

SZAKDOLGOZAT

Vaczó Márta

2025



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Budai Campus

Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet

Élelmiszermérnöki alapképzési szak

**Almatörkölyből származó készítmények szénhidrát
emésztésére gyakorolt hatásának vizsgálata
emésztésszimulációval**

Belső konzulens: Dr. Tormási Judit
egyetemi adjunktus

**Belső konzulens
intézete/tanszéke:** MATE – ÉTTI –
Élelmiszerkémia és Analitikai
Tanszék

Külső konzulens: Dr. Abrankó László Péter
egyetemi tanár, tanszékvezető

Készítette: Vaczó Márta

Budapest

2025

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés és célkitűzések.....	2
2. Szakirodalmi áttekintés	4
2.1 A fenntartható élelmiszeriparért – melléktermékek felhasználása	4
2.1.1 Az almatörköly, a gyümölcsle ipar mellékterméke	5
2.1.2 Az almatörköly élelmiszerekben történő felhasználása	7
2.1.3 Az almatörköly egyéb felhasználásának lehetőségei	8
2.2 Szénhidrátok táplálkozási szerepe	9
2.2.1 Funkcionális élelmiszerek a szénhidrát-indukált betegségekre	9
2.3 Az emberi emésztés modellezése <i>in vivo</i> és <i>in vitro</i>	11
2.3.1 <i>In vivo</i> vizsgálatok	11
2.3.2 <i>In vitro</i> vizsgálatok és emésztésszimulációk	11
2.3.3 Infogest protokoll.....	14
3. Anyagok és módszerek.....	16
3.1 Felhasznált anyagok	16
3.1.1 Szénhidrát alapanyag	16
3.1.2 Almatörköly kivonatok	16
3.1.3 Az emésztésszimuláció anyagai.....	17
3.2 Elvégzett módszerek.....	18
3.2.1 Hibrid emésztésszimulációs vizsgálat.....	18
3.2.2 Mintaelőkészítés	20
3.2.4 A felszabadult glükóztartalom mérése GOPOD módszerrel	20
3.2.5 Adatok kiértékelése.....	20
3.2.6 Statisztikai módszer	20
4. Eredmények és értékelésük	21
4.1 Fehérkenyér emésztés eredményei	21
4.2 A kezelések hatása.....	22
4.2.1 Iparilag szárított almatörköly hatása	22
4.2.2 Polifenolsökkentett almatörköly hatása	23
4.2.3 Pektinsökkentett almatörköly hatása.....	23
4.2.4 Pektin csökkentés után polifenolsökkentett almatörköly hatása	24
4.2.5 Polifenol csökkentés után pektinsökkentett almatörköly hatása	24
4.3 A kezelések összehasonlítása	25

4.3.1 Iparilag szárított almatörköly (ISZ) hatása a fehérkenyérre	25
4.3.2 Eredmények összevetése a kivonatolási sorrendiség szempontjából.....	26
4.3.3 Eredmények összevetése a polifenoltartalom szempontjából.....	27
5. Következtetések és javaslatok.....	30
6. Összefoglalás.....	31
7. Irodalomjegyzék.....	33
8. Táblázatok jegyzéke	42
9. Ábrák jegyzéke.....	43
10. Képek jegyzéke	44
11. Függelék.....	45

1. Bevezetés és célkitűzések

Az utóbbi évtizedben megváltozott az élelmiszeripari hulladékkezelés megközelítése, mely a szennyezés szabályozása vagy megelőzése helyett a hulladékanyagot értékes forrásnak, a fenntartható fejlődéshez szükséges nyersanyagként kezeli (Yates et al., 2017). Az élelmiszeripari hulladékok egyik fő termelője a gyümölcsfeldolgozó ipar. A gyümölcshulladék mennyiségét több mint 190 millió tonnára becsülik globálisan, melyből 21 millió tonna az almából származik (Błaszczuk et al., 2024). Ez a melléktermék az almatörköly, mely főként a visszamaradt héjból, magból, szárból és kevés gyümölcshúsból áll, és mely kiváló forrása az élelmi rostoknak, bioaktív vegyületeknek és egyéb ásványi anyagoknak (Waldbauer et al., 2017; Asif et al., 2023).

Emiatt a melléktermék iránti érdeklődés a tudományos világban erőteljesen fokozódott az elmúlt évtizedben. Számos kutató élelmiszerek dúsítására vagy tápértékének növelése céljából almatörkölyt használt fel, bebizonyítva, hogy a melléktermék kiváló funkcionális összetevőként viselkedik (Bhushan et al., 2008). Újabban az almatörkölyt szénhidrát-dús élelmiszerek (pl. péksütemények) glikémiás válaszára csökkenésével hozzák párhuzamba, mely feltételezhetően élelmi rost- és polifenoltartalmának köszönhető (Alongi et al., 2019). Emiatt ezen élelmiszerek szerkezetének és összetételének emberi egészségre gyakorolt hatása egyre inkább fontosabbá válik.

Ennek vizsgálata a felső emésztőrendszer szimulálását igényli (Brodcorp et al., 2019), melyre válaszul különféle *in vitro* emésztésszimulációs modelleket fejlesztettek. Habár az élelmiszerek emésztése egy összetett folyamat, és még mindig vannak benne ismerethiányos területek (Hiolle et al., 2020), az emésztésszimulációk alkalmasnak bizonyulnak élelmiszerek viselkedésének szisztematikus tesztelésére a gasztrointesztinális traktusban (Li et al., 2020).

Az almatörköly szénhidrátokkal történő együtt emészthetőségének vizsgálata tehát több szempont miatt is kiemelt figyelmet igényel: elősegítheti az anyagcsere betegségeket (pl. 2-es típusú cukorbetegség) megelőzésére irányuló módszerek továbbfejlesztését, valamint új megoldást adhat élelmiszeripari melléktermékek újra hasznosításában (Kandemir et al., 2022).

Ezek alapján a szakdolgozatomban az alábbi célokat tűztem ki:

- emésztésszimulációval megvizsgálni, hogy különböző almatörköly kivonatok milyen hatással vannak szénhidrát emészthetőségre,

- megvizsgálni, hogy az almatörköly mely frakciója lehet hatással a szénhidrát glikémiás indexének csökkentésére
- meghatározni, hogy az almatörköly értékes komponenseinek extrakciós sorrendisége lényeges-e a szénhidrát emészthetőség szempontjából.

2. Szakirodalmi áttekintés

2.1 A fenntartható élelmiszeriparért – melléktermékek felhasználása

Az élelmiszertermelés és ennek ipari mennyiségben történő feldolgozása iránti igény évről évre fokozódik az emberiség népességének növekedésével (Ravindran és Jaiswal, 2016). A világon keletkező hulladék legnagyobb részét (a teljes mennyiség mintegy 44%-át) az élelmiszer- és zöldhulladék teszi ki (Gołębiewska et al., 2022). Az ipari termelés megoldatlan problémája a feldolgozás során keletkező nagy mennyiségű melléktermék kezelése (Dhillon et al., 2013), mely a termelő cég szempontjából felesleget jelent. E hulladékok keletkezése elkerülhetetlen, mivel a főterméket minden alkalommal azonos minőségben kell előállítani, függetlenül a keletkező hulladék mennyiségétől (Rudra et al., 2015). Melléktermék származhat például gyümölcs- és zöldséglé előállításából (Kandemir et al., 2022), gabonafélék, hüvelyesek, olajos magvak feldolgozásából, sör-, bor- és szesziparból (Martins et al., 2017), tejiparból, valamint a húsiparból (Ravindran és Jaiswal, 2016). Nagy vonalakban tehát beszélhetünk növényi eredetű és állati eredetű élelmiszeripari melléktermékekről (Martins et al., 2017). A melléktermékek közvetlen hulladékként való környezetbe juttatása komoly ökológiai problémákat okoz (Dhillon et al., 2013), és ma nagyon kevés lehetőség áll rendelkezésre ezek egységes kezelésére (Ravindran és Jaiswal, 2016).

Az utóbbi évtizedben azonban megváltozott az élelmiszeripari hulladékkezelés megközelítése (Yates et al., 2017). Ezt bizonyítja, hogy számos kutató és szakirodalom felvetette már az élelmiszeripari melléktermékek újra hasznosítását, akár élelmiszerekben is. Sairam és munkatársai (2011) zsírtalanított rizskorpával, a rizskorpaolaj kinyerésének fő melléktermékével kevert lisztből készítettek kenyeret, mely növelte a termék élelmi rosttartalmát és az antioxidánsok aktivitását. Más kutatók (Benhabiles et al., 2012) szardíniából származó szilárd hulladékból aminosavakat (köztük esszenciális aminosavakat) nyertek. Nyulas-Zeke és munkatársai (2024) pedig a vajgyártás melléktermékéből, íróból készítettek fagyaltot, teljes mértékben helyettesítve a tejet.

A szakirodalom nagy része azonban a növényi hulladékokra összpontosít (Ravindran és Jaiswal, 2016). A növényi hulladékok nagy részét gyümölcsfeldolgozók termelik, melynek mennyiségét több mint 190 millió tonnára becsülik globálisan (Błaszczuk et al., 2024). Ezeket a melléktermékeket hagyományos módokon lerakással, elégetéssel, komposztálással kezelik, esetleg alacsony minőségű állati takarmányként hasznosítják (Calvete-Torre et al., 2022). Ez a hulladék azonban rendkívül változatos (Rudra et al., 2015), és potenciális forrása lehet számos bioaktív és egyéb egészség-növelő vegyületnek (Kandemir et al., 2022). A növényi

melléktermékek újra hasznosítása nem csak azt jelentené, hogy képesek lennénk hozzáadott értékű, funkcionális élelmiszerek előállítására, hanem hogy ezekhez olyan alapanyagokat használnánk fel, melyet a feldolgozóipar nem hasznosítana újra. Ez elősegítené az élelmiszeripar fenntarthatóságát.

A dolgozat témája miatt a továbbiakban a gyümölcsle iparon belül az almalé gyártás melléktermékével, az almatörkölyel és annak újra hasznosításával foglalkozom részletesebben.

2.1.1 Az almatörköly, a gyümölcsle ipar mellékterméke

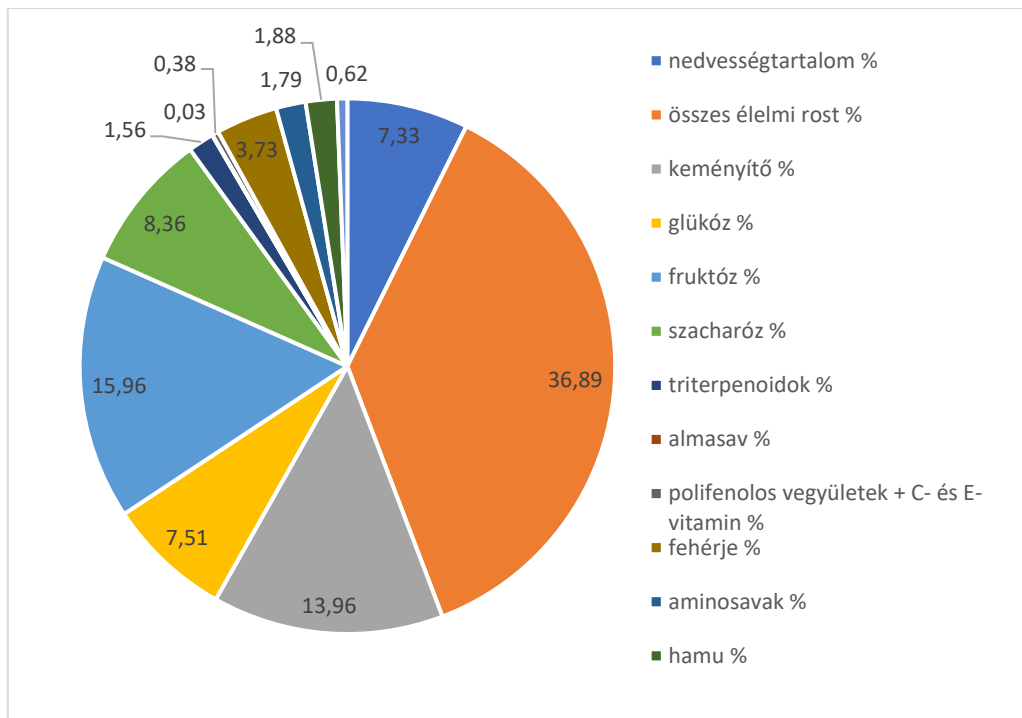
A 2023-es évi adatok alapján az Európai Unióban megtermelt alma mennyisége 12,06 millió tonna volt. Ennek több mint 66%-át összesen három ország termelte ki - Lengyelország, Olaszország és Franciaország (FAO, 2025). Magyarországon ugyanebben az évben 486,297 tonna alma termelt (KSH, 2025). A leszüretelt alma legnagyobb része (körülbelül 70%-a) frissen kerül értékesítésre vagy tárolásra, míg a fennmaradó 25-30%-ot az ipar dolgozza fel. A feldolgozás során cider, almapüré, dzsemek, szárított, fagyasztott almatermékek készülnek, de legnagyobb mennyiségben (65%-ban) almalé (Bhushan et al., 2008). Számos szakirodalom megjegyzeni, hogy a hagyományos eljárással készült almalé gyártása során a becsült lékihozatal 75%-os, vagyis a visszamaradt nyereség aránya 25% (Dhillon et al., 2013; Shalini és Gupta, 2010; Waldbauer et al., 2017). Az adatok alapján ez nagyjából huszonezzer tonna almatörkölyt jelentett Magyarországon 2023-ban.

Habár az almatörköly a légyártás szempontjából melléktermék, ez is a gyümölcsből van. A visszamaradt gyümölcscrész főként héjből (95%), magházból, magból (2%-4%), szárakból (1%) és gyümölcshúsból (pulpból) áll (Kandemir et al., 2022; Waldbauer et al., 2017). Ezek az almatörköly összetevői. Ezt a végterméket – ha hulladékként kezelik is - értékes tápanyagforrásnak számít. Szénhidrátokat, élelmi rostokat, aminosavakat, ásványi anyagokat, antioxidáns vegyületeket tartalmaz. Ezt számos kutató és szakirodalom felvetette már (Lyu et al., 2020; Persic et al., 2017; Shalini és Gupta, 2010).

Waldbauer és munkatársai (2017) szerint a frissen préselt almatörköly nedvességtartalma 70-85% is lehet, összetételének aránya pedig nagyban függ az alma fajtájától, az érés során fennálló külső környezeti feltételektől (termesztési évszak, éghajlat, csapadék, napsugárzás mennyisége stb.), és a feldolgozás módjától. Magas nedvességtartalma miatt az almatörköly erjedésre hajlamos, ezért a víztartalom elvonását a lehető leggyorsabban kell elvégezni, ha a mellékterméket tárolásra, további felhasználásra szánják.

Ugyanezen cikk szerzői egy kördiagrammon ábrázolták a szárított almatörköly százalékos összetételét, tizenkét szakirodalmi forrásra alapozva (1. ábra). Ebből kiindulva,

megközelítőleg, a szárítás utáni almatörköly nedvességtartalma 7,33%, szárazanyagtartalma 92,67%, melynek nagy részét élelmi rostok (36,89%), összetett (13,96%) és egyszerű (glükóz-fruktóz-szacharóz összesen 31,83%) cukrok alkotják. Előfordulnak benne fehérjék (3,73%), aminosavak (1,79%), ásványi és egyéb bioaktív anyagok.



1. ábra: Az almatörköly általános összetétele szárítás után (Waldbauer et al., 2017).

Kandemir és munkatársai (2022) összegyűjtötték cikkük megjelenéséig azokat a szakirodalmi forrásokat, melyek a gyümölcslegyártás során hátramaradt, különböző gyümölcsök törkölyeiben fellelhető bioaktív anyagok lehetséges jelenlétéről szólnak. A kutatók kihangsúlyozzák, hogy az almatörköly kiváló forrása a polifenolos vegyületeknek, illetve más növényi másodlagos anyagcseretermékeknek is, mint például a triterpenoidoknak. Ezek a vegyületek főként a héjban gyülemlenek fel (Abbas et al., 2017), és tudjuk, hogy az almatörköly legnagyobb hányadát a visszamaradt héj teszi ki. Egyes becslések szerint az alma polifenoltartalmának 82-99%-a a préselvényben maradhat a feldolgozás során (Antonic et al., 2020). A polifenolos vegyületek emberi egészségre gyakorolt pozitív hatását számos biológus és táplálkozástudománnyal foglalkozó szakember felvetette már. A három legtöbbet kutatott polifenol a kvercetin, a katechin, és a kaempferol (Rasouli et al., 2017), melyből kettő – a kvercetin és a katechin – az almatörkölyben is megtalálható (Kandemir et al., 2022). Antioxidáns, daganatellenes, gyulladáscsökkentő és antibakteriális tulajdonságaik miatt ezeket

a vegyületeket leginkább szív- és érrendszeri betegségekkel, a rákkal, az elhízással, a cukorbetegséggel és a fertőző betegségekkel összefüggésben vizsgálják (Rasouli et al., 2017). A polifenolos vegyületekről továbbá kimutatták, hogy gátló hatást fejtenek ki keményítő- és cukorbontó enzimekre, potenciálisan csökkentve így a glükózfelszabadulást a szervezetben (Tormási et al., 2024).

2.1.2 Az almatörköly élelmiszerekben történő felhasználása

Az előző fejezetben említettek alapján erős létjogosultsága van annak, hogy foglalkozzunk az almatörköly újra hasznosításával, annak is ehető terméké, élelmiszerré történő alakításával. Ez nem új gondolat. Növekvő számú publikáció jelenik meg az almatörköly élelmiszerekben történő alkalmazásáról (Kandemir et al., 2022). Sudha és munkatársai (2007) különböző arányú (0-15%) almatörköly por-búzaliszt keverékekből készített tészták reológiai tulajdonságait mérték. Megállapították, hogy a növekvő almatörköly tartalom a tésztában meghosszabbította a tésztaképződés idejét. Ennek oka, hogy a hozzáadott almatörköly megemelte a tészta élelmi rost tartalmát, ami így hatással volt a vízfelvétele és a gluténszerkezet kialakulására. A kísérlet során sütésvizsgálat is történt, melyhez új terméket készítettek, és a lisztet 0-30%-ban almatörkölyvel helyettesítették. A 25% almatörköly-keveréket tartalmazó minta teljes élelmi rosttartalma 14,2% volt sütés után, míg a kontroll mintáé csak 0,47%. A dúsított minta teljes fenoltartalma is több lett, mint a kontroll mintáé, habár nem szignifikánsan. Sudha és munkatársainak (2007) megállapításait később saját kísérletük (Sudha et al., 2016), és más kutatók által megjelent szakirodalmi cikkek (Bchir et al., 2014; Vasantha Rupasinghe et al., 2009) is alátámasztották. Ezen felül Alongi és munkatársai (2019) olyan kekszet készítettek, melyben a liszt 10% és 20%-a almatörkölyvel volt helyettesítve. A kekszek *in vitro* emésztésszimulációs vizsgálata után megállapították, hogy a dúsított édesség alacsonyabb glikémiás indexet mutatott, mint a kontroll minta. Egyéb sütőipari termékek is készültek almatörköly hozzáadásával, például puffasztott teljes kiőrlésű barna rizs szelet, extrudált kenyerek, snackek, mely kísérletek esetében csakugyan jelentősen megnövekedett a teljes élelmi rosttartalom és polifenoltartalom (Antonic et al., 2020).

Younis és Ahmad (2018) azt is bebizonyították, hogy az almatörköly a húsiparban is egy ígéretes összetevő lehet. Kísérletük során bivalyhúsból készült fasírthoz almatörkölyt adtak (0-2-4-6-8 m/m%). A melléktermék csökkentette a minták pH-ját, növelte nyersrost tartalmát. Elősegítette a főzési hozamot, az emulzió stabilitását, a húsok vízkötő képességét. A fasírtok állaggal kapcsolatos tulajdonságai, úgy, mint keménység, szívósság, rugalmasság, rágósság mértéke is növekedett. Koishybayeva és munkatársai (2025) összegyűjtötték azokat a

tanulmányokat, melyekben almatörkölyt használtak fel különböző húsipari termékek (csirkefalat, szalámi, kolbász, virsli, hamburgerhús) előállításához. Ez az összefoglaló is igazolja, hogy az almatörkölyt tartalmazó húsok tápanyagtartalma növekedett, állaga és érzékszervi tulajdonságai jobb megítélést kaptak.

2.1.3 Az almatörköly egyéb felhasználásának lehetőségei

Az almatörköly újra hasznosítására nem csak élelmiszerekben végeztek kísérleteket. Az almában található élelmi rostok cellulózból, hemicellulózokból és pektinből állnak (Calvete-Torre et al., 2022), ezért az almatörkölyt már régóta használják pektin kinyerésére is (Shalini és Gupta, 2010). A pektint az élelmiszeripar zselésítő- vagy sűrítőanyagként használja általában, de újabban antioxidáns tulajdonságáról, valamint a bélrendszerben elvégzett jótékony hatásáról is beszámoltak (Calvete-Torre et al., 2021). Miután az antioxidánsokat és a pektint kivonták a törkölyből, visszamarad egy újabb melléktermék. Yates és munkatársai (2017) ebből a másodtermékből olyan porc és csontszövethez hasonló anyagot fejlesztettek, ami az élő szervezethez hasonló (fiziológiás), és melynek eredményeképpen a normál szöveti sejtek funkciójukat képesek lehetnek a továbbiakban is ellátni. Ezzel bebizonyították, hogy az antioxidáns- és pektincsökkentett almatörkölyben visszamaradott anyagok felhasználhatók lehetnek szövetmérnöki területeken is, létrehozva így egy olyan terméket, mely sokkal nagyobb értéket képvisel, mint az eredeti nyersanyag. Ez a hulladékok többféle célú értéknövelésének gondolatát is felveti, hiszen a melléktermékeket gyakran csak egyféle célra hasznosítják.

Mindezek mellett számos szakirodalom megemlíti az almatörköly felhasználhatóságát bioenergia-forrásként vagy bioüzemanyag-forrásként (Shalini és Gupta, 2010; Wang et al., 2014). A valóságban az almatörköly újrahasznosítási aránya meglehetősen alacsony (Gołębiewska et al., 2022), legnagyobb mennyiségben még mindig állati-takarmánynak használják fel (Calvete-Torre et al., 2021). Megfogalmazódik a szükség az almatörköly, mint élelmiszeripari hulladék egységes kezelésére, lehetőleg környezetbarát módon (Asif et al., 2023), valamint a szemléletmódváltás, hogy a hulladékanyagokat a fenntartható fejlődéshez szükséges nyersanyagként kezeljék (Yates et al., 2017).

2.2 Szénhidrátok táplálkozási szerepe

Az izomsejtek és a szervezet más szöveteinek meghatározott mennyiségű glükózra és szénhidrátra van szükségük működésük fenntartásához. Az egészséges, kiegyensúlyozott étrend alapvető összetevőjének kellene lennie a szénhidrátoknak és élelmi rostoknak, biztosítva így energiafelvételünk 45-70%-át (Blaak et al., 2012; Lunn és Buttriss, 2007).

A szénhidrátokat három fő csoportba sorolják szerkezetük alapján: monoszacharidok (glükóz, fruktóz, galaktóz), diszacharidok (szukróz, laktóz) és poliszacharidok (keményítő, élelmi rostok) (Gannon és Nuttall, 2006). A szénhidrát általában poliszacharid (keményítő) formájában kerül a szervezetbe, mely az emésztőrendszeren végig vonulva bomlik le egyszerű cukrokra (Lunn and Buttriss, 2007). A szénhidrát emésztés már a szájban elkezdődik, ahol a nyálban található α -amiláz, glükóamiláz és izoamiláz enzimek a keményítőt kisebb egységekre, diszacharidokra bontják (Copeland et al., 2009). Az α -amiláz működési optimuma $\text{pH}=7,0$ (Farooq et al., 2021), így amint az a gyomor savas ($\text{pH } 3,0-3,8$) közegével találkozik, az enzim inaktíválódik (Tormási et al., 2024). A gyomri szakaszban a gyomorfallal perisztaltikus mozgása révén a keményítő összekeveredik az ott található nedvekkkel, amelyek savat, pepszint, lipáz enzimet, sókat tartalmaznak, és a keményítő tovább bomlik (Li et al., 2023). A szénhidrátok fő emésztési helye azonban a vékonybél (Lunn and Buttriss, 2007). A vékonybélnek három része van: a patkóbél, az éhbél és a csípőbél. A patkóbélben a hasnyálmirigy-amiláz befejezi a keményítő lebontását diszacharidokká, a diszacharidok lebontását pedig a bél belső falához kapcsolódó egyéb enzimek (pl. diszacharidázok) végzik (Lunn and Buttriss, 2007; Li et al., 2023). A keletkezett egyszerű cukor (glükóz) az éhbél és a csípőbél bélhámsejtjein keresztül felszívódik, és a véráramba kerül (Chandel, 2021). A véráramból a glükóz a májhoz jut, ahol a máj vagy glikogén formájában elraktározza azt, vagy visszaengedi a véráramba, hogy a glükózt más szervek és szövetek is fel tudják használni (Li et al., 2023).

A felszívódni képes szénhidrátokat elérhető szénhidrátoknak is nevezik, melyet az Amerikai Gabonai Kémikusok Szövetsége (AACC) így definiál: „az a szénhidrát, amely az élelmiszerből az emésztés során felszabadul, monoszacharidként szívódik fel, és a szervezet anyagcseréje során hasznosul” (Woolnough et al., 2008).

2.2.1 Funkcionális élelmiszerek a szénhidrát-indukált betegségekre

A vércukorszintet a glükoneogenezis és a glikogenolízis folyamatai tartják fenn. Bármely irányba történő kibillenés - tehát a vércukorszint drasztikus csökkenése vagy túl magas értéke káros, az emberi egészségre veszélyes lehet (Chandel, 2021). A vércukorszint csökkenése az

agyműködés zavarához vezethet (szédülés, eszméletvesztés), a túl magas vércukorszint hosszú távon megnövelheti az elhízás, a 2-es típusú cukorbetegség, a szív- és érrendszeri betegségek és bizonyos ráktípusok kockázatát (Chandel, 2021; Marsh et al., 2011).

Az étkezés okozta vércukorszint-emelkedéséért elsősorban a felszívódó glükóz felelős az összes egyéb étrendben jelenlévő szénhidrát közül (Gannon és Nuttall, 2006). Marsh és munkatársai (2011) hozzáteszik, hogy a szénhidrát típusa mellett annak bevitt mennyisége is egyaránt fontos az egyén vércukorszint-emelkedésének (glikémiás válaszanak) előrejelzésében egy étkezés után. Egy adott ételiszter szénhidrát tartalmának vércukorszintre gyakorolt hatását a glikémiás indexszel (GI) lehet jellemezni. Ez azt a vércukorszint-választ jelenti, melyet 50 g szénhidrátot tartalmazó ételisztermennyiség vált ki, és melyet 0-100-ig terjedő skálán fejeznek ki a referencia fehér kenyér vagy glükóz azonos mennyiségű szénhidrátjának vércukorszint-válaszához képest (Marsh et al., 2011). Ezek alapján beszélhetünk magas (>70), és alacsony (<55) glikémiás indexszel rendelkező ételiszterekről, miszerint az ételiszter gyorsabb vagy lassabb glükóz-felszabadulást eredményez a vérben (Lunn and Buttriss, 2007).

Az alacsony glikémiás indexű étrendnek előnyeit ma számos tanulmány alátámasztja (Marsh et al., 2011), és összefüggésbe hozzák olyan krónikus betegségek kockázatának csökkenésével, mint például a cukorbetegség (Lunn and Buttriss, 2007). E mellett egyre népszerűbbé válik a szénhidrátok és bizonyos funkcionális összetevők együtt fogyasztása, melyek az ételiszter tápanyagértékének növelésén túl jótékony hatással lehetnek a keményítő emésztésére, így a glikémiás válasz szabályozására is (Martins et al., 2017; Tormási et al., 2024). A funkcionális ételiszterek népszerűségét bizonyítja, hogy 2021-ben a tíz legfontosabb fogyasztói ételisztertrend között szerepeltek, ami azt is jelenti, hogy ezen termékek iránti érdeklődés fizetési hajlandósággal is jár (Temple, 2023). Fontos azonban ellenőrizni az újabb és újabb funkcionális termékek emberi szervezetre gyakorolt valódi hatását, melyre választ adhatnak különböző vizsgálati modellek, *in vivo* vagy *in vitro*.

2.3 Az emberi emésztés modellezése *in vivo* és *in vitro*

2.3.1 *In vivo* vizsgálatok

Az *in vivo* vizsgálatok alatt a teljes, élő szervezeteken végzett kutatásokat értjük. Erre utal a szó jelentése is - „az élőben”. A kísérletek során mindig az élőlényben (állatokban vagy emberekben) természetesen előforduló folyamatokra vagyunk kíváncsiak. Az *in vivo* kísérletek célja tehát, hogy feltárja, és egy átfogó képet adjon a kutatási kérdés élő szervezeten végzett általános hatásáról (Suleman, 2023). Ennek ellenére az *in vivo* vizsgálatok számos ellentmondást szülnék. Az élőlények kísérleti célú felhasználása jogi szabályozás alá esik, etikai kérdéseket vet föl (Kiraga és Dzikowski, 2023). A törvényi korlátozások, valamint az élőlények egyéniségéből fakadó különbségek miatt a mérések nehezen ismételhetőek meg és kevés mintaelemszámmal járnak (Li et al., 2020). Ezen felül az *in vivo* kísérletek hely- és erőforrásigényesek, költségesek és nehezen kontrollálhatóak (Zhou et al., 2023).

Az elmúlt évtizedben számos kutatás középpontjába került különböző élelmiszerek emészthetőségének és felszívódásának vizsgálata a gyomor-bélrendszerben (Bohn et al., 2018). Az téma mélyebb megértése érdekében kutatók többféle *in vivo* és *in vitro* emésztési modellt is kidolgoztak (Zhou et al., 2023). Az emésztés *in vivo* vizsgálata során az élelmiszert állatoknak vagy embereknek gondosan ellenőrzött körülmények között adják be. Ez a módszer szolgáltatja a legmegbízhatóbb információt a tápanyagok felszívódásáról (Rasera et al., 2023; Zhou et al., 2023), ezért ideális esetben az emésztést mindig *in vivo* vizsgálatokkal kellene tanulmányozni (Bohn et al., 2018). A fent említett nehézségek miatt azonban ez nem mindig megvalósítható, ezért több *in vitro* emésztésszimulációs modell is kidolgozásra került (Dupont et al., 2019).

2.3.2 *In vitro* vizsgálatok és emésztésszimulációk

In vitro vizsgálatnak nevezzük azt a laboratóriumban végzett kísérletet, amikor a valóságos, az adott esetben a gyomorban zajló biokémiai folyamatokat „üvegben”, az élő szervezeten kívül reprodukáljuk (Suleman, 2023). Ezek a kísérletek költség- és anyaghatékonyabbak, kevesebb munkaerőt igényelnek. Egyszerre több minta vizsgálatát teszik lehetővé, könnyebben megismételhetőek, gyorsabban eredményhez juttatnak és nem vonnak maguk után etikai korlátozásokat (Minekus et al., 2014). Ezen felül sokkal praktikusabbak is az *in vivo* vizsgálatoknál, ha egy elemzés során több összetevő egészségre gyakorolt hatását kívánjuk vizsgálni (Verhoeckx et al., 2015). Mivel azonban az *in vitro* módszerek nem képesek tökéletesen visszaadni az élő szervezet valós sejtkörnyezetét (Suleman, 2023), ezért a fenti két vizsgálati mód, azaz az *in vivo* és az *in vitro* ki kell egészítse egymást. *In vivo* vizsgálatokon

keresztül nyert adatok alapján tudjuk egyáltalán elkezdni felépíteni, megvalósítani azt a környezetet, melyek reprezentálni tudják az emberi szervezetet laboratóriumi körülmények között (Verhoeckx et al., 2015), valamint az *in vitro* vizsgálatok eredményeit *in vivo* is igazolni kell (Alongi et al., 2019).

Az emberi emésztés modellezésére számos szimulációs módszer létezik jelenleg (Ji et al., 2022). Ezek a módszerek általában a száj-, gyomor- és vékonybél-emésztési folyamatokat foglalják magukban (Woolnough et al., 2008). Az *in vitro* emésztésszimulációk legfőbb célja, hogy minél tökéletesebben imitálja a fiziológiai környezetet (emésztőenzimek koncentrációja, emésztőnedvek, pH, emésztés ideje, sókoncentráció, stb) abból a célból, hogy később a hipotéziseket a lehető legpontosabb körülmények között állíthassuk fel (Minekus et al., 2014). A módszerek működési elve alapján megkülönböztetünk statikus, szemi-dinamikus és dinamikus emésztésszimulációs modelleket (Xavier és Mariutti, 2021).

Dinamikus emésztésszimulációs vizsgálatok

A dinamikus modellek az emésztés teljes folyamatát vagy annak egyes részfolyamatát szimulálják – ezért léteznek egy- vagy többkamrás rendszerek is (Dupont et al., 2019). Ezek a módszerek lehetővé teszik az emésztés dinamikus jellegének megteremtését mesterséges körülmények között, vagyis az emésztés időbeli változásait is figyelembe veszik (Li et al., 2020). A kísérleti környezetet folyamatosan monitorozzák, így a pH fokozatos csökkenése, az étel áramlása és darabolódása, valamint az emésztőenzimek valós idejű adagolása a bélrendszer különböző szakaszaiban a leginkább hasonlít az *in vivo* feltételekhez (Dupont et al., 2019; Verhoeckx et al., 2015). Ezért a dinamikus emésztésszimulációs modellek az emberi emésztőrendszer pontos reprodukálására képesek, és ígéretesebbek a statikus modelleknél (Minekus et al., 2014). Ennek ellenére bizonyos élettani tényezők komplexitását (pl. a bélrendszer és szervezet közötti kölcsönhatást) ezek a modellek sem képesek átadni. Emellett költségesek, nehezen hozzáférhetőek, és a dinamikus emésztésszimulációs modellek egységesítése, standardizálása még nem történt meg (Mulet-Cabero et al., 2020; Sensoy, 2021).

Szemi-dinamikus emésztésszimulációs vizsgálatok

A dinamikus és statikus emésztésszimulációs vizsgálatok között helyezkednek el a szemi-dinamikus vagy féldinamikus emésztésszimulációs modellek. A név előjelzi, hogy ez a modell a két előbb említett módszerek ötvözet, vagyis e két modell jellemzőit egybe kombinálja (Costa et al., 2024). A féldinamikus *in vitro* emésztésvizsgálatok fő célja, hogy szimulálja a bélrendszer kinetikáját, különösen a gyomori fázisban, ezért jellemzően egy statikus száji, egy

dinamikus gyomori, és újra egy statikus vékonybél szakaszt foglal magában. Ezek a rendszerek alkalmasak, ha a kutatás egy élelmiszer-mátrix szerkezetének változásait kívánja vizsgálni az emésztőrendszerben (Xavier és Mariutti, 2021).

Statikus emésztésszimulációs vizsgálatok

A szakirodalomban fellelhető *in vitro* emésztésszimulációs modellek legtöbbje azonban statikus módszer (Minekus et al., 2014). Ez azt jelenti, hogy a kísérlet folyamata nyugalmi helyzetben történik, nem változik, nem dinamikus. A minta nagyrészt mozdulatlanul marad egy statikus berendezésben (Verhoeckx et al., 2015), és a beállított feltételek (időtartam, pH, enzimek, só, epesavak, táplálék, szimuláns oldatok) aránya állandó, konstans, fix értéket mutat az emésztésszimuláció egyes fázisaiban. A minta így az első perctől fogva ugyanazzal az enzim-szubstrát aránnyal találkozik, és ugyanabban a környezetben forog, inkubálódik, „emésztődik”. Ez azonban a való életben csak az emésztés idejének egy bizonyos szakaszában jelentkezne (Minekus et al., 2014). A módszer ezen adottsága nem teszi lehetővé, hogy megfelelően visszaadja az emésztési folyamat dinamikus és átmeneti jellegét – ez a statikus emésztésszimulációs módszerek hátránya (Bohn et al., 2018; Xavier és Mariutti, 2021). A módszer hátránya azonban előnyt is jelenthet abban, hogy egy-egy konkrét élelmiszer emésztését a folyamat egy-egy konkrét fázisában tudja megvizsgálni. Így egy kutatócsoport az adott kutatási kérdéshez és a vizsgálandó élelmiszer tulajdonságaihoz tudja igazítani a mérést (Minekus et al., 2014). E mellett a statikus modellek egyszerűek, megbízhatóak, reprodukálhatóak és eredményeik könnyen kiértékelhetőek (Brodkorb et al., 2019).

Ezek alapján megállapíthatjuk, hogy a statikus emésztésszimulációs modellek elsősorban egyszerű élelmiszerek, makro- és mikrotápanyagok, gyógyszerek emészthetőségének és biológiai hozzáférhetőségének vizsgálatára és hipotézisek felállítására alkalmasak (Li et al., 2020; Verhoeckx et al., 2015; Xavier és Mariutti, 2021).

2.3.3 Infogest protokoll

Az emésztés *in vitro* vizsgálatára több kutatócsoport is kísérletet tett (Woolnough et al., 2008). Ezek a kutatócsoportok – akár a világ különböző pontjain – olyan modelleket vagy protokollokat állítottak fel, melyek saját lehetőségükhöz mérten, az adott helyen, az adott laboratóriumban, az adott kutatási kérdés megválaszolására voltak alkalmasak. Így a kutatóegységek saját laboratóriumi körökben feltehetően sikerre jutottak ugyan, de nemzetközi szinten problémába ütköztek. Ugyanis a szakemberek által egyes esetekre felállított vizsgálati paraméterek (úgy, mint az emésztési szakaszok pH-értékei, időtartama, felhasznált emésztőenzimek mennyisége és típusa, élelmiszer minta mennyisége), a kutatási kérdés, az emésztés fiziológiai feltételeinek megvalósításának módja, célja és végpontja a módszerek között jelentősen eltért (Brodkorb et al., 2019; Li et al., 2020). A protokollok közötti egyetértés és egységesség hiánya ezért megnehezítette az egyes vizsgálatok eredményeinek összehasonlítását (Fernandes et al., 2020).

Az *in vitro* emésztésszimulációs modellek standardizálására több törekvés is történt, melyek közül egy nemzetközi hálózat, a COST Infogest kezdeményezése vált a legjelentősebbé (Xavier és Mariutti, 2021). Az Infogest protokollt Minekus és munkatársai (2014) útmutatója vezette be a természettudományos szakirodalomba, melynek kidolgozásában 32 országból több mint 200 kutató vett részt, különböző szakterületekről. Az összefoglaló egy olyan validált statikus emésztési modellt javasolt, mely három kihívást egyszerre teljesített: szabványosította az *in vitro* emésztésszimulációs módszereket, megállapodott olyan kísérleti feltételekben, melyek a lehető legközelebb állnak a jelenleg releváns *in vivo* adatokhoz, és egyszerűségével reprodukálhatóvá és összehasonlíthatóvá tette az emésztés szimulálását világszerte (Brodkorb et al., 2019). Az Infogest módszer alkalmazható az emésztés utáni egyes tápanyagok (peptidek, aminosavak, zsírsavak, egyszerű cukrok) végkoncentrációjának meghatározására, valamint lehetővé teszi a tápanyagfelszabadulás kinetikájának nyomon követését is az emésztési folyamat során (Zhou et al., 2023).

Fontos megjegyezni, hogy a szakemberek annak tudtával alakították ki a standardizált modellt, hogy ez nem lesz alkalmas minden kutatási kérdés megválaszolására (Minekus et al., 2014). Mint minden *in vitro* vizsgálat során, az Infogest protokoll is korlátolt abban, hogy az ember bélrendszerében zajló összetett, dinamikus folyamatokat és visszacsatolási mechanizmusokat visszaadja. Ezért a protokoll fejlesztését több kutatócsoport is felvetette. A 2014-es publikáció óta 2019-ben az eljárás modernizálásra került (Infogest 2.0), és több, az eredeti protokollt érintő részletet tisztázott (Brodkorb et al., 2019). Egy évvel később pedig, Mulet-Cabero és munkatársai (2020) egy olyan szemi-dinamikus módszerről készítettek jelentést, mely lehetővé

teszi a szimuláció során a folyadékok és enzimek fokozatos adagolását és a gyomori fázis időbeli savasodását, mégis megőrzi az Infogest protokoll alapelveit és javaslatait.

Ma, az Infogest modell a legszélesebb körben alkalmazott vizsgálati módszer az élelmiszerek bélrendszeri sorsának nyomon követésére (Zhou et al., 2023), és az egyetlen olyan standardizált emésztési modell, melynek eredményei nagy mértékben tudnak korrelálni *in vivo* adatokkal (Le Feunteun et al., 2021).

3. Anyagok és módszerek

A kísérleteket a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet, Élelmiszerkémia és Analitika Tanszék laboratóriumában végeztem el.

3.1 Felhasznált anyagok

3.1.1 Szénhidrát alapanyag

A kísérletekhez standard fehér kenyeret készítettem ISO 6820-1985 szabvány alapján. Dagasztó robotgép (Bosch MUM4830) keverőtálját mérlegre helyeztem és a száraz összetevőket (500 g BL55 liszt, 7 g instant élesztő, 4 g cukor, 7 g só) kimértem, majd egy spatula segítségével összekevertem. A keverőtálat a robotgép aljához erősítettem és a gépet 2-es fokozatra állítottam. Dagasztás közben kb. 340 ml langyos vizet adagoltam a mintához. Mikor a tészta az összes vizet felvette és felülete sima lett, a robotgépet leállítottam. Ezután inkubátor szekrénybe (Memmert IN110) helyeztem a mintát, és 50°C-on 30 percig kelni hagytam. Végül a megkelt tésztát szárítószekrényben 180°C-on 45 percig sütöttem. Az elkészített kenyérből 1 cm-es szeleteket vágtam, és felhasználásig fagyasztóberendezésben tároltam –20°C-on.

3.1.2 Almatörköly kivonatok

A kísérlethez öt különböző almatörköly szárítmányt por formájában előkészítve kaptam (*1. kép*). Az referencia frakció az iparilag szárított almatörköly volt. Ezen négy fajta kezelés történt, az *1. táblázat* felsorolása szerint. Így a kivonatok pektin- és polifenol tartalomban, valamint a kivonatólás sorrendiségében különböznek.



1. kép: A kísérletben felhasznált almatörköly kivonatok. Saját fénykép.

1. táblázat: A kísérlethez felhasznált almatörköly kivonatok típusai és kódolásai.

Kivonat típusa	Jelölés
Polifenolcsökkentett almatörköly	PFCS
Pektincsökkentett almatörköly	PECS
Polifenol+pektincsökkentett almatörköly	PF+Pe
Pektincsökkentett+polifenolcsökkentett almatörköly	Pe+PF
Iparilag szárított almatörköly	ISZ

3.1.3 Az emésztésszimuláció anyagai

Szimuláns oldatok

Az emésztésszimulációhoz Brodtkorb és munkatársai (2019) által javasolt protokoll szerinti gyomori (SZGY) és vékonybél (VSZ) szimuláns oldatokat használtam fel. A folyadékokat 4°C-on tároltam, majd oldatkészítés vagy emésztés előtt 37°C-ra melegítettem.

Egyéb oldatok előkészítése

A szimuláns folyadékokból enzim- és sóoldatokat is készítettem. A 2. táblázat-ban megadott arányok betartásával a szükséges anyagokat (pepszin, epesó vagy pankreatin) külön centrifugacsőbe mértem és gyomori vagy vékonybél szimuláns folyadékban oldottam fel. A

kész oldatokat vortexeltem (5 mp). Pankreatin esetében a vortex kezelés után az oldatot öt percre ultrahangos kádba helyeztem, majd újabb öt percig centrifugáltam (6000 rpm, 4°C). Ennek végeztével egy új centrifugacsőbe a pankreatin felülúszót leválasztottam, és felhasználásig hűtőben tároltam.

2. táblázat: Az emésztés egyéb oldatainak előkészítéséhez szükséges adatok.

Oldatok előkészítése			
Felhasznált anyag	Gyomori fázis		Vékonybél fázis
	pepszin	epesó	pankreatin
Felhasznált anyag mennyisége (mg)	46,1	4,2	265,1
Gyomori szimuláns mennyisége (ml)	3,8	-	-
Vékonybél szimuláns mennyisége (ml)	-	2,6	5,5

3.2 Elvégzett módszerek

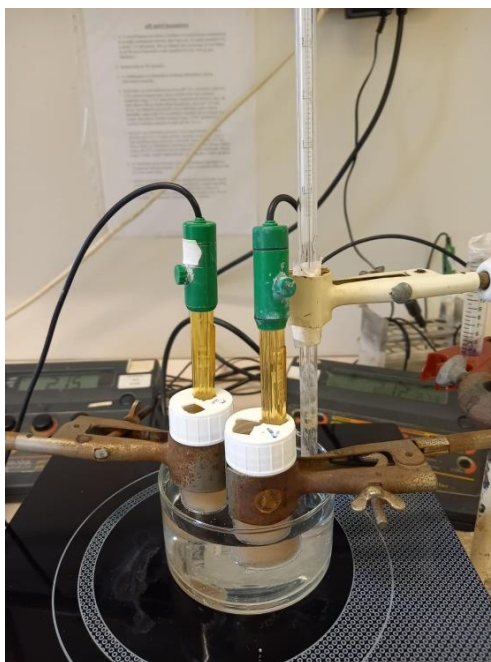
3.2.1 Hibrid emésztésszimulációs vizsgálat

Az emésztésszimulációt Brodkorb és munkatársai (2019) részéről indítványozott Infogest protokoll szerint végeztem, Tormási és munkatársai (2024) által javasolt módosításokkal. A modellezés *in vivo* száji, szemi-dinamikus gyomori, és statikus vékonybél szakaszból állt.

***In vivo* orális fázis**

A kísérlet elején 1,65 gramm fehérkenyér bélzet mintát előkészítettem. Mágnesbabával és kupakkal ellátott 25 ml-es talpas centrifugacső tömegét mérlegem mértem, majd 150,00 mg almatörköly kivonatot adagoltam a mintaadó csőbe. Sima fehérkenyér emésztése során almatörköly adagolása nem történt. A centrifugacső tömegét újra megmértem és feljegyeztem. Ezután a kimért fehérkenyér mátrixot rágni kezdtem a nyelési ingerig. Az első rágáskor stoppert indítottam. Rágás végén, a nyelés előtt centrifugacsőbe ürítettem (maradék nélkül) az előrágott fehérkenyér mintát. A köpetet desztillált vízzel 10,00 ml-re egészítettem ki, majd a mintát tartalmazó tubust a kísérleti berendezéshez rögzítettem. Egyszerre két párhuzamos mérést végeztem, úgy, hogy a stopper indítása és a tubusok berendezéshez történő rögzítése között két perc telt el összesen.

A kevertetést 100 fordulat/perc alatti sebességre állítottam be a kísérlet végéig. A hőmérsékletet 37°-on tartottam. Az emésztmény pH-értékét pH-mérővel rögzítettem és minden ötödik percben feljegyeztem. A pH-mérő elektródája a centrifugacső kupakján keresztül került rögzítésre (2. kép).



2. kép: Kísérleti berendezés. Saját fénykép.

Szemidinamikus gyomori fázis

Amint a centrifugacsöveket a berendezéshez rögzítettem, a mintákhoz 6,40 ml gyomori szimulánst, 5,00 μL CaCl_2 -ot, 1,60 ml pepszin oldatot adtam. Azért, hogy az össztérfogat 20,00 ml legyen, a különbséget desztillált vízzel pótoltam. Ez után öt percenként 10,00 μL (ingadozástól függően tíz percenként 5,00 μL , $\bar{\Sigma}\text{HCl}$:85 μL) sósavat (3 M) adagoltam a mintákhoz, úgy, hogy a gyomori fázis végére a pH=2-es értéket elérjem. A pH értékeket minden adagolás után feljegyeztem. Ezzel párhuzamosan 2,00 mL mintát vettem Eppendorf csövekbe 15-30-45-60-90 percekben. Az Eppendorf csövek tára tömegét és a mintavétel utáni tömeget minden esetben feljegyeztem.

Statikus vékonybél fázis

A gyomor fázis végénél (az emésztésszimuláció 120.-ik percében) 4,60 ml vékonybél szimulánst, 20,00 μL CaCl_2 -ot, 1,25 ml epesó oldatot, 2,50 ml pankreatin oldatot adtam a mintákhoz. Azért, hogy pH=7 értéket elérjem, 50 μL -es részletekben NaOH oldatot (1 M) is adtam az emésztményhez ($\bar{\Sigma}\text{NaOH}$: 3x50 μL). A hozzáadott NaOH mennyiséget feljegyeztem, majd desztillált vízzel kiegészítettem a mintákat 20,00 ml-re. A gyomori szakaszhoz hasonlóan, ebben a fázisban is 2,00 mL mintát vettem Eppendorf csövekbe 120-150-180-210-240 percekben. Az Eppendorf csövek tára tömegét és a mintavétel utáni tömeget minden esetben feljegyeztem.

3.2.2 Mintaelőkészítés

Az emésztésszimuláció végére tíz darab minta állt rendelkezésemre, öt-öt darab minta a gyomori és vékonybél szakaszból. A mintákat tartalmazó Eppendorf csöveket centrifugáló berendezésbe raktam (10,000 rpm, 10 perc, 4 °C). Ezután új mikrocentrifuga csövekbe 1600,00 µL abszolút etanolt, a centrifugált mintákból pedig 400,00 µL felülúszót pipettáztam, annak érdekében, hogy a mintában feltételesen jelenlévő oligo- és poliszacharid molekulákat etanollal kicsapjam. Az etanollal kevert mintákat újból centrifugáltam (10,000 rpm, 10 perc, 4 °C). A mintákat ezután fagyasztóberendezésbe helyeztem (-20°C) az eredmények kiértékelésig.

3.2.4 A felszabadult glükóztartalom mérése GOPOD módszerrel

Az emésztésszimuláció során felszabadult összes glükóztartalom mennyiségét glükóz-oxidáz-peroxidáz (GOPOD) módszerrel határoztam meg. Első lépésben tízszeres hígítást végeztem, úgy, hogy az eltett 2,00 ml-es mintákból új Eppendorf csövekbe 200 µL mintát pipettáztam át, majd 1800 µL desztillált vizet hozzáadtam. A hígított mintákat vortexeltem. Vortex után ismét új Eppendorf csövekbe 25 µL amiloglükózidáz (AMG) enzimet és a hígításból vett 25 µL mintát pipettáztam. Ezt újra vortexeltem, majd 50°C-on 30 percig inkubáltam. Ez idő alatt a mintában jelenlévő diszacharidok kisebb egységekre, monoszacharidokra bomlottak, miközben hidrogén-peroxid szabadult fel. Az inkubálási idő leteltével minden egyes mintához 750 µL GOPOD reagenst adtam, majd kevertetés után újabb 20 percig 50°C-on inkubáltam őket. Ahogy a GOPOD reagens a hidrogén-peroxiddal reakcióba lép, piros színű vegyületet alkot. Ezt a színintenzitást mértem vissza spektrofotométer segítségével 510 nm-en. A mérést standard glükóz oldattal (1 m/m%) is elvégeztem.

3.2.5 Adatok kiértékelése

A felszabadult glükóz mennyiségének számítását az emésztés során különböző időpontokban vett minden mintán elvégeztem, figyelembe véve az emésztett minta térfogatváltozását. Az egyes időpontokhoz tartozó glükózkoncentrációt g glükóz/100g termék egységben határoztam meg. A végeredményt teljes emészthető keményítőtartalom (TDS%) százalékban fejeztem ki. A fehérkenyér TDS tartalmát Megazyme K-DSTRS enzimes kit segítségével határoztam meg.

3.2.6 Statisztikai módszer

Az eredmények páronkénti összehasonlítása Student-féle t-próbával történt, Microsoft Excel programban. A szignifikáns különbséget $p < 0,05$ értéknél állapítottam meg.

4. Eredmények és értékelésük

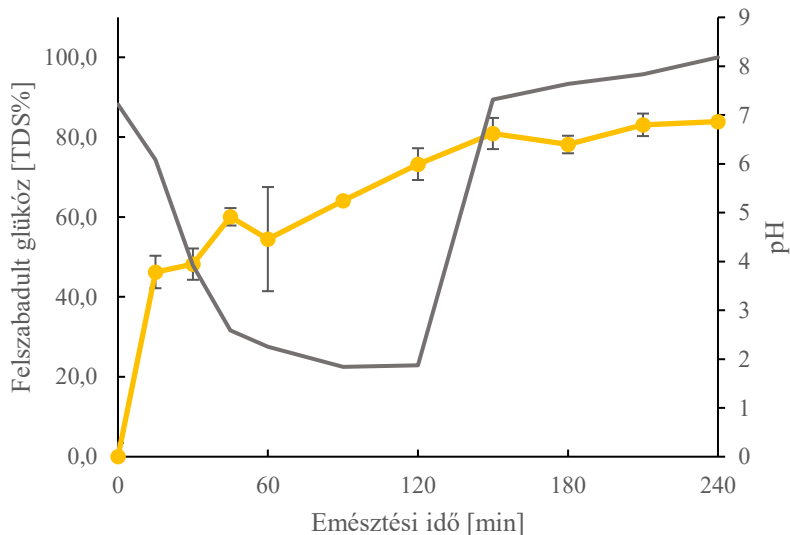
A vizsgálat folyamán öt fajta szárított almatörköly minta szénhidrát emészthetőségre gyakorolt hatását tanulmányoztam együttemesztési kísérletben. Az értékelés szempontjából meghatározó kérdés, hogy mekkora az az összes glükóz tartalom, mely képes felszabadulni az emésztésszimuláció során, azon belül is annak mely szakaszában.

A hiteles kiértékelés végett az eredményeket fehérkenyér emésztési adataival együtt vizsgáltam. A kivonatok között referencia mintaként szerepelt az iparilag szárított almatörköly, melyen a szárításon kívül semmilyen kezelés nem történt. A többi négy minta pektin- és polifenol tartalomban, valamint e két vegyület kivonatolásának sorrendiségében különböztek. Az emésztésszimulációt hibrid Infogest protokoll alapján végeztem el, mely alatt több időpontban (0-240 min) történt mintavételezés. Az eredmények kiértékelése minden minta esetében a GOPOD vizsgálattal történt. A módszer célja, hogy meghatározza egy adott minta összes glükóz tartalmát a glükóz oxidálása révén felszabadult hidrogén-peroxid és GOPOD reagens elegyedése közben kialakuló piros szín intenzitása alapján. Ezt a piros színt mértem vissza spektrofotometriásan, 510 nm-en. Az egyes időpontokban (0-240 min) felszabadult glükóz mennyiségét teljes emészthető keményítőtartalom (TDS%) százalékban fejeztem ki, és az emésztési idő függvényében ábrázoltam.

Az ábrák alapján célt volt meghatározni, hogy az almatörköly mely frakciója lehet hatással a szénhidrát glikémiás indexének csökkentésére, valamint, hogy az almatörköly értékes komponenseinek kivonatolási sorrendisége lényeges befolyásoló tényező-e az emészthetőség szempontjából.

4.1 Fehérkenyér emésztés eredményei

A 2. ábra a fehérkenyér emésztése során kapott eredményeket mutatja. A teljes emészthető keményítőtartalom a gyomri szakasz végén végén $64,1 \pm 13,0\%$ (RSD=41,5%) volt. Ugyanezen érték az emésztés legvégén $83,9 \pm 2,8\%$ (RSD=6,9%) volt.

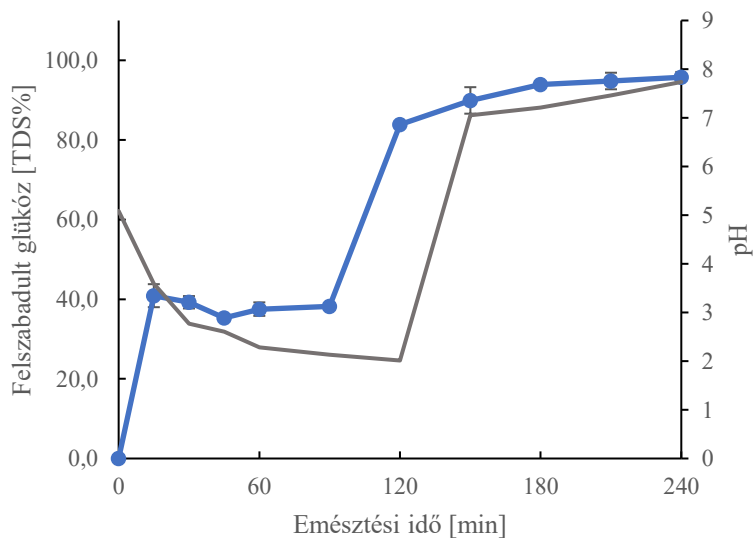


2. ábra: Fehérkenyér emésztés mérési eredményei. A szürke vonal a pH változást ábrázolja az emésztés során.

4.2 A kezelések hatása

4.2.1 Iparilag szárított almatörköly hatása

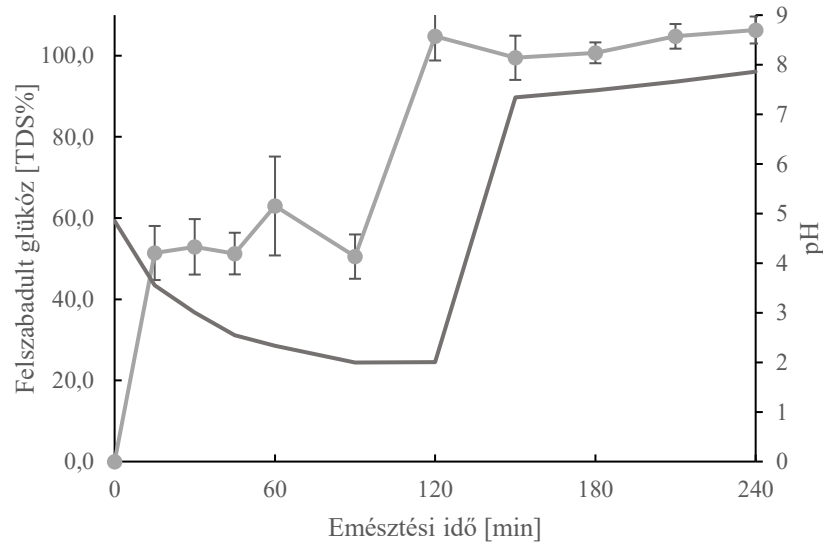
Az iparilag szárított almatörköly szénhidráttal történő együttemésztése során kapott eredményeket a 3. ábra mutatja. A minta teljes emészhető keményítőtartalma az emésztés 240 perce alatt folyamatosan nőtt. A gyomri szakasz végén a teljes emészhető keményítőtartalom $38,2 \pm 0,4\%$ (RSD=2,2%) volt, a végső érték pedig $95,7 \pm 0,67\%$ (RSD=2,8%) volt.



3. ábra: Iparilag szárított (ISZ) almatörköly mérési eredményei. A szürke vonal a pH változást ábrázolja az emésztés során.

4.2.2 Polifenolcsökkentett almatörköly hatása

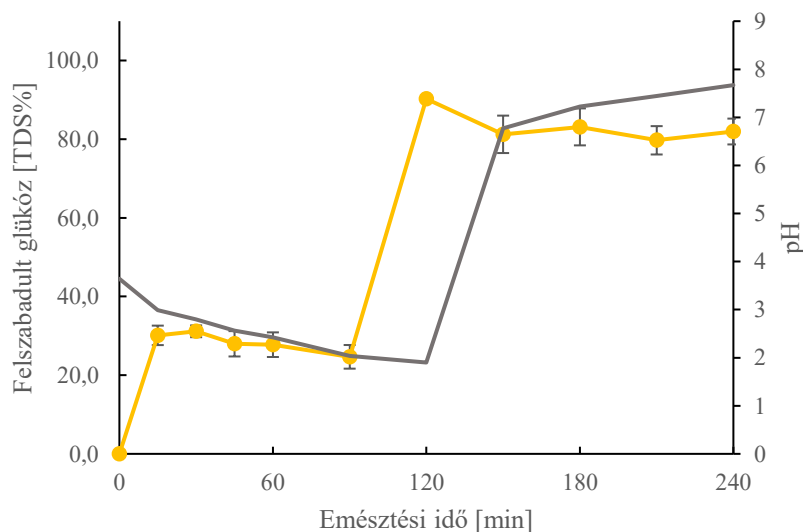
A 4. ábra a polifenolcsökkentett almatörköly és a szénhidrát egyidejű emésztésekor kapott eredményeket mutatja hasonlóképpen. A gyomri szakasz végén mért mintában a teljes emészthető keményítőtartalom $50,5 \pm 5,5\%$ (RSD=22,1%) volt. Ez az érték az emésztés legvégére $106,3 \pm 3,3\%$ (RSD=6,4%) -ra nőtt.



4. ábra: Polifenolcsökkentett (PFCS) almatörköly mérési eredményei. A sötétszürke vonal a pH változást ábrázolja az emésztés során.

4.2.3 Pektincsökkentett almatörköly hatása

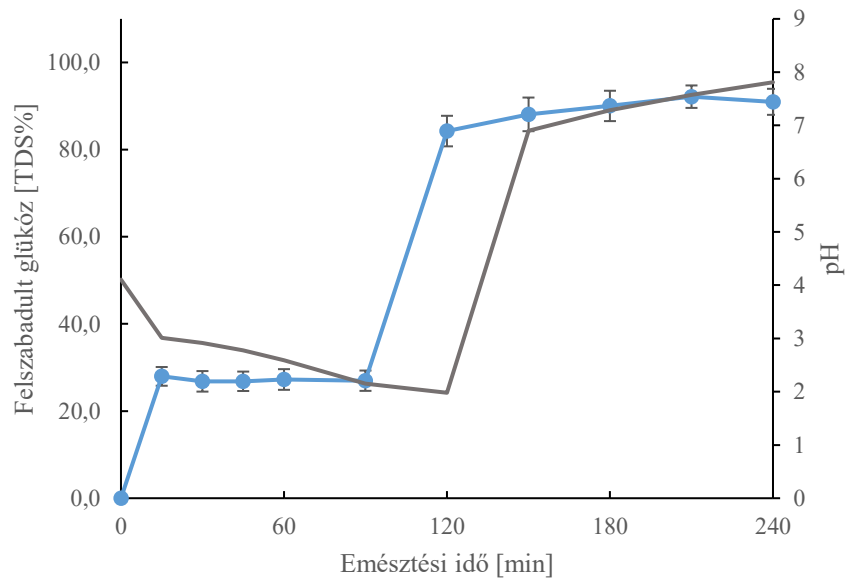
A szénhidráttal együtt emésztett pektincsökkentett almatörköly kísérletének eredményei a 5. ábra-n láthatóak. A gyomri szakasz végén $24,7 \pm 3,0\%$ (RSD=24,9%) volt a teljes emészthető keményítőtartalom, végső értéke pedig $81,9 \pm 3,3\%$ (RSD=8,2%) volt.



5. ábra: Pektincsökkentett (PECS) almatörköly mérési eredményei. A szürke vonal a pH változást ábrázolja az emésztés során.

4.2.4 Pektin csökkentés után polifenolcsökkentett almatörköly hatása

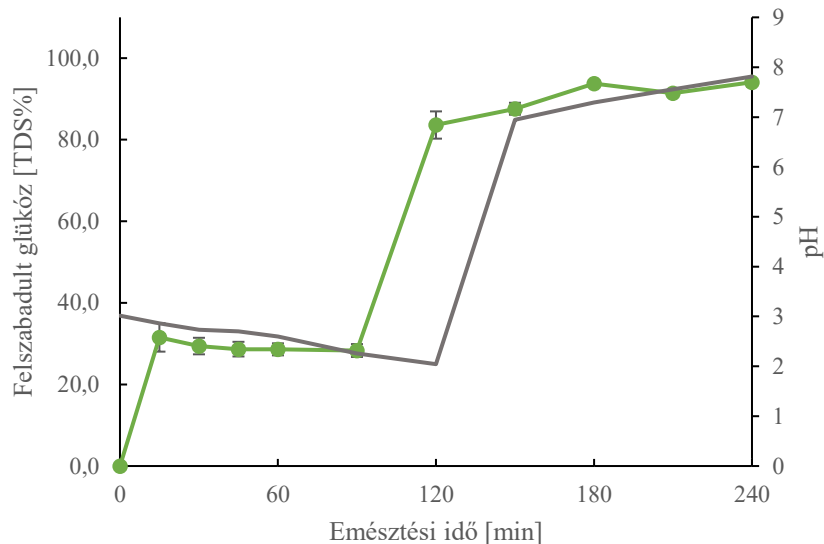
Az 6. ábra annak az együttemésztesi vizsgálatnak az eredményeit mutatja, amikor az almatörköly polifenoltartalmának kivonását pektin tartalmának kivonása után végeztük el. Ez esetben a gyomri rész végén $27,0 \pm 2,3\%$ (RSD=17,6%) volt a teljes emészthető keményítőtartalom. Ugyanezen érték az emésztés legvégén $91,0 \pm 3,0\%$ (RSD=6,7%) volt.



6. ábra: Pektin csökkentés után polifenolcsökkentett (Pe+PF) almatörköly mérési eredményei. A szürke vonal a pH változást ábrázolja az emésztés során.

4.2.5 Polifenol csökkentés után pektincsökkentett almatörköly hatása

A polifenol, majd pektincsökkentett almatörkölyön végzett kísérlet adatait a 7. ábra mutatja. A gyomri szakasz végén a mért teljes emészthető keményítőtartalom $28,3 \pm 1,6\%$ (RSD=11,4%) volt, végső érték pedig $94,1 \pm 1,1\%$ (RSD=2,3%) volt.

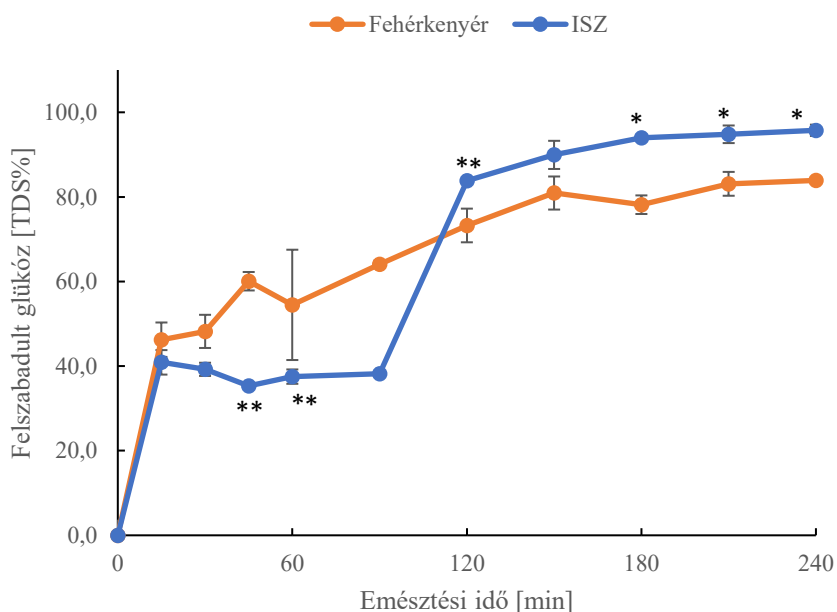


7. ábra: Polifenol csökkentés után pektincsökkentett (PF+Pe) almatörköly mérési eredményei. A szürke vonal a pH változást ábrázolja az emésztés során.

4.3 A kezelések összehasonlítása

4.3.1 Iparilag szárított almatörköly (ISZ) hatása a fehérkenyérre

A standard fehérkenyér, illetve fehérkenyérrel együtt emésztett referencia almatörköly minta (iparilag szárított, kezelésmentes) által módosított felszabadult glükóz mennyiséget a teljes emészthető keményítőtartalom arányára (TDS%) számolva az emésztési idő függvényében a 8. ábra mutatja.



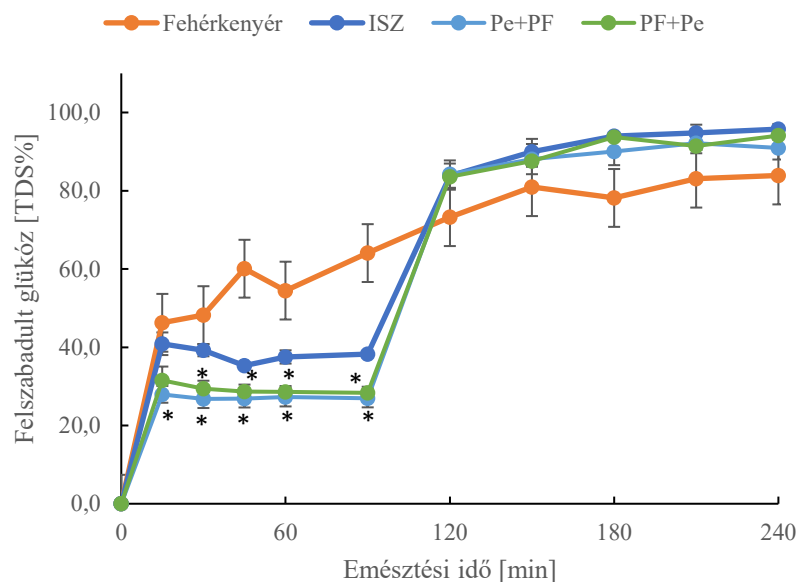
8. ábra: Fehérkenyér és ISZ minta által felszabadított glükóz mennyisége. A csillagok a statisztikai próba (t-teszt) eredményét reprezentálják: *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$.

A fehérkenyér esetében a gyomri szakasz végén mért felszabadult glükóztartalom (TDS%) $64,1 \pm 13,0\%$, vékonybél szakasz végén $83,9 \pm 2,8\%$ volt. Ez az érték ISZ almatörkölynél $38,2 \pm 0,4\%$ és $95,7 \pm 0,67\%$ voltak. A kezelés glükózfelszabadulásra mért csökkentő hatása 45 percnél ($p=0,006$), 60 percnél ($p=0,005$), 120 percnél ($p=0,0014$), 180 percnél ($0,043$), 210 percnél ($p=0,020$), valamint 240 percnél ($p=0,032$) volt szignifikáns.

Az eredményekből levonható az a következtetés, miszerint a fehérkenyérhez hozzáadott iparilag szárított almatörköly a gyomri szakaszban csökkentette a teljes emészhető keményítőtartalmat a standard fehérkenyérhez képest. Az ábrán a hatvanadik perc után jól látszik egy megnövekedett glükózfelszabadulási szakasz, ami azt eredményezte, hogy a csökkentő hatás a vékonybél szakaszban elmaradt. Ennek oka lehet, hogy amint pH érték elérte a 2-t a szimuláció során, a pepszin aktiválódott és a gluténháló hidrolízise elkezdődött, és az eddig elzárt keményítőt is elkezdte hidrolizálni az amiláz enzim (Tormási et al., 2024).

4.3.2 Eredmények összevetése a kivonatolási sorrendiség szempontjából

A különböző sorrendben értékcsökkentett, az iparilag szárított almatörköly és a fehérkenyér minta által mért teljes emészhető keményítőtartalom értékeket az emésztési idő függvényében a 9. ábra mutatja.



9. ábra: Pe+PF, PF+Pe, ISZ és a fehérkenyér minta által felszabadított glükóz mennyisége. A csillagok a statisztikai próba (t-teszt) eredményét reprezentálják: *: $p < 0,05$.

Az egyes minták gyomri- és vékonybél szakaszainak végén mért teljes emészhető keményítőtartalom (TDS%) értékeket a 3. táblázat foglalja össze.

3. táblázat: Teljes emészthető keményítőtartalom (TDS%) értékek táblázatos összehasonlítása a kivonatolási sorrendiség szempontjából.

Teljes emészthető keményítőtartalom (TDS%)		
	Gyomri szakasz vége	Vékonybél szakasz vége
Fehérkenyér	64,1±13,0%,	83,9±2,8%
ISZ	38,2±0,4%,	95,7±0,67%
Pe+PF	27,0±2,3%	91,0±3,0%,
PF+Pe	28,3±1,6%	94,1±1,1%

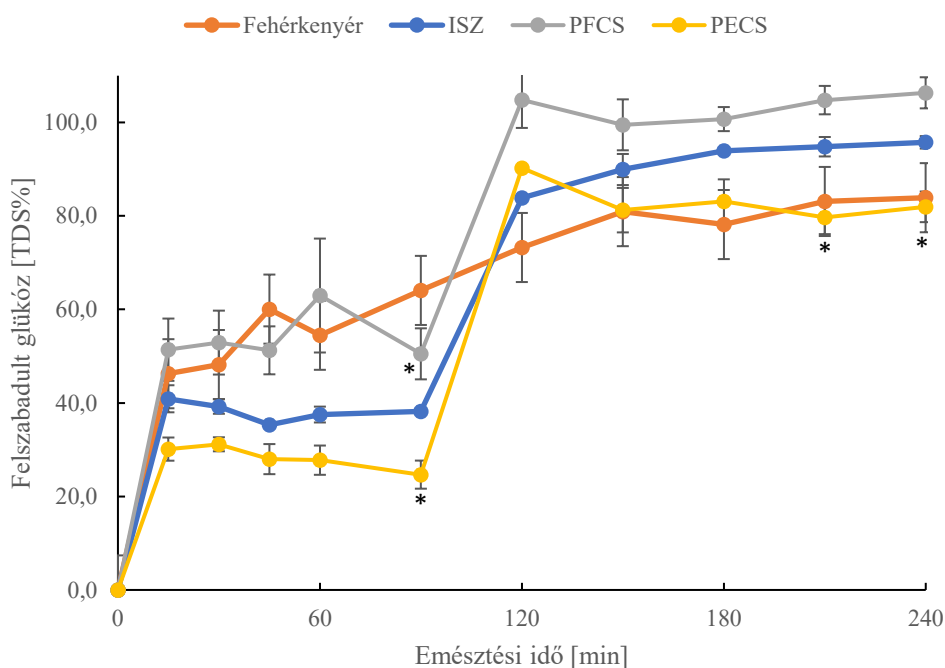
A kezelés hatása Pe+PF minta esetében szignifikáns volt 15 percnél ($p=0,033$), 30 percnél ($p=0,025$), 45 percnél ($p=0,033$), 60 percnél ($p=0,035$) és 90 percnél ($p=0,019$) az iparilag szárított (ISZ) almatörkölyhöz képest. Ugyanez PF+Pe minta esetében 30 percnél ($p=0,039$), 45 percnél ($p=0,036$), 60 percnél ($p=0,021$), 90 percnél ($p=0,011$) volt szignifikáns.

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a pektin és polifenol kivonatolás sorrendjének nincs hatása a szénhidrátemésztésre. A pektincsökkentés után polifenolcsökkentett almatörköly, illetve a polifenolcsökkentés után pektincsökkentett almatörköly ugyanúgy viselkedett az emésztésszimuláció során, és mindkettő képes volt a gyomri glükóz felszabadulást csökkenteni. Valamint, a kétszeresen kivonatolt (tehát sem polifenolos vegyületeket, sem pektint nem tartalmazó) minták ISZ almatörköly vékonybél szakasz végén mért adataihoz képest csak 4,1%-os, illetve és 1,67%-os csökkenést mutattak a felszabadult glükóz mennyiségében (TDS%). Ez a viselkedés feltételezhetően abból adódik, hogy a pektin és polifenolos vegyületek eltávolítása után visszamaradt egyéb rostok önmagukban is képesek bizonyos mértékű gátló hatást kiváltani az emésztő enzimekre.

E mellett fontos észrevétel az is, hogy az almatörköly adagolás minden esetben csökkenti a glükóz terhelést a gyomori szakaszban, így feltehetően a glikémiás indexet is, vagyis a kivonatolás elérte célját.

4.3.3 Eredmények összevetése a polifenoltartalom szempontjából

A 10. ábra-n a polifenol- vagy pektincsökkentett almatörköly kivonatok, az iparilag szárított almatörköly és a fehérkenyér minta által felszabadított glükóz mennyisége látható.



10. ábra: PFCS, PECS, ISZ és a fehérkenyér minta által felszabadított glükóz mennyisége. A csillagok a statisztikai próba (t-teszt) eredményét reprezentálják: *: $p < 0,05$.

Az egyes minták gyomri- és vékonybél szakaszainak végén mért teljes emészthető keményítőtartalom (TDS%) értékeket a 4. táblázat mutatja.

4. táblázat: Teljes emészthető keményítőtartalom (TDS%) értékek táblázatos összehasonlítása a polifenoltartalom szempontjából.

Teljes emészthető keményítőtartalom (TDS%)		
	Gyomri szakasz vége	Vékonybél szakasz vége
Fehérkenyér	64,1±13,0%,	83,9±2,8%
ISZ	38,2±0,4%,	95,7±0,67%
PFCS	50,5±5,5%	106,3±3,3%,
PECS	24,7±3,0%	81,9±3,3%,

Az iparilag szárított (ISZ) almatörkölyhöz képest a polifenolcsökkentett minta a 90 percben ($p=0,042$) volt szignifikáns, a pektincsökkentett minta pedig a 90 percben ($p=0,032$), a 210 percben ($p=0,044$) és 240 percben ($p=0,030$).

Jól látszik, hogy a polifenolcsökkentett almatörköly elmarad az iparilag szárított almatörköly hatásához képest. Ezzel szemben a pektincsökkentett almatörköly nem csak a gyomri, hanem a vékonybéli glükóz felszabadulást is jelentősen csökkentette, a referenciaként használt ISZ

mintához képest. Megállapítható, hogy az a frakció, melyből teljesen kivontuk a polifenolokat, nem volt hatással a szénhidrátforrás glikémiás sajátosságaira, miközben az minta, mely az egyéb rostokon kívül csak polifenolos vegyületeket tartalmazott, a legjobban teljesített. A négy kezelést összevetve pedig elmondható, hogy a kétszeresen kivonatolt minták jobban teljesítettek a polifenolcsökkentett frakcióhoz képest, de a pektincsökkentett almatörkölynél nem váltottak ki jobb glikémiás válasz csökkentő hatást. A mért eredmények alátámasztják a szakirodalomban leírtakat, miszerint a polifenolok valamilyen hatással bírnak a szénhidrátbontó enzimek szubsztrát hozzáférő képességéhez (Freitas és Le Feunteun, 2019). Ezzel kapcsolatban a rendelkezésre álló publikációk száma azonban igencsak kevés (Kerimi et al., 2017).

Mind 9. ábra és 10. ábra jól mutatja, hogy az iparilag szárított almatörkölyön végzett négy kezeléssel háromnak volt glikémiás index csökkentő hatása, egynek (polifenolcsökkentett minta) nem. A pektin és polifenol kivonás sorrendjének nincs hatása, mindkettő ugyanúgy viselkedett az emésztésszimuláció során, de mindkettő képes volt a gyomri glükóz felszabadulást csökkenteni. A legnagyobb hatása a pektincsökkentett frakciónak volt, ami nem csak a gyomri, hanem a vékonybéli glükóz felszabadulást is drasztikusan csökkentette.

Így a munkám tudományos értéke nem csak abban rejlik, hogy megállapítottam, melyik almatörköly frakció képes a legnagyobb glikémiás válasz csökkentő hatást kiváltani, hanem az eredmények alapján felvetődik az a javaslat, miszerint a pektincsökkentett frakciót érdemes további felhasználásra küldeni. Ez az almatörköly többszörös visszaforgatásának lehetőségét veti fel.

5. Következtetések és javaslatok

Dolgozatom fő célja különböző almatörköly kivonatok szénhidrát emésztésre gyakorolt hatásának vizsgálata volt, emésztésszimulációval. A kivonatok pektin- és polifenol tartalmukban, valamint a kivonatolás sorrendiségében különböztek. Célom volt meghatározni, hogy az almatörköly mely frakciója lehet hatással a szénhidrát glikémiás indexének csökkentésére, valamint, hogy a kivonatolás sorrendisége lényeges befolyásoló tényező-e az emészthetőség szempontjából.

A kutatás eredményei azt mutatták, hogy négyből három kezelésnek volt glikémiás válasz csökkentő hatása. Abban az esetben, amikor az almatörkölyből az összes polifenolos vegyület eltávolításra került, a glükóz felszabadulás a legnagyobb értéket mutatta. Ellentétben ezzel, a legnagyobb glikémiás válasz csökkentő hatást akkor tapasztaltam, amikor az almatörköly csak polifenolos vegyületeket és egyéb rostokat tartalmazott. Ez volt az egyetlen olyan frakció is, mely a gyomri glükóz felszabaduláson túl a vékonybél szakaszban is elérte ugyanezt a hatást. Így ezen vizsgálat eredményei is alátámasztják azt a feltételezést, melyet már több szakirodalom is tárgyalt (Kerimi et al., 2017; Freitas és Le Feunteun, 2019; Tormási et al., 2024), hogy a polifenolos vegyületek gátló hatással lehetnek egyes emésztő enzimekre, lassítva így a keményítő emésztését és a glükóz felszabadulását.

Miután az almalégyártásból visszamaradt almatörköly bizonyos része pektincsökkentésre kerül, visszamarad egy újabb értékcsökkentett termék. A dolgozat alapján felvetődik a javaslat, hogy ezt a frakciót érdemes további felhasználásra küldeni, hiszen ennek a frakciónak volt a legnagyobb glikémiás válasz csökkentő hatása. Ez az almatörköly többszörös visszaforgatásának lehetőségét veti fel, hiszen itt már egy melléktermék melléktermékének az újrahasznosítása történne.

A kutatás másik eredménye, hogy az almatörköly polifenol- és pektintartalmának extrakciós sorrendjének nincs hatása. Mind két frakció ugyanolyan mértékben csökkentette a felszabaduló glükóztartalmat.

A jövőre vonatkozóan javasolt a minták HPLC-RID módszeres vizsgálata is, mely lehetővé teszi a cukor tartalom specifikus elemzését, és így pontosabb képet kaphatunk a felszabaduló cukrok minőségéről.

6. Összefoglalás

A szénhidrátdús étrend, keményítő emészthetőség, glükóz kontroll és glikémiás index mind fontos kulcsszavakká váltak a táplálkozástudománnyal foglalkozó tanulmányok soraiban. A téma aktualitását indokolja a szénhidrátokkal gyakran összefüggésbe hozott krónikus betegségek (2-es típusú cukorbetegség, elhízás) számának növekedése. Fontossá vált a keményítő emésztésének szabályozása és nyomonkövetése, valamint az olyan élelmiszerek fejlesztése, melyek csökkentik a vércukorszint hirtelen növekedésének mértékét.

Számos irodalom felveti, hogy a keményítőemésztésre kedvező hatással vannak az élelmi rostok és fenolos vegyületek, melyek jellemzően gyümölcsökben és zöldségekben találhatóak meg. Ezek a nyersanyagok sokszor feldolgozásra kerülnek, és nagyobb részük ipari melléktermékként végzi. Felmerül e két probléma integrálása – vagyis a gyümölcsfeldolgozás melléktermékeinek élelmiszerekben történő újrahasznosítása annak reményében, hogy az kedvező hatással bír a szénhidrát emészthetőségre.

Ennek vizsgálatára léteznek olyan emésztésszimulációs módszerek, melyek lehetővé teszik az emberi száj, gyomor, és vékonybél környezetének megteremtését laboratóriumi környezetben. A pályamunka elkészítése során élelmiszeripari melléktermékből (almatörköly) származó különböző kivonatok szénhidrát emészthetőségre gyakorolt hatását együttemésztési kísérletben vizsgáltam. Az emésztésszimulációt az Infogest protokollon alapuló hibrid emésztési szimulációs módszer alapján végeztem. Az eredményeimet GOPOD módszerrel értékeltem ki, mely egy minta összes glükóz tartalmának meghatározására alkalmas módszer. Célom volt meghatározni, hogy a különböző almatörköly kivonatok közül mely frakciónak milyen mértékben van glikémiás index csökkentő hatása, illetve, hogy az almatörköly értékes komponenseinek kivonatolásának sorrendisége befolyásolja-e az emésztést.

Az eredményeim megerősítik azt a szakirodalmi ténytet, miszerint az almatörkölyben található bioaktív anyagok csökkentő hatással bírnak a szénhidrát glikémiás sajátságaira. Ezen belül megállapításra került, hogy a bioaktív anyagok közé sorolt polifenolos vegyületekben gazdag almatörköly frakció volt a legnagyobb hatással a szénhidrát emészthetőségre. Az a minta, mely polifenolcsökkentésen esett át, nem befolyásolta a keményítőemésztést. A pektin és polifenol kivonás sorrendjének nem volt hatása, azonban mindkettő képes a gyomri glükóz felszabadulásának csökkentésére.

A dolgozat eredményei nem csak megerősítik azt a ténytet, miszerint az almatörköly komponenseinek szénhidrát emészthetőségére gyakorolt hatása fontos kutatási terület, hanem

felveti, és javasolja a pektincsökkentett termék újrafelhasználását szénhidrát-dús élelmiszerekben.

7. Irodalomjegyzék

1. Abbas, M., Saeed, F., Anjum, F. M., Afzaal, M., Tufail, T., Bashir, M. S., Ishtiaq, A., Hussain, S., Suleria, H. A. R. (2017): Natural polyphenols: An overview. *International Journal of Food Properties*, 20(8), 1689–1699. DOI: [10.1080/10942912.2016.1220393](https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1220393)
2. Alongi, M., Melchior, S., Anese, M. (2019): Reducing the glycemic index of short dough biscuits by using apple pomace as a functional ingredient. *LWT*, 100, 300–305. DOI: [10.1016/j.lwt.2018.10.068](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.10.068)
3. Antonic, B., Jancikova, S., Dordevic, D., Tremlova, B. (2020): Apple pomace as food fortification ingredient: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Food Science*, 85(10), 2977–2985. DOI: [10.1111/1750-3841.15449](https://doi.org/10.1111/1750-3841.15449)
4. Asif, M., Javaid, T., Razzaq, Z. U., Khan, M. K. I., Maan, A. A., Yousaf, S., Usman, A., Shahid, S. (2023): Sustainable utilization of apple pomace and its emerging potential for development of functional foods. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(12), 17932–17950. DOI: [10.1007/s11356-023-28479-9](https://doi.org/10.1007/s11356-023-28479-9)
5. Bchir, B., Rabetafika, H. N., Paquot, M., Blecker, C. (2014): Effect of Pear, Apple and Date Fibres from Cooked Fruit By-products on Dough Performance and Bread Quality. *Food and Bioprocess Technology*, 7(4), 1114–1127. DOI: [10.1007/s11947-013-1148-y](https://doi.org/10.1007/s11947-013-1148-y)
6. Benhabiles, M. S., Abdi, N., Drouiche, N., Lounici, H., Pauss, A., Goosen, M. F. A., Mameri, N. (2012): Fish protein hydrolysate production from sardine solid waste by crude pepsin enzymatic hydrolysis in a bioreactor coupled to an ultrafiltration unit. *Materials Science and Engineering: C*, 32(4), 922–928. DOI: [10.1016/j.msec.2012.02.013](https://doi.org/10.1016/j.msec.2012.02.013)
7. Bhushan, S., Kalia, K., Sharma, M., Singh, B., Ahuja, P. S. (2008): Processing of Apple Pomace for Bioactive Molecules. *Critical Reviews in Biotechnology*, 28(4), 285–296. DOI: [10.1080/07388550802368895](https://doi.org/10.1080/07388550802368895)

8. Blaak, E. E., Antoine, J. -M., Benton, D., Björck, I., Bozzetto, L., Brouns, F., Diamant, M., Dye, L., Hulshof, T., Holst, J. J., Lampert, D. J., Laville, M., Lawton, C. L., Meheust, A., Nilson, A., Normand, S., Rivellese, A. A., Theis, S., Torekov, S. S., Vinoy, S. (2012): Impact of postprandial glycaemia on health and prevention of disease. *Obesity Reviews*, 13(10), 923–984. DOI: [10.1111/j.1467-789X.2012.01011.x](https://doi.org/10.1111/j.1467-789X.2012.01011.x)
9. Błaszczuk, A., Sady, S., Pacholek, B., Jakubowska, D., Grzybowska-Brzezińska, M., Krzywonos, M., Popek, S. (2024): Sustainable Management Strategies for Fruit Processing Byproducts for Biorefineries: A Review. *Sustainability*, 16(5), 1717. DOI: [10.3390/su16051717](https://doi.org/10.3390/su16051717)
10. Bohn, T., Carriere, F., Day, L., Deglaire, A., Egger, L., Freitas, D., Golding, M., Le Feunteun, S., Macierzanka, A., Menard, O., Miralles, B., Moscovici, A., Portmann, R., Recio, I., Rémond, D., Santé-Lhoutelier, V., Wooster, T. J., Lesmes, U., Mackie, A. R., Dupont, D. (2018): Correlation between in vitro and in vivo data on food digestion. What can we predict with static in vitro digestion models? *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(13), 2239–2261. DOI: [10.1080/10408398.2017.1315362](https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1315362)
11. Brodkorb, A., Egger, L., Alming, M., Alvito, P., Assunção, R., Ballance, S., Bohn, T., Bourlieu-Lacanal, C., Boutrou, R., Carrière, F., Clemente, A., Corredig, M., Dupont, D., Dufour, C., Edwards, C., Golding, M., Karakaya, S., Kirkhus, B., Le Feunteun, S., ... Recio, I. (2019): INFOGEST static in vitro simulation of gastrointestinal food digestion. *Nature Protocols*, 14(4), 991–1014. DOI: [10.1038/s41596-018-0119-1](https://doi.org/10.1038/s41596-018-0119-1)
12. Calvete-Torre, I., Sabater, C., Antón, M. J., Moreno, F. J., Riestra, S., Margolles, A., Ruiz, L. (2022): Prebiotic potential of apple pomace and pectins from different apple varieties: Modulatory effects on key target commensal microbial populations. *Food Hydrocolloids*, 133, 107958. DOI: [10.1016/j.foodhyd.2022.107958](https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107958)
13. Chandel, N. S. (2021): Carbohydrate Metabolism. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 13(1), a040568. DOI: [10.1101/cshperspect.a040568](https://doi.org/10.1101/cshperspect.a040568)

14. Copeland, L., Blazek, J., Salman, H., Tang, M. C. (2009): Form and functionality of starch. *Food Hydrocolloids*, 23(6), 1527–1534. DOI: [10.1016/j.foodhyd.2008.09.016](https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.09.016)
15. Costa, C. M., De Carvalho, N. M., De Oliveira, D. L., Madureira, A. R. (2024): A Critical Review on In Vitro and Ex Vivo Models of the Intestinal Epithelium of Humans and Monogastric Animals. *Gastrointestinal Disorders*, 6(1), 337–358. DOI: [10.3390/gidisord6010023](https://doi.org/10.3390/gidisord6010023)
16. Dhillon, G. S., Kaur, S., Brar, S. K. (2013): Perspective of apple processing wastes as low-cost substrates for bioproduction of high value products: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 27, 789–805. DOI: [10.1016/j.rser.2013.06.046](https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.06.046)
17. Dupont, D., Alric, M., Blanquet-Diot, S., Bornhorst, G., Cueva, C., Deglaire, A., Denis, S., Ferrua, M., Havenaar, R., Lelieveld, J., Mackie, A. R., Marzorati, M., Menard, O., Minekus, M., Miralles, B., Recio, I., Van Den Abbeele, P. (2019): Can dynamic *in vitro* digestion systems mimic the physiological reality? *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(10), 1546–1562. DOI: [10.1080/10408398.2017.1421900](https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1421900)
18. Farooq, M. A., Ali, S., Hassan, A., Tahir, H. M., Mumtaz, S., Mumtaz, S. (2021): Biosynthesis and industrial applications of α -amylase: A review. *Archives of Microbiology*, 203(4), 1281–1292. DOI: [10.1007/s00203-020-02128-y](https://doi.org/10.1007/s00203-020-02128-y)
19. Fernandes, J.-M., Madalena, D. A., Pinheiro, A. C., Vicente, A. A. (2020): Rice *in vitro* digestion: Application of INFOGEST harmonized protocol for glycemic index determination and starch morphological study. *Journal of Food Science and Technology*, 57(4), 1393–1404. DOI: [10.1007/s13197-019-04174-x](https://doi.org/10.1007/s13197-019-04174-x)
20. Freitas, D., Le Feunteun, S. (2019): Inhibitory effect of black tea, lemon juice, and other beverages on salivary and pancreatic amylases: What impact on bread starch digestion? A dynamic *in vitro* study. *Food Chemistry*, 297, 124885. DOI: [10.1016/j.foodchem.2019.05.159](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.159)

21. Gannon, M. C., Nuttall, F. Q. (2006): Control of blood glucose in type 2 diabetes without weight loss by modification of diet composition. *Nutrition & Metabolism*, 3(1), 16. DOI: [10.1186/1743-7075-3-16](https://doi.org/10.1186/1743-7075-3-16)
22. Gołębiewska, E., Kalinowska, M., Yildiz, G. (2022): Sustainable Use of Apple Pomace (AP) in Different Industrial Sectors. *Materials*, 15(5), 1788. DOI: [10.3390/ma15051788](https://doi.org/10.3390/ma15051788)
23. Hiolle, M., Lechevalier, V., Flourey, J., Boulier-Monthéan, N., Prioul, C., Dupont, D., Nau, F. (2020): In vitro digestion of complex foods: How microstructure influences food disintegration and micronutrient bioaccessibility. *Food Research International*, 128, 108817. DOI: [10.1016/j.foodres.2019.108817](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108817)
24. ISO 6820:1985. (1985). ISO. <https://www.iso.org/standard/13329.html>.
25. Ji, H., Hu, J., Zuo, S., Zhang, S., Li, M., Nie, S. (2022): *In vitro* gastrointestinal digestion and fermentation models and their applications in food carbohydrates. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(19), 5349–5371. DOI: [10.1080/10408398.2021.1884841](https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1884841)
26. Kandemir, K., Piskin, E., Xiao, J., Tomas, M., Capanoglu, E. (2022): Fruit Juice Industry Wastes as a Source of Bioactives. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70(23), 6805–6832. DOI: [10.1021/acs.jafc.2c00756](https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c00756)
27. Kerimi, A., Nyambe-Silavwe, H., Gauer, J. S., Tomás-Barberán, F. A., Williamson, G. (2017): Pomegranate juice, but not an extract, confers a lower glycaemic response on a high-glycaemic index food: Randomized, crossover, controlled trials in healthy subjects. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 106(6), 1384–1393. DOI: [10.3945/ajcn.117.161968](https://doi.org/10.3945/ajcn.117.161968)
28. Kiraga, Ł., Dzikowski, A. (2023): Ethical Concerns of the Veterinarian in Relation to Experimental Animals and In Vivo Research. *Animals*, 13(15), 2476. DOI: [10.3390/ani13152476](https://doi.org/10.3390/ani13152476)

29. Koishybayeva, A., Uzakov, Y., Korzeniowska, M. (2025): Utilization of apple pomace in meat products: A review. *Acta Sci. Pol. Technol. Aliment.*, 24(3), 397–407. DOI: [10.17306/J.AFS.001305](https://doi.org/10.17306/J.AFS.001305)
30. Le Feunteun, S., Al-Razaz, A., Dekker, M., George, E., Laroche, B., Van Aken, G. (2021): Physiologically Based Modeling of Food Digestion and Intestinal Microbiota: State of the Art and Future Challenges. An INFOGEST Review. *Annual Review of Food Science and Technology*, 12(1), 149–167. DOI: [10.1146/annurev-food-070620-124140](https://doi.org/10.1146/annurev-food-070620-124140)
31. Li, C., Hu, Y., Li, S., Yi, X., Shao, S., Yu, W., Li, E. (2023): Biological factors controlling starch digestibility in human digestive system. *Food Science and Human Wellness*, 12(2), 351–358. DOI: [10.1016/j.fshw.2022.07.037](https://doi.org/10.1016/j.fshw.2022.07.037)
32. Li, C., Yu, W., Wu, P., Chen, X. D. (2020): Current in vitro digestion systems for understanding food digestion in human upper gastrointestinal tract. *Trends in Food Science & Technology*, 96, 114–126. DOI: [10.1016/j.tifs.2019.12.015](https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.12.015)
33. Lunn, J., Buttriss, J. L. (2007): Carbohydrates and dietary fibre. *Nutrition Bulletin*, 32(1), 21–64. DOI: [10.1111/j.1467-3010.2007.00616.x](https://doi.org/10.1111/j.1467-3010.2007.00616.x)
34. Lyu, F., Luiz, S. F., Azeredo, D. R. P., Cruz, A. G., Ajlouni, S., Ranadheera, C. S. (2020): Apple Pomace as a Functional and Healthy Ingredient in Food Products: A Review. *Processes*, 8(3), 319. DOI: [10.3390/pr8030319](https://doi.org/10.3390/pr8030319)
35. Marsh, K., Barclay, A., Colagiuri, S., Brand-Miller, J. (2011): Glycemic Index and Glycemic Load of Carbohydrates in the Diabetes Diet. *Current Diabetes Reports*, 11(2), 120–127. DOI: [10.1007/s11892-010-0173-8](https://doi.org/10.1007/s11892-010-0173-8)
36. Martins, Z. E., Pinho, O., Ferreira, I. M. P. L. V. O. (2017): Food industry by-products used as functional ingredients of bakery products. *Trends in Food Science & Technology*, 67, 106–128. DOI: [10.1016/j.tifs.2017.07.003](https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.07.003)

37. Minekus, M., Alvinger, M., Alvito, P., Ballance, S., Bohn, T., Bourlieu, C., Carrière, F., Boutrou, R., Corredig, M., Dupont, D., Dufour, C., Egger, L., Golding, M., Karakaya, S., Kirkhus, B., Le Feunteun, S., Lesmes, U., Macierzanka, A., Mackie, A., ... Brodkorb, A. (2014): A standardised static *in vitro* digestion method suitable for food—An international consensus. *Food & Function*, 5(6), 1113–1124. DOI: [10.1039/c3fo60702j](https://doi.org/10.1039/c3fo60702j)
38. Mulet-Cabero, A.-I., Egger, L., Portmann, R., Ménard, O., Marze, S., Minekus, M., Le Feunteun, S., Sarkar, A., Grundy, M. M.-L., Carrière, F., Golding, M., Dupont, D., Recio, I., Brodkorb, A., Mackie, A. (2020): A standardised semi-dynamic *in vitro* digestion method suitable for food – an international consensus. *Food & Function*, 11(2), 1702–1720. DOI: [10.1039/C9FO01293A](https://doi.org/10.1039/C9FO01293A)
39. Nyulas-Zeke, I. C., Hidas, K. I., Pásztor-Huszár, K., Dalmadi, I., Szücs, E., Pap, R., Csurka, T. (2024): Analysis of Techno-Functional Properties of Fermented and Non-Fermented Buttermilk-Containing Ice Creams. *Sustainability*, 16(17), 7714. DOI: [10.3390/su16177714](https://doi.org/10.3390/su16177714)
40. Persic, M., Mikulic-Petkovsek, M., Slatnar, A., Veberic, R. (2017): Chemical composition of apple fruit, juice and pomace and the correlation between phenolic content, enzymatic activity and browning. *LWT - Food Science and Technology*, 82, 23–31. DOI: [10.1016/j.lwt.2017.04.017](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.04.017)
41. Rasera, G. B., de Camargo, A. C., de Castro, R. J. S. (2023): Bioaccessibility of phenolic compounds using the standardized INFOGEST protocol: A narrative review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 22(1), 260–286. DOI: [10.1111/1541-4337.13065](https://doi.org/10.1111/1541-4337.13065)
42. Rasouli, H., Farzaei, M. H., Khodarahmi, R. (2017): Polyphenols and their benefits: A review, *International Journal of Food Properties*, 20:sup2, 1700-1741. DOI: [10.1080/10942912.2017.1354017](https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1354017)

43. Ravindran, R., Jaiswal, A. K. (2016): Exploitation of Food Industry Waste for High-Value Products. *Trends in Biotechnology*, 34(1), 58–69. DOI: [10.1016/j.tibtech.2015.10.008](https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2015.10.008)
44. Rudra, S. G., Nishad, J., Jakhar, N., Kaur, C. (2015): FOOD INDUSTRY WASTE: MINE OF NUTRACEUTICALS. *International Journal of Science, Environment and Technology*, 4(1), 205–229.
45. Sairam, S., Gopala Krishna, A. G., Urooj, A. (2011): Physico-chemical characteristics of defatted rice bran and its utilization in a bakery product. *Journal of Food Science and Technology*, 48(4), 478–483. DOI: [10.1007/s13197-011-0262-y](https://doi.org/10.1007/s13197-011-0262-y)
46. Sensoy, I. (2021): A review on the food digestion in the digestive tract and the used in vitro models. *Current Research in Food Science*, 4, 308–319. DOI: [10.1016/j.crfs.2021.04.004](https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.04.004)
47. Shalini, R., Gupta, D. K. (2010): Utilization of pomace from apple processing industries: A review. *Journal of Food Science and Technology*, 47(4), 365–371. DOI: [10.1007/s13197-010-0061-x](https://doi.org/10.1007/s13197-010-0061-x)
48. Sudha, M. L., Baskaran, V., Leelavathi, K. (2007): Apple pomace as a source of dietary fiber and polyphenols and its effect on the rheological characteristics and cake making. *Food Chemistry*, 104(2), 686–692. DOI: [10.1016/j.foodchem.2006.12.016](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.12.016)
49. Sudha, M. L., Dharmesh, S. M., Pynam, H., Bhimangouder, S. V., Eipson, S. W., Somasundaram, R., Nanjarajurs, S. M. (2016): Antioxidant and cyto/DNA protective properties of apple pomace enriched bakery products. *Journal of Food Science and Technology*, 53(4), 1909–1918. DOI: [10.1007/s13197-015-2151-2](https://doi.org/10.1007/s13197-015-2151-2)
50. Suleman, M. (2023): Basics of magnetic fluid hyperthermia. In: *In Silico Approach Towards Magnetic Fluid Hyperthermia of Cancer Treatment*. Elsevier, pp. 1–15. DOI: [10.1016/B978-0-443-13286-5.00001-6](https://doi.org/10.1016/B978-0-443-13286-5.00001-6)

51. Temple, N. J., Wilson, T., Jacobs, D. R., Bray, G. A. (2023): *Nutritional Health: Strategies for Disease Prevention*. 4th Edition. New Jersey: Humana Cham.
52. Tormási, J., Benes, E., Matkovits, A., Abrankó, L. (2024): The impact of sour cherry juice (*Prunus cerasus*) on reducing glucose release during in vitro starch digestion. *LWT*, 205, 116461. DOI: [10.1016/j.lwt.2024.116461](https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116461)
53. Vasantha Rupasinghe, H. P., Wang, L., Pitts, N. L., Astatkie, T. (2009): BAKING AND SENSORY CHARACTERISTICS OF MUFFINS INCORPORATED WITH APPLE SKIN POWDER. *Journal of Food Quality*, 32(6), 685–694. DOI: [10.1111/j.1745-4557.2009.00275.x](https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2009.00275.x)
54. Verhoeckx, K., Cotter, P., López-Expósito, I., Kleiveland, C., Lea, T., Mackie, A., Requena, T., Swiatecka, D., Wichers, H. (2015): *The Impact of Food Bioactives on Health*. Springer International Publishing. DOI: [10.1007/978-3-319-16104-4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-16104-4)
55. Waldbauer, K. M., Ruxandra; Kopp, Brigitte. (2017): Apple Pomace as Potential Source of Natural Active Compounds. *Planta Medica*, 83(12/13), 994–1010. DOI: [10.1111/j.1365-2621.2008.01862.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2008.01862.x)
56. Wang, X., Chen, Q., Lü, X. (2014): Pectin extracted from apple pomace and citrus peel by subcritical water. *Food Hydrocolloids*, 38, 129–137. DOI: [10.1016/j.foodhyd.2013.12.003](https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.12.003)
57. Woolnough, J. W., Monro, J. A., Brennan, C. S., Bird, A. R. (2008): Simulating human carbohydrate digestion *in vitro*: A review of methods and the need for standardisation. *International Journal of Food Science & Technology*, 43(12), 2245–2256. DOI: [10.1111/j.1365-2621.2008.01862.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2008.01862.x)
58. Xavier, A. A., Mariutti, L. R. (2021): Static and semi-dynamic in vitro digestion methods: State of the art and recent achievements towards standardization. *Current Opinion in Food Science*, 41, 260–273. DOI: [10.1016/j.cofs.2021.08.002](https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.08.002)

59. Yates, M., Gomez, M. R., Martin-Luengo, M. A., Ibañez, V. Z., Martinez Serrano, A. M. (2017): MultivalORIZATION of apple pomace towards materials and chemicals. Waste to wealth. *Journal of Cleaner Production*, 143, 847–853. DOI: [10.1016/j.jclepro.2016.12.036](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.036)
60. Younis, K. and Ahmad, S. (2018): “Quality evaluation of buffalo meat patties incorporated with apple pomace powder”, *Buffalo Bulletin*. Bangkok, Thailand, 37(3), pp. 389–401.
61. Zhou, H., Tan, Y., McClements, D. J. (2023): Applications of the INFOGEST In Vitro Digestion Model to Foods: A Review. *Annual Review of Food Science and Technology*, 14(1), 135–156. DOI: [10.1146/annurev-food-060721-012235](https://doi.org/10.1146/annurev-food-060721-012235)

Adatforrás

1. Food and Agriculture Organization of the United Nations (2025) – with major processing by Our World in Data. “Apple production – UN FAO” [dataset]. Food and Agriculture Organization of the United Nations, “Production: Crops and livestock products” [original data]. Retrieved October 26, 2025 from <https://archive.ourworldindata.org/20251014-161652/grapher/apple-production.html> (archived on October 14, 2025).
https://ourworldindata.org/grapher/apple-production?mapSelect=OWID_EU27~HUN
2. KSH (2024): A fontosabb gyümölcsfélék termesztése és felhasználása. Budapest: KSH

8. Táblázatok jegyzéke

1. táblázat: A kísérlethez felhasznált almatörköly kivonatok típusai és kódolásai.	17
2. táblázat: Az emésztés egyéb oldatainak előkészítéséhez szükséges adatok.....	18
3. táblázat: Teljes emészthető keményítőtartalom (TDS%) értékek táblázatos összehasonlítása a kivonatolási sorrendiség szempontjából.	27
4. táblázat: Teljes emészthető keményítőtartalom (TDS%) értékek táblázatos összehasonlítása a polifenoltartalom szempontjából.	28

9. Ábrák jegyzéke

1. ábra: Az almatörköly általános összetétele szárítás után (Waldbauer et al., 2017).....	6
2. ábra: Fehérkenyér emésztés mérési eredményei. A szürke vonal a pH változást ábrázolja az emésztés során.....	22
3. ábra: Iparilag szárított (ISZ) almatörköly mérési eredményei. A szürke vonal a pH változást ábrázolja az emésztés során.....	22
4. ábra: Polifenolcsökkentett (PFCS) almatörköly mérési eredményei. A sötétszürke vonal a pH változást ábrázolja az emésztés során.	23
5. ábra: Pektincsökkentett (PECS) almatörköly mérési eredményei. A szürke vonal a pH változást ábrázolja az emésztés során.	23
6. ábra: Pektin csökkentés után polifenolcsökkentett (Pe+PF) almatörköly mérési eredményei. A szürke vonal a pH változást ábrázolja az emésztés során.....	24
7. ábra: Polifenol csökkentés után pektincsökkentett (PF+Pe) almatörköly mérési eredményei. A szürke vonal a pH változást ábrázolja az emésztés során.....	25
8. ábra: Fehérkenyér és ISZ minta által felszabadított glükóz mennyisége. A csillagok a statisztikai próba (t-teszt) eredményét reprezentálják: *: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$	25
9. ábra: Pe+PF, PF+Pe, ISZ és a fehérkenyér minta által felszabadított glükóz mennyisége. A csillagok a statisztikai próba (t-teszt) eredményét reprezentálják: *: $p < 0,05$	26
10. ábra: PFCS, PECS, ISZ és a fehérkenyér minta által felszabadított glükóz mennyisége. A csillagok a statisztikai próba (t-teszt) eredményét reprezentálják: *: $p < 0,05$	28

10. Képek jegyzéke

1. kép: A kísérletben felhasznált almatörköly kivonatok. Saját fénykép. 17
2. kép: Kísérleti berendezés. Saját fénykép..... 19

11. Függelék

MATE Szervezeti és Működési Szabályzat

III. Hallgatói Követelményrendszer

III.1. Tanulmányi és Vizsgaszabályzat

6.13. sz. függelék: A MATE egységes szakdolgozat / diplomadolgozat / záródolgozat / portfólió készítési útmutatója

4.2. sz. melléklete: Nyilatkozat a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről (módosítva: 2025. október 16.)

NYILATKOZAT

a szakdolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve:	Vaczó Márta
A Hallgató Neptun kódja:	IM6VB2
A dolgozat címe:	Almatörkölyből származó készítmények szénhidrát emésztésére gyakorolt hatásának vizsgálata emésztésszimulációval
A megjelenés éve:	2025
A konzulens intézetének neve:	Élelmiszertudományi és Technológiai Intézet
A konzulens tanszékének a neve:	Élelmiszerkémia és Analitika Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott szakdolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem. Továbbá kijelentem, hogy a dolgozat elkészítése során alkalmazott mesterséges intelligencia-eszközök (pl. szöveggenerálás, nyelvi javítás, fordítás, adatelemzés) használata nem helyettesítette a saját kutatási és alkotói munkámat, azok alkalmazását a források között vagy a módszertani részben feltüntettem, és a szakmai-etikai elvárásoknak megfelelően jártam el.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkor szellemi tulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitori rendszerébe. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem könyvtári repozitori rendszerében.

Kelt: Budapest, 2025 november 1.


Hallgató aláírása

NYILATKOZAT

Vaczó Márta (IM6VB2) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő védésre javaslom / nem javaslom¹.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem^{*2}

Kelt: Budapest, 2025. november 1.


belső konzulens

¹ A megfelelő aláhúzendó.

² A megfelelő aláhúzendó.

Hallgatók, doktoranduszok nyilatkozata mesterséges intelligencia (MI) alkalmazásáról

1. Általános adatok

Hallgató neve:	Vaczó Márta
Neptun-kódja:	IM6VB2
Képzési szint (a megfelelőt jelölje X-szel):	<input checked="" type="checkbox"/> BSc/BA <input type="checkbox"/> MSc/MA <input type="checkbox"/> Doktori (PhD) <input type="checkbox"/> Egyéb: TDK
Tantárgy neve/kódja*:	Szakdolgozat
A munka címe:	Almatörkölyből származó készítmények szénhidrát emésztésére gyakorolt hatásának emésztésszimulációval vizsgálata

* doktori értekezés esetén nem kitöltendő

2. Nyilatkozat az MI használatáról

Alulírott, etikai felelősségem teljes tudatában az alábbi nyilatkozatot teszem:

(Kérjük, válasszon egyet az alábbi lehetőségek közül!)

A) Nem alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.

(Amennyiben ezt jelölte, a további táblázatok kitöltése nem szükséges.)

B) Alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.

(Kérjük, töltsé ki a vonatkozó táblázatokat!)

3. A mesterséges intelligencia használatának részletezése

I. TÁBLÁZAT: Asszisztensi vagy kisebb mértékű felhasználás (pl. fordítás, nyelvi korrektúra, ötletelés stb.)

(Ezen felhasználások esetében a konkrét promptok és válaszok csatolása nem szükséges.)

A felhasználás célja	Alkalmazott MI-eszköz neve és verziója	Érintett rész (ha nem a szöveg egészére vonatkozik)
Fordítás, elérhető szakirodalom keresés, nyelvi korrektúra, szinonima szavak keresése, ötletelés	ChatGPT	Szakirodalom, Összefoglalás

II. TÁBLÁZAT: Jelentős tartalmi hozzájárulás (pl. egy teljes ábra vagy egy hosszabb szövegrész generálása)

(Ezekben az esetekben a felhasznált kulcsfontosságú promptok és az MI által adott nyers válaszok dokumentálása és a munka **mellékletében való csatolása szükséges.**)

A felhasználás célja	Alkalmazott eszköz verziója, elérhetősége	MI-neve, Az érintett fejezet / ábra / táblázat pontos sorszáma	A prompt-naplót tartalmazó melléklet bejegyzésének sorszáma

3/A. Oktató által előírt kiegészítő szabályok (ha vannak)

Amennyiben az adott tantárgy oktatója vagy témavezetője az MI-eszközök használatára vonatkozóan külön szabályokat vagy elvárásokat határozott meg, kérjük, az alábbi mezőben foglalja össze ezeket:

Pl. az MI használatának tilalma bizonyos feladattípusokra; csak konkrét eszköz használata engedélyezett; eltérő hivatkozási elvárások; dokumentációs forma stb.

Oktató vagy témavezető által előírt szabályok:

.....

.....

.....

.....

4. Minden hallgatóra vonatkozó nyilatkozat:

Kijelentem, hogy az MI által esetlegesen generált tartalmakat minden esetben kritikailag felülvizsgáltam, szerkesztettem és a munkába illesztettem. A leadott munka minden eleméért, annak eredetiségéért és tudományos helytállóságáért teljes körű felelősséget vállalok. Tudomásul veszem, hogy a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem a benyújtott munkát mesterséges intelligencia detektorral ellenőrizheti, és eljárást kezdeményezhet, amennyiben a nyilatkozatom valótlan vagy hiányos.

Kelt: Budapest, 2025. november 1.

Varó Mária



.....

Hallgató aláírása

.....

Konzulens/Témavezető aláírása