17,67±0,25	15,58±0,23	3,58±0,12	11,40±0,87

A hűtésnél az adatoknál megfigyelhető, hogy a kristályosodás kezdete alacsonyabb hőmérsékletre tehető az inulinos és keményítős minták esetében, tehát később kezdődött meg a kristályosodás folyamata. Valamint alacsonyabb hőmérsékleten is ért véget. Ez utóbbi igaz a fruktózra is. A zsír kristályosodási csúcsok közel azonos helyen találhatók, a tiszta zsírokhoz képest az első csúcs kicsivel magasabb hőmérséklet felé tolódott el, míg a második csúcs az alacsonyabb hőmérséklet

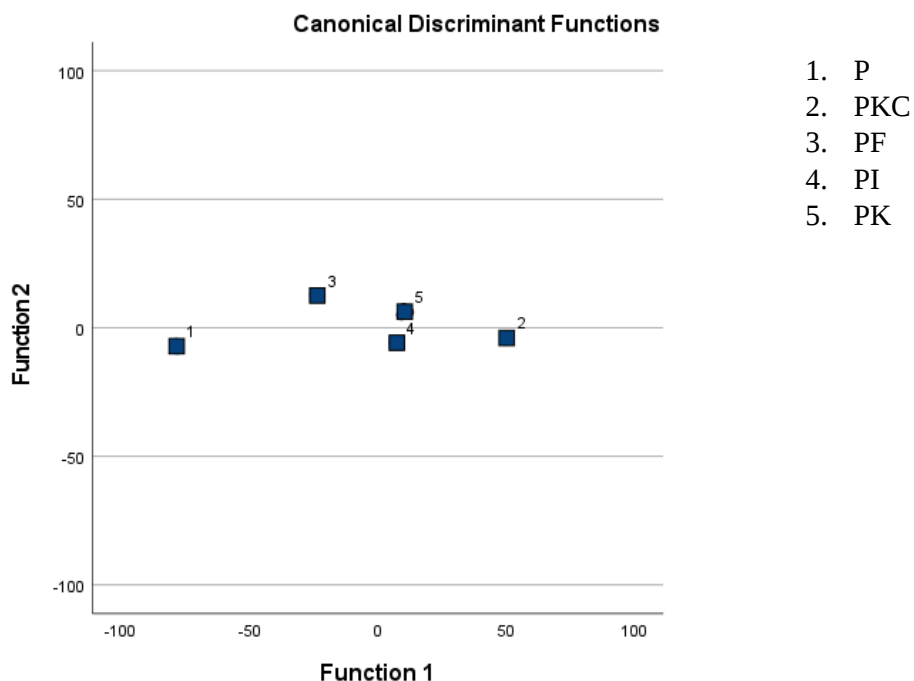
felé. Az entalpia értékeknél mindkét csúcs esetében csökkenés figyelhető meg a szénhidrátok hozzáadásának hatására. Azonban az adatokból jól látszik, hogy a szénhidrát tulajdonsága jobban befolyásolta az entalpia értékeket, mint a szemcsemérete. A szénlánc hosszúságával összefüggésben nem állapítható meg egyértelmű tendencia, egyik mért értékben sem.

25. táblázat: Pálmazsír, Pálmazsír-szacharóz, Pálmazsír-fruktóz, Pálmazsír-inulin, Pálmazsír-keményítő minták olvadási DSC paramétereinek átlaga és szórása

fűtés	onset (°C)	peak (°C)	peak (°C)	peak (°C)	peak (°C)	area (J/g)	area (J/g)	area (J/g)	end (°C)
pálmazsír	-9,75 ±0,07	3,30 ±0,14	7,65 ±0,07	35,00 ±0,14	-	51,15 ±1,28	17,72 ±0,06	-	36,70 ±0,28
pálmazsír- szacharóz	-18,97 ±1,27	3,57 ±0,15	12,23 ±1,27	35,60 ±0,1	192,00 ±0,26	14,53 ±3,63	8,47 ±2,1	58,92 ±14,18	40,40 ±0,2
pálmazsír- fruktóz	-19,30 ±0,28	3,35 ±0,21	7,70 ±0,0	34,80 ±0,42	129,70 ±0,99	12,68 ±0,44	8,69 ±0,35	87,85 ±3,35	40,85 ±0,07
pálmazsír- inulin	-19,50 ±0,0	3,17 ±0,06	7,47 ±0,06	35,00 ±0,1	-	15,54 ±0,28	7,78 ±0,18	-	39,17 ±0,06
pálmazsír- keményítő	-16,40 ±0,0	3,10 ±0,0	7,40 ±0,1	34,77 ±0,32	-	14,00 ±0,28	9,09 ±0,31	-	41,20 ±0,2

Az olvadási profil esetén a zsírkristályok felolvadása alacsonyabb hőmérsékleten megkezdődött szénhidrát jelenlétében. Maga az olvadási folyamat pedig magasabb hőmérsékleten ért véget, tehát tovább tartott. A csúcsok helyzete közel azonos, nem állapítható meg tendenciaszerű eltolódás egyik irányban sem. A görbe alatti területek viszont a kristályosodáshoz hasonlóan itt is csökkennek a szénhidrátok hatására a tiszta zsíradékokhoz képest. Ez esetben is elmondható, hogy a szénhidrát kémiai tulajdonsága vagy „milyensége” jobban befolyásolja az entalpia értékek változását, mint a szemcsemérete. Tendencia a szénlánc hosszúságával összefüggésben nem figyelhető meg. A hozzáadott szénhidrát csak a szacharózos és fruktózos minta esetén adott egyértelműen detektálható csúcsot az irodalmi adatok alapján nagyjából a várt olvadási hőmérsékleten. Ezek alapján megállapítható, hogy mindegyik szénhidrát az entalpia csökkenéséhez és a csúcsok eltolódásához vezet a pálmazsír kristályosodása és olvadása során is.

A kapott eredményekre ebben az esetben is végeztem további statisztikai kiértékelést. A lineáris diszkriminancia analízis során itt is teljes mértékben sikeres volt a csoportokba rendezés (M43. táblázat), tehát a mért termogramokból kapott eredmények alapján elkülöníthetők a minták külön csoportokba (51. ábra).



47. ábra: Különböző szénhidrát-pálmazsír minták DSC paramétereinek LDA eredményei (Function1-96%, function2-3%)

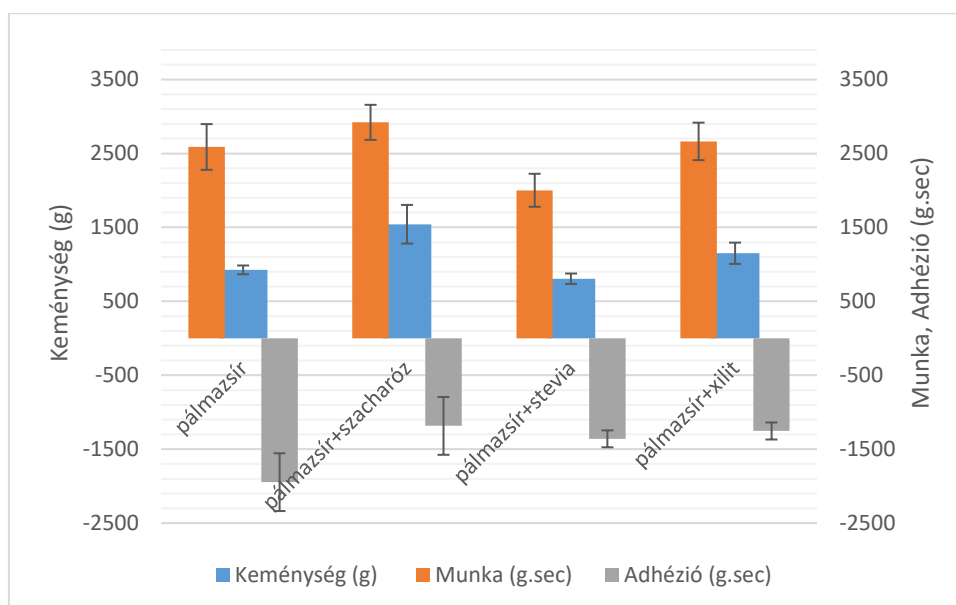
[P-pálmazsír, PKC-pálmazsír-szacharóz, PF-pálmazsír-fruktóz, PI-pálmazsír-inulin, PK-pálmazsír-keményítő]

5.7 Cukorhelyettesítés

A munkám során a szénhidrátok hatásának tanulmányozásán kívül végeztem kísérleteket cukorhelyettesítők bevonásával. A vizsgálataimat kiterjesztettem stevia és xilittel végzett minták állomány, viszkozitás és termikus viselkedésének mérésére.

5.7.1 Cukorhelyettesítés hatása az állományra

Az állomány mérés során a korábbiakkal azonosan vizsgáltam a minták keménységét, összenyomásukhoz szükséges munkát és az adhéziós erőt. Az így kapott eredményeket az 52. ábra mutatja be.

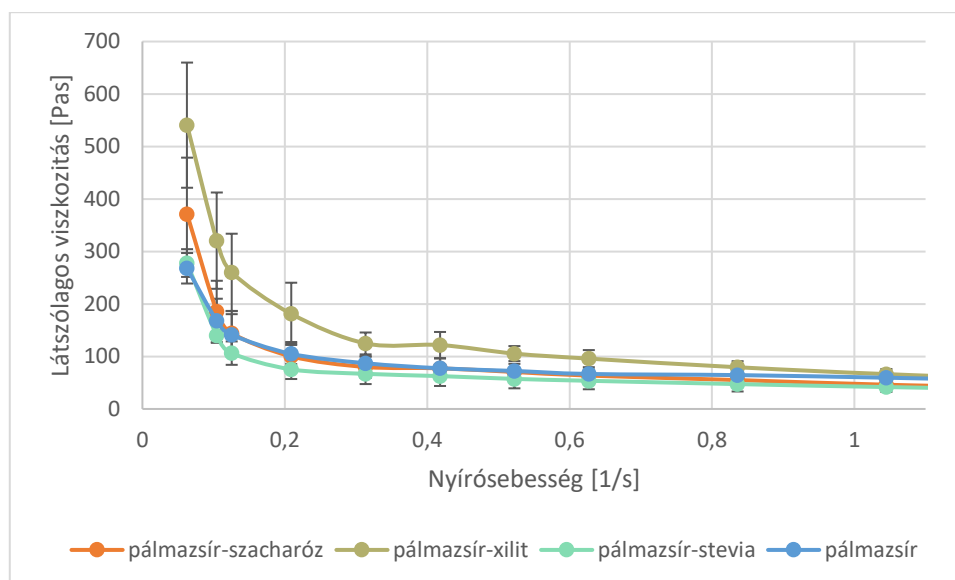


48. ábra: Pálmazsír, Pálmazsír-szacharóz, Pálmazsír-stevia és Pálmazsír-xilit minták állomány mérésének átlag értékei (n=10)

Az állomány mérés során megállapítható, hogy a keménység és az összenyomáshoz szükséges munka xilit hozzáadásával nőtt míg a stevia esetében csökkent a tiszta zsírhoz viszonyítva. Statisztikai elemzést végezve (M44.-M45. táblázat), viszont megállapítható, hogy a keménység értékekben nem mutatnak szignifikáns különbséget a tiszta zsírhoz képest, míg a munka esetében a stevia szignifikánsan eltér ($p < 0,05$). A szacharóz mintákhoz képest mind a xilit mind a stevia alacsonyabb értéket mutatott. A keménységben mindkét cukorhelyettesítő szignifikánsan eltér ($p < 0,05$), míg a munka esetén a xilit nem mutatott jelentős eltérést. A keverékek tapadóképessége minden esetben csökkent a tiszta zsírhoz képest, viszont a szacharóz mintához képest pedig növekedett. A pálmazsír adhéziós értéke -1946 g.sec volt, ezt követte a stevia -1360 g.sec értékkel, a xilit -1254 g.sec és végül a szacharóz -1185 g.sec. A kapott eredmények feltehetően a minták szárazanyag tartalmával hozhatók összefüggésbe, mivel mindkét esetben az édesítő erejüknek megfelelően kerültek elkészítésre. Így a xilites minta a szacharózzal megegyező arányú szárazanyagot tartalmazott, míg a steviás csak 20%-ot. A statisztikai elemzés alapján (M44.-M45. táblázat) a tiszta pálmazsír adhéziós ereje szignifikánsan eltér a keveréknél mért értékekhez viszonyítva, azonban elmondható, hogy a szacharózzal készült mintához képest a két minta nem tér el ($p < 0,05$). Ezek alapján elmondható, hogy a cukorhelyettesítők is befolyásolják a pálmazsír állományát. Megállapítható, hogy az azonos keverési arányban használt xilit értékei közelebb voltak a szacharóz mintánál mért adatokhoz és egy paraméter kivételével nem tértek el szignifikánsan.

5.7.2 Cukorhelyettesítés hatása a viszkozitásra

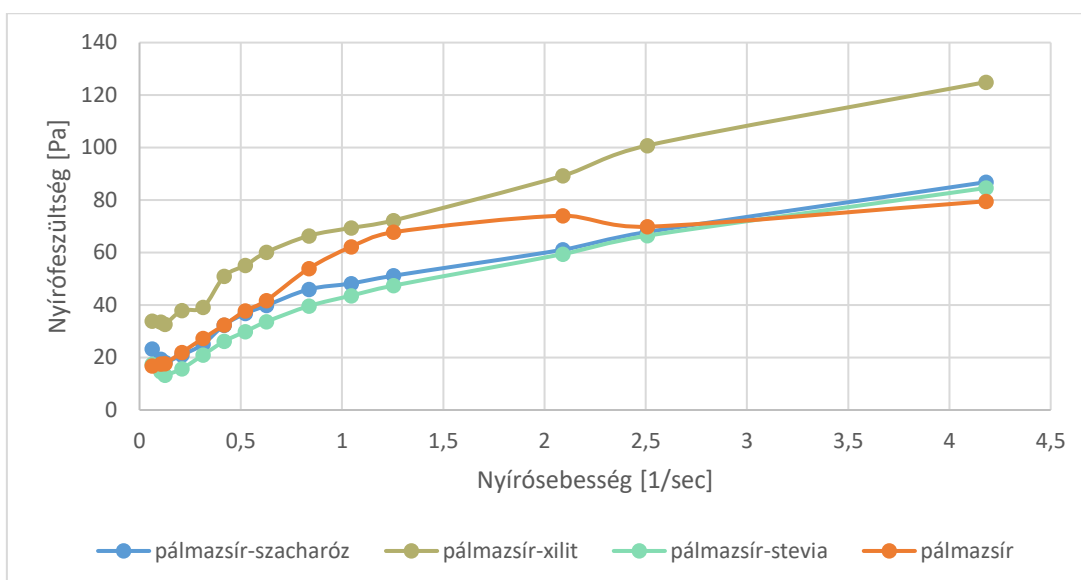
A rotációs viszkoziméter segítségével rögzítettem a minták látszólagos viszkozitását növekvő nyírósebesség mellett. Az így kapott értékek átlagát és a hozzájuk tartozó szórást az 53. ábrán ábrázoltam. Jelen esetben is megállapítható, hogy mindegyik minta nyírásra vékonyodó viselkedést mutat.



49. ábra: Pálmazsír, Pálmazsír-szacharóz, Pálmazsír-stevia és Pálmazsír-xilit minták átlag látszólagos viszkozitás görbéje ($n=3$)

A látszólagos viszkozitás értékei a xilittel készült mintánál voltak a legmagasabbak. Utána a szacharóz, tiszta pálmazsír és a stevia. Sokmen és Gunes (2006) munkája során más cukoralkohollal (izomalt) végzett kutatásukban hasonlóan viszkozitás növelő tulajdonságokat figyeltek meg.

Ezt követően a nyírófeszültség értékeket ábrázoltam a nyírósebesség függvényében (54. ábra).



50. ábra: Cukorhelyettesítők hatása a nyírófeszültségre (Pálmazsír, Pálmazsír-szacharóz, Pálmazsír-stevia és Pálmazsír-xilit)

A nyírófeszültség ábrázolásakor a xilites mintának voltak a legmagasabb értékei. Utána a pálmazsír, szacharózos és a steviás minta. Elvégeztem a modellillesztést és meghatároztam a Herschel-Bulkey és a Casson model paramétereit, amit a 26. táblázat foglal magába.

26. táblázat: Cukorhelyettesítés során kapott Herschel-Bulkey (H-B) és Casson modellek paramétereit

H-B	tau0	K	n	Casson	tau0	eta	n
pálmazsír-szacharóz	0,225	0,976	1,005	pálmazsír-szacharóz	2,16E-05	4,63E-03	13,232
pálmazsír-xilit	0,736	0,943	1,011	pálmazsír-xilit	4,33E-05	1,42E-02	11,910
pálmazsír-stevia	0,031	0,999	1,000	pálmazsír-stevia	1,9901E-05	9,98E-01	2,073
pálmazsír	0,261	0,969	1,007	pálmazsír	2,97E-05	6,85E-03	12,761

A kapott modelleknél ezt követően megvizsgáltam az illeszkedését, hogy képet kapjak melyik cukorhelyettesítő esetében, melyik modell illeszkedik jobban. Az eredményeket a 27. táblázat foglalja össze.

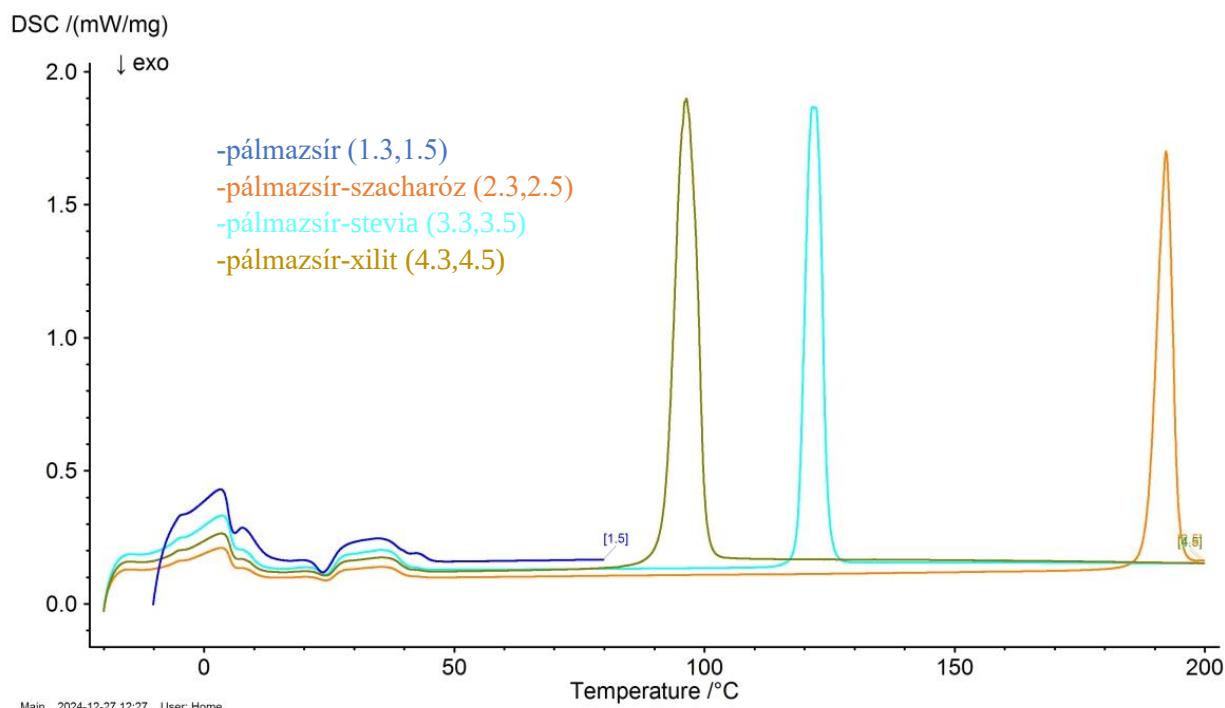
27. táblázat: A cukorhelyettesítés során kapott modellek (Herschel-Bulkey (H-B) és Casson) illeszkedése

H-B	R ²	RMSE	RMSE%	Casson	R ²	RMSE	RMSE%
pálmazsír-szacharóz	1,0	0,027	0,07	pálmazsír-szacharóz	0,99	6,72	16,39
pálmazsír-xilit	0,99	0,063	0,102	pálmazsír-xilit	0,99	8,09	12,73
pálmazsír-stevia	1,0	0,012	0,03	pálmazsír-stevia	1,0	0,017	0,05
pálmazsír	1,0	0,027	0,06	pálmazsír	0,99	6,35	13,83

A kapott eredmények alapján megállapítható, hogy az R² értékek többségében jó illeszkedést mutattak mindkét modellnél. A Herschel-Bulkey modell esetében a becslési hiba és a hiba százalék a pálmazsír és a pálmazsír-szacharóz mintánál közel azonos volt, azonban a legalacsonyabb hiba értéke a steviás mintának volt, RMSE 0,012 Pa és RMSE% 0,03%. A legmagasabb pedig a xilitesnek RMSE 0,063 Pa, RMSE% 0,102%. A Casson modellnél kapott eredmények is hasonlóan alakultak. A legpontosabb itt is a steviás minta illeszkedése volt RMSE 0,02 Pa és a hozzá tartozó hiba százalék 0,05%. A legnagyobb becslési hibát a xilites minta adta 8,09 Pa míg a legnagyobb hiba százalékot a szacharóz mintát 16,39%. Összességében a becslési hiba és a hozzá tartozó hiba százalék alapján itt is elmondható, hogy a Herschel-Bulkey modell illeszkedése pontosabb volt a cukorhelyettesítők alkalmazásakor is.

5.7.3 Cukorhelyettesítés hatása a termikus tulajdonságokra

Az állomány mérés és a viszkozitás mérés után vizsgáltam még a termikus tulajdonságok változását a pálmazsír esetében a cukorhelyettesítők hatására. Az olvadás során kapott átlag görbéket az 55. ábra szemlélteti.



51. ábra: Pálmaszír, Pálmaszír-szacharóz, Pálmaszír-stevia és Pálmaszír-xilit minták átlag olvadási DSC görbéje(n=5)

A kapott görbéket a pálmaszírra jellemző csúcsok azonos helyen jelennek meg. A mintákba kevert szacharóz, illetve cukorhelyettesítők olvadása jellegzetes csúcsként figyelhető meg. A szacharóz esetében 192,0°C, a xilit esetében 96,5°C, a steviánál pedig 121,5°C-on. A görbék pontosabb elemzésére elvégeztem a kiértékelést és kigyűjtöttem az olvadás kezdeti és végső hőmérsékletét, a csúcsok hőmérséklet értékét és az entalpiákat. Az így kapott eredményeket a 28. táblázat szemlélteti.

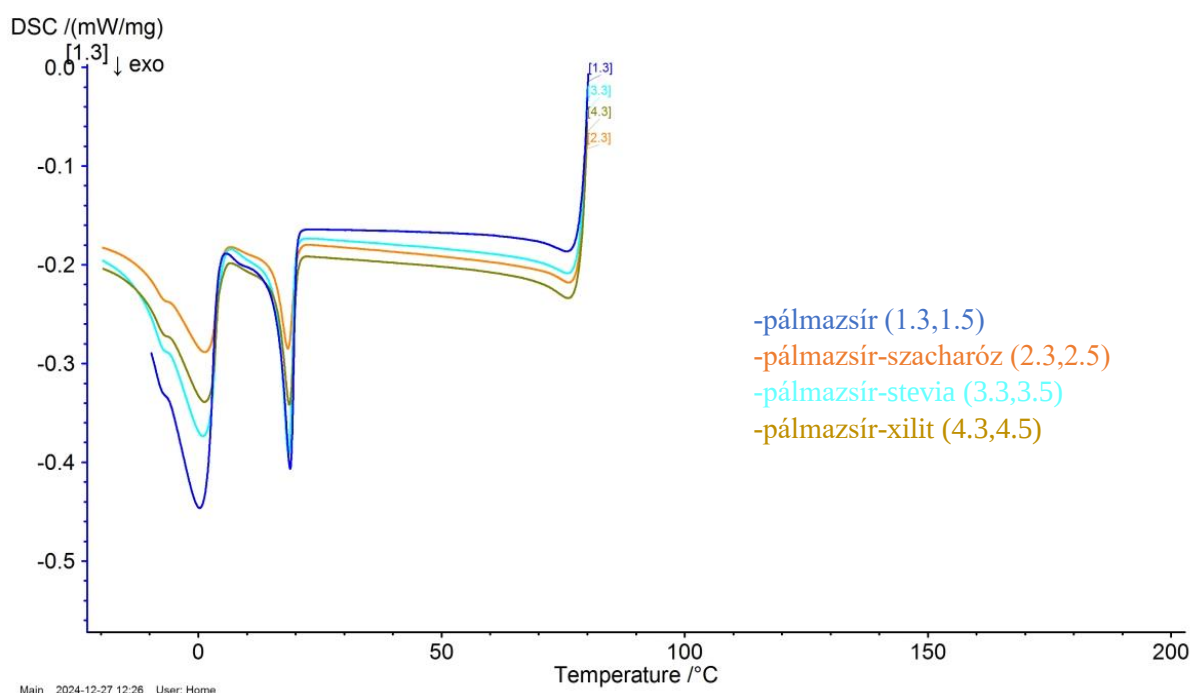
28. táblázat: Pálmaszír, Pálmaszír-szacharóz, Pálmaszír-stevia és Pálmaszír-xilit minták olvadási DSC paramétereinek átlaga és szórása

	Pálmaszír-xilit	Pálmaszír-stevia	Pálmaszír-szacharóz	Pálmaszír
Onset (°C)	-16,5 ±0,1	-16,5±0,3	-16,6±0,5	-16,4±0,4
Peak (°C)	3,5±0,2	3,6±0,3	3,4±0,2	4,0±0,2
Peak (°C)	35,6±0,3	35,5±0,2	35,5±0,4	36,0±0,3
Peak (°C)	96,5 ± 0,06	121,5 ± 0,06	192,0 ± 0,35	-
Area (J/g)	17,43±1,3	24,44±1,1	13,13±1,6	32,06±0,8
Area (J/g)	8,926±2,3	12,15±2,2	6,58±5,4	15,81±1,9
Area (J/g)	115,9 ± 4,0	80,5 ± 4,2	71,78 ± 8,1	-
End (°C)	40,5 ± 0,1	40,3 ± 0,3	40,2 ± 0,6	41,2±0,3

Eredmények alapján a pálmaszír olvadásának kezdete közel azonos volt a 4 minta esetében. A csúcsokhoz tartozó hőmérsékletek és a pálmaszír teljes felolvadásának véghőmérséklete azonban csökkent a keverékek esetén a tiszta zsírhoz viszonyítva, tehát az olvadás hamarabb

bekövetkezett. Azonban a szacharóz, illetve cukorhelyettesítőnél azonos értékeket kaptam eredményül. Jelentősebb eltérés a minták között az entalpia értékekben figyelhető meg. A szacharóznál tapasztalt entalpia csökkentő hatás a xilit és a stevias minták esetében is megmutatkozott. A szacharóz csökkentette legjobban az entalpia értéket a tiszta pálmazsírhoz viszonyítva, majd a xilit és végül a stevia. Ez a tendencia mindkét csúcs esetében megfigyelhető. A stevia esetén tapasztalt kisebb mértékű csökkentés részben a keverési arányokban való eltérés is eredményezheti. Összességében tehát ezek alapján megállapítható, hogy a xilit és a stevia pálmazsírhoz való hozzákeverése nagyobb entalpia értékeket eredményezett, a szacharózzal készült mintához viszonyítva, azonban más értékekben nem mutatnak különbséget az olvadás során.

Az olvadást követően megvizsgáltam a cukorhelyettesítők kristályosodásra gyakorolt hatását is (56. ábra).



52. ábra: Pálmazsír, Pálmazsír-szacharóz, Pálmazsír-stevia és Pálmazsír-xilit minták kristályosodásának átlag DSC görbéi (n=5)

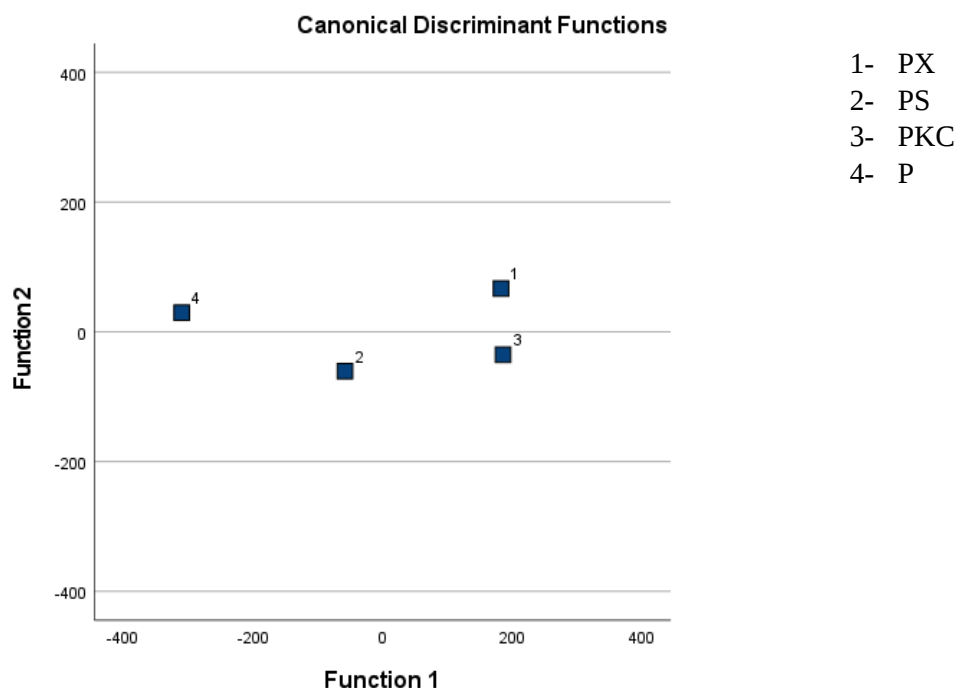
A kristályosodás során kapott görbék alapján megállapítható, hogy a pálmazsír olvadására jellemző csúcsok közel azonos helyen jelentkeztek, azonban a csúcsok magassága csökkent. A legmagasabb a pálmazsír esetén volt, majd stevia, xilit és a szacharóz minták következtek. A pontosabb kiértékeléshez kigyűjtöttem itt is a görbékhez tartozó adatokat (29. táblázat)

29. táblázat: A Pálmazsír, Pálmazsír-szacharóz, Pálmazsír-stevia és Pálmazsír-xilit minták kristályosodási DSC paramétereinek átlaga és szórása

	Pálmazsír-xilit	Pálmazsír-stevia	Pálmazsír-szacharóz	Pálmazsír
End (°C)	-8,7 ± 0,55	-10,5 ± 0,46	-9,5 ± 0,98	-10,6 ± 1,7
Peak1 (°C)	1,2 ± 0,06	1,0 ± 0,0	1,3 ± 0,23	0,7 ± 0,14
Peak2 (°C)	18,7 ± 0,06	18,6 ± 0,06	18,7 ± 0,38	18,8 ± 0,07
Area1 (J/g)	-17,5 ± 0,56	-24,7 ± 0,17	-17,6 ± 4,28	-31,7 ± 0,09
Area2 (J/g)	-6,4 ± 0,2	-8,8 ± 0,04	-6,3 ± 1,55	-11,6 ± 0,88
Onset (°C)	20,3 ± 0,06	20,0 ± 0,1	20,5 ± 0,61	20,5 ± 0,07

A kristályosodás kezdeti hőmérsékletét és az első csúcshoz tartozó hőmérséklet értéket a diszpergált szacharóz vagy édesítőszer részecskék nem befolyásolták. A második csúcs esetében már megfigyelhető, hogy előbb jelentkezett a szacharóz, illetve a cukorhelyettesítők hatására a tiszta pálmazsírhoz viszonyítva. A szacharóz és a xilit közel azonos értékeket adott, a stevia volt a legközelebb a pálmazsírhoz. A kristályosodás lezárulásánál is megfigyelhető az eltolódás. A xilites és a szacharóz minták esetében hamarabb végbement a folyamat a legmagasabb csúcs hőmérséklet értéket a xilites minta adta (-8,7 °C). Azonban a stevia jelenléte nem befolyásolta a kristályosodás végét. Az entalpia értékekben az olvadáshoz hasonlóan itt is megfigyelhető a csökkenő tendencia a diszpergált részecskék hatására. A szacharóz és a xilit közel azonos értékeket adott, ezeknél volt a legalacsonyabb mindkét csúcshoz tartozó göbe alatti terület. Míg a steviával készült keverék állt legközelebb a tiszta zsírhoz. Ebben az esetben is ennek részben oka lehet a minták pálmazsír tartalma, amit a keverési arányok befolyásolnak. A kristályosodás során elmondható, hogy a szacharóz és a xilit közel azonos eredményeket mutatott, a stevia abszolút értékben pedig magasabb entalpia értékeket eredményezett a többi keverékhez képest.

Annak megállapítására, hogy a cukorhelyettesítővel készült minták a DSC paramétereket figyelembe véve elkülönülnek-e a cukros, illetve a tiszta zsíros mintától itt is elvégeztem a lineáris diszkriminancia analízist.



53. ábra: Pálmazsír (P), Pálmazsír-szacharóz (PKC), Pálmazsír-stevia (PS) és Pálmazsír-xilit (PX) minták DSC paramétereinek LDA eredménye (Function 1: 94,2%, Function 2: 5,8%)

A kapott diagram alapján a minták teljesen elkülöníthetők a DSC paramétereket figyelembe véve, a csoportokba sorolás 100% volt minden esetben (M46. táblázat). A szacharózzal és xilittel készült minta volt egymáshoz a legközelebb.

A cukorhelyettesítőkkel végzet kísérletek alapján megállapítható, hogy befolyásolják a minták állományát, viszkozitását és termikus viselkedését is (30. táblázat).

30. táblázat: Cukorhelyettesítők hatása a szacharózos mintához viszonyítva a vizsgálat paramétereire

	Xilit	Stevia
Keménység	csökken	csökken
Munka	csökken	csökken
Adhézió	nő	nő
Látszólagos viszkozitás	nő	csökken
Oladási entalpia	nő	nő
Oladási hőmérséklet	azonos	azonos
Kristályosodási entalpia	azonos	nő
Kristályosodási hőmérséklet	közel azonos, hamarabb végbemegy	csökken, később végződik

A xilit többségben a mért eredményeket a szacharózhoz hasonlóan befolyásolta, de nem ugyan abban a mértékben, míg a stevia esetén jelentősebb eltérés figyelhető meg, mely magyarázható azzal, hogy amennyiben az édesítő erőnek megfelelően váltjuk ki a szacharózt, akkor a stevia esetében kisebb szárazanyagtartalmat kapunk.

Következtetések és javaslatok

Az édesipari termékek jelentős részét teszik ki a lipid-szénhidrát alapú termékek. Azonban témához kapcsolódó irodalmi kutatások többsége főként a tiszta lipidekre és a több összetevős komplex élelmiszerekre koncentrált. Ez utóbbiak esetében jellemzően a szacharóz hatása kerül csak feltérképezésre. Az általam végzett kutatómunka alapján jól látszik, hogy érdemes és szükséges a különböző szénhidrátokat külön-külön vizsgálni és az élelmiszer mátrixot elemeire bontani.

A szacharózzal végzett mérések során megállapítható, hogy a zsír típusától függetlenül a szacharóz jelenléte a legtöbb mért paraméterben növekedést eredményezett a tiszta zsírok mért értékeihez képest. Megnövelte a szilárd zsír-tartalmat, látszólagos viszkozitást, nyírófeszültséget, keménységet és az összenyomáshoz szükséges munkát. Egyedül az entalpia értékekben volt tapasztalható csökkenés. A hozzáadott szacharóz a különböző zsírok esetén eltérő eredményt adott az adhézió paraméterben. A viszkozitás modellezése során a Herschel-Bulkey modell bizonyult megfelelőbbnek a modell illesztésnél.

Két különböző szemcseméretű szacharózt vizsgálva megállapítható, hogy a szilárd anyag tartalom és a viszkozitás nőtt, míg a keménység, az adhézió és az entalpia csökkent a szemcseméret csökkentés hatására. Ezáltal a szemcseméret megválasztása meghatározó paraméter a technológia és a késztermék szempontjából is.

Az eltérő lánchosszú szénhidrát hozzáadásakor a szilárd anyag tartalom, a viszkozitás, a keménység és behatolási/összenyomási munka nőtt. Az entalpia értékekben csökkenés tapasztalható a tiszta zsírhoz képest. Az adhézió esetében típusól függően növekedés és csökkenés is tapasztalható. Az alkalmazott szénhidrátok a zsírra gyakorolt hatást nem egyforma mértékben fejtették ki, ezáltal az elvárt fizikai paraméterek (pl.: késztermék keménysége) és a gyártástechnológiai paraméterek (pl.: folyás és ezáltal a szivattyúzhatóság) szempontjából fontosak.

Az édesítőszerek szintén befolyásolják a fent említett tulajdonságokat. Ezeknél fontos kiemelni, hogy ízben a szacharóz helyettesítésére alkalmazzuk, azonban a kísérleti eredmények alapján technofunkcionális szempontból nem a cukorral azonos módon vagy mértékben fejtenek ki hatást. Mind a xilit mind a stevia alacsonyabb értékeket adott keménység és az összenyomáshoz szükséges munka esetén, míg az adhéziós erő és az oladási entalpia esetén magasabbat.

A xilites keverék a szacharózhoz képest magasabb látszólagos viszkozitás értékeket eredményezett, de az oladási és kristályosodási hőmérséklet, valamint a kristályosodási entalpia esetén közel azonos eredményeket mutatott. A stevias keveréknél a mért eredmények kisebb

látszólagos viszkozitást eredményeztek. Az olvadási hőmérsékletek közel azonosak voltak a szacharózos mintával, a kristályosodási entalpia esetén magasabb értékeket mutatott, míg a kristályosodási hőmérsékletek esetén pedig alacsonyabbat. Ezek alapján összességében a lipid-szénhidrát rendszerek a komplex élelmiszerekben való felhasználása további vizsgálatokat igényel. Érdeemes lenne tovább vizsgálni a különböző szénhidrát hatását azonos szemcseméret mellett tanulmányozni, illetve más keverési arányokat is megvizsgálni.

Új tudományos eredmények

1. A kókuszzsír és tejszír szacharózzal alkotott keverékei, valamint a pálmazsír szacharóztól eltérő szénhidráttal alkotott keverékei esetében először igazoltam, hogy a szénhidrát hozzáadása a zsír rendszerhez befolyásolja a szilárd zsír-tartalom alakulását, ezáltal a minták olvadási tulajdonságát és ennek köszönhetően az ipari technológiában befolyásolják a gyártási paramétereket. A különböző szénhidrátok hozzáadása az alacsonyabb hőmérséklet esetében eltérő SFC értékeket eredményez. Megállapítható, hogy bár a szacharóznál megfigyeltek szerint a szemcseméret befolyásolja az SFC értékeket, ebben az esetben mégsem az volt a fő befolyásoló tényező, hanem a szénhidrát láncossza.
2. A lipid-szénhidrát rendszerek esetén először állapítottam meg, hogy a látszólagos viszkozitás mérés (30°C) alapján függetlenül az alkotó változtatásától a Herschel-Bulkey modell illesztése volt pontosabb, mint a Casson modell.
3. Elsőként mutattam be, hogy a finom szemcsés szacharóz és pálmazsír mintára a Herschel-Bulkey modell jobban illeszthető, azaz a szemcseméret csökkentésével nő az illesztési pontosság. A determinációs együttható durva szemcsés szacharóz esetében 0,91, a becslési hiba 5,26 Pa és hiba százalék 6,58%, Míg a finom szemcsés szacharóznál ezek 1,0, 0,01 Pa és 0,01%.
4. A csak szacharózt és zsírt tartalmazó rendszerek esetében először állapítottam meg, hogy a szemcseméret növelése a keménység paraméter növekedéséhez vezet, ugyanakkor a kenhetőség csökkenéséhez. A szénlánc növekedésével a mono-, di és oligoszacharid esetén arányosan nőnek a keménység és az összenyomáshoz szükséges munka értékek, azonban a keményítővel, mint poliszachariddal készült minta nem követi a tendenciát.
5. A kókuszzsír és tejszír esetén először igazoltam, hogy a zsírkristályok olvadása alacsonyabb hőmérsékleten kezdődik el a szacharóz hatására és alacsonyabb hőmérsékleten is befejeződik.
6. Először igazoltam, hogy a szacharóztól eltérő szénhidrátok, illetve a különböző szemcseméretű szacharóz kristályok az entalpia csökkenéséhez és a csúcsok eltolódásához vezetnek a pálmazsír kristályosodása és olvadása során is. Korreláció nem figyelhető meg a szénláncossz függvényében a DSC eredmények változásában.
7. A cukorhelyettesítők a szacharózhoz hasonlóan alacsonyabb entalpia értékeket eredményeztek a tiszta pálmazsírhoz viszonyítva. Míg a stevia csökkentette, a xilit növelte a keménység és a viszkozitás értékeket a tiszta zsírhoz képest.

Összefoglalás

A feldolgozott élelmiszerek számos összetevőből állnak, ezek együttesen egy többfázisú rendszert alkotnak, amelynek fő összetevői a lipidek, szénhidrátok, fehérjék. Az édesipar területén ezek közül a jelentősebbek a lipidek és a szénhidrátok. Az élelmiszeripari termékek szempontjából a zsiradékok kristályosodási jelenségeinek tanulmányozása elengedhetetlen. A kristályszerkezet hatással van az élelmiszerek állományára, minőségére, érzékszervi megítélésére. Az édes- és sütőipari termékekben a zsiradékok nem önmagukban vannak csak jelen, hanem más alkotókkal együtt, jellemzően főként szénhidrátokkal elegyedve. Ezen alkotók együttesen felelnek a termékek, mint például a töltelékkrémek állományának kialakításáért, tárolás alatti változásaiért és érzékszervi tulajdonságaikért. Annak ellenére, hogy jellemzően a két makronutriens együttesen van jelen, mégis kevés kutatás foglalkozik tisztán ezeknek elegyítésével létrejött rendszerekkel és közöttük fellépő kölcsönhatásokkal. Ezáltal esett a választásom a doktori munkám során ezek tanulmányozására.

Az édesipari krémek területén legtöbbet használt zsiradék a pálma közép frakció, az egyedülálló tulajdonságai miatt és a széles körű alkalmazhatósága révén. Ezért a kutatásom során ezt választottam modell alapnak. A szélesebb körű feltárás érdekében, más a pálmához hasonló felhasználási célú édesipari zsiradékokat is bevontam a kísérletbe. Ezeket igyekeztem úgy választani, hogy minél komplexebb képet nyújtson számunka a szacharóz zsírokra gyakorolt hatásairól. Így egy laurikus zsírt, a kókuszszírt, továbbá egy állati eredetű zsírt, -amit gyakorta használnak édesipari termékekben, - a tejszírt választottam kísérletemhez. A szénhidrátok esetében elmondható, hogy általánosságban az édesipari termék előállításakor diszacharidot diszpergálnak a zsírfázisban, pontosabban szacharózt. Ennek nyomán elsődlegesen ennek hatását elemeztem a zsiradékok fizikai tulajdonságaira. Ezek mellett, az átfogó tanulmányozás érdekében, nemcsak a zsírfázist változtattam, hanem a szénhidrát fázist is. A kutatásom kiterjesztettem a mono-, di-, oligo- és poliszacharidok pálmazsír fizikai paramétereire gyakorolt hatásaira is. Továbbá a cukorfogyasztás csökkentésére való törekvések miatt, két cukorhelyettesítőre: a xilitre és a steviára egyaránt. Céлом volt annak megállapítása, hogy a különböző keverékek esetén, hogy változik a szilárd anyag tartalom, a viszkozitás, az állomány és a termikus tulajdonságok.

A kísérleti eredményeim alapján megállapítható, hogy a tiszta zsírok esetén a szacharóz szilárd anyag tartalom növekedését okozza. A különböző szemcseméretet figyelembe véve elmondható, hogy a szemcseméret csökkentése növeli az SFC értéket. Feltehetően azért, mert a nagyobb szemcseméretű szacharóz részecskék a simább felület miatt kevesebb aktív helyet biztosítanak, így kevésbé segítik az újra kristályosodást. A különböző szénhidrátok esetén a mért SFC értékei alapján jól látszik, hogy az alacsonyabb hőmérséklet esetében eltérő SFC értékeket

eredményeznek. A korreláció analízis alapján a kapott eredmények jobban korrelálnak a szénhidrát lánchosszával, mint a szemcsemérettel.

A viszkozitás mérés eredményei alapján elmondható, hogy a szénhidrát hatására növekedés figyelhető meg a látszólagos viszkozításban és a nyírófeszültségben, zsírtípustól függetlenül. A kisebb szemcseméret magasabb viszkozitás értéket eredményez. A szénhidrátlánc hosszával egyenesen arányos a nyírófeszültség értéke, a keményítőnél a legnagyobb, fruktóznál, illetve szacharóznál a legkisebb. Pontos következtetés nem vonható le arról, hogy a szénhidrát lánchossza vagy szemcsemérete befolyásolja-e jobban a pálmazsír viszkozitását.

Mindegyik minta esetében a választott reológiai modellek közül a Herschel-Bulkey modell illeszkedése volt pontosabb.

Az állomány mérés alapján a szacharóz hozzáadása megnövelte a minták keménységét és ezzel együtt az összenyomásukhoz szükséges munkát is mindegyik zsírmintánál. Az adhéziónál a kókuszszsír és a tejszír esetében a szacharóz hozzáadásával növekedés figyelhető meg az értékekben, míg a pálmazsír esetében csökkenés. Megállapítható, hogy a szemcseméret növekedése a keménység növekedéséhez vezetett. Az adhézió esetében pedig, minél kisebb volt a szemcseméret, annál kisebb lett a mért érték. Az eltérő szénhidrátok esetén mindegyik hozzáadása növekedést okozott a keménység és a munka értékekben a tiszta pálmazsírhoz viszonyítva. A szénlánc növekedésével a mono-, di és oligoszacharid esetén arányosan nőnek az értékek, azonban a keményítővel, mint poliszachariddal készült minta nem követi a tendenciát. A kapott eredmények ennél a mintánál a fruktóz és a szacharóz közé esnek. Az adhéziót vizsgálva ezeknél a mintáknál nem figyelhető meg egyértelmű tendencia a szénhidrátok hatásával kapcsolatban. A pálmazsír értékéhez képest alacsonyabb volt a mért érték a fruktóz, szacharóz és inulin esetén, míg a keményítőnél magasabb.

A DSC eredmények alapján általánosan elmondható, hogy a szacharóz jelenlétének hatására csökkentek a görbe alatti területek, azaz az entalpia értékek, a zsír típusától függetlenül. A csúcsok nehezebben detektálhatók, és a hozzájuk tartozó hőmérsékletek eltolódtak mind a kristályosodás, mind az olvadás esetén. A kristályosodás során a magasabb hőmérséklet felé mozdította a szacharóz jelenléte a csúcsok detektálhatóságát mindegyik mintánál. Míg az olvadás során a pálma estében magasabb, a másik két mintánál alacsonyabb hőmérsékletet eredményezett. A szacharóz olvadása minden esetben jól meghatározott csúcsként jelenik meg. A kristályosodás és az olvadás hőmérsékleti tartományát vizsgálva megállapítható, hogy a kristályosodás alacsonyabb hőmérsékleten, tehát később kezdődik a szacharóz jelenlétében azonban magasabb hőmérsékleten ér véget tehát hamarabb lezajlik. Ezek alapján a kristálygócok kialakulását gátolja a szacharóz jelenléte, viszont a kristálynövekedést elősegíti. A zsírkristályok olvadása alacsonyabb hőmérsékleten kezdődik el a szacharóz hatására és a tejszír és a kókuszszsír esetében alacsonyabb

hőmérsékleten is befejeződik, míg a pálmazsír esetében magasabb hőmérsékleten. A szemcseméret csökkentés hatására csökkenés figyelhető meg az entalpia értékekben. A különböző szénhidrátok alapján megállapítható, hogy mindegyik szénhidrát az entalpia csökkenéséhez és a csúcsok eltolódásához vezet a pálmazsír kristályosodása és olvadása során is.

A cukorhelyettesítőknél a szacharózos mintákhoz képest mind a xilit, mind a stevia alacsonyabb értéket mutatott a keménység és a behatolási munka értékekben, a tapadóképeség viszont a szacharózos mintához képest növekedett. A látszólagos viszkozitás és nyírófeszültség esetén az alábbi csökkenő sorrend állapítható meg xilit, pálma, szacharóz és a stevia.

Jelen esetben is a Herschel- Bulkey modell illesztése volt pontosabb. A DSC mérések alapján a szacharóznál tapasztalt entalpia csökkentő hatás a xilites és a stevias minták esetében is megmutatkozott.

A szacharóz csökkentette legjobban az entalpia értéket a tiszta pálmazsírhoz viszonyítva, majd a xilit és végül a stevia. Összességében a cukorhelyettesítők esetében kapott eredményeknél a xilites minta mutatott a szacharózhoz hasonlóbb értékeket.

Összességében a doktori munkám alapján megállapítható, hogy a zsír típusától függetlenül a szénhidrátok befolyásolják a zsírok olvadását, kristályosodását, állományát és viszkozitását is. Ezen felül látszik, hogy a szénhidrát típusa és szemcsemérete is jelentős hatást gyakorol ezen paraméterekre, valamint az alkalmazott édesítőszer is.

Az általam végzett modellkísérletek hozzájárulnak a lipid-szénhidrát alapú termékek fejlesztéséhez. Elősegítik a megfelelő gyártástechnológiai paraméterek megválasztását és a megfelelő összetétel, illetve receptúra kialakítását a késztermék elvárt tulajdonságainak szempontjából.

Summary

Processed foods consist of numerous components that together form a multiphase system, with the main constituents being lipids, carbohydrates, and proteins. In the confectionery industry, lipids and carbohydrates have the biggest significance out of these. For food products, the study of the crystallisation phenomena of fats is essential. The crystal structure affects the texture, quality, and sensory perception of foods. In confectionery and bakery products, fats are not present alone but are typically mixed with other components, predominantly carbohydrates. These combined components are responsible for the texture, storage-related changes, and sensory properties of products such as filling creams. Even though these two macronutrients are usually present together, there is only few research focused solely on their mixing and the interactions between them. This is why I chose to study these interactions in my doctoral research.

In the field of confectionery creams, the most commonly used fat is palm mid-fraction, due to its unique properties and wide applicability. Therefore, I chose this as the starting fat for my research. Generally, in the production of confectionery products, a disaccharide, specifically sucrose, is dispersed in the fat phase. Consequently, I primarily analysed the impact of this on the physical properties of fats. For a broader exploration, I also included other confectionery fats with similar uses to palm oil in the experiment. I aimed to select these fats to provide us with a more comprehensive understanding of the effects of sugar on fats. Therefore, I chose a lauric fat, coconut oil, and an animal-derived fat, milk fat, which is often used in confectionery products, for my experiment. Additionally, to ensure a thorough study, I not only varied the fat phase but also the carbohydrate phase. I extended my research to the effects of mono-, di-, oligo-, and polysaccharides on the physical parameters of palm fat. Furthermore, due to efforts to reduce sugar consumption, I also included two sugar substitutes: xylitol and stevia. My goal was to determine how the solid fat content, viscosity, texture, and thermal properties change with different mixtures.

Based on the experimental results, it can be concluded that sugar increases the solid fat content in pure fats. Considering the different particle sizes, it can be said that reducing particle size increases the SFC (Solid Fat Content) value, likely because larger sugar particles provide fewer active sites due to their smoother surface, thereby hindering recrystallisation. For different carbohydrates, the measured SFC values clearly show that lower temperatures result in different SFC values. Correlation analysis suggests that the results correlate more with carbohydrate chain length than with particle size.

Viscosity measurements indicate that the presence of carbohydrates increases the apparent viscosity and shear stress, regardless of fat type. Smaller particle size results in higher viscosity. Shear stress values are proportional to carbohydrate chain length, being highest with starch and

lowest with fructose and sucrose. It is not possible to draw a definitive conclusion as to whether carbohydrate chain length or particle size has a greater effect on the viscosity of palm fat. For all samples, the Herschel-Bulkley model provided the most accurate fit among the selected rheological models.

Texture measurements show that the addition of sugar increased the hardness of the samples, and consequently, the work required to compress them, across all fat samples. In terms of adhesion, the addition of sugar increased the values for coconut and milk fat, while it decreased for palm fat. It can be concluded that increasing particle size led to increased hardness. For adhesion, the smaller the particle size, the lower the measured value. For different carbohydrates, each addition caused an increase in hardness and work values compared to pure palm fat. With the growth of the carbon chain in mono-, di-, and oligosaccharides, the values proportionally increased, but the sample made with starch as a polysaccharide did not follow this trend. The results for this sample fell between those of fructose and sucrose. When examining adhesion in these samples, no clear trend could be observed regarding the effect of carbohydrates. Compared to the palm fat value, the measured value was lower for fructose, sugar, and inulin, but higher for starch.

Based on the DSC (Differential Scanning Calorimetry) results, it can generally be said that the presence of sugar reduced the areas under the curve, i.e., the enthalpy values, regardless of fat type. Peaks became harder to detect, and the corresponding temperatures shifted in both crystallisation and melting. During crystallisation, the presence of sugar shifted peak detectability towards higher temperatures in all samples. During melting, higher temperatures were observed in palm fat, while lower temperatures were recorded in the other two samples. The melting of sucrose always appeared as a well-defined peak. Examining the temperature range of crystallisation and melting, it can be concluded that crystallisation begins at a lower temperature, thus occurring later in the presence of sugar, but ends at a higher temperature, hence earlier. Based on these findings, it can be inferred that the presence of sugar inhibits the formation of crystal nuclei but promotes crystal growth. The melting of fat crystals begins at a lower temperature due to the effect of sugar and ends at a lower temperature in milk fat and coconut oil, but at a higher temperature in palm fat. Reducing particle size resulted in a decrease in enthalpy values. Based on the different carbohydrates, it can be concluded that each carbohydrate led to a decrease in enthalpy and a shift in peaks during the crystallisation and melting of palm fat.

For the sugar substitutes, both xylitol and stevia showed lower values for hardness and penetration work compared to the sugar samples, while adhesion increased compared to the sugar sample. For apparent viscosity and shear stress, the following descending order can be established: xylitol, palm, sugar, and stevia. In this case, too, the Herschel-Bulkley model provided the most

accurate fit. Based on the DSC measurements, the enthalpy-reducing effect observed with sugar was also seen in the xylitol and stevia samples. Sugar had the greatest effect in reducing enthalpy compared to pure palm fat, followed by xylitol, and lastly stevia. Overall, the results obtained for the sugar substitutes show that the xylitol sample exhibited values most similar to those of sugar.

In conclusion, based on my doctoral work, it can be determined that carbohydrates influence the melting, crystallisation, texture, and viscosity of fats, regardless of the type of fat. Furthermore, it is evident that the type and particle size of the carbohydrate, as well as the sweetener used, have a significant impact on these parameters. The model experiments I conducted contribute to the development of lipid-carbohydrate-based products. They assist in the selection of appropriate manufacturing parameters and in the formulation of the proper composition and recipe to achieve the desired properties of the final product.

Mellékletek

M1. Irodalomjegyzék

1. Afoakwa, E. O., Paterson, A. and Fowler, M. (2007a). Factors influencing rheological and textural qualities in chocolate: A review. *Trends Food Sci. Technol.* 18(6):290-298.
2. Afoakwa, E. O., Paterson, A. and Fowler, M. (2007b). Effects of particle size distribution and composition on rheological properties of dark chocolate. *Eur. Food Res. Technol.* 226(2):1259-1268.
3. Afoakwa, E.O., Paterson, A., Fowler, M., and Veira, J. (2008a). Characterization of melting properties in dark chocolate from varying particle size distribution and composition using differential scanning calorimetry. *Food Res. Int.* 41(7):751-757.
4. Afoakwa, E. O., Paterson, A., Fowler, M. and Ryan, A. (2008b). Flavor formation and character in cocoa and chocolate: A critical review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 48(9):1-18.
5. Afoakwa, E.O., Paterson, A., Fowler, M., and Ryan, A. (2008c). Flavor formation and character in cocoa and chocolate: A critical review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 48(9):1-18.
6. Afoakwa, E. O., Paterson, A., Fowler, M. and Vieira, J. (2009). Influence of tempering and fat crystallization behaviours on microstructural and melting properties in dark chocolate systems. *Food Res. Int.* 42(1):200-209.
7. Aidoo, R. P., Depypere, F., Afoakwa, E. O. and Dewettinck, K. (2013). Industrial manufacture of sugar-free chocolates: Applicability of alternative sweeteners and carbohydrate polymers as raw materials in product development. *Trends Food Sci. Technol.* 32(2):84-96.
8. Altimiras, P., Pyle, L., & Bouchon, P. (2007). Structure-fat migration relationships during storage of cocoa butter model bars: Bloom development and possible mechanisms. *Journal of Food Engineering*, 80, 600–610.
9. Barnes, H. A. (2000): *A Handbook of Elementary Rheology*. Published by The University of Wales Institute of Non-Newtonian Fluid Mechanics, Department of Mathematics, University of Wales Aberystwyth, Penglais, Aberystwyth, Dyfed, Wales. ISBN 0953803201
10. Beckett, S. T. (1994). Control of particle size reduction during chocolate grinding. In: *Proceedings of the Pennsylvania Manufacturing Confectioners' Association Production Conference*, pp. 136-143. PMCA, Center Valley, Pennsylvania, U.S.A.
11. Beckett, S.T., (2008). *The Science of Chocolate*, second ed. RSC Publishing, Cambridge, UK. ISBN 978-1-83916-843-7

12. Bouzas, J. and Brown, B. D. (1995). Interacting affecting microstructure, texture, and rheology of chocolate confectionery products. In: *Ingredient Interactions: Effects on Food Quality*, pp. 451-528. Gaonkar, A. G., Ed., Marcel and Dekker, New York City, New York, U.S.A. ISBN 9780824757489
13. Bowser, A. (2006). Crystallization of cocoa butter. *The Manufacturing Confectioner*, 86, 115–118.
14. Bricknell, J. and Hartel, R. W. (1998). Relation of fat bloom in chocolate to polymorphic transition of cocoa butter. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 75(11):1609-1615.
15. Csapó J és Csapóné K. Zs. (2003) – *Élelmiszerkémia*, Mezőgazda kiadó. ISBN 9789632866420
16. Carvalho-da-Silva, A. M., Van Damme, I., Taylor, W., Hort, J. and Wolf, B. (2013). Oral processing of two milk chocolate samples. *Food Funct.* 4(3):461-469.
17. Chhabra, R. P. (2006). *Bubbles, Drops, and Particles in Non Newtonian Fluids*. CRC Press, Boca Raton, Louisiana, U.S.A. ISBN9780429074806
18. Chevalley, J. (1999). Chocolate flow properties. In: *Industrial Chocolate Manufacture and Use*, pp. 182-200. Beckett, S. T., Ed., Blackwell Science, Oxford, U.K. ISBN:9781118780145
19. Clayton, P. and Conn, H. (2005). Carbohydrate Substitutes. International Patent Cooperation Treaty, Number WO 2005/006891 A1.
20. Kirk-Othmer, R. E. (2006). *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*. John Wiley & Sons, Inc. ISBN: 9780471238966
21. Dahlenborg, H., Millqvist-Fureby, A., Bergenståhl, B. and Kalnin, D. J. E. (2011). Investigation of chocolate surfaces using profilometry and low vacuum scanning electron microscopy. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 88(6):773-783.
22. De Graef, V., Depypere, F., Minnaert, M. and Dewettinck, K. (2011). Chocolate yield stress as measured by oscillatory rheology. *Food Res. Int.* 44(9):2660-2665
23. Dhonsi, D., & Stapley, A. G. F. (2006). The effect of shear rate, temperature, sugar, and emulsifier on the tempering of cocoa butter. *Journal of Food Engineering*, 77, 936–942.
24. Di Monaco R. Miele N. A. Cabisidan E. K., Cavella S. (2018) Strategies to reduce sugars in food. *Current Opinon in Food Science* 19, 92-97
25. Do, T. -A. L., Hargreaves, J. M., Wolf, B., Hort, J. and Mitchell, J. R. (2007). Impact of particle size distribution on rheological and textural properties of chocolate models with reduced fat content. *J. Food Sci.* 72(9): E541-E552.
26. Dobbs, R., Manyika, J., Woetzel, J., Sawers, C., Thompson, F., Child, P.S., et al. (2014). How the word could better fight obesity. Retrieved from

- <http://www.mckinsey.com/industries/healthcare-systems-and-services/our-insights/how-the-world-could-better-fight-obesity> (elérés dátuma: 2024.09.15.)
27. Drewnowski, A., Shrager, E.E., Lispky, C., Stellar, E., and Greenwood, M.R.C. (1989). Sugar and fat: Sensory and hedonic evaluation of liquid and solid foods. *Physiol. Behav.* 45: 177–183.
 28. Duns, M L (1985). Palm oil in margarines and shortenings. *J. Amer. Oil Chem. Soc.*, 62: 408-410. DOI:10.1007/BF02541412.
 29. Fernandes, V. A., Müller, A. J., & Sandoval, A. J. (2013). Thermal, structural and rheological characteristics of dark chocolate with different compositions. *Journal of Food Engineering*, 116, 97–108.
 30. Gibson, M. (2018). *Food Science and the Culinary Arts*. 2018. ISBN: 978-0-12-811816-0.
 31. Glibowski P., Zarzycki P, Krzepkowska M. (2008). The rheological and instrumental texture properties of selected table fats. *International Journal of Food Properties*, Pages 678-686
 32. Gonçalves, E. V., Lannes, S. C. da S. (2010). Chocolate rheology. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. 30(4): 845–851. DOI: 10.1590/s0101-20612010000400002
 33. Götz, J., Balzer, H. and Hinrichs, R. (2005). Characterisation of the structure and flow behaviour of model chocolate systems by means of NMR and rheology. *Appl. Rheol.* 15(2):98–111.
 34. Gresti, J.; Bugaut, M.; Maniogui, G.; Bezard, J. (1993) Composition of molecular species of triacylglycerols in bovine milk fat. *J. Dairy Sci.* 1993, 76,1850–1869.
 35. Gustone F.D. (2002). *Vegetable Oils in Food Technology*. ISBN 1-84127-331-7
 36. Hagemann, J.W. (1988). Thermal behavior and polymorphism of acylglycerides, in *Crystallization and Polymorphism of Fats and Fatty Acids* (eds. N. Garti and K. Sato), Marcel Dekker, New York, pp. 9–95.
 37. Hanover L.M, White J. S. (1993) Manufacturing, composition, and applications of fructose. *The American Journal of Clinical Nutrition*, Volume 58, Issue 5, Pages 724S-732S
 38. Hartel, R. W. (2013). Advances in food crystallization. *Annual Review of Food Science and Technology*, 4, 277–292.
 39. Himawan C et al. (2006). Thermodynamic and kinetic aspects of fat crystallization. *Advances in Colloid and Interface Science*, 122 3–33. p.
 40. Hishamuddin, E (2009). Partitioning of Triacylglycerols in the Fractional Crystallisation of Palm Oil. Loughborough University, Loughborough, Leicestershire, United Kingdom.

41. Hinrichsen N. (2016). Commercially available alternatives to palm oil. *Lipid technology*. Vol 28, No 3-4, pp 65-67
42. Hubbes S-S et al. (2020). Crystallization Kinetics and Mechanical Properties of Nougat Creme Model Fats. *Food Biophysics* (2020) 15:1–15
43. Jamieson, P. (2008). The sugarfree toolbox: Bulk ingredients and intense sweeteners. *Manuf. Confect.* 88:33-46
44. Jeffery, M. S. (1993). Key functional properties of sucrose in chocolate and sugar confectionery. *Food Technol.* 47:141-144.
45. Karyappa, R., Hashimoto, M., (2019). Chocolate-based ink three-dimensional printing (Ci3DP). *Sci. Rep.* 9 (1), 14178.
46. Koeflerli, C.R.S., Piccinalli, P., Sigrist, S., (1996). The influence of fat, sugar and non-fat milk solids on selected taste, flavor and texture parameters of a vanilla ice-cream. *Food Qual. Prefer.* 7 (2), 69–79.
47. Krüger, C. (1999). Sugar and bulk sweetener. In: *Industrial Chocolate Manufacture and Use*, pp. 36-56. Beckett, S. T., Ed., Blackwell Science, Oxford, U.K. ISBN:9781118780145
48. Kulozik, U., Tolkach, A., Bulca, S. and Hinrichs, J. (2003). The role of processing and matrix design in development and control of microstructures in dairy food production: A survey. *Int. Dairy J.* 13(8):621-630.
49. Lawler P., Dimick P. (2002). Crystallization and Polymorphism of Fats. *Materials Science, Chemistry*. <https://doi.org/10.1201/9780203908815-9>
50. Liang, B. and Hartel, R. W. (2004). Effects of milk powders in milk chocolate. *Journal of Dairy Science* 87(1):20-31.
51. Liu, C., Yang, M., Huang, F. (2012). Influence of Extraction Processing on Rheological Properties of Rapeseed Oils. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 89: 73–78. DOI: 10.1007/s11746-011-1892-y
52. Luo, X., Arcot, J., Gill, T., Louie, J. C.Y, Rangan, A. (2019). A review of food reformulation of baked products to reduce added sugar intake. *Trends In Food Science & Technology*, 86, 412-425.
53. Lustig, R.H., Schmidt, L.A., Brindis, C.D. (2012). Public health: The toxic truth about sugar. *Nature*, 482 (7383), 27-29.
54. Mackey, A (1958). Discernment of taste substances as affected by solvent medium. *Food Res.* 23: 580.
55. Manley, D., (2000). *Technology of Biscuits, Crackers and Cookies*, 3 ed. Woodhead Publishing Ltd. ISBN 978-1-84569-770-9

56. Marangoni, A.G. and Hartel, R.H. (1998). Visualisation and structural analysis of fat crystal networks. *Food Technol.*, 52, 46–51
57. Marangoni, A.G. (2005). *Fat Crystal Networks*. CRC Press: ismeretlen szerző, 2005. ISBN 0-8247-4075-0
58. Marangoni et al. (2012). Structure and functionality of edible fats. *Soft Matter*, 8, 1275-1300
59. Matita, I. C. (2016). *Rheology and Crystallisation of Filling Fats for Confectionery Products*. University of Reading.
60. Metin S és Hartel R. W (2012). Milk fat and Cocoa Butter. *Cocoa Butter and Related Compounds*, Pages 365-392. ISBN 9780128043448
61. Miele, N.A, Cabisidan, E. K., Plaza, A. G., Masi, P., Cavella, S, Di Monaco, R. (2017). Carbohydrate sweetener reduction in beverages through the use of high potency sweeteners: Trends and new perspectives from a sensory point of view. *Trends In Food Science & Technology*, 64, 87-93.
62. Moldoveanu, S. C (2021). Analytical pyrolysis of polymeric carbohydrates. *Analytical Pyrolysis of Natural Organic Polymers (Second Edition)*, 111-269
DOI: 10.1016/B978-0-12-818571-1.00004-2
63. Mongia, G. and Ziegler, G. R. (2000). The role of particle size distribution of suspended solids in defining the flow properties of milk chocolate. *Int. J. Food Prop.* 3(1):137-147.
64. Moraes, P.C.B.T., Bolini, H.M.A. (2010). Different sweeteners in beverages prepared with instant and roasted ground coffee: Ideal and equivalent sweetness. *Journal of Sensory Studies*, 25, 215-225.
65. Narine S.S és Marangoni A. G. (1998). Fractal nature of fat crystal networks. *The American Physical Society*, Volume 59, Number 2. pp 1908-1920
66. Nightingale, L. M., Cadwallader, K. R., & Engeseth, N. J. (2012). Changes in dark chocolate volatiles during storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60, 4500–4507
67. Nováková, H., Čopíková, J., Maixner, J. and Maryška, M. (2002). The production of clusters in milk chocolate. *Int. J. Food Sci. Technol.* 37(5):485-495
68. Omar et al (2015). Palm oil crystallisation: A review. *Journal of Palm Research* Vol 27 (2), p 97-106
69. O'Donnell-Megaro, A.M.; Barbano, D.M.; Bauman, D.E. (2011). Survey of the fatty acid composition of retail milk in the United States including regional and seasonal variations. *J. Dairy Sci.* 2011, 94, 59–65

70. Pangborn, R.M. (1989). Sensory attributes and acceptance of fat, sugar, and salt in dairy products. In *Food Acceptability*, D.M. Thomson, (Ed.), p. 413–429. Elsevier, London. ISBN 978-1851662562
71. Pérez-Martínez, D., Alvarez-Salas, C., Charó-Alonso, M., Dibildox-Alvarado, E. and ToroVazquez, J. F. (2007). The cooling rate effect on the microstructure and rheological properties of blends of cocoa butter with vegetable oils. *Food Res. Int.* 40(1):47-62.
72. Prakash, A., és mtsai. (2011). Crystallization, Physicochemical Properties, and Oxidative Stability of the Interesterified Hard Fat from Rice Bran Oil, Fully Hydrogenated Soybean Oil, and Coconut Oil through Lipase-Catalyzed Reaction. 2011., DOI:10.1007/s11947-0110544-4.
73. Qiao et al (2022). Structural Characteristics of Inulin and Microcrystalline Cellulose and Their Effect on Ameliorating Colitis and Altering Colonic Microbiota in Dextran Sodium Sulfate-Induced Colitic Mice. *ACS Omega*, 10921-10932
74. Rajah K. K. (2014). *Fats in food technology*. Second edition. John Wiley & Sons, Ltd. ISBN 978-1-4051-9542-3
75. Rao, M. A. (2007). Influence of food microstructure on food rheology. In: *Understand and Controlling the Microstructures of Complex Foods*, pp. 411-424. McClements, D. J., Ed., CRC Press, Boca Raton, Florida, U.S.A. ISBN 978-1-84569-151-6
76. Rector, D. (2000). Chocolate-controlling the flow. Benefits of polyglycerol polyricinoleic acid. *Manuf. Confect.* 80:63-70.
77. Richardson A. M (2018). The impact of sugar particle size manipulation on the physical and sensory properties of chocolate brownies. *LWT*, Volume 95, Pages 51-57
78. Schantz, B. and Rohm, H. (2005). Influence of lecithin–PGPR blends on the rheological properties of chocolate. *Lebensm. Wiss. Technol.* 38(1):41-45.
79. Servais, C., Jones, R., Roberts, I., (2002). The influence of particle size distribution on the processing of food. *J. Food Eng.* 51 (3), 201–208
80. Servais, C., Ranc, H., Roberts, I.D., (2003). Determination of chocolate viscosity. *J. Texture Stud.* 34 (5-6), 467–497.
81. Shah, A. B., Jones, G. P. and Vasiljevic, T. (2010). Sucrose-free chocolate sweetened with *Stevia rebaudiana* extract and containing different bulking agents: Effects on physicochemical and sensory properties. *Int. J. Food Sci. Technol.* 45(7):1426-1435.
82. Shewan H. M et al. (2021). Interpreting rheological behaviour of sugar-fat mixtures as a function of solids phase volume. *Journal of Food Engineering* 297 (2021) 110474
83. Simones et al (2021). The presence of crystalline sugar limits the influence of emulsifiers on cocoa butter crystallization. *Food Chemistry*. Volume 346, 128848

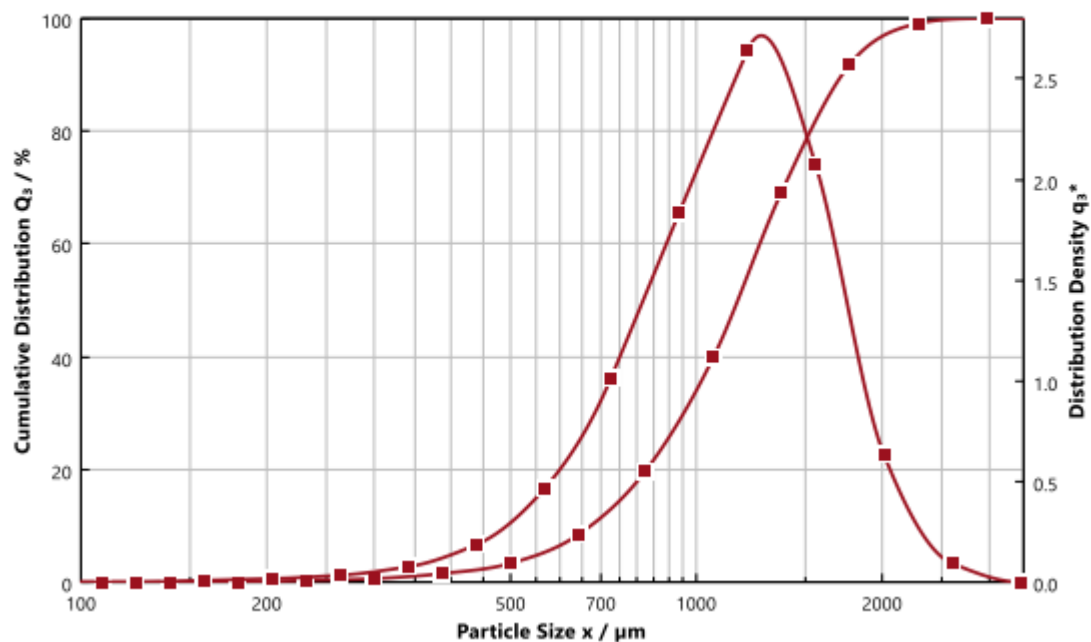
84. Skramlik, E. (1926). Vondie physiologie des gerushsund geschmacksinnes. In Handbuch det Physiologie des nierderen Sinne. In 1. Leipzig Thieme.
85. Sokmen, A. and Gunes, G. (2006). Influence of some bulk sweeteners on rheological properties of chocolate. *Lebensm. Wiss. Technol.* 39(10):1053-1058.
86. Soós, A. (2014). Növényi eredetű zsiradékok hatása az állati eredetű zsírok fizikai tulajdonságaira. 2014.
87. Sonwai, S., & Rousseau, D. (2008). Fat crystal growth and microstructural evolution in milk chocolate. *Crystal Growth and Design*, 8, 3165–3174.
88. Soto, A.S.G., Rabelo, R.S., Vélez-Erazo, E.M., Túlio de Souza Silveira, P., Efraim, P., Hubinger, M.D. (2020). Application of Complex Chitosan Hydrogels Added With Canola Oil in Partial Substitution of Cocoa Butter in Dark Chocolate. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 4. DOI: 10.3389/fsufs.2020.559510
89. Stanciu, I., Ouerfelli, N. (2020). An Extended Casson Equation for Rheological Properties of Soybean Oil at Different Temperatures and Atmospheric Pressure. *Journal of Biochemistry Technology*. 11(3): 52-5
90. Stokes, J.R., Frith, W.J., (2008). Rheology of gelling and yielding soft matter systems. *Soft Matter* 4 (6), 1133–1140.
91. Svanberg, L., Ahrné, L., Lorén, N., & Windhab, E. (2011a). Effect of pre-crystallization process and solid particle addition on microstructure in chocolate model systems. *Food Research International*, 44, 1339–1350.
92. Svanberg, L., Ahrné, L., Lorén, N., & Windhab, E. (2011b). Effect of sugar, cocoa particles and lecithin on cocoa butter crystallisation in seeded and non-seeded chocolate model systems. *Journal of Food Engineering*, 104, 70–80
93. Svanberg, L., Ahrné, L., Lorén, N. and Windhab, E. (2013). Impact of pre-crystallization process on structure and product properties in dark chocolate. *J. Food Eng.* 114(1):90-98.
94. Tabilo-Munizaga, G., Barbosa-Cánovas, G. V. (2005). Rheology for the food industry. *Journal of Food Engineering*. 67, 147–156. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2004.05.062
95. Tan, C.P. és Che Man, Y.B. (2001). Differential scanning calorimetric analysis of palm oil, palm oil based products and coconut oil: effects of scanning rate variation. 2001., *Food Chemistry* Volume 76, Issue 1, January 2002, Pages 89-102.
96. Tang D., Marangoni A. G. (2007). Modeling the rheological properties and structure of colloidal fat crystal networks. *Trend sin Food Science and Technology* 18 474–483. p
97. Tang, D. and Marangoni, A. G. (2007). Structure and function of fat crystals and their role in microstructure formation in complex foods. In: *Understanding and Controlling the*

- Microstructure of Complex Foods, pp. 67-88. McClements, D. J., Ed., CRC Press, Boca Raton, Florida, U.S.A. ISBN 978-1845691516
98. Tiefenbacher K.F. (2019). The Technology of Wafers and Waffels II, Academic Press, Pages 325-411
 99. Timms, R E (1984). Phase behaviour of fats and their mixtures. Progress in Lipid Research, 23: 1-38. DOI: 10.1016/0163-7827(84)90004-3
 100. Tomaszewska-Gras, J. (2013). Melting and crystallization DSC profiles of milk fat depending on selected factors. Department of Food Quality Management, Poznan' University, 2013., Journal of Thermal Analysis and Calorimetry volume 113, pages 199–208
 101. Trappe, V., & Weitz, D. A. (2000). Scaling of the viscoelasticity of weakly attractive particles. Physical Review Letters, 85(2), 449–452.
 102. Triantafillopoulos, N., (1988). Measurement of Fluid Rheology and Interpretation of Rheograms. Michigan, second ed., pp. 21–22
 103. Tscheuschner, H. D. (1994). Rheological and processing properties of fluid chocolate. Appl. Rheol. 94:83-88
 104. Tscheuschner, H. D. and Wünsche, D. (1979). Rheological properties of chocolate masses and the influence of some factors. In: Food Texture and Rheology, pp. 355-368. Sherman, P., Ed., Academic Press, New York City, New York, U.S.A.
 105. Vaclavik, V. és Christian, E.W. (2014). Essentials of Food Science. 2014. ISBN-13: 9780387699394.
 106. Van Den Tempel, M. (1979). Rheology of concentrated suspensions. J. Colloid Interface Sci. 71(1):18-20.
 107. van der Vaart, K., Depypere, F., De Graef, V., Schall, P., Fall, A., Bonn, D., Dewettinck, K. (2013). Dark chocolate's compositional effects revealed by oscillatory rheology. Eur. Food Res. Technol. 236 (6), 931–942.
 108. WAHID, M B; CHOO, Y M and CHAN, K W (2011). Renewable energy from palm oil. Further Advances in Oil Palm Research. Volume II. MPOB, Bangi. p. 854
 109. Walstra, P., Kloek, W., & van Vliet, T. (2001). Fat crystal networks. In N. Garti, & K. Sato (Eds.), Crystallization processes in fats and lipid systems (pp. 289–328). New York, NY: Marcel Dekker
 110. Walstra, P. (2003). Physical Chemistry of Foods. Marcel Dekker, New York City, New York, U.S.A. ISBN 9780824793555
 111. Wang, C.T. (1987). Taste responses and caloric estimation of chocolate milk drink by American and Taiwanese students. M.S. thesis, Univ of California, Davis.

112. WARD, J (1998). Crystallisation of fats. Development in Oils and Fats (N Garti and K Sato eds.). Marcel Dekker, New York. p. 189-226
113. West R. (2018). The Effect of Sugar on the Processing Behaviour of Palm Oil: From Confectionery Fundamentals to Predictive Regression Models. Ryerson University, Canada
114. West R. and Rousseau D. (2016). Crystallization and rheology of palm oil in the presence of sugar. Food Research International 85, 224-234
115. West R. and Rousseau D. (2017). The role of nonfat ingredients on confectionery fat crystallization. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. Volume 58, Issue 11, Pages 1917-1936
116. West R. and Rousseau D. (2019). Regression modelling of the impact of confectioner's sugar and temperature on palm oil crystallization and rheology. Food Chemistry 274, 194-201
117. West R. and Rousseau D. (2020). Tripalmitin-Driven Crystallization of Palm Oil: The Role of Shear and Dispersed Particles. J Am Oil Chem Soc (2020) 97: 989–999
118. Wiet S. G., Ketelsen, S. M., Davis, T.R., Beyts, P.K. (1993). Fat Concentration Affects Sweetness and Sensory Profiles of Sucrose, Sucralose, and Aspartame. Journal of Food Science. Volume 58. No 3, 599-602
119. Yoshikawa, S., Kida, H., Matsumura, Y., Sato, K. (2016). Adding talc particles improves physical properties of palm oil-based shortening. European Journal of Lipid Science and Technology, 118: 1007–1017.
120. Ziegler, G. R., Mongia, G. and Hollender, R. (2001). The role of particle size distribution of suspended solids in defining the sensory properties of milk chocolate. Int. J. Food Prop. 4(2):353-370.
121. Zhang X, Li L, Xie H, Liang Z, Su J, Liu G, Li B. (2013). Comparative Analysis of Thermal Behavior, Isothermal Crystallization Kinetics and Polymorphism of Palm Oil Fractions. Molecules 18(1):1036-52. doi: 10.3390/molecules18011036. PMID: 23322068
122. Zumbé, A. and Brinkworth, R. (1993). Product and process for producing milk chocolate. United States Patent US 5238698 A.
123. Internet1: <https://gitnux.org/confectionery-industry-statistics/> (utoljára megtekintett: 2024.07.21)

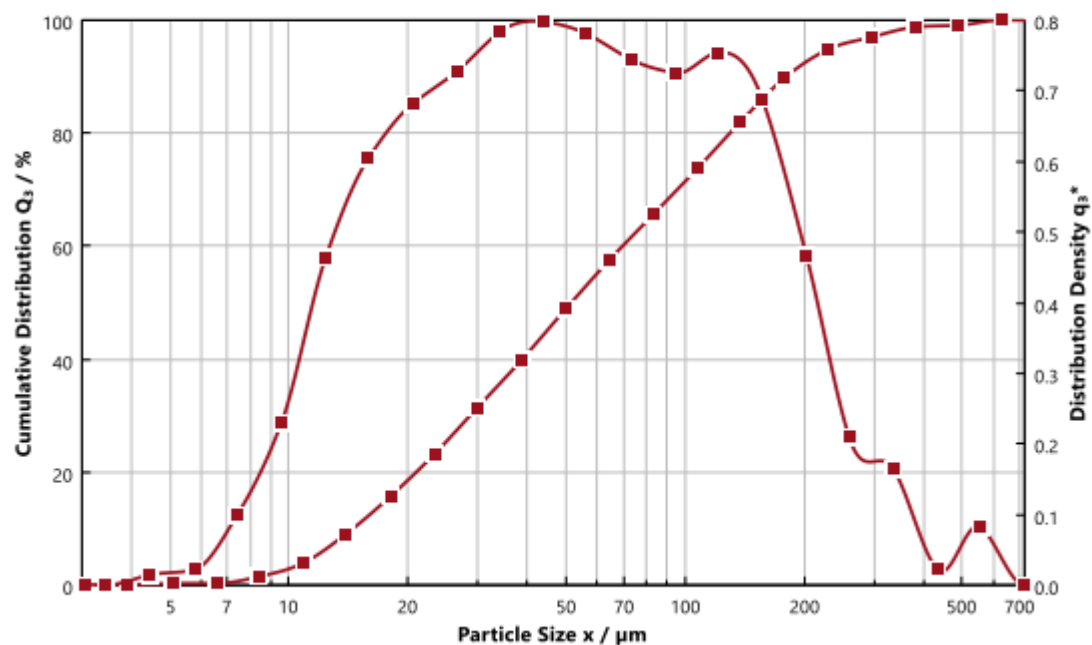
M2. Kiegészítő ábrák és táblázatok

$x_{10,3} = 665.84 \pm 4.43 \mu\text{m}$ [0.67 %]	$x_{50,3} = 1173.39 \pm 11.93 \mu\text{m}$ [1.02 %]	$x_{90,3} = 1739.89 \pm 8.10 \mu\text{m}$ [0.47 %]
$x_{16,3} = 765.67 \pm 6.49 \mu\text{m}$ [0.85 %]	$x_{84,3} = 1635.20 \pm 11.56 \mu\text{m}$ [0.71 %]	$x_{99,3} = 2310.88 \pm 41.10 \mu\text{m}$ [1.78 %]
SMD = $1027.92 \pm 8.48 \mu\text{m}$ [0.82 %]	VMD = $1201.20 \pm 11.07 \mu\text{m}$ [0.92 %]	



M54. ábra: Szacharóz szemcseméret eloszlása

$x_{10,3} = 14.52 \pm 0.23 \mu\text{m}$ [1.57 %]	$x_{50,3} = 52.03 \pm 2.64 \mu\text{m}$ [5.07 %]	$x_{90,3} = 184.13 \pm 17.13 \mu\text{m}$ [9.30 %]
$x_{16,3} = 18.20 \pm 0.36 \mu\text{m}$ [1.97 %]	$x_{84,3} = 148.54 \pm 11.10 \mu\text{m}$ [7.47 %]	$x_{99,3} = 420.83 \pm 139.76 \mu\text{m}$ [33.21 %]
SMD = $33.59 \pm 1.00 \mu\text{m}$ [2.98 %]	VMD = $82.25 \pm 8.95 \mu\text{m}$ [10.89 %]	

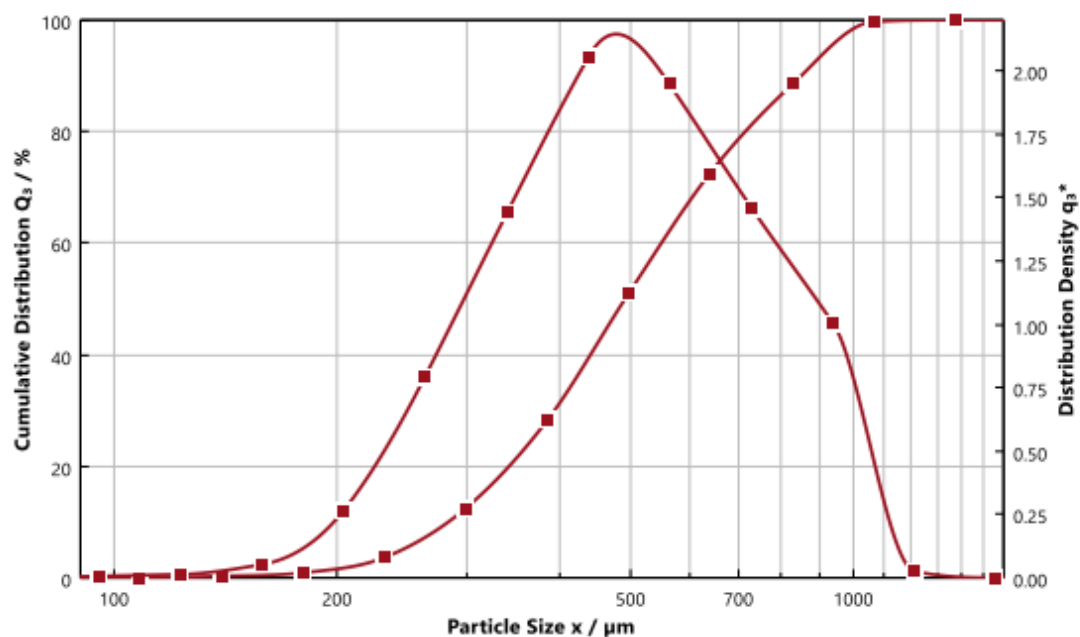


M55. ábra: Porcukor szemcseméret eloszlás

$x_{10,3} = 280.37 \pm 3.19 \mu\text{m}$ [1.14 %]
 $x_{16,3} = 318.61 \pm 2.88 \mu\text{m}$ [0.90 %]
 $\text{SMD} = 450.62 \pm 6.12 \mu\text{m}$ [1.36 %]

$x_{50,3} = 492.51 \pm 3.97 \mu\text{m}$ [0.81 %]
 $x_{84,3} = 773.96 \pm 8.39 \mu\text{m}$ [1.08 %]
 $\text{VMD} = 534.40 \pm 6.34 \mu\text{m}$ [1.19 %]

$x_{90,3} = 857.32 \pm 10.84 \mu\text{m}$ [1.26 %]
 $x_{99,3} = 1052.20 \pm 6.73 \mu\text{m}$ [0.64 %]

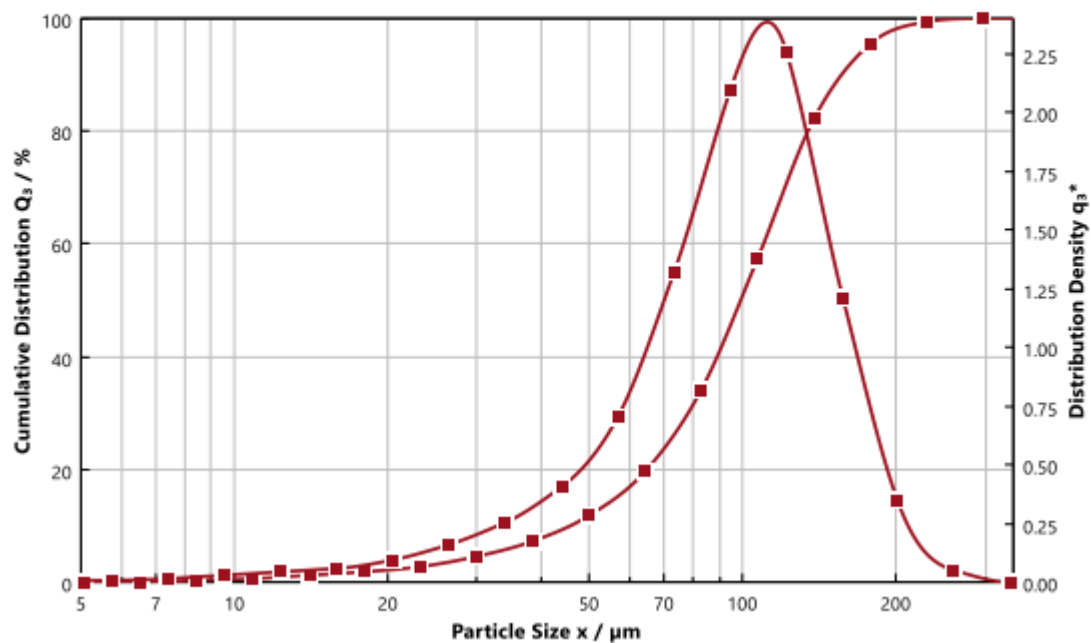


M56. ábra: Fruktóz szemcseméret eloszlása

$x_{10,3} = 45.53 \pm 0.73 \mu\text{m}$ [1.60 %]
 $x_{16,3} = 57.82 \pm 0.62 \mu\text{m}$ [1.07 %]
 $\text{SMD} = 74.13 \pm 1.07 \mu\text{m}$ [1.44 %]

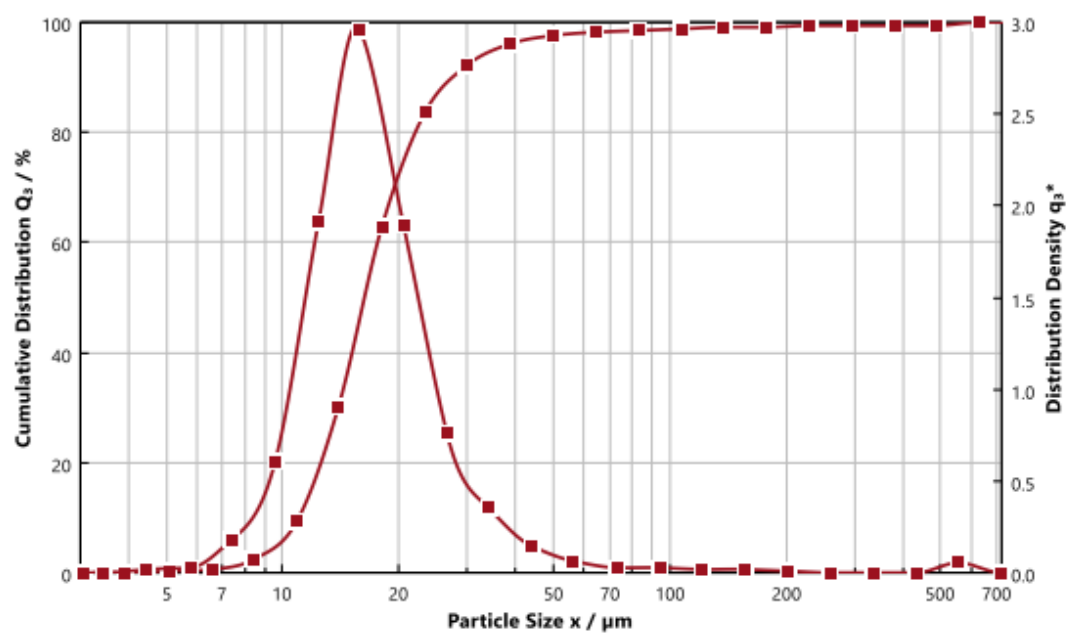
$x_{50,3} = 99.46 \pm 1.19 \mu\text{m}$ [1.19 %]
 $x_{84,3} = 143.25 \pm 3.33 \mu\text{m}$ [2.32 %]
 $\text{VMD} = 102.02 \pm 1.28 \mu\text{m}$ [1.26 %]

$x_{90,3} = 161.20 \pm 2.17 \mu\text{m}$ [1.35 %]
 $x_{99,3} = 223.59 \pm 4.60 \mu\text{m}$ [2.06 %]



M57. ábra: Inulin szemcseméret eloszlása

$x_{10,3} = 10.97 \pm 0.02 \mu\text{m}$ [0.22 %] $x_{50,3} = 16.45 \pm 0.08 \mu\text{m}$ [0.49 %] $x_{90,3} = 28.25 \pm 0.65 \mu\text{m}$ [2.31 %]
 $x_{16,3} = 11.87 \pm 0.04 \mu\text{m}$ [0.33 %] $x_{84,3} = 23.56 \pm 0.50 \mu\text{m}$ [2.14 %] $x_{99,3} = 235.37 \pm 274.99 \mu\text{m}$ [116.84 %]
 $\text{SMD} = 15.87 \pm 0.17 \mu\text{m}$ [1.06 %] $\text{VMD} = 22.28 \pm 5.15 \mu\text{m}$ [23.13 %]



M58. ábra: Keményítő szemcseméret eloszlása

M31. táblázat: SFC mérés variancia analízis eredmény

ANOVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3102,482	4	775,621	3,879	,017
Within Groups	3998,696	20	199,935		
Total	7101,178	24			

M32. táblázat: SFC görbék páronkénti összehasonlítása

Multiple Comparisons

Dependent Variable: SFC

Tukey HSD

(I) szemcseméret	(J) szemcseméret	Mean		Sig.	95% Confidence Interval	
		Difference (I-J)	Std. Error		Lower Bound	Upper Bound
pálma	keményítő	-27,17640*	8,94281	,045	-53,9366	-,4162
	inulin	-31,23840*	8,94281	,017	-57,9986	-4,4782
	fruktóz	-14,88440	8,94281	,477	-41,6446	11,8758
	kristálycukor	-24,21440	8,94281	,088	-50,9746	2,5458
keményítő	pálma	27,17640*	8,94281	,045	,4162	53,9366
	inulin	-4,06200	8,94281	,991	-30,8222	22,6982
	fruktóz	12,29200	8,94281	,650	-14,4682	39,0522
	kristálycukor	2,96200	8,94281	,997	-23,7982	29,7222
inulin	pálma	31,23840*	8,94281	,017	4,4782	57,9986
	keményítő	4,06200	8,94281	,991	-22,6982	30,8222
	fruktóz	16,35400	8,94281	,386	-10,4062	43,1142
	kristálycukor	7,02400	8,94281	,932	-19,7362	33,7842
fruktóz	pálma	14,88440	8,94281	,477	-11,8758	41,6446
	keményítő	-12,29200	8,94281	,650	-39,0522	14,4682
	inulin	-16,35400	8,94281	,386	-43,1142	10,4062
	kristálycukor	-9,33000	8,94281	,832	-36,0902	17,4302
kristálycukor	pálma	24,21440	8,94281	,088	-2,5458	50,9746
	keményítő	-2,96200	8,94281	,997	-29,7222	23,7982
	inulin	-7,02400	8,94281	,932	-33,7842	19,7362
	fruktóz	9,33000	8,94281	,832	-17,4302	36,0902

*. The mean difference is significant at the 0.05 level.

M33. táblázat: Különböző hőmérsékleten mért SFC mérési pontok páronkénti összehasonlítása

Dependent Variable			Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
VAR00003	pálma	pálma-szacharóz	-9,7790*	0,94514	0,000	-12,8895	-6,6685
		pálma-fruktóz	-5,6430*	0,94514	0,001	-8,7535	-2,5325
		pálma-inulin	-19,3980*	0,94514	0,000	22,5085	-
		pálma-keményítő	-15,1577*	0,94514	0,000	18,2682	12,0471
	pálma-szacharóz	pálma	9,7790*	0,94514	0,000	6,6685	12,8895
		pálma-fruktóz	4,1360*	0,94514	0,009	1,0255	7,2465
		pálma-inulin	-9,6190*	0,94514	0,000	12,7295	-6,5085
		pálma-keményítő	-5,3787*	0,94514	0,001	-8,4892	-2,2681
	pálma-fruktóz	pálma	5,6430*	0,94514	0,001	2,5325	8,7535
		pálma-szacharóz	-4,1360*	0,94514	0,009	-7,2465	-1,0255
		pálma-inulin	-13,7550*	0,94514	0,000	16,8655	-
		pálma-keményítő	-9,5147*	0,94514	0,000	12,6252	-6,4041
	pálma-inulin	pálma	19,3980*	0,94514	0,000	16,2875	22,5085
		pálma-szacharóz	9,6190*	0,94514	0,000	6,5085	12,7295
		pálma-fruktóz	13,7550*	0,94514	0,000	10,6445	16,8655
		pálma-keményítő	4,2403*	0,94514	0,008	1,1298	7,3509
	pálma-keményítő	pálma	15,1577*	0,94514	0,000	12,0471	18,2682
		pálma-szacharóz	5,3787*	0,94514	0,001	2,2681	8,4892
		pálma-fruktóz	9,5147*	0,94514	0,000	6,4041	12,6252
		pálma-inulin	-4,2403*	0,94514	0,008	-7,3509	-1,1298
VAR00004	pálma	pálma-szacharóz	-22,0400*	1,59934	0,000	-27,3036	-16,7764
		pálma-fruktóz	-8,3727*	1,59934	0,003	13,6362	-3,1091
		pálma-inulin	-29,9210*	1,59934	0,000	35,1846	-
		pálma-keményítő	-25,2690*	1,59934	0,000	30,5326	-
	pálma-szacharóz	pálma	22,0400*	1,59934	0,000	16,7764	27,3036
		pálma-fruktóz	13,6673*	1,59934	0,000	8,4038	18,9309
		pálma-inulin	-7,8810*	1,59934	0,004	13,1446	-2,6174
		pálma-keményítő	-3,2290	1,59934	0,324	-8,4926	2,0346
	pálma-fruktóz	pálma	8,3727*	1,59934	0,003	3,1091	13,6362
		pálma-szacharóz	-13,6673*	1,59934	0,000	18,9309	-8,4038
		pálma-inulin	-21,5483*	1,59934	0,000	26,8119	-
		pálma-keményítő	-16,8963*	1,59934	0,000	22,1599	-
	pálma-inulin	pálma	29,9210*	1,59934	0,000	24,6574	35,1846

	pálma-keményítő	pálma-szacharóz	7,8810*	1,59934	0,004	2,6174	13,1446
		pálma-fruktóz	21,5483*	1,59934	0,000	16,2848	26,8119
		pálma-keményítő	4,6520	1,59934	0,090	-0,6116	9,9156
		pálma	25,2690*	1,59934	0,000	20,0054	30,5326
		pálma-szacharóz	3,2290	1,59934	0,324	-2,0346	8,4926
		pálma-fruktóz	16,8963*	1,59934	0,000	11,6328	22,1599
		pálma-inulin	-4,6520	1,59934	0,090	-9,9156	0,6116
VAR00005	pálma	pálma-szacharóz	-26,3460*	0,29274	0,000	-	-
		pálma-fruktóz	-17,1143*	0,29274	0,000	27,3094	25,3826
						-	-
						18,0778	16,1509
	pálma-szacharóz	pálma-inulin	-34,5900*	0,29274	0,000	-	-
						35,5534	33,6266
						-	-
		pálma-keményítő	-30,8163*	0,29274	0,000	31,7798	29,8529
	pálma-fruktóz	pálma	26,3460*	0,29274	0,000	25,3826	27,3094
		pálma-fruktóz	9,2317*	0,29274	0,000	8,2682	10,1951
		pálma-inulin	-8,2440*	0,29274	0,000	-9,2074	-7,2806
		pálma-keményítő	-4,4703*	0,29274	0,000	-5,4338	-3,5069
	pálma-inulin	pálma	17,1143*	0,29274	0,000	16,1509	18,0778
		pálma-szacharóz	-9,2317*	0,29274	0,000	-	-8,2682
		pálma-fruktóz	-17,4757*	0,29274	0,000	10,1951	-
						-	-
	pálma-keményítő					18,4391	16,5122
						-	-
						14,6654	12,7386
		pálma	34,5900*	0,29274	0,000	33,6266	35,5534
	pálma-fruktóz	pálma-szacharóz	8,2440*	0,29274	0,000	7,2806	9,2074
		pálma-fruktóz	17,4757*	0,29274	0,000	16,5122	18,4391
		pálma-keményítő	3,7737*	0,29274	0,000	2,8102	4,7371
		pálma	30,8163*	0,29274	0,000	29,8529	31,7798
	pálma-inulin	pálma-szacharóz	4,4703*	0,29274	0,000	3,5069	5,4338
		pálma-fruktóz	13,7020*	0,29274	0,000	12,7386	14,6654
		pálma-inulin	-3,7737*	0,29274	0,000	-4,7371	-2,8102
						-	-
VAR00006	pálma	pálma-szacharóz	-29,4753*	0,17142	0,000	-	-
		pálma-fruktóz	-17,9683*	0,17142	0,000	30,0395	28,9112
						-	-
						18,5325	17,4042
	pálma-szacharóz	pálma-inulin	-35,5750*	0,17142	0,000	-	-
						36,1392	35,0108
		pálma-keményítő	-31,1947*	0,17142	0,000	-	-
						31,7588	30,6305
	pálma-fruktóz	pálma	29,4753*	0,17142	0,000	28,9112	30,0395
		pálma-fruktóz	11,5070*	0,17142	0,000	10,9428	12,0712
		pálma-inulin	-6,0997*	0,17142	0,000	-6,6638	-5,5355
		pálma-keményítő	-1,7193*	0,17142	0,000	-2,2835	-1,1552
	pálma-inulin	pálma	17,9683*	0,17142	0,000	17,4042	18,5325
		pálma-szacharóz	-11,5070*	0,17142	0,000	-	-
		pálma-fruktóz	-17,6067*	0,17142	0,000	12,0712	10,9428
						-	-
						18,1708	17,0425

VAR00007	pálma-inulin	pálma-keményítő	-13,2263*	0,17142	0,000	-	-
		pálma	35,5750*	0,17142	0,000	13,7905	12,6622
		pálma-szacharóz	6,0997*	0,17142	0,000	5,5355	6,6638
		pálma-fruktóz	17,6067*	0,17142	0,000	17,0425	18,1708
	pálma-keményítő	pálma	4,3803*	0,17142	0,000	3,8162	4,9445
		pálma	31,1947*	0,17142	0,000	30,6305	31,7588
		pálma-szacharóz	1,7193*	0,17142	0,000	1,1552	2,2835
		pálma-fruktóz	13,2263*	0,17142	0,000	12,6622	13,7905
	pálma	pálma-inulin	-4,3803*	0,17142	0,000	-4,9445	-3,8162
		pálma-szacharóz	-49,6643*	0,31713	0,000	-	-
		pálma-fruktóz	-25,3183*	0,31713	0,000	50,7081	48,6206
		pálma-inulin	-36,7083*	0,31713	0,000	-	-
	pálma-szacharóz	pálma	-33,4520*	0,31713	0,000	26,3621	24,2746
		pálma	49,6643*	0,31713	0,000	37,7521	35,6646
		pálma-fruktóz	24,3460*	0,31713	0,000	-	-
		pálma-inulin	12,9560*	0,31713	0,000	34,4957	32,4083
	pálma-fruktóz	pálma	16,2123*	0,31713	0,000	48,6206	50,7081
		pálma	25,3183*	0,31713	0,000	23,3023	25,3897
		pálma-szacharóz	-24,3460*	0,31713	0,000	11,9123	13,9997
		pálma-inulin	-11,3900*	0,31713	0,000	15,1686	17,2561
	pálma-inulin	pálma	-8,1337*	0,31713	0,000	24,2746	26,3621
		pálma	36,7083*	0,31713	0,000	-	-
		pálma-szacharóz	-12,9560*	0,31713	0,000	25,3897	23,3023
		pálma-fruktóz	11,3900*	0,31713	0,000	12,4337	10,3463
	pálma-keményítő	pálma	3,2563*	0,31713	0,000	-9,1774	-7,0899
		pálma	33,4520*	0,31713	0,000	35,6646	37,7521
		pálma-szacharóz	-16,2123*	0,31713	0,000	-	-
		pálma-fruktóz	8,1337*	0,31713	0,000	13,9997	11,9123
	pálma-keményítő	pálma	-3,2563*	0,31713	0,000	10,3463	12,4337
		pálma	3,2563*	0,31713	0,000	2,2126	4,3001
		pálma-szacharóz	33,4520*	0,31713	0,000	32,4083	34,4957
		pálma-fruktóz	-16,2123*	0,31713	0,000	-	-
	pálma-inulin	pálma	8,1337*	0,31713	0,000	17,2561	15,1686
		pálma	-3,2563*	0,31713	0,000	7,0899	9,1774
		pálma-szacharóz	3,2563*	0,31713	0,000	-4,3001	-2,2126
		pálma-fruktóz	8,1337*	0,31713	0,000	-	-

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,151.

*. The mean difference is significant at the ,05 level.

M34. táblázat: SFC mérések Pearson féle korreláció analízise

	Oszlop 1	Oszlop 2
Oszlop 1	1	szemcse
Oszlop 2	-0,34896	1

	Oszlop 1	Oszlop 2
Oszlop 1	1	
Oszlop 2	0,55303	1

lánchossz

M35. táblázat: Viskozitás Pearson féle korreláció analízise

Correlations

		Viszkozitás	Szemcsemér et
Viszkozitás	Pearson Correlation	1	-,241
	Sig. (2-tailed)		,098
	N	48	48
Szemcsemér et	Pearson Correlation	-,241	1
	Sig. (2-tailed)	,098	
	N	48	48

Correlations

		Viszkozitás	Lánchossz
Viszkozitás	Pearson Correlation	1	,218
	Sig. (2-tailed)		,137
	N	48	48
Lánchossz	Pearson Correlation	,218	1
	Sig. (2-tailed)	,137	
	N	48	48

M36. táblázat: Állománymérés MANOVA

Tests of Between-Subjects Effects						
Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	keményység	827498,219 ^a	8	103437,277	99,175	0,000
	munka	5584430,924 ^b	8	698053,866	79,081	0,000
	adhézió	1606400,797 ^c	8	200800,100	166,247	0,000
Intercept	keményység	4666564,657	1	4666564,657	4474,284	0,000
	munka	32416000,349	1	32416000,349	3672,341	0,000
	adhézió	6894110,650	1	6894110,650	5707,801	0,000
VAR00005	keményység	827498,219	8	103437,277	99,175	0,000
	munka	5584430,924	8	698053,866	79,081	0,000
	adhézió	1606400,797	8	200800,100	166,247	0,000
Error	keményység	76137,141	73	1042,975		
	munka	644375,963	73	8827,068		
	adhézió	88172,317	73	1207,840		
Total	keményység	5500416,943	82			
	munka	38323116,643	82			
	adhézió	8597665,234	82			
Corrected Total	keményység	903635,359	81			
	munka	6228806,888	81			
	adhézió	1694573,113	81			

a. R Squared = ,916 (Adjusted R Squared = ,907)

b. R Squared = ,897 (Adjusted R Squared = ,885)

c. R Squared = ,948 (Adjusted R Squared = ,942)

M37. táblázat: Állománymérés Tukey post-hoc teszt

			Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
Dependent Variable						Lower Bound	Upper Bound
Keménység	Kókusz-szacharóz	Kókusz	243,6265*	16,14756	0,000	192,0075	295,2455
		Tejzsír-szacharóz	337,1060*	15,69261	0,000	286,9414	387,2706
		Tejzsír	308,0823*	15,31892	0,000	259,1122	357,0523

	Pálma-szacharóz	124,9491*	15,31892	0,000	75,9790	173,9191		
	Pálma	204,3378*	15,31892	0,000	155,3677	253,3078		
	Pálma-fruktóz	196,1853*	15,69261	0,000	146,0207	246,3499		
	Pálma-inulin	74,6512*	15,69261	0,000	24,4866	124,8158		
	Pálma-keményítő	142,7494*	15,69261	0,000	92,5848	192,9140		
	Kókusz	Kókusz-szacharóz	-243,6265*	16,14756	0,000	-295,2455	-192,0075	
		Tejzsír-szacharóz	93,4795*	15,69261	0,000	43,3149	143,6441	
		Tejzsír	64,4558*	15,31892	0,002	15,4857	113,4258	
		Pálma-szacharóz	-118,6774*	15,31892	0,000	-167,6475	-69,7074	
		Pálma	-39,2888	15,31892	0,220	-88,2588	9,6813	
	Tejzsír-szacharóz	Pálma-fruktóz	-47,4412	15,69261	0,078	-97,6058	2,7234	
		Pálma-inulin	-168,9753*	15,69261	0,000	-219,1399	-118,8107	
		Pálma-keményítő	-100,8771*	15,69261	0,000	-151,0417	-50,7125	
		Kókusz-szacharóz	-337,1060*	15,69261	0,000	-387,2706	-286,9414	
		Kókusz	-93,4795*	15,69261	0,000	-143,6441	-43,3149	
		Tejzsír	-29,0237	14,83858	0,578	-76,4583	18,4108	
		Pálma-szacharóz	-212,1569*	14,83858	0,000	-259,5915	-164,7224	
		Pálma	-132,7682*	14,83858	0,000	-180,2028	-85,3337	
		Pálma-fruktóz	-140,9207*	15,22406	0,000	-189,5875	-92,2538	
		Pálma-inulin	-262,4548*	15,22406	0,000	-311,1216	-213,7880	
		Pálma-keményítő	-194,3566*	15,22406	0,000	-243,0234	-145,6897	
		Tejzsír	Kókusz-szacharóz	-308,0822*	15,31892	0,000	-357,0523	-259,1122
			Kókusz	-64,4558*	15,31892	0,002	-113,4258	-15,4857
			Tejzsír-szacharóz	29,0237	14,83858	0,578	-18,4108	76,4583
			Pálma-szacharóz	-183,1332*	14,44282	0,000	-229,3026	-136,9638
	Pálma		-103,7445*	14,44282	0,000	-149,9139	-57,5751	
	Pálma-fruktóz		-111,8969*	14,83858	0,000	-159,3315	-64,4624	
	Pálma-inulin		-233,4311*	14,83858	0,000	-280,8656	-185,9965	
	Pálma-keményítő		-165,3328*	14,83858	0,000	-212,7674	-117,8983	
	Pálma-szacharóz	Kókusz-szacharóz	-124,9490*	15,31892	0,000	-173,9191	-75,9790	
		Kókusz	118,6775*	15,31892	0,000	69,7074	167,6475	
		Tejzsír-szacharóz	212,1569*	14,83858	0,000	164,7224	259,5915	
		Tejzsír	183,1332*	14,44282	0,000	136,9638	229,3026	
		Pálma	79,3887*	14,44282	0,000	33,2193	125,5581	
		Pálma-fruktóz	71,2363*	14,83858	0,000	23,8017	118,6708	
		Pálma-inulin	-50,2979*	14,83858	0,029	-97,7324	-2,8633	
		Pálma-keményítő	17,8004	14,83858	0,954	-29,6342	65,2349	
		Pálma	Kókusz-szacharóz	-204,3378*	15,31892	0,000	-253,3078	-155,3677
			Kókusz	39,2888	15,31892	0,220	-9,6813	88,2588
	Tejzsír-szacharóz		132,7682*	14,83858	0,000	85,3337	180,2028	

		Tejzsír	103,7445*	14,44282	0,000	57,5751	149,9139
		Pálma-szacharóz	-79,3887*	14,44282	0,000	-125,5581	-33,2193
		Pálma-fruktóz	-8,1524	14,83858	1,000	-55,5870	39,2821
		Pálma-inulin	-129,6866*	14,83858	0,000	-177,1211	-82,2520
		Pálma-keményítő	-61,5883*	14,83858	0,003	-109,0229	-14,1538
	Pálma-fruktóz	Kókusz-szacharóz	-196,1853*	15,69261	0,000	-246,3499	-146,0207
		Kókusz	47,4412	15,69261	0,078	-2,7234	97,6058
		Tejzsír-szacharóz	140,9207*	15,22406	0,000	92,2538	189,5875
		Tejzsír	111,8969*	14,83858	0,000	64,4624	159,3315
		Pálma-szacharóz	-71,2363*	14,83858	0,000	-118,6708	-23,8017
	Pálma-inulin	Pálma	8,1524	14,83858	1,000	-39,2821	55,5870
		Pálma-inulin	-121,5341*	15,22406	0,000	-170,2009	-72,8673
		Pálma-keményítő	-53,4359*	15,22406	0,021	-102,1027	-4,7691
		Kókusz-szacharóz	-74,6512*	15,69261	0,000	-124,8158	-24,4866
		Kókusz	168,9753*	15,69261	0,000	118,8107	219,1399
		Tejzsír-szacharóz	262,4548*	15,22406	0,000	213,7880	311,1216
		Tejzsír	233,4311*	14,83858	0,000	185,9965	280,8656
		Pálma-szacharóz	50,2979*	14,83858	0,029	2,8633	97,7324
		Pálma	129,6866*	14,83858	0,000	82,2520	177,1211
		Pálma-fruktóz	121,5341*	15,22406	0,000	72,8673	170,2009
	Pálma-keményítő	Pálma-keményítő	68,0982*	15,22406	0,001	19,4314	116,7650
		Kókusz-szacharóz	-142,7494*	15,69261	0,000	-192,9140	-92,5848
		Kókusz	100,8771*	15,69261	0,000	50,7125	151,0417
		Tejzsír-szacharóz	194,3566*	15,22406	0,000	145,6897	243,0234
		Tejzsír	165,3328*	14,83858	0,000	117,8983	212,7674
		Pálma-szacharóz	-17,8004	14,83858	0,954	-65,2349	29,6342
		Pálma	61,5883*	14,83858	0,003	14,1538	109,0229
		Pálma-fruktóz	53,4359*	15,22406	0,021	4,7691	102,1027
		Pálma-inulin	-68,0982*	15,22406	0,001	-116,7650	-19,4314
Munka	Kókusz-szacharóz	Kókusz	601,2020*	46,97624	0,000	451,0329	751,3711
		Tejzsír-szacharóz	867,6473*	45,65270	0,000	721,7092	1013,5855
		Tejzsír	765,8455*	44,56557	0,000	623,3825	908,3084
		Pálma-szacharóz	215,0546*	44,56557	0,000	72,5916	357,5175
		Pálma	489,2409*	44,56557	0,000	346,7779	631,7038
		Pálma-fruktóz	434,6894*	45,65270	0,000	288,7513	580,6276
		Pálma-inulin	187,8234*	45,65270	0,003	41,8853	333,7616
		Pálma-keményítő	393,9960*	45,65270	0,000	248,0578	539,9341
	Kókusz	Kókusz-szacharóz	-601,2020*	46,97624	0,000	-751,3711	-451,0329
		Tejzsír-szacharóz	266,4453*	45,65270	0,000	120,5072	412,3835

	Tejzsír-szacharóz	Tejzsír	164,6435*	44,56557	0,012	22,1805	307,1064
		Pálma-szacharóz	-386,1474*	44,56557	0,000	-528,6104	-243,6845
		Pálma	-111,9611	44,56557	0,243	-254,4241	30,5018
		Pálma-fruktóz	-166,5126*	45,65270	0,014	-312,4507	-20,5744
		Pálma-inulin	-413,3786*	45,65270	0,000	-559,3167	-267,4404
		Pálma-keményítő	-207,2060*	45,65270	0,001	-353,1442	-61,2679
		Kókusz-szacharóz	-867,6473*	45,65270	0,000	#####	-721,7092
		Kókusz	-266,4453*	45,65270	0,000	-412,3835	-120,5072
		Tejzsír	-101,8018	43,16818	0,322	-239,7977	36,1941
		Pálma-szacharóz	-652,5927*	43,16818	0,000	-790,5886	-514,5968
		Pálma	-378,4064*	43,16818	0,000	-516,4023	-240,4105
		Pálma-fruktóz	-432,9579*	44,28962	0,000	-574,5387	-291,3771
	Tejzsír	Pálma-inulin	-679,8239*	44,28962	0,000	-821,4047	-538,2431
		Pálma-keményítő	-473,6513*	44,28962	0,000	-615,2321	-332,0705
		Kókusz-szacharóz	-765,8455*	44,56557	0,000	-908,3084	-623,3825
		Kókusz	-164,6435*	44,56557	0,012	-307,1064	-22,1805
		Tejzsír-szacharóz	101,8018	43,16818	0,322	-36,1941	239,7977
		Pálma-szacharóz	-550,7909*	42,01683	0,000	-685,1062	-416,4756
		Pálma	-276,6046*	42,01683	0,000	-410,9199	-142,2893
		Pálma-fruktóz	-331,1560*	43,16818	0,000	-469,1519	-193,1601
		Pálma-inulin	-578,0220*	43,16818	0,000	-716,0179	-440,0261
		Pálma-keményítő	-371,8495*	43,16818	0,000	-509,8454	-233,8536
	Pálma-szacharóz	Kókusz-szacharóz	-215,0546*	44,56557	0,000	-357,5175	-72,5916
		Kókusz	386,1474*	44,56557	0,000	243,6845	528,6104
		Tejzsír-szacharóz	652,5927*	43,16818	0,000	514,5968	790,5886
		Tejzsír	550,7909*	42,01683	0,000	416,4756	685,1062
		Pálma	274,1863*	42,01683	0,000	139,8710	408,5016
		Pálma-fruktóz	219,6349*	43,16818	0,000	81,6390	357,6308
		Pálma-inulin	-27,2311	43,16818	0,999	-165,2270	110,7648
		Pálma-keményítő	178,9414*	43,16818	0,003	40,9455	316,9373
	Pálma	Kókusz-szacharóz	-489,2409*	44,56557	0,000	-631,7038	-346,7779
		Kókusz	111,9611	44,56557	0,243	-30,5018	254,4241
		Tejzsír-szacharóz	378,4064*	43,16818	0,000	240,4105	516,4023
		Tejzsír	276,6046*	42,01683	0,000	142,2893	410,9199
		Pálma-szacharóz	-274,1863*	42,01683	0,000	-408,5016	-139,8710
		Pálma-fruktóz	-54,5514	43,16818	0,938	-192,5473	83,4445
		Pálma-inulin	-301,4174*	43,16818	0,000	-439,4133	-163,4215
		Pálma-keményítő	-95,2449	43,16818	0,413	-233,2408	42,7510
	Pálma-fruktóz	Kókusz-szacharóz	-434,6894*	45,65270	0,000	-580,6276	-288,7513
		Kókusz	166,5126*	45,65270	0,014	20,5744	312,4507

		Tejzsír-szacharóz	432,9579*	44,28962	0,000	291,3771	574,5387
		Tejzsír	331,1560*	43,16818	0,000	193,1601	469,1519
		Pálma-szacharóz	-219,6349*	43,16818	0,000	-357,6308	-81,6390
		Pálma	54,5514	43,16818	0,938	-83,4445	192,5473
		Pálma-inulin	-246,8660*	44,28962	0,000	-388,4468	-105,2852
		Pálma-keményítő	-40,6934	44,28962	0,991	-182,2743	100,8874
	Pálma-inulin	Kókusz-szacharóz	-187,8234*	45,65270	0,003	-333,7616	-41,8853
		Kókusz	413,3786*	45,65270	0,000	267,4404	559,3167
		Tejzsír-szacharóz	679,8239*	44,28962	0,000	538,2431	821,4047
		Tejzsír	578,0220*	43,16818	0,000	440,0261	716,0179
		Pálma-szacharóz	27,2311	43,16818	0,999	-110,7648	165,2270
	Pálma-keményítő	Pálma	301,4174*	43,16818	0,000	163,4215	439,4133
		Pálma-fruktóz	246,8660*	44,28962	0,000	105,2852	388,4468
		Pálma-keményítő	206,1726*	44,28962	0,000	64,5917	347,7534
		Kókusz-szacharóz	-393,9960*	45,65270	0,000	-539,9341	-248,0578
		Kókusz	207,2060*	45,65270	0,001	61,2679	353,1442
		Tejzsír-szacharóz	473,6513*	44,28962	0,000	332,0705	615,2321
		Tejzsír	371,8495*	43,16818	0,000	233,8536	509,8454
		Pálma-szacharóz	-178,9414*	43,16818	0,003	-316,9373	-40,9455
		Pálma	95,2449	43,16818	0,413	-42,7510	233,2408
		Pálma-fruktóz	40,6934	44,28962	0,991	-100,8874	182,2743
		Pálma-inulin	-206,1726*	44,28962	0,000	-347,7534	-64,5917
Adhézió	Kókusz-szacharóz	Kókusz	-77,2896*	17,37700	0,001	-132,8387	-21,7405
		Tejzsír-szacharóz	-227,9775*	16,88740	0,000	-281,9615	-173,9934
		Tejzsír	-221,2582*	16,48527	0,000	-273,9567	-168,5597
		Pálma-szacharóz	-9,9828	16,48527	1,000	-62,6813	42,7157
		Pálma	49,0807	16,48527	0,088	-3,6178	101,7792
		Pálma-fruktóz	-17,0403	16,88740	0,984	-71,0244	36,9437
		Pálma-inulin	-116,9613*	16,88740	0,000	-170,9454	-62,9773
		Pálma-keményítő	256,2072*	16,88740	0,000	202,2232	310,1912
	Kókusz	Kókusz-szacharóz	77,2896*	17,37700	0,001	21,7405	132,8387
		Tejzsír-szacharóz	-150,6878*	16,88740	0,000	-204,6719	-96,7038
		Tejzsír	-143,9686*	16,48527	0,000	-196,6671	-91,2701
		Pálma-szacharóz	67,3068*	16,48527	0,003	14,6083	120,0053
		Pálma	126,3703*	16,48527	0,000	73,6718	179,0688
		Pálma-fruktóz	60,2493*	16,88740	0,018	6,2652	114,2333
		Pálma-inulin	-39,6717	16,88740	0,328	-93,6558	14,3123
		Pálma-keményítő	333,4968*	16,88740	0,000	279,5128	387,4809
	Tejzsír-szacharóz	Kókusz-szacharóz	227,9775*	16,88740	0,000	173,9934	281,9615

		Kókusz	150,6878*	16,88740	0,000	96,7038	204,6719
		Tejzsír	6,7192	15,96836	1,000	-44,3269	57,7653
		Pálma-szacharóz	217,9946*	15,96836	0,000	166,9485	269,0407
		Pálma	277,0581*	15,96836	0,000	226,0120	328,1042
		Pálma-fruktóz	210,9371*	16,38319	0,000	158,5649	263,3093
		Pálma-inulin	111,0161*	16,38319	0,000	58,6439	163,3883
		Pálma-keményítő	484,1847*	16,38319	0,000	431,8125	536,5569
	Tejzsír	Kókusz-szacharóz	221,2582*	16,48527	0,000	168,5597	273,9567
		Kókusz	143,9686*	16,48527	0,000	91,2701	196,6671
		Tejzsír-szacharóz	-6,7192	15,96836	1,000	-57,7653	44,3269
		Pálma-szacharóz	211,2754*	15,54246	0,000	161,5908	260,9600
		Pálma	270,3389*	15,54246	0,000	220,6543	320,0235
		Pálma-fruktóz	204,2179*	15,96836	0,000	153,1718	255,2640
		Pálma-inulin	104,2969*	15,96836	0,000	53,2508	155,3430
	Pálma-szacharóz	Pálma-keményítő	477,4654*	15,96836	0,000	426,4193	528,5115
		Kókusz-szacharóz	9,9828	16,48527	1,000	-42,7157	62,6813
		Kókusz	-67,3068*	16,48527	0,003	-120,0053	-14,6083
		Tejzsír-szacharóz	-217,9946*	15,96836	0,000	-269,0407	-166,9485
		Tejzsír	-211,2754*	15,54246	0,000	-260,9600	-161,5908
		Pálma	59,0635*	15,54246	0,009	9,3789	108,7481
		Pálma-fruktóz	-7,0575	15,96836	1,000	-58,1036	43,9886
	Pálma	Pálma-inulin	-106,9785*	15,96836	0,000	-158,0246	-55,9324
		Pálma-keményítő	266,1900*	15,96836	0,000	215,1439	317,2361
		Kókusz-szacharóz	-49,0807	16,48527	0,088	-101,7792	3,6178
		Kókusz	-126,3703*	16,48527	0,000	-179,0688	-73,6718
		Tejzsír-szacharóz	-277,0581*	15,96836	0,000	-328,1042	-226,0120
		Tejzsír	-270,3389*	15,54246	0,000	-320,0235	-220,6543
		Pálma-szacharóz	-59,0635*	15,54246	0,009	-108,7481	-9,3789
	Pálma-fruktóz	Pálma-fruktóz	-66,1210*	15,96836	0,003	-117,1671	-15,0749
		Pálma-inulin	-166,0420*	15,96836	0,000	-217,0881	-114,9959
		Pálma-keményítő	207,1265*	15,96836	0,000	156,0804	258,1726
		Kókusz-szacharóz	17,0403	16,88740	0,984	-36,9437	71,0244
		Kókusz	-60,2493*	16,88740	0,018	-114,2333	-6,2652
		Tejzsír-szacharóz	-210,9371*	16,38319	0,000	-263,3093	-158,5649
		Tejzsír	-204,2179*	15,96836	0,000	-255,2640	-153,1718
		Pálma-szacharóz	7,0575	15,96836	1,000	-43,9886	58,1036
		Pálma	66,1210*	15,96836	0,003	15,0749	117,1671
		Pálma-inulin	-99,9210*	16,38319	0,000	-152,2932	-47,5488
		Pálma-keményítő	273,2476*	16,38319	0,000	220,8754	325,6198

Pálma-inulin	Kókusz-szacharóz	116,9613*	16,88740	0,000	62,9773	170,9454
	Kókusz	39,6717	16,88740	0,328	-14,3123	93,6558
	Tejzsír-szacharóz	-111,0161*	16,38319	0,000	-163,3883	-58,6439
	Tejzsír	-104,2969*	15,96836	0,000	-155,3430	-53,2508
	Pálma-szacharóz	106,9785*	15,96836	0,000	55,9324	158,0246
	Pálma	166,0420*	15,96836	0,000	114,9959	217,0881
	Pálma-fruktóz	99,9210*	16,38319	0,000	47,5488	152,2932
	Pálma-keményítő	373,1686*	16,38319	0,000	320,7964	425,5408
	Pálma-keményítő					
Pálma-keményítő	Kókusz-szacharóz	-256,2072*	16,88740	0,000	-310,1912	-202,2232
	Kókusz	-333,4968*	16,88740	0,000	-387,4809	-279,5128
	Tejzsír-szacharóz	-484,1847*	16,38319	0,000	-536,5569	-431,8125
	Tejzsír	-477,4654*	15,96836	0,000	-528,5115	-426,4193
	Pálma-szacharóz	-266,1900*	15,96836	0,000	-317,2361	-215,1439
	Pálma	-207,1265*	15,96836	0,000	-258,1726	-156,0804
	Pálma-fruktóz	-273,2476*	16,38319	0,000	-325,6198	-220,8754
	Pálma-inulin	-373,1686*	16,38319	0,000	-425,5408	-320,7964
	Pálma-inulin					

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 1207,840.

*. The mean difference is significant at the ,05 level.

M38. táblázat: Különböző szemcseméretű szacharóz minták MANOVA elemzése

Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	Keményység	165972,666 ^a	2	82986,333	145,736	0,000
	Munka	1283103,482 ^b	2	641551,741	183,378	0,000
	Adhézió	51865,324 ^c	2	25932,662	94,508	0,000
Intercept	Keményység	517175,248	1	517175,248	908,234	0,000
	Munka	3059305,192	1	3059305,192	874,459	0,000
	Adhézió	505667,168	1	505667,168	1842,832	0,000
VAR00011	Keményység	165972,666	2	82986,333	145,736	0,000
	Munka	1283103,482	2	641551,741	183,378	0,000
	Adhézió	51865,324	2	25932,662	94,508	0,000
Error	Keményység	13096,875	23	569,429		
	Munka	80465,767	23	3498,512		
	Adhézió	6311,126	23	274,397		
Total	Keményység	716543,624	26			
	Munka	4560316,962	26			
	Adhézió	567894,337	26			
Corrected Total	Keményység	179069,541	25			
	Munka	1363569,249	25			
	Adhézió	58176,450	25			

a. R Squared = ,927 (Adjusted R Squared = ,921)

b. R Squared = ,941 (Adjusted R Squared = ,936)

c. R Squared = ,892 (Adjusted R Squared = ,882)

M39. táblázat: Különböző szemcseméretű szacharóz minták Tukey post-hoc elemzése

Dependent Variable			Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
keménység	pálma	pálma-kristálycukor	157,9876*	11,24899	0,000	129,8163	186,1588
		pálma-porcukor	177,4175*	11,59520	0,000	148,3792	206,4558
	pálma-kristálycukor	pálma	-157,9876*	11,24899	0,000	-186,1588	-129,8163
		pálma-porcukor	315,4052*	11,59520	0,000	283,6960	347,1144

		pálma-porcukor	19,4300	11,59520	0,23 6	-9,6083	48,4682
	pálma-porcukor	pálma	- 177,4175*	11,59520	0,00 0	- 206,4558	- 148,379 2
		pálma- kristálycukor	-19,4300	11,59520	0,23 6	-48,4682	9,6083
munka	pálma	pálma- kristálycukor	437,0189*	27,88274	0,00 0	367,1911	506,846 6
		pálma-porcukor	495,0881*	28,74087	0,00 0	423,1113	567,064 9
	pálma- kristálycukor	pálma	- 437,0189*	27,88274	0,00 0	- 506,8466	- 367,191 1
		pálma-porcukor	58,0692	28,74087	0,13 0	-13,9076	130,046 0
	pálma-porcukor	pálma	- 495,0881*	28,74087	0,00 0	- 567,0649	- 423,111 3
		pálma- kristálycukor	-58,0692	28,74087	0,13 0	- 130,0460	- 13,9076
adhézió	pálma	pálma- kristálycukor	- 106,3303*	7,80878	0,00 0	- 125,8861	-86,7745
		pálma-porcukor	-66,5193*	8,04911	0,00 0	-86,6770	-46,3617
	pálma- kristálycukor	pálma	106,3303*	7,80878	0,00 0	86,7745	125,886 1
		pálma-porcukor	39,8110*	8,04911	0,00 0	19,6533	59,9687
	pálma-porcukor	pálma	66,5193*	8,04911	0,00 0	46,3617	86,6770
		pálma- kristálycukor	-39,8110*	8,04911	0,00 0	-59,9687	-19,6533

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 274,397.

*. The mean difference is significant at the ,05 level.

M40. táblázat: Állománymérés Pearson féle korreláció analízise

Correlations

		szemcseméret	keményység
szemcseméret	Pearson Correlation	1	-,140
	Sig. (2-tailed)		,409
	N	37	37
keménység	Pearson Correlation	-,140	1
	Sig. (2-tailed)	,409	
	N	37	37

Correlations

		szemcseméret	munka
szemcseméret	Pearson Correlation	1	,222
	Sig. (2-tailed)		,186
	N	37	37
munka	Pearson Correlation	,222	1
	Sig. (2-tailed)	,186	
	N	37	37

Correlations

		szemcseméret	adhézió
szemcseméret	Pearson Correlation	1	,302
	Sig. (2-tailed)		,069
	N	37	37
adhézió	Pearson Correlation	,302	1
	Sig. (2-tailed)	,069	
	N	37	37

Correlations

		keményység	Lánchossz
keménység	Pearson Correlation	1	,171
	Sig. (2-tailed)		,313
	N	37	37
Lánchossz	Pearson Correlation	,171	1
	Sig. (2-tailed)	,313	
	N	37	37

Correlations

		Lánchossz	munka
Lánchossz	Pearson Correlation	1	-,175
	Sig. (2-tailed)		,300
	N	37	37
munka	Pearson Correlation	-,175	1
	Sig. (2-tailed)	,300	
	N	37	37

Correlations

		Lánchossz	adhézió
Lánchossz	Pearson Correlation	1	-,747**
	Sig. (2-tailed)		,000
	N	37	37
adhézió	Pearson Correlation	-,747**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	
	N	37	37

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

M41. táblázat: DSC hűtési paramétereit alapján a lineáris diszkriminancia elemzés csoportba sorolása

Classification Results^a

		Predicted Group Membership						Total
		Típus	1	2	3	4	5	
Original	Count	1	5	0	0	0	0	5
		2	0	3	0	0	0	3
		3	0	0	2	0	0	2
		4	0	0	0	3	0	3
		5	0	0	0	0	5	5
		6	0	0	0	0	0	3
	%	1	100,0	,0	,0	,0	,0	100,0
		2	,0	100,0	,0	,0	,0	100,0
		3	,0	,0	100,0	,0	,0	100,0
		4	,0	,0	,0	100,0	,0	100,0
		5	,0	,0	,0	,0	100,0	100,0
		6	,0	,0	,0	,0	,0	100,0

a. 100,0% of original grouped cases correctly classified.

M42. táblázat: DSC fűtési paramétereit alapján a lineáris diszkriminancia elemzés csoportba sorolása

Classification Results^a

		VAR0	Predicted Group Membership						Total
		0002	1	2	3	4	5	6	
Original	Count	1	5	0	0	0	0	0	5
		2	0	3	0	0	0	0	3
		3	0	0	2	0	0	0	2
		4	0	0	0	3	0	0	3
		5	0	0	0	0	5	0	5
		6	0	0	0	0	0	3	3
	%	1	100,0	,0	,0	,0	,0	,0	100,0
		2	,0	100,0	,0	,0	,0	,0	100,0
		3	,0	,0	100,0	,0	,0	,0	100,0
		4	,0	,0	,0	100,0	,0	,0	100,0
		5	,0	,0	,0	,0	100,0	,0	100,0
		6	,0	,0	,0	,0	,0	100,0	100,0

a. 100,0% of original grouped cases correctly classified.

M43. táblázat: Különböző szénhidrátok esetén mért DSC paraméterek alapján a lineráris diszkriminancia elemzés csoportba sorolása

Classification Results ^a							
		Predicted Group Membership					Total
	VAR00002	1	2	3	4	5	
Original	Count	1	2	0	0	0	2
		2	0	3	0	0	3
		3	0	0	2	0	2
		4	0	0	0	3	3
		5	0	0	0	3	3
	%	1	100,0	,0	,0	,0	100,0
		2	,0	100,0	,0	,0	100,0
		3	,0	,0	100,0	,0	100,0
		4	,0	,0	,0	100,0	100,0
		5	,0	,0	,0	100,0	100,0

a. 100,0% of original grouped cases correctly classified.

M44. táblázat: Cukorhelyettesítőkkel végzett állománymérés MANOVA elemzése

Tests of Between-Subjects Effects						
Source		Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	Keményység	5139824,977 ^a	3	1713274,992	19,765	0,000
	Munka	4340151,959 ^b	3	1446717,320	13,829	0,000
	Adhézió	3645353,918 ^c	3	1215117,973	14,573	0,000
Intercept	Keményység	53085689,690	1	53085689,690	612,412	0,000
	Munka	250608525,252	1	250608525,252	2395,598	0,000
	Adhézió	79857561,363	1	79857561,363	957,770	0,000
VAR00001	Keményység	5139824,977	3	1713274,992	19,765	0,000
	Munka	4340151,959	3	1446717,320	13,829	0,000
	Adhézió	3645353,918	3	1215117,973	14,573	0,000
Error	Keményység	3033901,801	35	86682,909		
	Munka	3661422,807	35	104612,080		
	Adhézió	2918252,413	35	83378,640		
Total	Keményység	63650669,262	39			

	Munka	264449196,640	39			
	Adhézió	87001635,396	39			
Corrected Total	Keményység	8173726,778	38			
	Munka	8001574,766	38			
	Adhézió	6563606,331	38			

a. R Squared = ,629 (Adjusted R Squared = ,597)

b. R Squared = ,542 (Adjusted R Squared = ,503)

c. R Squared = ,555 (Adjusted R Squared = ,517)

M45. táblázat: Cukorhelyettesítőkkal végzett állománymérés Tukey post-hoc tesztje

			Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
Dependent Variable						Lower Bound	Upper Bound
keménység	pálma	pálma-szacharóz	795,2329*	128,64119	0,000	#####	-448,3001
		pálma-stevia	119,4561	135,27648	0,814	-245,3714	484,2836
		pálma-xilit	-305,6915	135,27648	0,127	-670,5190	59,1360
	pálma-szacharóz	pálma	795,2329*	128,64119	0,000	448,3001	1142,1657
		pálma-stevia	914,6890*	132,33178	0,000	557,8030	1271,5749
		pálma-xilit	489,5414*	132,33178	0,004	132,6555	846,4274
	pálma-stevia	pálma	-119,4561	135,27648	0,814	-484,2836	245,3714
		pálma-szacharóz	914,6890*	132,33178	0,000	#####	-557,8030
		pálma-xilit	425,1476*	138,79074	0,021	-799,4527	-50,8424
	pálma-xilit	pálma	305,6915	135,27648	0,127	-59,1360	670,5190
		pálma-szacharóz	489,5414*	132,33178	0,004	-846,4274	-132,6555
		pálma-stevia	425,1476*	138,79074	0,021	50,8424	799,4527
munka	pálma	pálma-szacharóz	-333,1351	141,32019	0,105	-714,2620	47,9917
		pálma-stevia	585,9774*	148,60946	0,002	185,1921	986,7627
		pálma-xilit	-75,4570	148,60946	0,957	-476,2422	325,3283
	pálma-szacharóz	pálma	333,1351	141,32019	0,105	-47,9917	714,2620
		pálma-stevia	919,1125*	145,37453	0,000	527,0515	1311,1735
		pálma-xilit	257,6782	145,37453	0,303	-134,3828	649,7391
	pálma-stevia	pálma	585,9774*	148,60946	0,002	986,7627	-185,1921
		pálma-szacharóz	919,1125*	145,37453	0,000	#####	-527,0515
		pálma-xilit	661,4343*	152,47009	0,001	#####	-250,2373
	pálma-xilit	pálma	75,4570	148,60946	0,957	-325,3283	476,2422
		pálma-szacharóz	-257,6782	145,37453	0,303	-649,7391	134,3828
		pálma-stevia	661,4343*	152,47009	0,001	250,2373	1072,6314

adhézió	pálma	pálma-szacharóz	- 761,1178*	126,16553	0,000	#####	-420,8617
		pálma-stevia	- 586,0539*	132,67312	0,001	- 943,8604	-228,2474
		pálma-xilit	- 692,1597*	132,67312	0,000	#####	-334,3532
	pálma-szacharóz	pálma	761,1178*	126,16553	0,000	420,8617	1101,3740
		pálma-stevia	175,0639	129,78509	0,539	- 174,9538	525,0817
		pálma-xilit	68,9582	129,78509	0,951	- 281,0596	418,9759
	pálma-stevia	pálma	586,0539*	132,67312	0,001	228,2474	943,8604
		pálma-szacharóz	-175,0639	129,78509	0,539	- 525,0817	174,9538
		pálma-xilit	-106,1058	136,11975	0,863	- 473,2075	260,9960
	pálma-xilit	pálma	692,1597*	132,67312	0,000	334,3532	1049,9662
		pálma-szacharóz	-68,9582	129,78509	0,951	- 418,9759	281,0596
		pálma-stevia	106,1058	136,11975	0,863	- 260,9960	473,2075

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = 83378,640.

*. The mean difference is significant at the ,05 level.

M46. táblázat: Cukorhelyettesítésnél mért DSC paraméterek alapján a lineráls diszkriminancia elemzés csoportba sorolása

Classification Results^a

		Predicted Group Membership					
	VAR00007	1,00	2,00	3,00	4,00	Total	
Original	Count	1,00	2	0	0	0	2
		2,00	0	2	0	0	2
		3,00	0	0	2	0	2
		4,00	0	0	0	2	2
	%	1,00	100,0	,0	,0	,0	100,0
		2,00	,0	100,0	,0	,0	100,0
		3,00	,0	,0	100,0	,0	100,0
		4,00	,0	,0	,0	100,0	100,0

a. 100,0% of original grouped cases correctly classified.