



Élelmiszertudományi Kar

Hűtő- és Állattermék Technológiai Tanszék

MŰVELETI PARAMÉTEREK HATÁSA NAGY HIDROSZTATIKUS NYOMÁSSAL KEZELT BOGYÓSGYÜMÖLCS-PÜRÉK ILLÉKONY KOMPONENSEIRE

TDK Dolgozat

FARKAS VALÉR
Élelmiszermérnök MSc 4. félév

Témavezető: Dr. Dalmadi István, egyetemi adjunktus

**Budapest
2014**

TARTALOMJEGYZÉK

1 BEVEZETÉS	2
2 IRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	4
2.1 A NAGY HIDROSZTATIKUS NYOMÁSÚ ÉLELMISZERTARTÓSÍTÓ ELJÁRÁS	4
2.1.1.A HHP technikáról általánosságban	4
2.1.3 A nagynyomású kezelés hátrányai	6
2.1.4 Hatásmechanizmus, befolyásoló tényezők, kezelési paraméterek és költségek	6
2.1.5 HHP termékek az élelmiszerpiacon	7
2.2 ELEKTRONIKUS ORR	8
2.2.1 Történeti áttekintés, elméleti alapok.....	9
2.2.2 Felépítés, működés, követelmények	10
2.2.3 Gyakorlati tapasztalatok az élelmiszeriparban	12
3 CÉLKITŰZÉSEK	15
4 ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK	16
4.1 GYÜMÖLCS-ALAPANYAGOK ÉS MINTA-ELŐKÉSZÍTÉS.....	16
4.2 A GYÜMÖLCSPÜRÉK HHP KEZELÉSE	16
4.3 ELEKTRONIKUS ORR VIZSGÁLATOK	18
4.4 LINEÁRIS DISZKRIMINANCIA-ANALÍZIS.....	19
4.5 ÉRZÉKSZERV BÍRÁLATOK	20
5 EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉS	21
5.1 ELEKTRONIKUS ORR VIZSGÁLATOK EREDMÉNYEI	21
5.1.1 Különböző nyomáson kezelt minták elektronikus orr vizsgálatának eredményei	21
5.1.2 Különböző hőmérsékleten kezelt minták elektronikus orr vizsgálatának eredményei	23
5.1.3 Különböző nyomásemelési sebesség mellett kezelt minták elektronikus orr vizsgálatának eredményei.....	25
5.1.4 Különböző tartási idő mellett kezelt minták elektronikus orr vizsgálatának eredményei	27
5.1.5 Különböző ciklus-számok mellett kezelt minták elektronikus orr vizsgálatának eredményei	29
5.2 ÉRZÉKSZERV BÍRÁLATOK EREDMÉNYEI.....	32
6 KÖVETKEZTETÉSEK	34
7 ÖSSZEFOGLALÁS	35
IRODALOMJEGYZÉK.....	37
MELLÉKLETEK.....	43
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	49

1 Bevezetés

Az élelmiszerek piacán egyre növekvő fizetőképes kereslet figyelhető meg az olyan friss érzetet keltő, kényelmi szempontokat figyelembe vevő, fogyasztásra előkészített termékek iránt, amelyek kémiai tartósítószerektől mentesek. A felmerülő igényeket az új, kíméletes élelmiszertartósítási eljárások – az ún. „minimal processing” technológiák – elégíthetik ki, melyekre azonban általánosan érvényes, hogy az ilyen módon konzervált produktumok eltarthatósági ideje korlátozott és rendszerint hűtőtárolást igényelnek. Ezen kíméletes élelmiszertartósítási eljárások egyike a nagy hidrosztatikus nyomáskezelés (high hydrostatic pressure, HHP) is, melyet többnyire 100 és 1000 MPa közötti nyomáson végeznek, néhány perces kezelési időtartam mellett.

Általánosságban igaz, hogy gyümölcstermékek tartósításánál a nem termikus HHP kezelésnek vitathatatlan előnye van a hőkezeléssel szemben a termékminőség rövid távú megőrzését illetően, a nemzetközi publikációk eredményei ugyanakkor azt mutatják, hogy a nagy nyomás – kis hőmérséklet kombináció már nem eredményez kellő minőségmegőrzést megnövelt idejű, több hetes tárolási időszakok alatt. Míg közvetlenül a kezelések elvégzése után nem lehet negatív elváltozásokat felfedezni az érzékszervi tulajdonságokban, az ezt követő tárolás alatt a HHP-kezelt mintákban akár számottevő átalakulások is felléphetnek. Mindez a szobahőmérsékleten tárolt egyedeknél jelentkezik hangsúlyosan, mely korábban azt a tényt is megerősítette, hogy a nagy nyomás – kis hőmérséklettel kezelt nagy vízáktivitású termékek nem polcállók, vagyis mindenképpen hűtött körülmények között kell tárolni azokat.

A tárolás folyamán bekövetkező nemkívánatos elváltozások nagy valószínűséggel az elégtelen enzim inaktiváció következményei, a megfelelő inaktivációs szint pedig kizárólag kombinált kezelési eljárások alkalmazásán keresztül valósítható meg. Ismerve a hőkezelés hatékonyságát az enzimek hatástalanításában, jó megoldásnak tűnik a HHP kezelés elvégzése olyan hőmérsékleten, mely kisebb a hagyományos pasztörözési hőmérsékletnél, ugyanakkor kellően magas a káros enzimtevékenység megakadályozásához. A termék- és technológiafejlesztés során az élelmiszerbiztonsági kérdések tisztázásán túl az érzékszervi tulajdonságokban bekövetkezett változások felmérése a legfontosabb. A valós következtetések levonásához szükséges azonban, hogy a szubjektívnak vélt érzékszervi bírálatokat objektív módon valósíthassuk meg.

Tudományos szempontból mindenképpen előremutató eredményeket hozhat a kezelt minták összehasonlításában a „műszeres érzékszervek” (így az elektronikus orr) használata. A kémiai érzékelősor, melybe az elektronikus orr is beletartozik, a műszeres analitikai technikák

egyik legfiatalabb, és igen intenzív szakmai érdeklődésre számot tartó tagja. Bár rutinszerű alkalmazása élelmiszeripari vizsgálatokban ma még nem kiforrott, összehasonlító vizsgálatokhoz viszont annál inkább alkalmazható.

2 Irodalmi áttekintés

2.1 A nagy hidrosztatikus nyomású élelmiszertartósító eljárás

2.1.1.A HHP technikáról általánosságban

A hagyományos tartósítóipari eljárások köztudottan sokak számára érzékelhető, egyben kedvezőtlen változásokat hoznak létre mind a termékek fizikai szerkezetében, mind azok érzékszervi tulajdonságaiban (Daoudi et al., 2001). Éppen ezért nem meglepő, hogy a közelmúltban történt fejlesztések irányelve főként a táplálkozásbiológiai értéket és az érzékszervi paramétereket kevésbé befolyásoló eljárások, úgynevezett „minimal processing” technikák kidolgozása volt (Ohlsson, 1994; Awuah et al., 2007).

Ezen feldolgozási módszereket illetően többféle meghatározás is napvilágot látott már (Hartyáni, 2012). Tágabb értelemben „a lehető legkisebb mértékű kezeléssel a cél elérése” (Manvell, 1996), míg mások szerint „olyan műveletek, amelyek az élelmiszerek minőségi jellemzőit minimálisan befolyásolják, mialatt egyidejűleg a tárolás és szállítás során az élelmiszer eltarthatósági ideje megfelelő marad (Huis In’t Veld, 1996). A legkiforrottabb értelmezés alapján ezek az eljárások „tartósítják az élelmiszert, miközben annak tápértéke és érzékszervi tulajdonságai fennmaradnak, ezzel csökkentve a hőkezelés, mint fő tartósítási eljárás mellékhatásait” (Fellows, 2000).

A nagy hidrosztatikus nyomású kezelés (high hydrostatic pressure, HHP) ezen kíméletes élelmiszer-feldolgozási technológiák egyik jeles képviselője, amely mind önállóan, mind pedig hőkezeléssel kombinálva (Deliza et al., 2005) képes a korábban már részint említett igények kielégítésére, azaz a magas minőséget, frissességet, a mikrobiológiai biztonságot és a kellő eltarthatóságot egyszerre garantálja (Hogan et al., 2005).

A módszerrel először a XIX. század végén kezdtek foglalkozni amerikai tudósok (Hite, 1899), mikor is az ipar fejlettségi szintje már lehetővé tette megfelelő nyomástartó szerkezetek gyártását. Hosszú időn keresztül mégis e technika elsősorban más irányú, nem élelmiszeripari alkalmazásai kaptak nagy hangsúlyt (Cserhalmi et al., 2005). Az 1960-as évek végén indultak meg újból ausztrál és nagybritanniai tudósok rendszerezett vizsgálatai a kezelés mikrobákra gyakorolt hatását illetően. Ilyen tekintetben tehát az eljárás mindössze az utóbbi 20-25 évben vált igazán érdekfeszítővé az élelmiszeripar számára is.

A HHP alapvetően egy olyan nem termikus tartósító eljárás, melynél a folyékony vagy szilárd, 60 °C-nál rendszerint kisebb hőmérsékletű közvetítő folyadékba – leggyakrabban vízbe, propilén-glikolba, szilikonolajba, etanolba, stb. (Balasubramanian & Balasubramaniam,

2003) –, merített és flexibilis csomagolásban lévő élelmiszereket jellemzően 100-1000 MPa nagyságú nyomásnak teszik ki (Cao et al., 2012). Ezen számadat talán mindenki számára könnyebben értelmezhetővé válik, ha azt mondjuk, a Föld legmélyebb pontján, a csendes-óceáni Mariana-árok fenekén, közel 11.000 m mélységben is „mindössze” 116 MPa nyomás uralkodik. Ezzel szemben élelmiszertartósítási célból sok esetben akár e nyomás 8-10-szeresét is felhasználjuk (Bartlett, 2002).

A nagy hidrosztatikus nyomású kezelés alkalmazásának számtalan előnye akad. A jó szín-, aroma-, vitamin és tápértékmegőrzés (Hendrickx et al., 1998; Dalmadi et al., 2007b; Oey et al., 2008; Patras et al., 2009), valamint a sokszor kedvező állományváltozás mellett az élelmiszerek csomagolt formában kezelhetők, így az utófertőződés minden esetben elkerülhető. Mivel a vitaminok és aromák különlegesen érzékenyen reagálnak hőhatásokra, így a hagyományos tartósítási eljárások mellett bármely termék könnyen elveszíti jellemző, és egyben kedvező tulajdonságait (Lambert et al., 1999; Laboissière et al., 2007), amely piaci értékére kártékonyan hat.

Számos publikáció megerősíti (Butz et al., 2003; Cardello et al., 2007), hogy a HHP kezelt termékeket a fogyasztók már jelen pillanatban is szívesen vásárolják, hiszen a besugárzásos, pulzáló elektromos térerővel (PEF) kezelt vagy éppen GMO eredetű termékektől eltérően nem váltanak ki erőteljes, negatív ellenérzéseket. Mindazonáltal tény, hogy az „új élelmiszer” (novel food) kategóriába eső termékekkel kapcsolatos aggodalom valóban általános, és egyben jelentős tényező a fogyasztók körében. Megannyi esetben fordul elő ugyanis téves ítéletalkotás a vásárlók döntési folyamatait megelőzően, így például az ismeretlen kezelésektől és káros melléktermékektől való, gyakran teljesen indokolatlan félelem (Cardello et al., 2007).

2.1.2 Érvék a HHP mellett

A korábbiakban már ismertetett előnyökön túl a nagy hidrosztatikus nyomású technológia számos további kedvező tulajdonsággal is bír.

Kíméletes, környezetbarát és csaknem hulladékmentes ismérvei mellett (Knorr, 1999) egyik igen pozitív sajátága, hogy a lezárt csomagokban a hidrosztatikus nyomás a Pascal-elvnek megfelelően pillanatszerűen és egész tömegében egyenletesen (izosztatikusan) érvényesül (Karim, 2011). Ilyen módon a kezelés hatása más tartósítási módszerekkel ellentétben lényegében független az élelmiszer méretétől, illetve alakjától (Norton & Sun, 2008; Dalmadi, 2009).

A kezelések nagy nedvességtartalmú termékek esetében sem eredményeznek fizikai elváltozást, ugyanis a kifejtett nyomás következtében nem alakulnak ki nyíróerők az anyagban. Bár szín- és állománybeli apróbb változások a gázokat valamilyen formában tartalmazó élelmiszerek esetében e technológia során is felléphetnek, a nyomás hatására a folyadék- és gázfázis között felerősödő komponensvándorlás (Hogan et al., 2005) legtöbbször mégsem ártalmas a termékek szempontjából.

Cserhalmi és munkatársai (2005) mérései alapján szamóca-, meggy- és szilvalé esetében például a kezelés egyáltalán nem befolyásolta a minták refrakcióját, egyedül a kezelt és referencia darabok közötti viszkozitás-, vezetőképesség- és pH értékbeli eltérés mutatkozott néhány esetben szignifikánsnak.

Daoudi és munkatársai (2001) HHP kezelt szőlőlé minták több hónapos tárolását követően csakis előnyöket írtak a technológia javára, ahogy Gupta és Balasubramaniam (2012) is csak enyhe, az eljárás hatásának betudható pH-csökkenésről számolt be almalevek esetében.

2.1.3 A nagynyomású kezelés hátrányai

A nagy hidrosztatikus nyomású technológia, mint általában minden más eljárás, előnyei mellett hátrányokkal ugyancsak rendelkezik.

Az alkalmazott berendezések rendszerint igen drágák – természetesen áruk annak függvényében változik, hogy mekkora a kapacitás- és nyomásigényünk (Nienaber & Shellhammer, 2001) –, a folytonos technológia nehézkesen alakítható ki, illetve a baktérium spórák elpusztításához valamilyen más módszerrel történő kombinálás szükséges. Az enzimek inaktivációja továbbá gyakorta nem megfelelő, a rugalmas csomagolóanyagok alkalmazása alapfeltétel, az antimikrobás hatás eléréséhez pedig legalább 40 % víztartalomra van szükség. Mindezekon túl ráadásul a termékek fokozott oxidációs hajlamával, illetve a jogi szabályozás problematikájával is számolnunk kell (Dalmadi, 2009).

2.1.4 Hatásmechanizmus, befolyásoló tényezők, kezelési paraméterek és költségek

A HHP kezelés hatásmechanizmusa elsősorban fehérje denaturáción, szerkezeti változásokon, sejt deformáción és sejtmembrán károsodáson alapul, amely folyamatok végül a mikroorganizmusok, valamint enzimek inaktiválásához vezetnek (Knorr, 1996; Cserhalmi et al., 2005).

A technológia hatékonyságát számtalan tényező befolyásolja. Az alkalmazott nyomás szintjén túl a kezelési idő, a kezelési hőmérséklet, a nyomásemelés és nyomáselengedés

sebessége, az induló termék hőmérséklet, a berendezésben létrejövő hőmérséklet-eloszlás, a termék pH-ja, összetétele és vízaktivitása mind-mind döntő paraméterek (Hendrickx et al., 1998). A folyamat során adiabatikus melegedés is fellép, melynek értéke kb. 3 °C/100 MPa (Rendueles et al., 2011).

Az élelmiszerek térfogata jellemzően csökken a nyomáskezelések folyamán, majd a nyomás elengedést követően tágulás következik be. Ebből adódóan csak olyan csomagolóanyagok használhatók fel a kezelések során, melyek sérülés nélkül képesek elviselni a sokszor 15 %-nál nagyobb térfogatváltozást. Jóllehet az előállítói oldalon előnye is akad a fogyasztói csomagokban történő kezelésnek: egyrészt a termékek a kezelést követően rögtön értékesíthetők, nem szükséges aszeptikus töltővonal igénybe vétele, valamint igény esetén szinte azonnal át lehet állni más termékek gyártására (Mermelstein, 1998).

A gyakorlati alkalmazhatóság szempontjából lényeges, hogy a HHP alacsony savtartalmú élelmiszerek, így például zöldségfélék, tej és levesek hosszú eltarthatóságának biztosítására az előbbieknél fogva – értsd spórapusztító hatás elmaradása – nem alkalmas. Hűtve tárolt termékek esetében képes viszont a polcontarthatósági idő megnövelésére, hiszen a patogén baktériumok eliminálása révén stabilizálja a produktumot.

A technika felhasználhatóságát illetően limitáló tényezőt jelent a termékek víztartalma is. Csak olyan, megfelelő mennyiségű vizet tartalmazó élelmiszerek kezelhetők, melyek nem tartalmaznak légzárványokat (Ramaswamy et al., 2012).

A nyomáskezelés időtartama a gyakorlatban meglehetősen széles intervallumot ölel fel, hiszen a néhány másodpercnyi impulzusok mellett a 20 percet meghaladó beavatkozások sem ritkák. Gazdasági számítások alapján azonban az 5-10 percnél hosszabb eljárás többnyire anyagi hátrányt okoz a vállalkozásnak (Jordan et al., 2001), mely szempont figyelembevételével rendszerint 600-700 MPa-on 210-360 s időtartamig végeznek kezeléseket (Syed et al., 2012). Bár irodalmi adatok alapján a 350 MPa alatti nyomás alkalmazásával jelentősen csökkenthető a berendezések ára, a kereskedelemben előforduló gépek általában ennél jóval nagyobb értékkel dolgoznak (Alpas & Bozoglu, 2003). Hartyáni (2012) szerint a termelés költsége megközelítőleg 0,1-0,2 Euro/kg kezelt élelmiszer, amely gyümölcslevek pasztörözését alapul véve majdnem húszszoros ráfordítás-igényt jelent egy hőcserélős rendszerrel összevetve.

2.1.5 HHP termékek az élelmiszerpiacon

A kereskedelemben megjelenő HHP-kezelt termékek száma világviszonylatban gyorsan növekvő tendenciát mutat. Az első nagynyomással tartósított élelmiszerek, köztük a dzsemek

és gyümölcslevek Japánban kerültek ugyan forgalomba (Considine et al., 2008), de számuk folyamatosan bővült mind az USA, mind Európa területén (Dalmadi, 2009). Ma már a gyümölcsleveken, szószon, csomagolt sonkákon és tenger gyümölcsein kívül számos egyéb helyen is alkalmazzák az eljárást (Butz et al., 2003).

A valamivel több, mint húsz évvel ezelőtt megjelent első élelmiszeripari készülékek óta, mára közel 90 ipari berendezés került beüzemelésre a világon. Ezek túlnyomó többsége Észak-Amerikában, Mexikóban és Kanadában található, Európa, Ázsia és Óceánia mégis felzárkózni látszik a versenyben (Dalmadi, 2009). Az ipari szintű alkalmazások korlátja elsősorban a magas beruházási költségekben, valamint a tisztázatlan szabályozási kérdésekben keresendő.

Dalmadi és Farkas (2006) adatai alapján 2005-ben 55 cég közel 150 fajta terméke volt jelen a boltok polcain – együttes mennyiségük meghaladta a 100.000 tonnát –, 2010-es adatok tanúsága szerint pedig 156 ipari méretű berendezés már kb. évi 300.000 tonna terméket állított elő (Knorr et al., 2011).

A HHP kezelés hatásspektrumának teljes feltérképezéséhez, azaz a mikrobiológiai és enzimatisz folyamatokra gyakorolt inaktiváció maradéktalan kiismeréséhez még számtalan kutatás szükséges. Ugyanakkor a technológia egyedülálló lehetőségeket és kihívásokat tartogat az élelmiszeripar számára, hiszen segítségével a gyártók kellőképpen innovatív, friss és természetes jellegű, a fogyasztók számára igen tetszetős termékeket állíthatnak elő. A nagynyomású technika előnyeiből jelen pillanatban főként az italipar, s ezen belül is a prémium minőségű gyümölcsleveket és smoothie-kat előállító kisebb cégek profitálnak (Gupta & Balasubramaniam, 2012), a vásárlók egészségtudatosságának és kényelmi igényeinek növekedésével azonban a kezelés várhatóan szélesebb körben el fog terjedni. A technológia sikerre vitelével kapcsolatos egyik legfontosabb teendő viszont mindenképpen az, hogy a már polcon lévő termékek kedvező hatásairól a fogyasztókat tájékoztassuk (Deliza et al., 2005).

2.2 Elektronikus orr

Bizonyos anyagok, így élelmiszereink összetételének, tulajdonságainak ismerete is különleges szereppel bír mindennapjainkban. Jóllehet élelmi anyagaink minősége nagymértékben összefügg tápérték-, állomány-, és nem utolsó sorban mikrobiális állapotbeli tényezőkkel, valójában mégis az aroma és külső megjelenés azok, amiket a fogyasztó sok esetben talán a legfontosabbnak vél. Az élelmiszerek gőzterében (headspace) gáz halmazállapotban felgyülemelő illékony szerves összetevők ráadásul olyan jellegzetes

vegyületek, melyek megfelelő mérési módszerek alkalmazása mellett megannyi értékes információval szolgálhatnak a különféle termékek sajátosságait illetően.

Az illatok, ízek, textúra és más, hasonló jellemzők vizsgálatára ugyan még ma is a humán érzékszervi bírálat jelenti az egyik leghatásosabb, legelterjedtebben használt módszert, a komplikált minta-előkészítés és magas ráfordítás-igény folytán egyre jelentősebb igény mutatkozik modern, gyors és költséghatékony módszerek kifejlesztése iránt (Di Natale et al., 2002).

Annak dacára, hogy az emberi orr bizonyos szagmolekulákat a vegyület vagy mátrix összetételétől függően akár 1 ppb-nél kisebb koncentráció esetén képes érzékelni (Belitz & Grosch, 1999), a humán érzékszervek bizonyos hiányosságai – így például a fáradékonyság és szubjektivitás – az elmúlt években számos mesterséges „érzékszerv” kifejlesztését ösztöklétké. Ezek ugyan természetes érzékszerveink helyettesítésére nem minden esetben képesek, azok kiegészítésére viszont annál inkább felhasználhatók.

E folyamat eredményeként jöhetett létre többek között az elektronikus orr (electronic nose; a továbbiakban gyakran csak EN) is, amely kedvező módon az élelmiszerek objektív tulajdonságairól szolgál információval, egyszerűségével és gyorsaságával azonban hosszú távon a hagyományos mérési eljárásokat több szempontból háttérbe szoríthatja.

Az elektronikus orrok nagy érzékenysége, roncsolás- és vegyszermentes működése, alacsony üzemeltetési költsége, a klasszikus módszerekhez viszonyított minimális minta-előkészítési- és helyigénye mind-mind olyan tényezők, melyek kutatók tömegeit sarkallják a mai napig újabb és újabb alkalmazási területek felderítésére.

2.2.1 Történeti áttekintés, elméleti alapok

Az elektronikus orr koncepciója valójában csak az 1980-as évektől kezdve szerepel szakirodalmi forrásokban. Az EN szagok besorolására alkalmas koncepcióját eredetileg Persaud és Dodd mutatta be 1982-ben, a piacon pedig a '90-es évek elején jelentek meg az első ilyen jellegű eszközök (Korel & Balaban, 2009). Úttörők között tartjuk számon például a francia Alpha M.O.S. Fox Intelligent Nose elnevezésű készülékét (1993), a brit Neotronics Scientific e-Nose 4000-ret, az Aromascan cég Aromascanner berendezését (1994), valamint a Bloodhound Sensors Limited és a HKR Sensorsystem szerkezeteit (1995) (Craven et al., 1996; Needham, 2004). A hazai élelmiszerkutatásban az elektronikus orr az 1990-es évek végén tűnt fel, amikor is annak mérés technikájában rejlő lehetőségeiről Kaffka Károly és Farkas József elsőként számolt be (Kaffka & Farkas, 1999).

Gyakorlati szempontból a legfontosabb talán az, hogy míg az emberi orr a különféle illatösszetevőket voltaképpen egy elegyként kezeli a komponensek elkülönítése helyett, az elektronikus orrot szenzorok sora építi fel, amelyek képesek a megfelelő mintafelismerés alapján egyszerű és összetett szagokat is azonosítani.

A szilárdtest gázszenzorok (solid state gas sensors) körülbelül 20 évvel ezelőtti első, érzékelősor formájában történő felhasználása óta az elektronikus orrok számos fejlődési fázison mentek keresztül. A klasszikus analitikai megközelítés, azaz az „egy szenzor-egy meghatározandó komponens” elv kezdetben még cáfolhatatlan elképzelésnek tűnt kutatói körökben. A folyamatos előrehaladás eredményeként viszont csupán az elmúlt néhány évben több száz, akár ezer szakcikk látott napvilágot e téma kapcsán, melyek többsége ugyan főként az élelmiszeripart érinti, de jó néhány mezőgazdasági, környezeti és orvosi témával kapcsolatos publikáció is akad.

Az EN elnevezését az emlősök szaglórendszerével való hasonlósága miatt kapta, és alapját egy olyan kémiai érzékelősor (chemosensor array) képezi, amelynek különböző érzékelői nagy érzékenységet, viszont kis specifitást mutatnak az egyes egyedi molekulákra, illékony komponensekre. A különféle vegyületekre és összetevőkre a szenzorok eltérő jelválaszokat adnak, tulajdonképpen a gázkeverék „digitális ujjlenyomatát” (digital fingerprint) hozzák létre, amely azután többváltozós matematikai-statisztikai eljárások – főkomponens-analízis, kanonikus diszkriminancia-analízis, klaszter-analízis, parciális legkisebb négyzetek módszere stb. – révén válik elemezhetővé (Di Natale et al., 2001; Dalmadi et al., 2007a; Korel & Balaban, 2009; Zhang et al., 2012).

A Persaud és Dodd (1982) által eredetileg felállított alapmodell lényege, hogy a különféle illatmolekulák eltérő receptor sejtekhez kötődnek, amelyek együttesen egy olyan elektromos jelsorozatot eredményeznek, amit végül a szaglóhólyag (olfactory bulb) és az olfaktorikus neuronok közvetítésével agyunk szagérzetté alakít.

Gardner és Bartlett (1994) később már az elektronikus orrot egy olyan összetett rendszerként definiálja, amely elektromos kemoszenzorok sorozatából, illetve egy alakfelismerésre képes adatfeldolgozó rendszerből (humán területre átvetítve neuronok és agy kapcsolatából) áll.

2.2.2 Felépítés, működés, követelmények

Az elektronikus orr alapjában véve három fő részre tagolható: a mintavevő egységre (szenzorok sora), a jelfeldolgozó egységre, illetve az egyszerű vagy összetett szagok azonosításához szükséges megfelelő mintafelismerő algoritmusra (Korel & Balaban, 2009).

A készülékkel történő vizsgálat során nem az egyedi összetevők szelektív elemzése, hanem az éppen elvégzett mérés jelválaszának és a korábban mért minták eltárolt jelválaszának összehasonlítása megy végbe. Mindenképpen kiemelendő azonban, hogy a tradicionális analitikai módszerekkel ellentétben az EN technológia egyáltalán nem szolgál információval az analizálni kívánt termék jellegét, természetét illetően, csupán összehasonlító vizsgálat végezhető segítségével. Egy adott szenzoron kapott jelválasz értéke a referenciagázhoz képest, azok sorrendje, illetve értékeik különbsége együttesen alakítják ki a vizsgált anyagra jellemző „mintázatot”, amely így egy egyedi vonásként az adott illat identifikálására használható.

Az EN legfontosabb eleme a kémiai érzékelősor, melynek egyedi érzékelői az előzőek értelmében igen nagy érzékenységek, de kis specifitásúak az egyedi molekulákra. A szenzorok működése lényegében a molekulák katalitikus reakciói során létrejövő feltöltődési folyamatokon alapul, a magas hőmérséklet következtében a felszínen végbemenő jelenségek megváltoztatják az érzékelő elektromos ellenállását, bizonyos esetekben dielektromos állandóját vagy éppen hőmérsékletét (Göpel, 1995).

A szenzorokkal kapcsolatos alapvető követelmény, hogy specifikusak semmiképpen se legyenek egy adott molekulára, ugyanakkor a szerves szagmolekulák – többnyire illékony, kis molekulatömegű (30-300 Da), poláros, gyakran hidrofób szerves molekulák – formájára és szerkezetére mégis érzékenyen reagáljanak (Gardner & Bartlett, 1994; Craven et al., 1996).

Fontos továbbá, hogy az érzékelők megfelelő nagyságú jelet adjanak a felületükön kis koncentrációban adszorbeált szagmolekulák esetén is, ráadásul ezt kis időállandóval tegyék. Utóbbi a gyakorlatban azt az időintervallumot jelöli, mialatt egységnyi koncentrációváltozás hatására a szenzor jele eléri a végső kimenő jel (output) egy előre meghatározott hányadát. Bár ideális esetben ez néhány másodperc, alkalmanként akár percek is jelenthet (Dalmadi, 2009).

Mindezeken túl releváns tényező a regenerálódási idő rövide (Ghasemi et al., 2009), amely voltaképpen az egységnyi időtartamon belül lefuttatható mérési ciklusok számát befolyásolja. Ekkor az érzékelő eredeti állapotának visszanyerése a cél, vagyis a légtérből a felületre rakódott anyagok deszorbeálása.

Elengedhetetlen, hogy a szenzorok érzékenyen reagáljanak az analit megfelelő koncentráció tartományában, rendelkezzenek megfelelő dinamikával – azaz ne mutassanak telítődést a meghatározási tartományon belül –, valamint jelválaszuk reprodukálható legyen. Mindenképpen számolni kell azzal, hogy az évek folyamán a szenzorok érzékenysége valamelyest változik (drift), illetve, hogy bizonyos anyagok akár irreverzibilisen is

kötődhetnek a felületen, ezzel az érzékenységet nagymértékben csökkentve, szélsőséges esetben pedig akár megszüntetve (Mielle, 1996; Baldwin et al., 2011).

Ugyan csak másodlagosan, de az érzékelők előállítási költségének és fizikai méretének számbavétele is fontos. Természetesen alapvető követelménynek tekinthető, hogy az elektronikus orr szenzorai olyan jelsorozatot állítsanak elő, amely a különböző minták esetében láthatóan különbözik. Az egyéni szenzorok semmi esetben sem adhatnak túl specifikus választ, hanem a vegyületek széles spektrumán kell használhatónak lenniük.

2.2.3 Gyakorlati tapasztalatok az élelmiszeriparban

Az elektronikus orr felhasználási területei az elmúlt évtizedek során rendkívüli mértékben bővültek. Az EN-el kapcsolatos kutatások és gyakorlati alkalmazások fő bázisát adó élelmiszeripar mellett mezőgazdasági, orvostudományi, gyógyszeripari, környezetvédelmi, hadászati, légiközlekedési, tűzvédelmi és kozmetikai ipari körökben is számos innovatív példa lelhető fel (Sahgal, 2008; Wilson & Baietto, 2009).

Az élelmiszeripari szektorban kezdetben például igen nagy érdeklődést váltott ki toxinogén penészgombák illékony anyagcseretermékeinek kimutatása gabonafélékből (Magan, 1993; Tognon et al., 2005; Farkas & Dalmadi, 2009). Később különféle húskeverékek összetétel és frissesség alapján történő elkülönítésére, azok illékony frakcióinak meghatározására is számos kísérlet történt (Turhan et al., 1998; Siegmund & Pfannhauser, 1999).

Idővel zöldségek, gyümölcsök és olajok esetében ugyancsak alkalmazni kezdték a módszert. Maul és munkatársai (2000) például vezetéképes polimer szenzorokkal felszerelt elektronikus orrot használtak paradicsomok érettségi állapotának vizsgálatára, Llobet és szerzőtársai (1999) banánokkal kísérleteztek, míg Brezmes (2001) és Saevels (2003) almákkal végzett tesztek. Brezmes igen jó eredményre jutott többek között a keménységi fok, pH és keményítő-index becslése területén. Gómez (2006a és 2006b) paradicsommal végzett kísérletei mellett mandarinok illékony komponens termelését is vizsgálta különböző érettségi stádiumokban (érett, fél-érett, érett, túlérett), amelyhez egy 10 eltérő MOS szenzorral felszerelt készüléket használt.

Stella (2000), Guadarrama (2001), és kollégáik a szűz olívaolajok minőségi besorolásánál (extraszűz, szűz, lampante) használt hagyományos, lassú és költséges módszerek kiváltására tettek kísérletet. A mérések váratlan sikerrel jártak, a különböző olajok minőségi kategorizálása, földrajzi származás alapján történő elkülönítése felkerült az EN-el eredményesen végezhető vizsgálatok listájára.

A 2000-es évek elején ismételten nagyszámú hús- és tejtermékekkel összefüggő tanulmány került nyilvánosságra. Boothe & Arnold (2002), Panigrahi és munkatársai (2006), Horváth és kollégái (2007) példának okáért mind felhasználták az elektronikus orrot állattermékek frissességének, tárolás alatt bekövetkező változásainak nyomon követésére. Labreche és csoportja (2005) időközben tej polcontarthatósági idejét határozta meg adott tárolási kísérlet során, melyhez egy fémoxid szenzorokat tartalmazó elektronikus orrot használtak.

Tognon és kutatótársai (2005) lisztek mikotoxinos szennyezettségét, Zhang és munkatársai (2005) fűszerkeverékek azonosítását, összetételének vizsgálatát végezték EN segítségével, ahol is a készülékek mindkét esetben kiváló teljesítményt nyújtottak.

Lebrun és csapata (2008) mangó optimális szüretidejének becslését vitte sikerre egy elektronikus orr igénybevételeivel, Zhang (2012) pedig a technikát alkalmasnak találta őszibarackok minőségjellemzőinek nyomon követésére is.

Viszonylag friss kutatások között említhető Liu és kollégái (2012) kísérlete, ahol szeszesitalok kategorizálására tudták felhasználni az EN koncepcióját annak ellenére, hogy az alkohollal – éppen a szenzorokon való tartós kötődése révén – egyébként csak igen nehezen kivitelezhetők mérések.

Egy másik kutatócsoport teaminták csoportba sorolását végezve jutott nemrégiben biztató eredményre elektronikus orr és elektronikus nyelv kombinált alkalmazásával (Banerjee et al., 2012).

Az elektronikus orrnak gyors, pontos és egyszerű méréstechnikai módszerként napjainkban meglehetősen fontos szerep jut az élet megannyi területén. Az élelmiszeriparban segítségével például becsülhető a polcontarthatósági idő, kimutathatók a romlásra utaló aromaanyagok, lehetővé válik minőségi osztályok kialakítása, előre jelezhető a szüretidő, és még sorolhatnánk.

Bizonyos élelmiszerek speciális paramétereinek vizsgálati módja, a megfelelő elektronikus orr és szenzorok használata, a helyes adatelemzési technika és környezeti paraméterek megválasztása mind-mind olyan tényezők, amelyeket a mérések tervezésénél figyelembe kell venni. E pillanatban a szenzorok érzékenysége még gátat szab ugyan a különleges illékony komponensek érzékelésének, azonban új, pontos, reprodukálható jelválaszú, és nem utolsósorban megfizethető árú érzékelők előállításával lehetővé válhat a módszer még szélesebb körben való elterjedése.

Napjainkban főként amerikai, japán és európai cégek foglalkoznak elektronikus orrok gyártásával. Közéjük tartozik a Cyrano Science (USA), a Neotronic Scientific Inc. (USA), a

Lennartz Electronic (Németország), az Alpha M.O.S. (Franciaország) és a svéd Nordic Sensor Technologies, illetve S-SENCE (Ólafsdottir, 2003). Ezenkívül számos felsőoktatási intézményben folyik új típusú készülékek és szenzorok kifejlesztése. E kutatások célja elsősorban hibrid-, bio- és nano-érzékelők létrehozása, a készülékek méretcsökkentésének előmozdítása, valamint a környezeti paraméterek érzékelőkre gyakorolt hatásának minimalizálása (Bhattacharyya et al., 2010).

3 Célkitűzések

Az irodalmi áttekintés során igyekeztem összefoglalni a HHP technológiával, valamint az elektronikus orral kapcsolatos legfontosabb tudnivalókat. Kitértem a nagy hidrosztatikus nyomású élelmiszertartósítási eljárásban rejlő potenciális lehetőségekre, a technika vitathatatlan előnyeire, esetleges hátrányaira és korlátozó tényezőire, egyúttal rámutattam az elektronikus orr kivételes méréstechnikai képességeire.

A fellelhető szakirodalmi források alapján megállapítottam, hogy a nyomáskezelés hatásainak felmérése elengedhetetlen a termék- és technológia-fejlesztés bonyolult folyamata során, ugyanakkor azt tapasztaltam, viszonylag szűk a publikációk azon köre, amely kifejezetten a produktumok, különösképpen gyümölcstermékek, fogyasztói szemszögből releváns tulajdonságaiban bekövetkezett változásokkal foglalkozik. Egyértelművé vált számomra, hogy a nagy hidrosztatikus nyomás tartósító eljárásaként való alkalmazása főként olyan termékek esetében kifizetődő, ahol a hozzáadott érték jelentette többletköltség könnyebben elfogadható a vásárlókkal. Ilyen tekintetben az értékes friss, illetve kéméletes eljárásokkal tartósított bogyósgyümölcs-pürék műszeres és humán vizsgálati módszereinek összehasonlítását izgalmas kutatási területnek találtam. Mindezek alapján dolgozatomban a következő kérdésekre szerettem volna választ kapni:

1. Alkalmazható-e az elektronikus orr málna- és szamócapürék kéméletes tartósító eljárások hatására bekövetkező aromaváltozásainak nyomon követésére?
2. A HHP kezelés mely paraméterei gyakorolják a legnagyobb hatást a minták aromakomponenseire?
3. Összességében az „átlagos” fogyasztói kört reprezentáló bírálói csoport vagy az elektronikus orr képes hatékonyabban elkülöníteni a kontroll és kezelt mintaegységeket?

4 Anyagok és módszerek

4.1 Gyümölcs-alapanyagok és minta-előkészítés

A kísérleteimhez használt friss málna és szamóca alapanyagot helyi piacról szereztem be, melyeket egy Robot-Coupe C80 típusú passzírozó géppel pürésítettem (**1. ábra**). Az elkészült püréből 20 g mennyiségeket polietilén tasakokba mértem, és fóliahegesztővel légtérmentesen lehegesztettem. Az elkészült tasakokat egy Nortech QCF 103 mikrokristályos fagyasztó berendezéssel megfagyasztottam (**2. ábra**), majd felhasználásig -24 °C-on tároltam.



1. ábra Bogyópüré készítése Robot Coupe C80A passzírozó géppel



2. ábra Püré tasakok fagyasztása Nortech QCF 103 mikrokristályos fagyasztógéppel

4.2 A gyümölcspürék HHP kezelése

A műanyag tasakokba töltött málna és szamócapüréket nyomáskezelés előtt kivettem a fagyasztószekrényből, és kézmeleg vízben felengedtettem. A nyomáskezelést egy RESATO FPU 100-2000 nagy hidrosztatikus nyomású élelmiszer-tartósító berendezésben (Resato International B.V., Hollandia; **3. ábra**) végeztem, mely egy nyomásfokozó egységből (1600 mm x 2200 mm x 830 mm; 1200 kg) és egy kezelő egységből (1300 mm x 950 mm x 1400 mm; 4500 kg) áll. A kezelőkamra térfogata 2 liter, a nyomásátadó közeg ún. RESATO PG Fluid. Az elérhető maximális nyomás értéke 1000 MPa (10.000 bar). A nyomásemelés és kezelés időtartama tetszés szerint beállítható. A berendezéshez kapcsolódó termosztát segítségével a kezelés hőmérséklete - 20 °C és + 120 °C között szabályozható. A berendezés a rendszerhez kapcsolt vezérlőpultról programozható, irányítható. A kezelési ciklusok nyomás – hőmérséklet értékei digitális formában automatikusan tárolódnak.



3. ábra RESATO FPU 100-2000 nagy hidrosztatikus nyomású berendezés

A nyomáskezeléseket 5 sorozatban végeztem el. Az **1. táblázat** szemlélteti az egyes sorozatok során alkalmazott beállításokat. Mindegyik sorozatban más műveleti paramétert változtattam, és a kontroll (kezeletlen) minták mellett három különböző kezelésű mintát állítottam elő. Az első sorozatban a nyomáskezelés nagyságának hatását vizsgáltam (400, 500 és 600 MPa), a másodikban a kezelési hőmérsékletet (10, 30 és 50 °C), a harmadikban a nyomásemelés idejét (60, 120 és 180 mp/100 MPa), a negyedikben a tartási időt (5, 10 és 15 perc), míg az ötödikben a ciklusok számát (1, 2 és 3). Kísérleteim alkalmával mindig csak egyetlen paramétert változtattam az adott ciklusban, s a többi tényezőt a legkisebb értékre állítottam (400 MPa, 10 °C, 60 s/100 MPa, 5 perc tartás, 1 ciklus). A kezelési szintek megválasztásánál részben az ipari körülmények között elterjedten használt értékeket vettem alapul (nyomás és tartási idő), ugyanakkor a hőmérsékletnél igyekeztem minél szélesebb intervallumot felölelni, egyúttal viszont az enyhe pasztörözési hőfok alatt maradni.

1. táblázat Bogyósgyümölcs-pürék nagynyomású kezelés-sorozatainak paraméterei

	Nyomás (MPa)	Hőmérséklet (°C)	Nyomásemelési sebesség (mp/100 MPa)	Tartási idő (perc)	Ciklusok száma (db)
1. sorozat	400	10	60	5	1 (1 kezelési ciklus 5 perces -300 mp-es- tartással)
	500				
	600				
2. sorozat	400	10	60	5	1 (1 kezelési ciklus 5 perces -300 mp-es- tartással)
		30			
		50			
3. sorozat	400	10	60	5	1 (1 kezelési ciklus 5 perces -300 mp-es- tartással)
			120		
			180		
4. sorozat	400	10	60	5	1 (1 kezelési ciklus 5 perces -300 mp-es- tartással)
				10	
				15	
5. sorozat	400	10	60	5	1 (1 kezelési ciklus 5 perces - 300 mp-es- tartással)
					2 (2 kezelési ciklus, egyenként 2,5 perces -150 mp-es- tartással)
					3 (3 kezelési ciklus egyenként 1,67 perces -100 mp-es- tartással)

A kezelések során rögzített nyomás-hőmérséklet viszonyokat a **1-5. mellékletek** mutatják. A kezeléseket követően az elektronikus orr vizsgálatok és az érzékszervi bírálatok azonnal végrehajtásra kerültek.

4.3 Elektronikus orr vizsgálatok



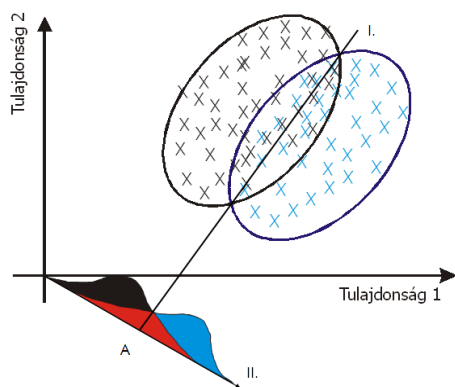
4. ábra NST 3320 elektronikus orr

Az elektronikus orr mérések során a mintákból hígítatlanul 5,0-5,0 g-nyi mennyiséget gázkromatográfiás mérésekhez használt 30 ml térfogatú üvegcsékbe tettem, majd teflon bevonatú záróelemmel lezártam azokat. Mintánként három üvegcsét töltöttem meg, melyekből a készülék mindig három ismételtsben vett mintát. A mérésekhez használt NST 3320 típusú elektronikus orr (Applied Sensor Technology, Linköping, Svédország; **4. ábra**) 10 katalitikus fém érzékelőt (MOSFET, metal oxide semiconductor field effect transistor), 12 fém-oxid félvezetőt (MOS, metal oxide

semiconductor) és egy relatív nedvességtartalmat meghatározó szenzort tartalmazott. Tiszta referenciagázként szárítóoszlopon (szilika gél) és aktív szén oszlopon átáramoltatott környezeti levegő szolgált. A gázáramlás sebessége 50 ml/perc volt. Az alapvonal felvétele 10 másodpercig tartott, amit 30 másodperces mintagáz áramoltatás követett. A szenzorok regenerálódása 260 másodpercet vett igénybe és egy 60 másodperces öblítéssel egészült ki. A mérés hőmérséklete 20 °C volt. A szenzoroként rögzített adatsorból mérésenként az alapvonal és a maximális jelintenzitás különbségét használtam fel a többváltozós statisztikai elemzés bemeneti adataként. Az elektronikus orr szenzor-jelválasz adatait lineáris diszkriminancia-analízissel (LDA) dolgoztam fel (SPSS 20.0).

4.4 Lineáris diszkriminancia-analízis

A lineáris diszkriminancia-analízis az ún. felügyelt módszerek csoportjába tartozó többváltozós statisztikai módszer. Az analízis során a feladat a csoportok szétválasztása úgy, hogy a csoportok közötti variációt maximalizáljuk, miközben a csoporton belülit minimalizáljuk. Az algoritmus a megfigyeléseket a mintatérből egy olyan diszkrimináló térbe viszi át, ahol a csoportok a lehető legjobban elkülönülnek, és kiválasztja azokat a változókat, amelyek a csoportok különbözőségét határozottan magyarázzák. A szeparáló eljárás azokat a hiperfelületeket keresi, amelyek elválasztják egymástól a minta osztályait, feltételezve, hogy az azonos osztályokban szereplő elemek „közel”, a különböző osztályokban szereplők pedig „távol” helyezkednek el egymástól.



5. ábra A diszkriminancia-analízis szórásfelbontásának elve (Dalmadi et al., 2007)

A módszer lényegében a következőképpen jár el (**5. ábra**): a két halmazt körülvevő szórás-ellipszis metszéspontjain át egyenest (I.) fektet, majd erre az origón átmenő merőleges egyenest illeszt. Ha a pontokat a II. egyenesre vetítjük, akkor a két csoport egyváltozós eloszlása közötti átfedés kisebb lesz, mint bármilyen más egyenes esetén. Az I. egyenes segítségével osztható a minta két csoportba. Ha a szórás-ellipszisek átfednek, akkor az alkotott modell nem adja

vissza az összes minta eredeti csoportba tartozását. A szétválasztás jósága vizsgálható annak alapján, hogy az elemek hányad részét sikerült helyesen besorolni (Dalmadi et al., 2007).

4.5 Érzékszervi bírálatok

A műszeres méréssel párhuzamosan érzékszervi bírálatot is végeztem, ahol a legalább tíz főből álló, képzett és laikus, jellemzően 25-65 év közötti egyéneket magában foglaló bíráló panel háromszög-módszerrel (MSZ ISO 6658:2001; Lawless & Heymann, 2010) vizsgálta, hogy a kontroll és a különböző HHP-kezelt minták megkülönböztethetők-e egymástól csupán az illatuk alapján. A háromszög-próba lényege, hogy egy adott mintahármason belül két minta mindig azonos, egy pedig különböző, s a bírálóknak az eltérőt kell kiválasztaniuk (6. melléklet). A bírálatok mindegyike laboratóriumi körülmények között zajlott, ugyanakkor külön bírálati fülkék nem kerültek kialakításra.

5 Eredmények és értékelés

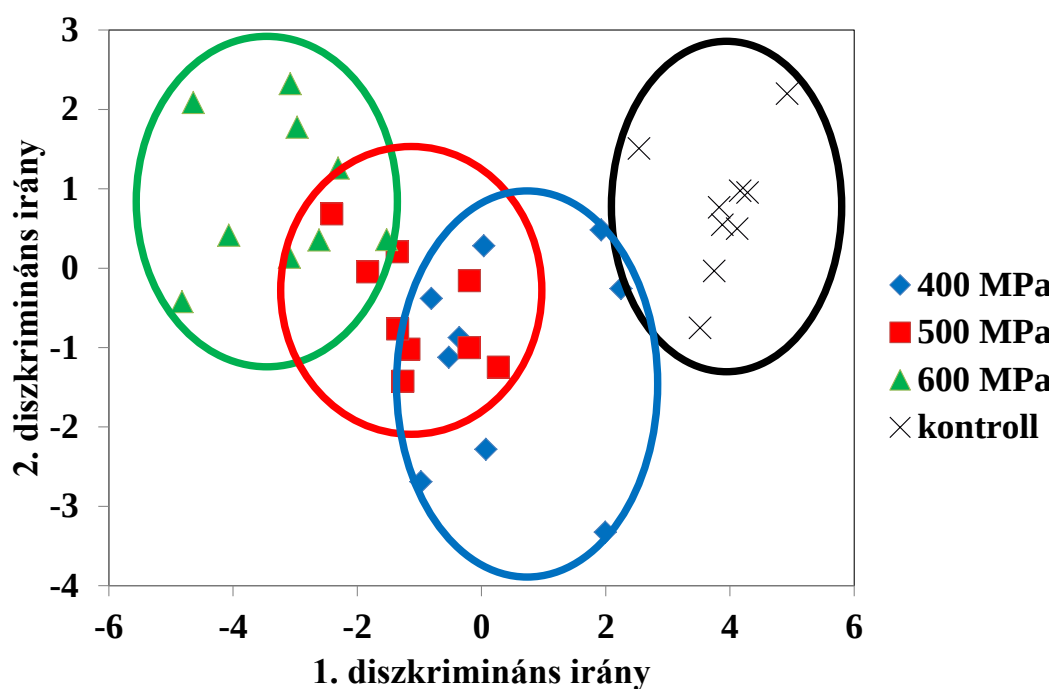
5.1 Elektronikus orr vizsgálatok eredményei

5.1.1 Különböző nyomáson kezelt minták elektronikus orr vizsgálatának eredményei

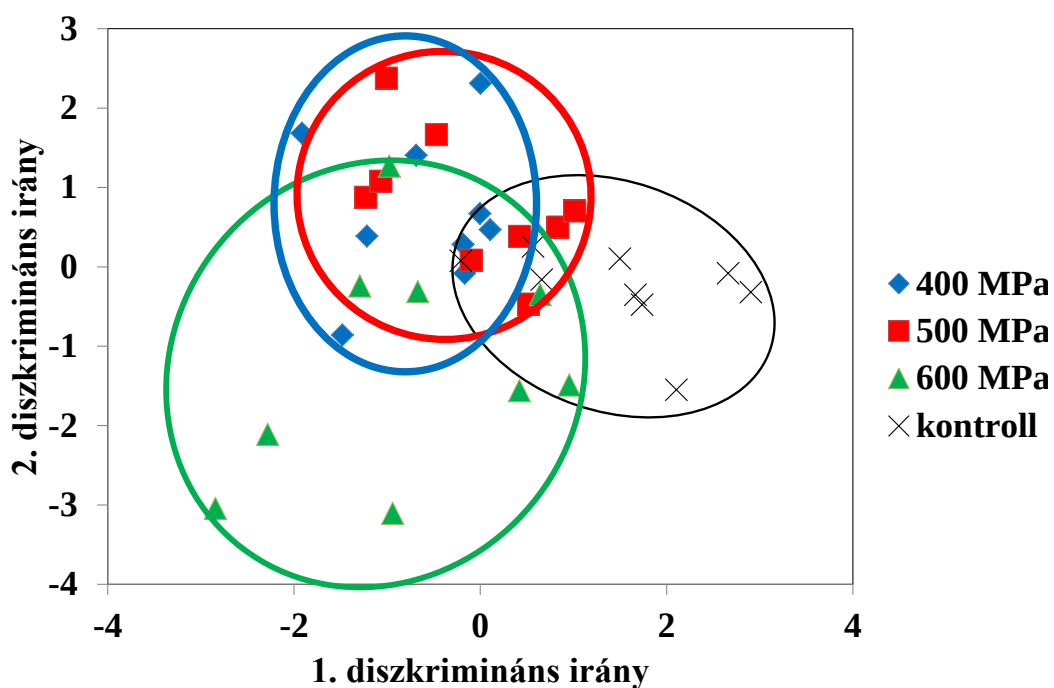
Az eredmények alapján az elektronikus orr szenzorai kellően érzékenyen reagáltak az eltérő paraméterek mellett nyomáskezelt minták illékony komponensbeli különbségeire.

Málna esetében (**6. ábra**) a különböző nyomáson kezelt mintacsoportok viszonylag jól elhatárolódtak egymástól, és a kontroll minták csoportjától is. Bár szamóca esetében (**7. ábra**) kevésbé volt határozott a csoportok elkülönülése, a nyomáskezelt és kontroll csoportok között sikerült különbséget kimutatni. Átfedések mindkét gyümölcspüré esetében elsősorban a 400 és 500 MPa-on kezelt mintacsoportok között jelentkeztek.

A teljes keresztvalidációval nyert eredmények (**2. táblázat**) alapján, málna minták esetében a kontroll, illetve a legnagyobb, 600 MPa nyomáskezelésnek alávetett csoportok egyes tagjait egészen jó, kb. 80-90 %-os hatékonysággal sikerült azonosítani, viszont a 400 és 500 MPa nyomásnak kitett minták esetében a csoportba sorolás hatásfoka nem érte el még az 50 %-ot sem. A szamóca mintákkal végzett elektronikus orr mérések során a tévesztések ennél jelentősebbnek bizonyultak, keresztvalidációt követően egyedül a kontroll mintacsoport elemeit sikerült 50 % feletti hatásfokkal helyesen besorolni. Az ábrákon feltüntetett ellipszisek statisztikai jelentőséggel nem bírnak, csupán a csoportok becsült határait kívánják szemléltetni.



6. ábra Diszkriminancia-analízis eredménye eltérő nyomáson kezelt málna minták elektronikus orr vizsgálat jelválaszai alapján



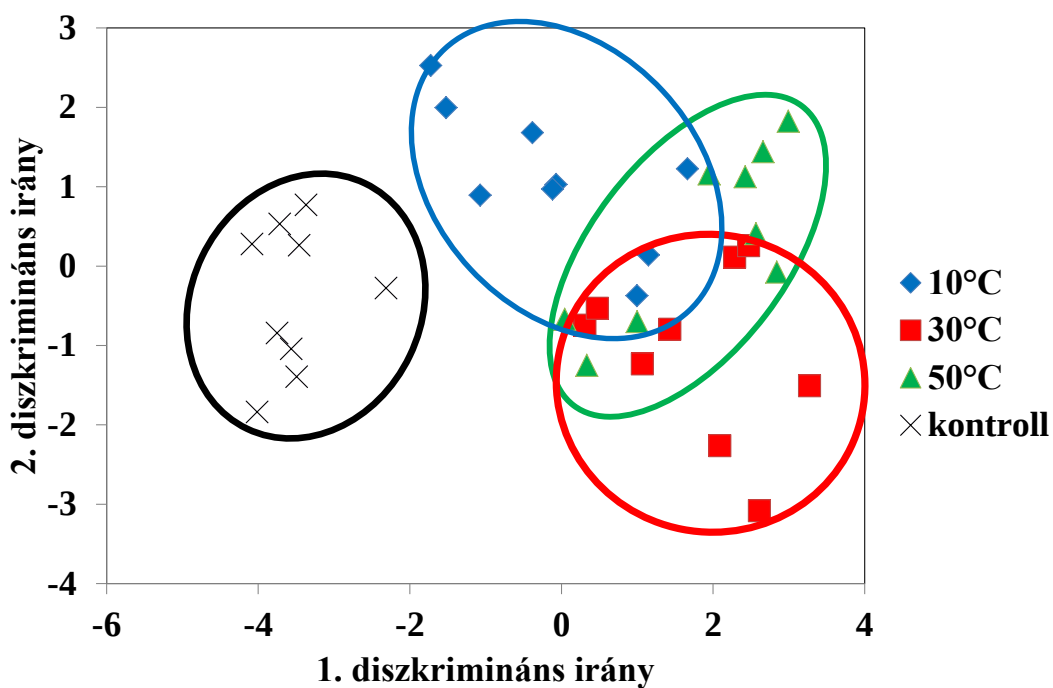
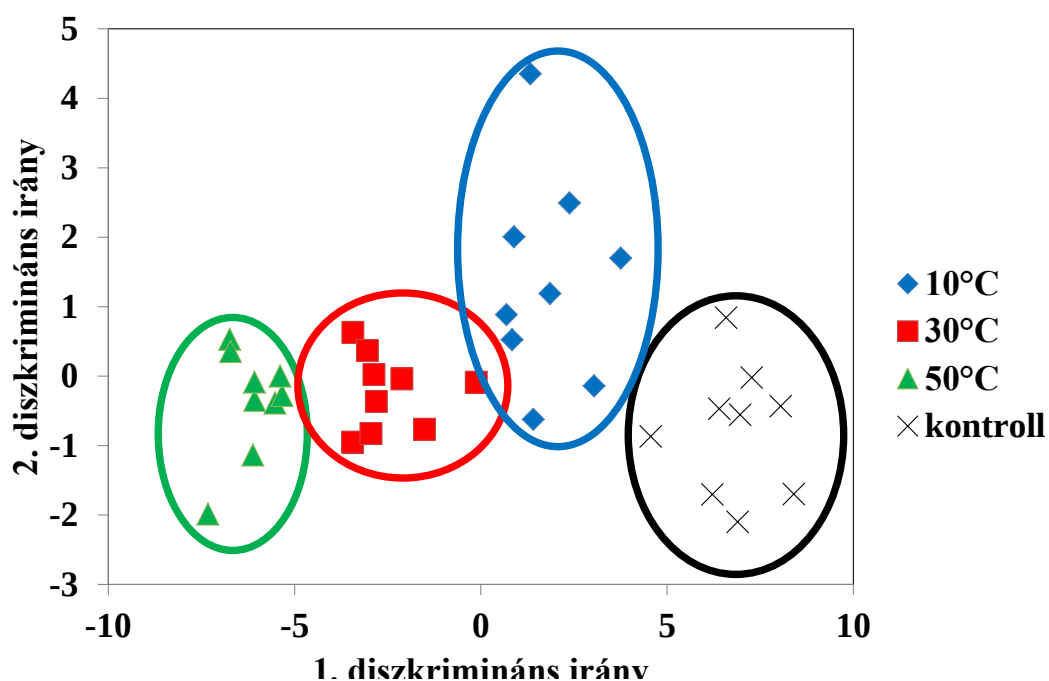
7. ábra Diszkriminancia-analízis eredménye eltérő nyomáson kezelt szamóca minták elektronikus orr vizsgálat jelválaszai alapján

2. táblázat Csoportba sorolás helyessége különböző nyomásokon kezelt málna és szamóca minták esetében a teljes keresztvalidáció során

			Számított csoportba tartozás (%)			
			Kontroll	400 MPa	500 MPa	600 MPa
Málna	Eredeti	Kontroll	100.0	0	0	0
		400 MPa	11.1	77.8	11.1	0
		500 MPa	0	11.1	77.8	11.1
		600 MPa	0	0	0	100.0
	Keresztvalidált	Kontroll	88.9	11.1	0	0
		400 MPa	22.2	33.4	44.4	0
		500 MPa	11.1	22.2	33.3	33.3
		600 MPa	0	11.1	11.1	77.8
Szamóca	Eredeti	Kontroll	88.9	0	11.1	0
		400 MPa	0	66.7	33.3	0
		500 MPa	22.2	11.1	66.7	0
		600 MPa	22.2	22.2	11.1	44.4
	Keresztvalidált	Kontroll	55.6	22.2	11.1	11.1
		400 MPa	11.1	22.2	44.4	22.2
		500 MPa	44.4	33.3	22.2	0
		600 MPa	33.3	22.2	11.1	33.3

5.1.2 Különböző hőmérsékleten kezelt minták elektronikus orr vizsgálatának eredményei

Az eltérő hőmérséklet mellett nyomáskezelt málna minták esetében a mintacsoportok jól kivehetően elkülönültek egymástól, lényeges átfedés szinte egyik esetben sem volt észrevehető (**8. ábra**). A szamóca minták (**9. ábra**) 30 és 50 °C hőmérsékletnek kitett tagjai ugyan erősen keveredtek egymással, ám a kontroll csoport ezúttal is megfelelően elkülönült a többi szegmenstől. A megfigyeléseket a keresztvalidációval nyert eredmények (**3. táblázat**) alátámasztották, hiszen a kontroll csoport tagjait egytől egyig hibátlanul sikerült azonosítani mindkét gyümölcspüré esetében.

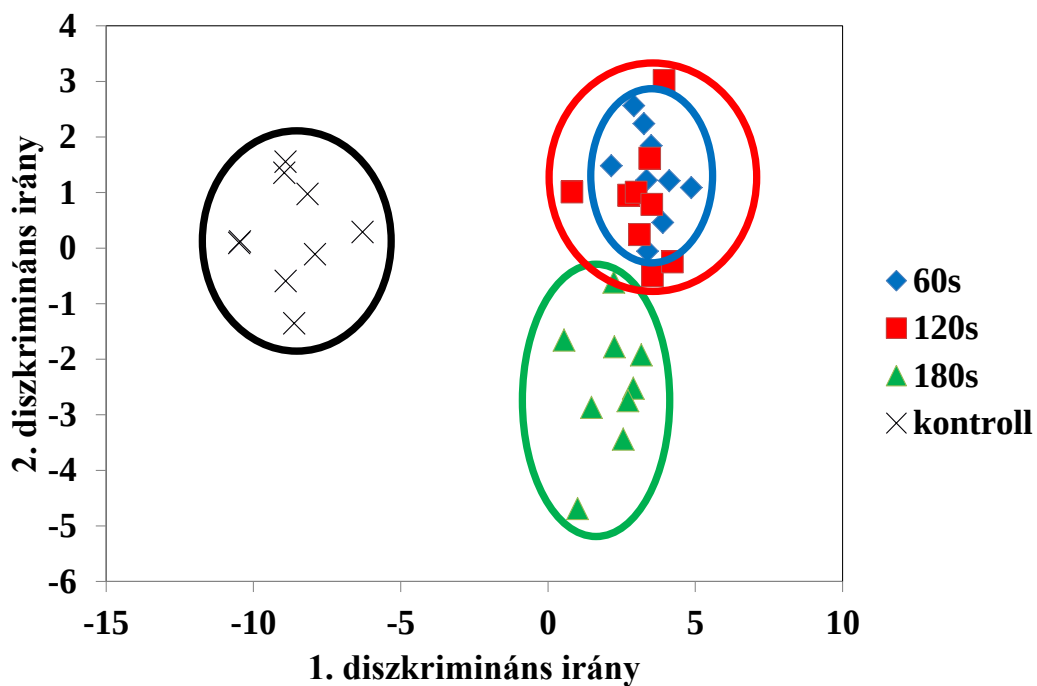


3. táblázat Csoportba sorolás helyessége különböző hőmérsékleten kezelt málna és szamóca minták esetében a teljes keresztvalidáció során

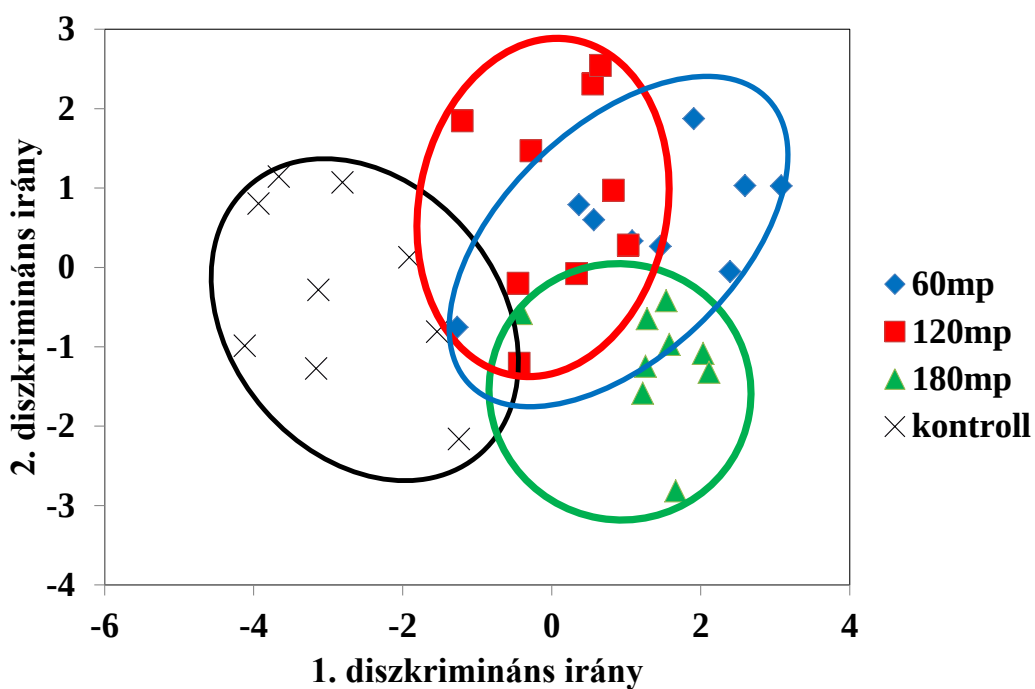
			Számított csoportba tartozás (%)			
			Kontroll	10 °C	30 °C	50 °C
Málna	Eredeti	Kontroll	100.0	0	0	0
		10 °C	0	100.0	0	0
		30 °C	0	0	100.0	0
		50 °C	0	0	0	100.0
	Keresztvalidált	Kontroll	100.0	0	0	0
		10 °C	11.1	66.7	22.2	0
		30 °C	0	11.1	88.9	0
		50 °C	0	11.1	0	88.9
Szamóca	Eredeti	Kontroll	100.0	0	0	0
		10 °C	0	77.8	0	22.2
		30 °C	0	0	66.7	33.3
		50 °C	0	0	22.2	77.8
	Keresztvalidált	Kontroll	100.0	0	0	0
		10 °C	0	66.7	0	33.3
		30 °C	0	11.1	44.4	44.4
		50 °C	0	22.2	33.3	44.4

5.1.3 Különböző nyomásemelési sebesség mellett kezelt minták elektronikus orr vizsgálatának eredményei

Az eltérő nyomásemelési sebesség a **10. ábra** értelmében szintén az elektronikus orr szenzorai számára érzékelhető illatkülönbséget eredményezett, málna esetében a kontroll csoport például kifejezetten markánsan határolódott el a nyomáskezelt minták körétől. A 60 és 120 s / 100 MPa nyomásemelési sebesség mellett nyomáskezelt málna csoportok egymás közötti távolsága csekély volt. Szamócapürék esetében (**11. ábra**) ezzel szemben a nyomáskezelt csoportok mindegyike valamivel nagyobb átfedést mutatott a többi csoporttal, ráadásul a kontroll minták köre sem volt olyannyira jól definiált. A keresztvalidációval nyert eredmények (**4. táblázat**) ugyanakkor rámutattak, hogy még így is kellő biztonsággal sikerült csoportba sorolni a kontroll mintákat mindkét gyümölcs-püré esetében, s a különbségtétel inkább a nyomáskezelt mintacsoportok között volt nehezebb.



10. ábra Diszkriminancia-analízis eredménye eltérő nyomásemelési sebesség mellett nyomáskezelt málna minták elektronikus orr vizsgálat jelválaszai alapján



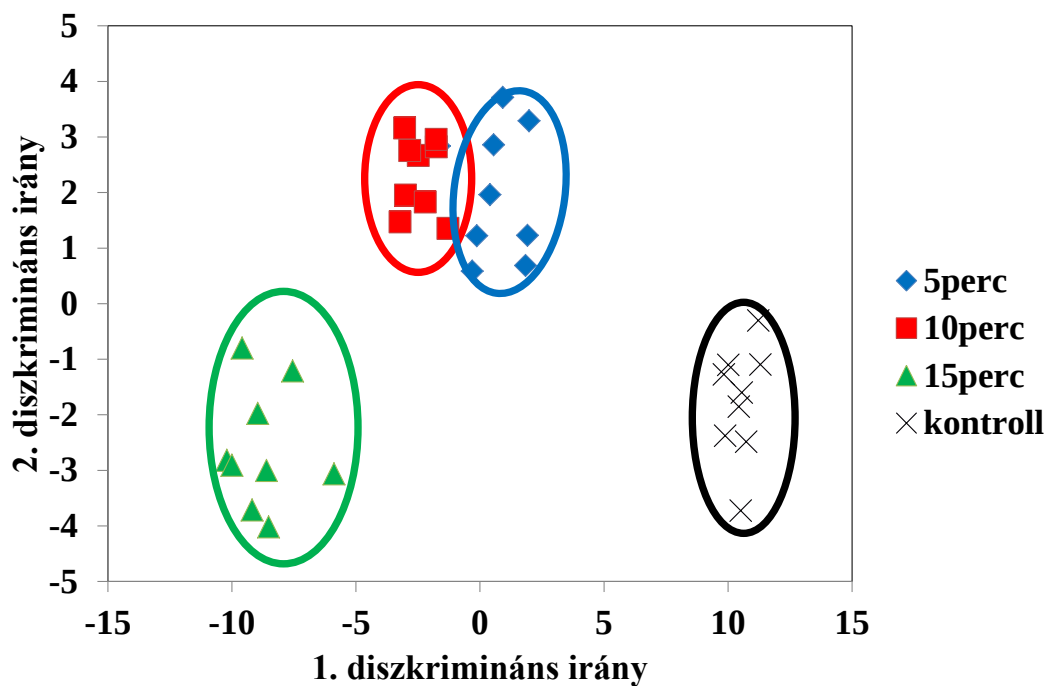
11. ábra Diszkriminancia-analízis eredménye eltérő nyomásemelési sebesség mellett nyomáskezelt szamóca minták elektronikus orr vizsgálat jelválaszai alapján

4. táblázat Csoportba sorolás helyessége különböző nyomásemelési sebesség mellett nyomáskezelt málna és szamóca minták esetében a teljes keresztvalidáció során

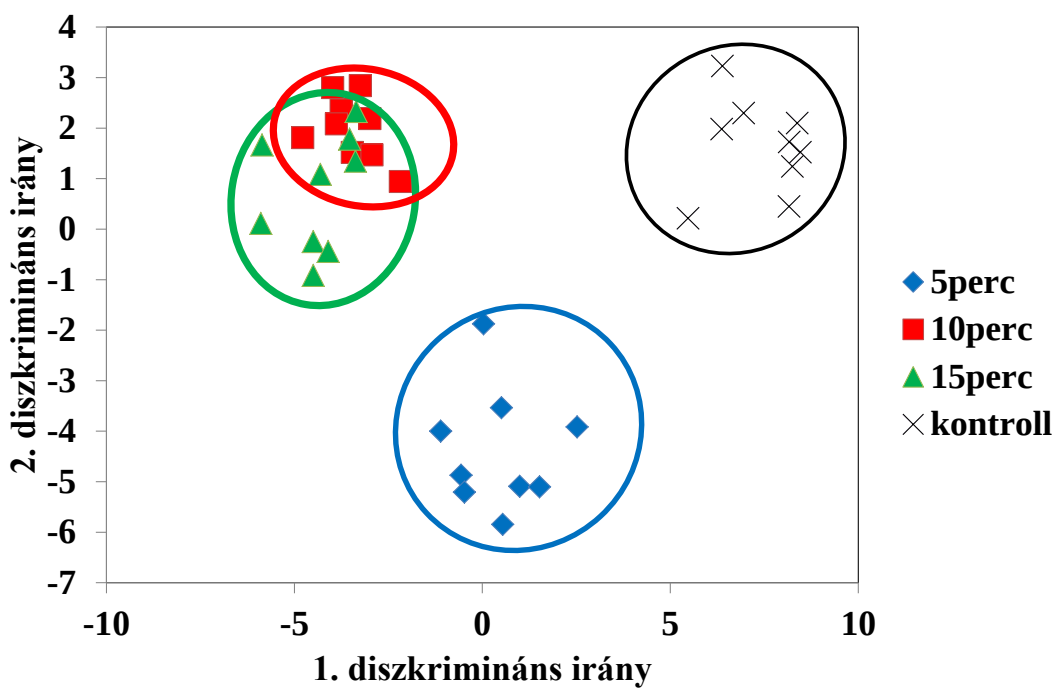
			Számított csoportba tartozás (%)			
			Kontroll	60 s	120 s	180 s
Málna	Eredeti	Kontroll	100.0	0	0	0
		60 s	0	88.9	11.1	0
		120 s	0	0	100.0	0
		180 s	0	0	0	100.0
	Keresztvalidált	Kontroll	88.9	0	0	11.1
		60 s	0	11.1	77.8	11.1
		120 s	0	44.4	33.3	22.2
		180 s	0	0	22.2	77.8
Szamóca	Eredeti	Kontroll	100.0	0	0	0
		60 s	11.1	66.7	11.1	11.1
		120 s	0	22.2	66.7	11.1
		180 s	0	11.1	11.1	77.8
	Keresztvalidált	Kontroll	77.8	0	11.1	11.1
		60 s	11.1	22.2	33.3	33.3
		120 s	11.1	33.3	33.3	22.2
		180 s	0	55.6	22.2	22.2

5.1.4 Különböző tartási idő mellett kezelt minták elektronikus orr vizsgálatának eredményei

A változó tartási idő mellett nyomáskezelt málna minták esetében mind a kontroll csoport, mind pedig a leghosszabb ideig (15 perc) nyomás alatt tartott minták köre jól elkülönült a másik két csoporttól (**12. ábra**). Szamócapürék vizsgálatakor (**13. ábra**) a kezeletlen minták ugyancsak élesen elhatárolódtak, de ezúttal az 5 perces tartási idővel nyomáskezelt csoport alkotott külön „egységet”, míg a másik két csoport távolsága ehhez képest csekély volt. A keresztvalidáció eredményei szerint mindkét kontroll bogyógyümölcs csoport esetében igen jó, megközelítőleg 90-100 %-os azonosítási határfok volt elérhető (**5. táblázat**).



12. ábra Diszkriminancia-analízis eredménye eltérő tartási idő mellett nyomáskezelt málna minták elektronikus orr vizsgálat jelválaszai alapján



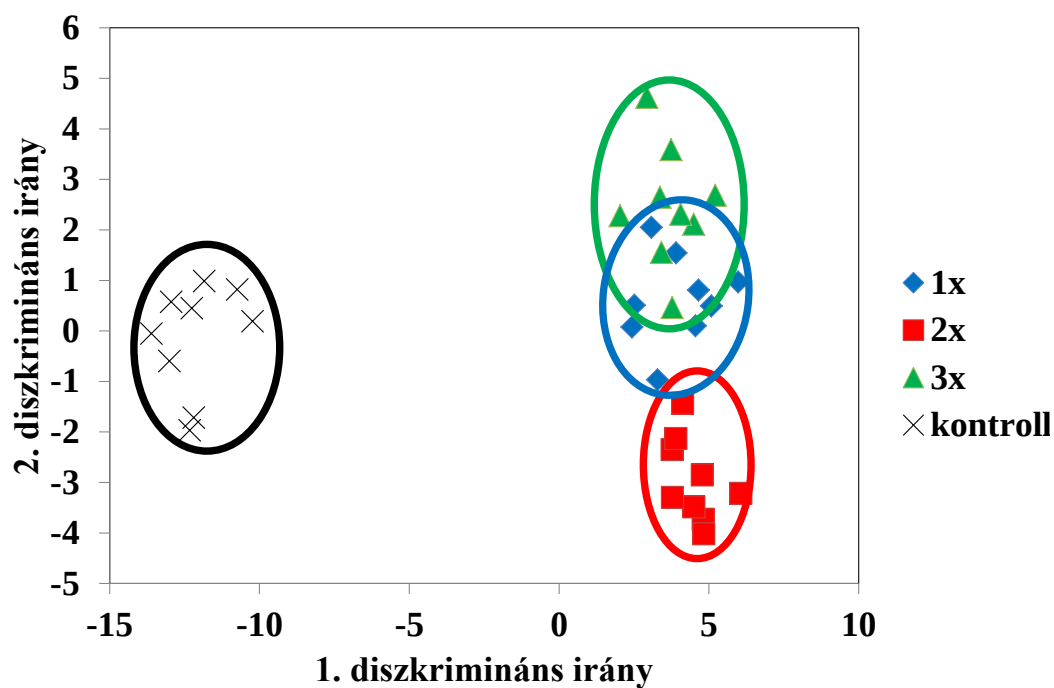
13. ábra Diszkriminancia-analízis eredménye eltérő tartási idő mellett nyomáskezelt szamóca minták elektronikus orr vizsgálat jelválaszai alapján

5. táblázat Csoportba sorolás helyessége különböző tartási idő mellett nyomáskezelt málna és szamóca minták esetében a teljes keresztvalidáció során

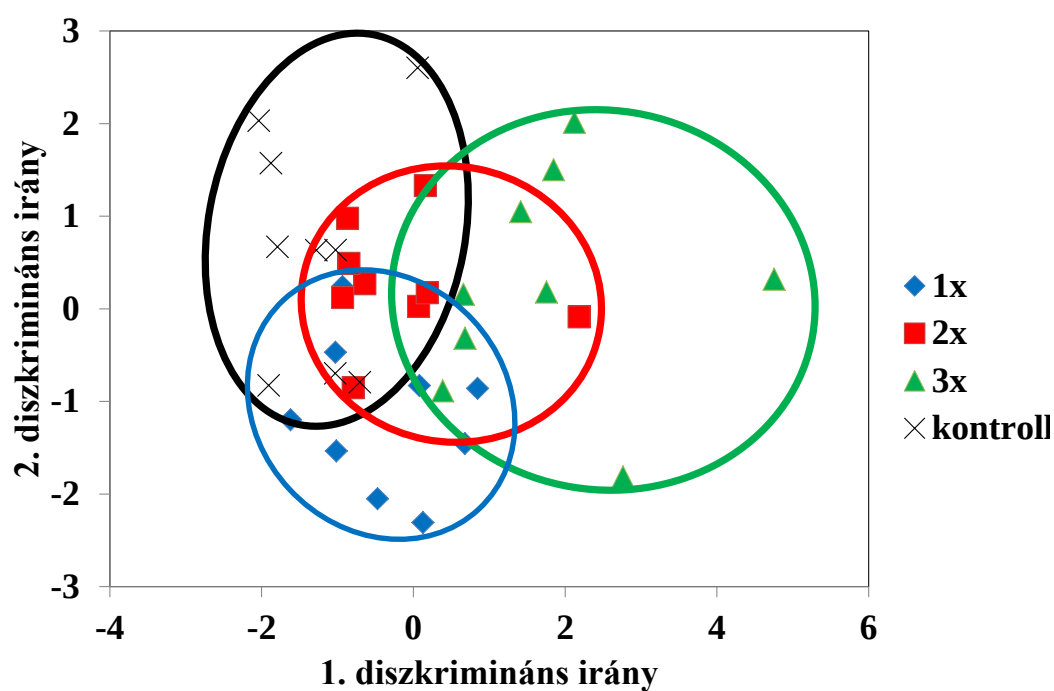
			Számított csoportba tartozás (%)			
			Kontroll	5 min.	10 min.	15 min.
Málna	Eredeti	Kontroll	100.0	0	0	0
		5 min.	0	88.9	11.1	0
		10 min.	0	0	100.0	0
		15 min.	0	0	0	100.0
	Keresztvalidált	Kontroll	100.0	0	0	0
		5 min.	0	77.8	22.2	0
		10 min.	0	22.2	66.7	11.1
		15 min.	0	0	0	100.0
Szamóca	Eredeti	Kontroll	100.0	0	0	0
		5 min.	0	100.0	0	0
		10 min.	0	0	100.0	0
		15 min.	0	0	0	100.0
	Keresztvalidált	Kontroll	88.9	11.1	0	0
		5 min.	0	77.8	11.1	11.1
		10 min.	0	0	66.7	33.3
		15 min.	0	0	44.4	55.6

5.1.5 Különböző ciklus-számok mellett kezelt minták elektronikus orr vizsgálatának eredményei

A változó ciklus-számok mellett nyomáskezelt gyümölcspürék eredményei igen meglepőek voltak, ugyanis a málna mintákra adott elektronikus orr szenzor-jelválaszokból nyert ábrán a kontroll és nyomáskezelt mintacsoportok közötti távolság kellően nagy volt (**14. ábra**), szamóca esetében viszont minimálisra csökkent, és az átfedések fokozódtak (**15. ábra**). A keresztvalidációval nyert eredmények (**6. táblázat**) ugyanezt igazolták, hiszen míg málna esetében 100 %-os pontossággal sikerült azonosítani a kontroll csoport tagjait, addig szamócánál ez az érték csak kb. 33 % volt, ráadásul a többi mintacsoport azonosítási hatásfoka is romlott.



14. ábra Diszkriminancia-analízis eredménye egy, két, illetve három ciklusban nyomáskezelt málna minták elektronikus orr vizsgálat jelválaszai alapján



15. ábra Diszkriminancia-analízis eredménye egy, két, illetve három ciklusban nyomáskezelt szamóca minták elektronikus orr vizsgálat jelválaszai alapján

6. táblázat Csoportba sorolás helyessége egy, két, illetve három ciklusban nyomáskezelt málna és szamóca minták esetében a teljes keresztvalidáció során

			Számított csoportba tartozás (%)			
			Kontroll	1 ciklus	2 ciklus	3 ciklus
Málna	Eredeti	Kontroll	100.0	0	0	0
		1 ciklus	0	88.9	0	11.1
		2 ciklus	0	0	100.0	0
		3 ciklus	0	11.1	0	88.9
	Keresztvalidált	Kontroll	100.0	0	0	0
		1 ciklus	0	55.6	11.1	33.3
		2 ciklus	0	22.2	77.8	0
		3 ciklus	0	22.2	11.1	66.7
Szamóca	Eredeti	Kontroll	55.6	33.3	11.1	0
		1 ciklus	0	77.8	22.2	0
		2 ciklus	11.1	11.1	66.7	11.1
		3 ciklus	0	11.1	11.1	77.8
	Keresztvalidált	Kontroll	33.3	33.3	11.1	22.2
		1 ciklus	22.2	33.3	33.3	11.1
		2 ciklus	33.3	11.1	44.4	11.1
		3 ciklus	0	11.1	33.3	55.6

Hogy eldönthessem, mely kezelési paraméter változtatása gyakorolta a legnagyobb hatást a mintákra, a diszkriminancia-analízis output fájljaiból kigyűjtöttem a csoportok szétválasztásának hatékonyságát mutató mérőszámokat (**7. táblázat**).

7. táblázat Az egyes kezelési paraméterek változtatásának hatása az elektronikus orr szenzor-jelválaszaiból felállított diszkriminancia-analízis modell néhány jellemző mérőszámára

Változtatott kezelési paraméter	Az 1. diszkriminációs irány sajátértéke		Csoportba sorolás jósága (%)			
			eredeti modell		keresztvalidált	
	málna	szamóca	málna	szamóca	málna	szamóca
Nyomás	7,554	0,922	88,9	66,7	58,3	33,3
Hőmérséklet	26,32	5,38	100	80,6	86,1	63,9
Nyomásemelési sebessége	28,957	3,302	97,2	77,8	52,8	38,9
Tartási idő	54,109	24,221	97,2	100	86,1	72,2
Ciklusok száma	55,256	1,445	94,4	69,4	75	41,7

Megjegyzés:
zöld: a csoportok között a különbség a legnagyobb;
sárga: a csoportok között a különbség a 2. legnagyobb;
kék: a csoportok között a különbség a legkisebb

A táblázat egyrészt tartalmazza a helyes csoportba sorolási mutatószámokat (mind a modellalkotás, mind a teljes keresztvalidáció során), másrészt az ún. sajátértékeket is. A sajátérték (Eigenvalue) mutatja meg számszerűen, hogy a csoportok között meghatározott szórásnégyzet-összeg hányszor nagyobb, mint a csoporton belül számított. Minél nagyobb ez az érték, annál határozottabban különböztethetők meg az egyes csoportok egymástól. Bár minden diszkrimináns irányhoz rendelhető ilyen mutatószám, mivel a legnagyobb változás minden esetben az első diszkrimináns irány mentén történt, ezért a 7. táblázatban csak az első irányhoz tartozó sajátértékeket mutatom be. A táblázatban különböző színekkel kiemeltem, hogy az egyes statisztikai mérőszámoknál (oszlopnál) mely érték lett a legjobb (zöld), a második legjobb (sárga), illetve a legkevésbé jó (kék).

A színjelöléseket megfigyelve elmondható, hogy a legnagyobb hatással (a mintacsoportok legjobb szétválasztását lehetővé téve) a tartási idő változtatása bírt, hiszen a hat mutatószámból négy esetben ez lett a legkiválóbb (zöld), s két esetben a második legjobb (sárga). Ezen kívül kiemelhető még a hőmérséklet szerepe is, amit a hatból öt színjelöléssel ellátott hely példáz. A legkevésbé jó (kék) eredményeket szemlélve megállapítható, hogy a nyomásszint változtatása okozta a legkisebb változást.

5.2 Érzékszervi bírálatok eredményei

Az öt bírálati ciklus alkalmával az átlagosan 12 résztvevő mindegyike összesen hat darab mintahármaszt kapott, s csak az illatot vizsgálták. Egy adott ciklusban mindig egy változtatott kezelési paraméter illékony komponensekre gyakorolt hatását vizsgáltam.

A bírálati lapon (**6. melléklet**) a bírálóknak egy nullától tízig terjedő intervallumban is meg kellett jelölniük, hogy mennyire biztosak döntésükben. A nulla a teljes bizonytalanságot testesítette meg, míg a tízes értéket valamely tisztán kivehető különbség észlelése esetén írhatták be.

Az érzékszervi bírálatok eredményeit a **8. táblázat** foglalja össze. Az eredmények szerint az első sorozatban, ahol is a 400, 500 és 600 MPa mellett kezelt málna és szamóca minták kerültek összevetésre a kontroll mintákkal, 11 bírálóból egyetlen mintahármas esetében sem jelölte meg ötnél több a helyes választ – azaz az 5 %-os szignifikancia szint mellett elvárt legalább hét helyes válasz feltétele nem teljesült. A minták között a bírálat adatai alapján nem volt szignifikáns különbség.

Az ezt követő tesztek hasonló eredménnyel szolgáltak, hiszen egyetlen esetet kivéve sehol sem adott kellő számú bíráló helyes választ ahhoz, hogy a minták között fennálló szignifikáns különbség ténye igazolható legyen. Egyedül az eltérő hőmérsékleten kezelt pürék

körében sikerült statisztikailag megalapozott különbséget felfedezni, ahol is a legmagasabb, 50 °C-on kezelt málna mintát tíz bírálóból hét különböztette meg helyesen a kontrolltól.

Bár az érzékszervi tesztek során egy esetben sikerült szignifikáns különbséget kimutatni a kezeletlen és nyomáskezelt minták között, a bírálók döntési biztonsága jellemzően olyan alacsony volt, hogy a választások inkább „tippként” értelmezhetők, mintsem bárki számára könnyen észlelhető, az illat terén bekövetkező változásként. A 10-17 bírálóból általában kettő-három, elvétve négy-hat jelölte meg helytállóan az eltérő mintát. Ilyen módon tehát elmondható, hogy a különbségek semmiképpen sem voltak jelentősek, a bírálók nem tudták egyértelműen megkülönböztetni az eltérő paraméterek mellett nyomáskezelt mintákat.

8. táblázat Különböző beállítások mellett nyomáskezelt bogyógyümölcs minták háromszög-próbával végzett érzékszervi bírálatának eredményei

Módosított paraméter	Beállított paraméter-szintek kis-közepes-nagy	Helyes válaszok száma						Bírálok száma (fő)	Szignifikáns különbséghez tartozó helyes válaszok száma
		málna			szamóca				
		kis	közepes	nagy	kis	közepes	nagy		
Nyomás (MPa)	400-500-600	3	5	4	2	3	1	11	7
Hőmérséklet (°C)	10-30-50	4	3	7	5	5	3	10	7
Nyomásemelés sebessége (s/100 MPa)	60-120-180	3	3	3	6	6	5	13	8
Tartási idő (min.)	5-10-15	3	5	4	2	6	2	17	10
Ciklusok száma (db)	1-2-3	1	2	3	4	3	3	10	7

6 Következtetések

Eredményeim rámutattak, hogy bár a nagy hidrosztatikus nyomású kezelés illékony komponensekre gyakorolt hatása elektronikus orral egészen jól vizsgálható, a kezelt minták nem különböztethetők meg egyértelműen egymástól. Hasonló megállapításra jutottak korábbi kutatások kapcsán is, ahol többek között különböző módon kezelt (hő- és HHP-kezelt) bogyósgyümölcs-püréket (Dalmadi et al., 2007), egy másik esetben pedig *Alicyclobacillus acidoterrestris*-szel beoltott, majd eltérő tartósítási eljárásoknak (PEF, HHP) alávetett citrusleveket különítették el egymástól elektronikus orr segítségével (Hartyáni et al., 2013).

Megfogalmazható továbbá, hogy a kezelés hatására bekövetkező változásokat illetően egyetlen gyümölcsfajta vizsgálata alapján nem lehet általános következtetést levonni, hiszen a málna és a szamóca minták csak esetenként mutattak hasonlóságot. Ugyanezt tapasztalta Hartyáni munkatársaival, mikor különböző módon (PEF és HHP) kezelt citrom-, grapefruit- és narancslevek változásait vizsgálták elektronikus orral (Hartyáni et al., 2011).

Elemezve a jelen tanulmányban vizsgált paraméterek aromára gyakorolt hatását, megállapítható, hogy a kezelési hőmérséklet és a tartási idő esetében sikerült számottevő hatást kimutatni, ugyanakkor a nyomáskezelés szintjénél ez már kevésbé volt egyértelmű. Az is megerősítést nyert továbbá, hogy az érzékszervi tulajdonságok vizsgálata során az elektronikus orr érzékenyebben reagált a kezeletlen és HHP-kezelt minták közötti különbségekre, mint az érzékszervi panel tagjai, így ez alapján az elektronikus orr ajánlható a nagynyomású kezeléssel tartósított termékek minőségének további vizsgálatához.

7 Összefoglalás

Korunkban az élelmiszer-minőség és biztonság együttese mind fontosabbá válik fogyasztói körökben, éppen ezért az élelmiszer előállítók és –forgalmazók is egyre nagyobb jelentőséget tulajdonítanak e tényezőknek. A nagy hidrosztatikus nyomású (HHP) kezelés segítségével a patogén és romlást okozó mikroorganizmusok száma úgy csökkenthető, hogy közben az élelmiszer értékes komponensei nem szenvednek kárt. A HHP olyan nem termikus tartósító eljárás, melynél a flexibilis csomagolásban lévő folyékony vagy szilárd élelmiszereket rendszerint 60 °C-nál kisebb hőmérsékletű közvetítő folyadékba merítik (víz, propilén-glikol, szilikonolaj, etanol, stb.), és jellemzően 100-1000 MPa nagyságú nyomásnak teszik ki. A termék- és technológiafejlesztés során az élelmiszerbiztonsági kérdések tisztázásán túl az érzékszervi tulajdonságokban bekövetkezett változások felmérése a legfontosabb. A valós következtetések levonásához szükséges, hogy az egyébként szubjektívnak vélt érzékszervi bírálatokat objektív módon valósíthassuk meg. Így hasznos, tudományos szempontból mindenképpen előremutató eredményeket hozhat a kezelt minták összehasonlításában a „műszeres érzékszervek” (elektronikus orr) használata.

Vizsgálataim során azt szerettem volna megállapítani, hogy a HHP kezelés paramétereinek változtatása miként hat a kezelt termékek elektronikus orral mérhető tulajdonságaira.

A vizsgálatokhoz friss állapotban pürésített málnát és szamócát használtam, melyeket 20 g tömegű adagok formájában polietilén tasakokba töltöttem, és lehegesztést követően -24 °C-on tároltam. A mintákat közvetlenül a kezeléseik elvégzése előtt engedtettem fel szobahőmérsékleten. A HHP kezeléseket egy RESATO FPU 100-2000 típusú nagy hidrosztatikus nyomású élelmiszer-tartósító berendezésben (Resato International B.V., Hollandia) végeztem, a vizsgált beállítások hatását pedig külön kezelés-sorozatokban tanulmányoztam. Minden sorozatban az adott vizsgált beállítás három különböző szintjét állítottam be, így a nyomáskezelésen át nem esett (kontroll) mintával együtt egy-egy sorozatban négy minta illékony komponensbeli különbségét hasonlítottam össze. Az első sorozatban a nyomás- (400, 500 és 600 MPa), a következőben a hőmérséklet- (10, 30 és 50 °C), majd a nyomásemelés sebessége- (60, 120 és 180 mp/100 MPa), a tartási idő- (5, 10 és 15 perc), végül a ciklus-számbeli eltérés (1, 2 és 3 db) jelentette a minták közötti különbséget a kontrollhoz képest. A nagynyomású kezeléseket követően az elektronikus orr méréseket (NST 3320 típusú elektronikus orr; Applied Sensor Technology, Linköping,

Svédország) és az érzékszervi bírálatokat azonnal elvégeztem. Az elektronikus orr szenzor-jelválasz adatait lineáris diszkriminancia-analízissel (LDA) dolgoztam fel (SPSS 20.0).

Általánosságban elmondható, hogy az aromában gazdagabb bogyósgyümölcsnél, azaz a málnánál, a csoportok közötti átfedések kisebbek voltak, ugyanakkor a kontroll csoport viszonylag jól megkülönböztethető volt a kezelt mintáktól mindkét gyümölcsnél. Az elkülönülés az 1. diszkrimináns irány mentén történt, ami azért fontos, mert ez az irány írja le a csoportok közötti varianciák legnagyobb részét. A kontroll csoport számóca esetében mutatott számottevő átfedést más csoportokkal. Ez alapján megállapítható volt, hogy a mintákban a HHP kezelések hatására olyan változások történtek, melyek az elektronikus orral kimutathatók voltak.

Az egyes paraméterek hatásának vizsgálata során elvégzett különböző nyomáskezelések eredményei között nem minden esetben lehet határozott elkülönülést kimutatni. Sőt, jellemzően inkább az átfedő csoportok voltak jellemzőek, melyek a számóca kezelt csoportjai körében jobban észrevehetőek voltak. Egyedül a különböző tartási idő mellett nyomáskezelt csoportok voltak viszonylag egyértelműen megkülönböztethetőek egymástól.

Ahogy a kontroll minták esetében málnánál lehetett nagyobb különbségeket felfedezni, a kezelt csoportok között szintén itt mutatkozott jelentősebb eltérés. A különböző hőmérsékleten és a különböző tartási idővel kezelt sorozatok nyomáskezelt mintái között lehetett viszonylag éles elkülönülést megfigyelni. Ezeknél a csoportoknál ténylegesen megmutatkozott az az elvárt trend, miszerint a vizsgált paraméter fokozatosan növelt szintje egyre nagyobb hatást gyakorol az illékony komponensekre. Ez a kontroll csoporttól egyre távolabbi csoport-elhelyezkedésben öltött testet. Az egyre növekvő kezelési hőmérséklet és az egyre hosszabb tartási idő számottevő változást idézett elő az illékony komponensekben. Hasonló tendencia a számócánál szintén a tartási idő vizsgálata során jelentkezett, ám a gyümölcs további sorozatainál csak igen nagy átfedésekkel, világosan kivehető trend nélkül lehetett a csoportokat elhelyezni a diszkrimináns térben.

Az érzékszervi bírálat eredményei alapján elmondható, hogy csupán egyetlen esetben sikerült szignifikáns különbséget kimutatni a kezeletlen és a kezelt minták között ($p < 0,05$). Ennek ismeretében megállapítható, hogy az elektronikus orr jóval érzékenyebben követte nyomon az illékony komponensek változásait, és olyan különbségeket is kimutatott, melyeket az érzékszervi bírálók nem voltak képesek.

Irodalomjegyzék

- Alpas, H. & Bozoglu, F. (2003): Efficiency of high pressure treatment for destruction of *Listeria monocytogenes* in fruit juices. *FEMS Immunology and Medical Microbiology*, 35 (3), 269-273.
- Awuah, G.B., Ramaswamy, H.S. & Economides, A. (2007): Thermal processing and quality: Principles and overview. *Chemical Engineering and Processing*, 46 (6), 584-602.
- Balasubramanian, S. & Balasubramaniam, V.M. (2003): Compression heating influence of pressure transmitting fluids on bacteria inactivation during high pressure processing. *Food Research International*, 36 (7), 661-668.
- Baldwin, E.A., Bai, J., Plotto, A. & Dea, S. (2011): Electronic Noses and Tongues: Applications for the Food and Pharmaceutical Industries. *Sensors*, 11 (5), 4744-4766.
- Balla, Cs., Farkas, J. & Dalmadi, I. (2012): Developments in minimal processing of fruits. In: *Handbook of Fruits and Fruit Processing* (Eds. N.K. Sinha, J.S. Sidhu, J. Barta, J.S.B. Wu & P. Cano), Chapter 10, Second Edition, Blackwell Publishing, Ames, Iowa, USA, 293-335. ISBN 978-0-8138-0894-9
- Banerjee, R.R., Tudu, B., Shaw, L., Jana, A., Bhattacharyya, N. & Bandhopadhyay, R. (2012): Instrumental testing of tea by combining the responses of electronic nose and tongue. *Journal of Food Engineering*, 110 (3), 356-363.
- Bartlett, D.H. (2002): Pressure effects on in vivo microbial processes. *Biochimica et Biophysica Acta* 1595 (1-2), 367-381.
- Belitz, H.D., Grosch, W. & Schieberle, P. (2009): *Food Chemistry*. Chapter 5, 4th Revised and Extended Edition, Springer, Berlin, GER, 340-344. ISBN 978-3-540-69933-0
- Bhattacharyya, N. & Bandhopadhyay, R. (2010): Electronic nose and electronic tongue. In: *Nondestructive Evaluation of Food Quality – Theory and Practice* (Ed. S.N. Jha), Springer, Berlin, GER, 73-100. ISBN 978-3-642-15795-0
- Boothe, D.D.H. & Arnold, J.W. (2002): Electronic nose analysis of volatile compounds from poultry meat samples, fresh and after refrigerated storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82 (3), 315-322.
- Brezmes, J., Llobet, E., Vilanova, X., Orts, J., Saiz, G. & Correig, X. (2001): Correlation between electronic nose signals and fruit quality indicators on shelf-life measurements with pinklady apples. *Sensors and Actuators B*, 80 (1), 41-50.
- Butz, P., Needs, E.C., Baron, A., Bayer, O., Geisel, B., Gupta, B., Oltersdorf, U. & Tauscher, B. (2003): Consumer attitudes to high pressure food processing. *Food, Agriculture & Environment*, 1 (1), 30-34.
- Cao, X., Bi, X., Huang, W., Wu, J., Hu, X. & Liao, X. (2012): Changes of quality of high hydrostatic pressure processed cloudy and clear strawberry juices during storage. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 16, 181-190.
- Cardello, A.V., Schutz, H.G. & Leshner, L.L. (2007): Consumer perceptions of foods processed by innovative and emerging technologies: A conjoint analytic study. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 8 (1), 73-83.

- Considine, K.M., Kelly, A.L., Fitzgerald, G.F., Hill, C. & Sleator, R.D. (2008): High-pressure processing – Effects on microbial food safety and food quality. *FEMS Microbiology Letters*, 281 (1), 1-9.
- Craven, M.A., Gardner, J.W. & Bartlett, P.N. (1996): Electronic noses – Development and future prospects. *Trends in Analytical Chemistry*, 15 (9), 486-493.
- Cserhalmi, Zs., Mészáros, L., Sass, Á. & Tóth, M. (2005): Nagy hidrosztatikus nyomással kezelt gyümölcslevek vizsgálata. *Alkoholmentes italok*, 2005/2, 29-32.
- Dalmadi, I. (2009): Hőkezeléssel és nagy hidrosztatikus nyomással pasztörözött bogyósgyümölcs-pürék minőség-jellemzőinek alakulása a tárolási hőmérséklet függvényében. PhD disszertáció, Budapest, 5-108.
- Dalmadi, I., Seregély, Zs., Farkas, J. & Kaffka, K. (2007a): Néhány többváltozós kemometriai módszer alkalmazása műszeres analitikai vizsgálatok értékelésére. *Élelmiszervizsgálati Közlemények*, 53 (4), 222-238.
- Dalmadi, I. & Farkas, J. (2006): Gyümölcskészítmények tartósítása nagy hidrosztatikus nyomással. *Élelmezési Ipar*, 60 (12), 262-264.
- Dalmadi, I., Polyák-Fehér, K. & Farkas, J. (2007b): Effects of pressure- and thermal-pasteurization on volatiles of some berry fruits. *High Pressure Research*, 27 (1), 169-172.
- Daoudi, L., Quevedo, J.M., Trujillo, A.J., Capdevila, F., Bartra, E., Mínguez, S. & Guamis, B. (2001): Effects of high-pressure treatment on the sensory quality of white grape juice. *High Pressure Research*, 22 (3-4), 705-709.
- Deliza, R., Rosenthal, A., Abadio, F.B.D., Silva, C.H.O. & Castillo, C. (2005): Application of high pressure technology in the fruit juice processing: Benefits perceived by consumers. *Journal of Food Engineering*, 67 (1-2), 241-246.
- Di Natale, C., Macagnano, A., Martinelli, E., Paolesse, R., Proietti, E. & D'Amico, A. (2001): The evaluation of quality of post-harvest oranges and apples by means of an electronic nose. *Sensors and Actuators B*, 78 (1), 26-31.
- Di Natale, C., Zude-Sasseb, M., Macagnano, A., Paolesse, R. & Herold, B. (2002): Outer product analysis of electronic nose and visible spectra: application to the measurement of peach fruit characteristics. *Analytica Chimica Acta*, 459 (1), 107-117.
- Elek, M. & Salamon, B. (2010): Nagy hidrosztatikus nyomással kezelt szamócapürék színtabilitásának vizsgálata. *MÉTE XVIII. Tudományos Diákköri Konferencia*, Szeged, 2010 május 6., p. 8.
- Farkas, J. & Dalmadi, I. (2009): Near infrared and fluorescence spectroscopic methods and electronic nose technology for monitoring foods. *Progress in Agricultural Engineering Sciences*, 5 (1), Akadémiai Kiadó, Budapest, 15-23.
- Fellows, P. (2000): Processing using electric fields, high hydrostatic pressure, light or ultrasound. In: *Food Processing Technology: Principles and Practice*, Chapter 9, Second Edition, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, UK, 210-227. ISBN 1-85573-533-4
- Gardner, J.W. & Bartlett, P.N. (1994): A brief history of electronic noses. *Sensors and Actuators B*, 18-19, 211-220.
- Ghasemi, V.M., Mohtasebi, S.S., Siadat, M. & Balasubramanian, S. (2009): Meat Quality Assessment by Electronic Nose (Machine Olfaction Technology). *Sensors*, 9 (8), 6058-6083.

- Gómez, A.H., Hu, G., Wang, J. & Pereira, A.G. (2006a): Evaluation of tomato maturity by electronic nose. *Computers and Electronics in Agriculture*, 54 (1), 44-52.
- Gómez, A.H., Wang, J., Hu, G. & Pereira, A.G. (2006b): Electronic nose technique potential monitoring mandarin maturity. *Sensors and Actuators B*, 113 (1), 347-353.
- Göpel, W. (1995): Supramolecular and polymeric structures for gas sensors. *Sensors and Actuators B*, 24 (1-3), 17-32.
- Guadarrama, A., Rodríguez-Méndez, M.L., Sanz, C., Ríos, J.L. & Saja, J.A. (2001): Electronic nose based on conducting polymers for the quality control of olive oil aroma – Discrimination of quality, variety of olive and geographic origin. *Analytica Chimica Acta*, 432 (2), 283-292.
- Gupta, R. & Balasubramaniam, V.M. (2012): High-pressure processing of fluid foods. In: *Novel Thermal and Non-Thermal Technologies for Fluid Foods* (Eds. P.J. Cullen, B.K. Tiwari & V. Valdramidis), Chapter 5, First Edition, Academic Press, London, UK, 109-133. ISBN 978-0-12-381470-8
- Hartyáni, P. (2012): Pulzáló elektromos térerő és nagy hidrosztatikai nyomás alkalmazása gyümölcslevek kíméletes tartósítására. PhD disszertáció, Budapest, 21-25.
- Hartyáni, P., Dalmadi, I. & Knorr, D. (2013): Electronic nose investigation of *Alicyclobacillus acidoterrestris* inoculated apple and orange juice treated by high hydrostatic pressure. *Food Control*, 32 (1), 262-269.
- Hartyáni, P., Dalmadi, I., Cserhalmi, Zs., Kántor, D.B., Tóth-Markus, M. & Sass-Kiss Á. (2011): Physical–chemical and sensory properties of pulsed electric field and high hydrostatic pressure treated citrus juices. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 12 (3), 255-260.
- Hendrickx, M., Ludikhuyze, L., Van den Broeck, I. & Weemaes, C. (1998): Effects of high pressure on enzymes related to food quality. *Trends in Food Science & Technology*, 9 (5), 197-203.
- Hite, B.H. (1899): The effects of pressure in the preservation of milk. *West Virginia Agricultural Experiment Station Bulletin*, 58, 15.
- Hogan, E., Kelly, A.L. & Sun, D-W. (2005): High pressure processing of foods: An overview. In: *Emerging Technologies for Food Processing* (Ed. D-W. Sun), Part 1, Academic Press, London, UK, 3-32. ISBN 0-12-676757-2
- Horváth K., Seregély Zs., Dalmadi I., Andrassy É. & Farkas J. (2007): Estimation of bacteriological spoilage of pork cutlets by electronic nose. *Acta Microbiologica et Immunologica Hungarica*, 54 (2), 179-194.
- Huis In't Veld, J.H.J. (1996): Minimal processing of foods: potential, challenges and problems. Paper presented to the EFFoST Conference on the Minimal Processing of Food, Cologne, 6-9 November.
- Jordan, S.L., Pascual, C., Bracey, E. & Mackey, B.M. (2001): Inactivation and injury of pressure-resistant strains of *Escherichia coli* O157 and *Listeria monocytogenes* in fruit juices. *Journal of Applied Microbiology*, 91 (3), 463-469.
- Kaffka K. & Farkas J. (1999): A gázérzékelő sor - az elektronikus orr. *Magyar Kémikusok Lapja*, 54 (7-8), 323-333.
- Karim, P.A. (2011): High pressure processing as an alternative food preservation technology and its applications for fruits and vegetables. A Report, Manhattan, 1-13.

- Knorr, D. (1996): Advantages, opportunities and challenges of high hydrostatic pressure application to food systems. In: High Pressure Bioscience and Biotechnology (Eds. R. Hayashi & C. Balny), Elsevier, Amsterdam, NL, 279-287. ISBN 978-0-444-82555-1
- Knorr, D. (1999): Process assessment of high pressure processing of foods: An overview. In: Process optimization and minimal processing of foods: an international collaborative approach in the framework of the EU Copernicus program (Eds. F.A.R. Oliveira, I.B.M. Lino & J.C. Oliveira), Chapter 1, CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, 1-6. ISBN 978-0-8493-7905-5
- Knorr, D., Reineke, K., Mathys, A., Heinz, V. & Buckow, R. (2011): High-pressure-induced effects on bacterial spores, vegetative microorganisms, and enzymes. In: Food Engineering Interfaces (Eds. J.M. Aguilera, G.V. Barbosa-Cánovas, R. Simpson, J. Welti-Chanes & D. Bermúdez-Aguirre), Chapter 14, Springer, 325-340. ISBN 978-1-4419-7474-7
- Korel, F. & Balaban, M.Ö. (2009): Electronic nose technology in food analysis. In: Handbook of Food Analysis Instruments (Ed. S. Ötles), Chapter 16, CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, 365-374. ISBN 978-1-4200-4566-6
- Laboissière, L.H.E.S., Deliza, R., Barros-Marcellini, A.M., Rosenthal, A., Camargo, L.M.A.Q. & Junqueira, R.G. (2007): Effects of high hydrostatic pressure (HHP) on sensory characteristics of yellow passion fruit juice. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 8 (4), 469-477.
- Labreche, S., Bazzo, S., Cade, S. & Chanie, E. (2005): Shelf life determination by electronic nose: Application to milk. Sensors and Actuators B, 106 (1), 199-206.
- Lambert, Y., Demazeau, G., Largeteau, A. & Bouvier, J-M. (1999): Changes in aromatic volatile composition of strawberry after high pressure treatment. Food Chemistry, 67 (10), 7-16.
- Lawless, H.T. & Heymann, H. (2010): Discrimination testing. In: Sensory Evaluation of Food: Principles and practices (Eds. H.T. Lawless & H. Heymann), Chapter 4, Second Edition, Springer, London, UK, 79-100. ISBN 978-1-4419-6487-8
- Lebrun, M., Plotto, A., Goodner, K., Ducamp, M-N. & Baldwin, E. (2008): Discrimination of mango fruit maturity by volatiles using the electronic nose and gas chromatography. Postharvest Biology and Technology, 48 (1), 122-131.
- Liu, M., Han, X., Tu, K., Pan, L., Tu, J., Tang, L., Liu, P., Zhan, G., Zhong, Q. & Xiong, Z. (2012): Application of electronic nose in Chinese spirits quality control and flavour assessment. Food Control, 26 (2), 564-570.
- Llobet, E., Hines, E.L., Gardner, J.W. & Franco, S. (1999): Non-destructive banana ripeness determination using a neural network-based electronic nose. Measurement Science and Technology, 10, 538-548.
- Magan, N. (1993): Early detection of fungi in stored grain. International Biodeterioration and Biodegradation, 32 (1-3), 145-160.
- Manvell, C. (1996): Opportunities and problems of minimal processing and minimally-processed food. Paper presented to the EFFoST Conference on the Minimal Processing of Food, Cologne, 6-9 November.
- Maul, F., Sargent, S.A., Sims, C.A., Baldwin, E.A., Balaban, M.Ö. & Huber, D.J. (2000): Tomato Flavor and Aroma Quality as Affected by Storage Temperature. Journal of Food Science, 65 (7), 1228-1237.

- Mermelstein, N.H. (1998): High Pressure Processing Begins. *Food Technology*, 52 (6), 104-108.
- Mielle, P. (1996): Managing dynamic thermal exchanges in commercial semiconducting gas sensors. *Sensors and Actuators B*, 34 (1-3), 533-538.
- Needham, R. (2004): Early detection and differentiation of microbial spoilage of bread using electronic nose technology. PhD thesis, Cranfield University, 16-29.
- Nienaber, U. & Shellhammer, T.H. (2001): High-Pressure Processing of Orange Juice: Combination Treatments and a Shelf Life Study. *Journal of Food Science*, 66 (2), 332-336.
- Norton, T. & Sun, D-W. (2008): Recent Advances in the Use of High Pressure as an Effective Processing Technique in the Food Industry. *Food and Bioprocess Technology*, 1 (1), 2-34.
- Oey, I., Lille, M., Van Loey, A. & Hendrickx, M. (2008): Effect of high-pressure processing on colour, texture and flavour of fruit- and vegetable-based food products: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 19 (6), 320-328.
- Ohlsson, T. (1994): Minimal-processing – Preservation methods of the future: An overview. *Trends in Food Science & Technology*, 5 (11), 341-344.
- Ólafsdóttir, G. (2003): Rapid olfaction arrays for determining fish quality. In: *Rapid and on-line instrumentation for food quality assurance* (Ed. I.E. Tothill), Chapter 18, CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, 339-360. ISBN 1-85573-674-8
- Panigrahi, S., Balasubramanian, S., Gu, H., Logue, C. & Marchello, M. (2006): Neural-network-integrated electronic nose system for identification of spoiled beef. *LWT – Food Science and Technology*, 39 (2), 135-145.
- Patras, A., Brunton, N.P., Da Pieve, S. & Butler, F. (2009): Impact of high pressure processing on total antioxidant activity, phenolic, ascorbic acid, anthocyanin content and colour of strawberry and blackberry purées. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 10 (3), 308-313.
- Persaud, K.C. & Dodd, G.H., (1982): Analysis of discrimination mechanisms in the mammalian olfactory system using a model nose. *Nature*, 299, 352-355.
- Ramaswamy, R., Balasubramaniam, V.M. & Kaletunç, G. (2012): High pressure processing. Fact Sheet for Food Processors, Ohio University, FSE-1-04, 1-3.
- Rendueles, E., Omer, M.K., Alvseike, O., Alonso-Calleja, C., Capita, R. & Prieto, M. (2011): Microbiological food safety assessment of high hydrostatic pressure processing: A review. *LWT – Food Science and Technology*, 44 (5), 1251-1260.
- Saevels, S., Lammertyn, J., Berna, A.Z., Veraverbeke, E.A., Di Natale, C. & Nicolai, B.M. (2003): Electronic nose as a non-destructive tool to evaluate the optimal harvest date of apples. *Postharvest Biology and Technology*, 30 (1), 3-14.
- Sahgal, N. (2008): Microbial and non-microbial volatile fingerprints: potential clinical applications of electronic nose for early diagnoses and detection of diseases. PhD thesis, Cranfield University, 156-159.
- Siegmund, B. & Pfannhauser, W. (1999): Changes of the volatile fraction of cooked chicken meat during chill storage: Results obtained by the electronic nose in comparison to GC-MS and GC olfactometry. *Zeitschrift für Lebensmittel Untersuchung und -Forschung A*, 208 (5-6), 336-341.

Stella, R., Barisci, J.N., Serra, G., Wallace, G.G. & De Rossi, D. (2000): Characterisation of olive oil by an electronic nose based on conducting polymer sensors. *Sensors and Actuators B*, 63 (1-2), 1-9.

Syed, Q-A., Reineke, K., Saldo, J., Buffa, M., Guamis, B. & Knorr, D. (2012): Effect of compression and decompression rates during high hydrostatic pressure processing on inactivation kinetics of bacterial spores at different temperatures. *Food Control* 25 (1), 361-367.

Tognon, G., Campagnoli, A., Pinotti, L., Dell'Orto, V. & Cheli, F. (2005): Implementation of the electronic nose for the identification of mycotoxins in durum wheat (*Triticum durum*). *Veterinary Research Communications*, 29 (2), 391-393.

Turhan, M., Balaban, M.Ö., Turhan, K.N. & Luzuriaga, D.A., (1998): Potential use of electronic nose technique for detection of meat adulteration: Separation of pork-beef mixtures. *Fleischwirtschaft International*, 6, 26-28.

Wilson, A.D. & Baietto, M. (2009): Applications and Advances in Electronic-Nose Technologies. *Sensors*, 9 (7), 5099-5148.

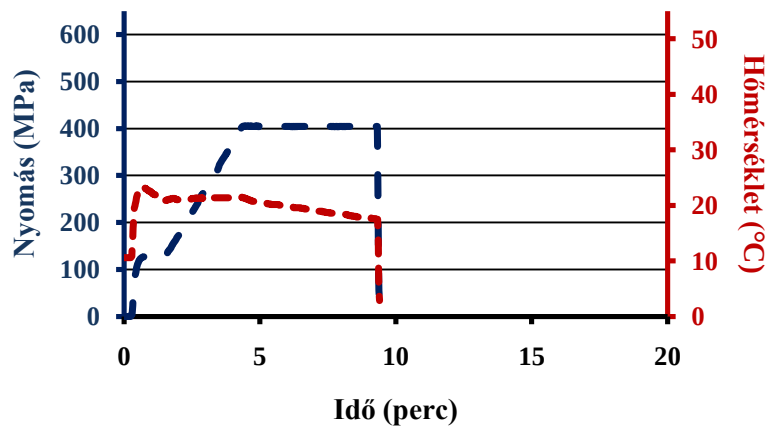
Zhang, H., Balaban, M.Ö., Principe, J.C. & Portier, K. (2005): Quantification of spice mixture compositions by electronic nose: Part I. Experimental design and data analysis using neural networks. *Journal of Food Science*, 70 (4), 253-258.

Zhang, H., Wang, J., Ye, S. & Chang, M. (2012): Application of Electronic Nose and Statistical Analysis to Predict Quality Indices of Peach. *Food and Bioprocess Technology*, 5 (1), 65-72.

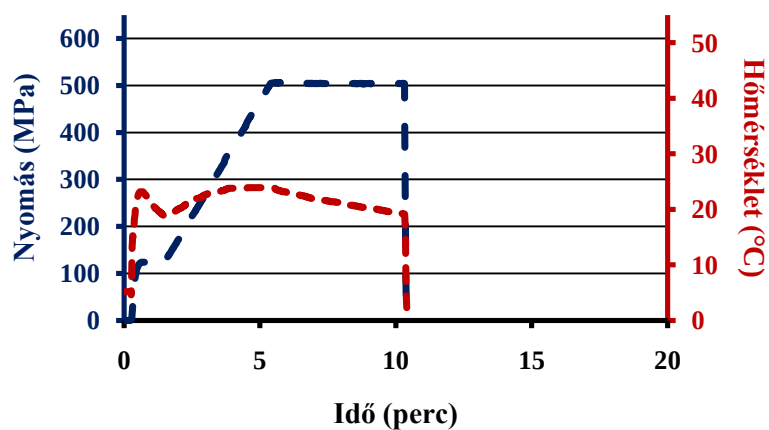
Mellékletek

1. melléklet Különböző nyomással kezelt málna- és szamócapürék nyomás- hőmérséklet profiljai

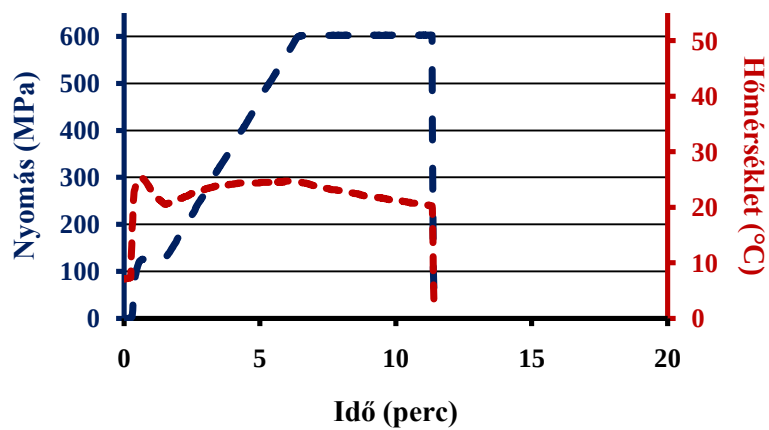
400 MPa



500 MPa

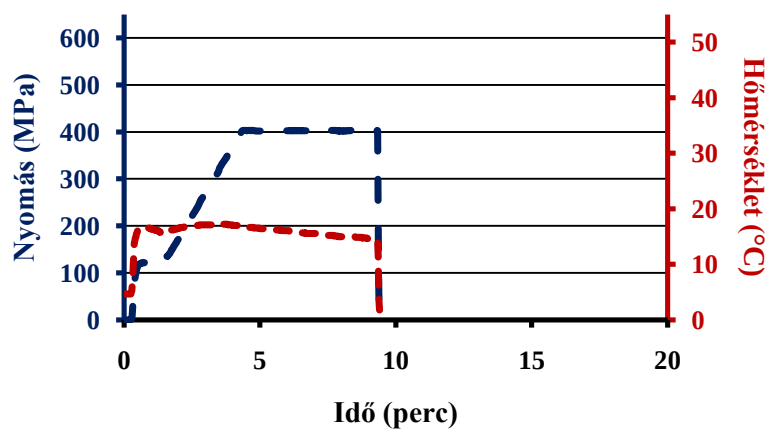


600MPa

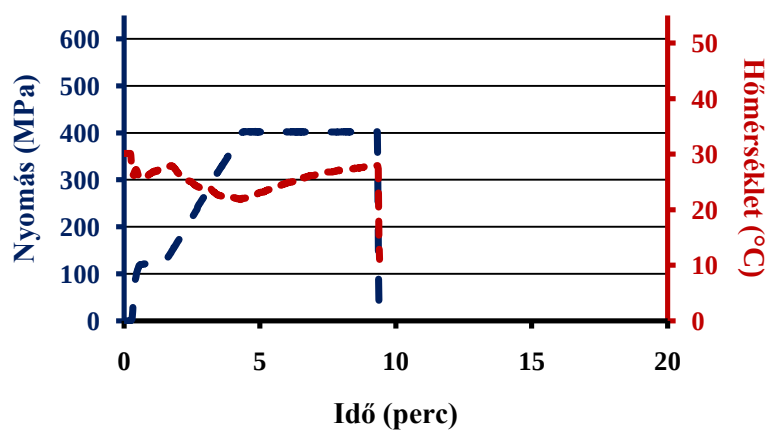


2. melléklet Különböző hőmérsékleten kezelt málna- és szamócapürék nyomás-
hőmérséklet profiljai

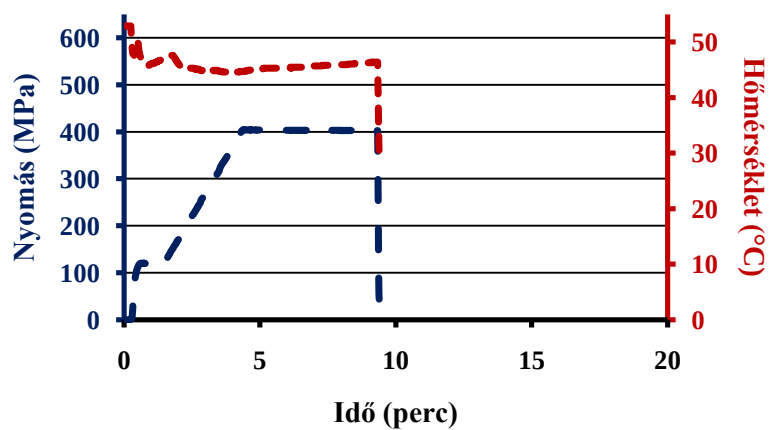
10 °C



30 °C

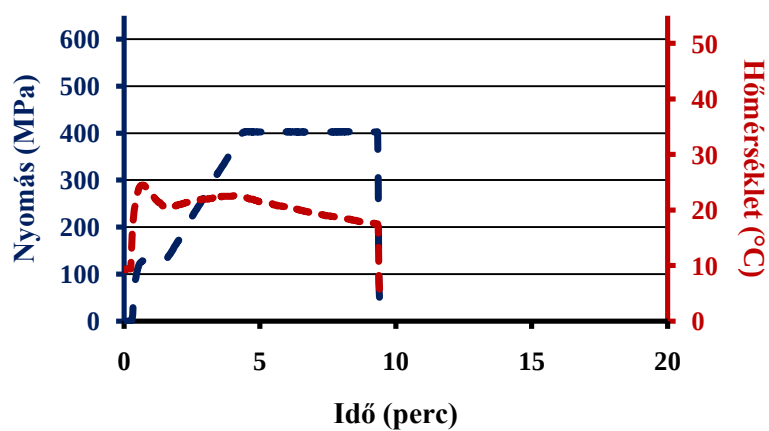


50 °C

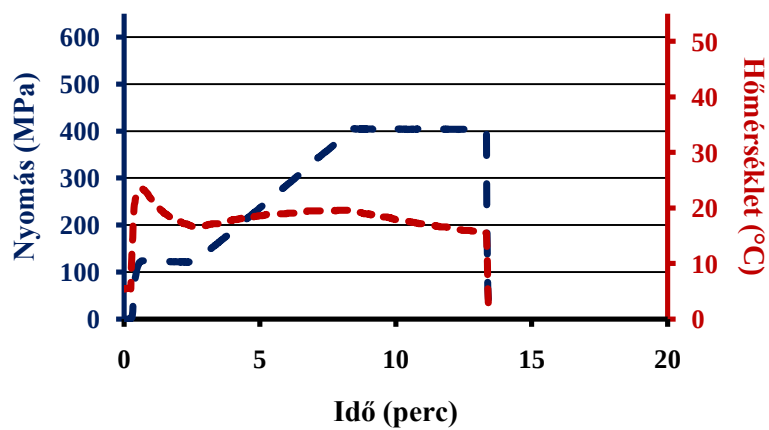


3. melléklet Különböző nyomásemelési sebességgel kezelt málna- és szamócapürék nyomás-
hőmérséklet profiljai

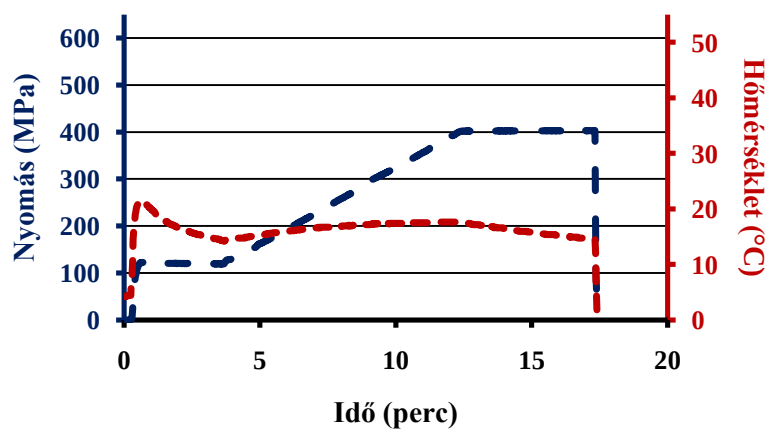
60 mp/100 MPa



120 mp/100 MPa

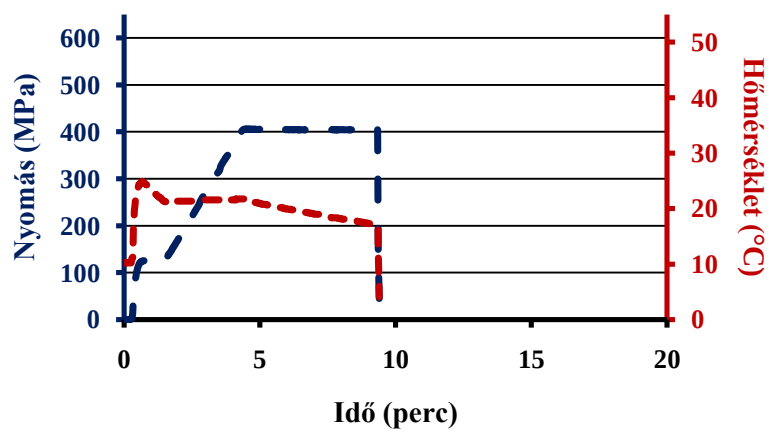


180/100 MPa

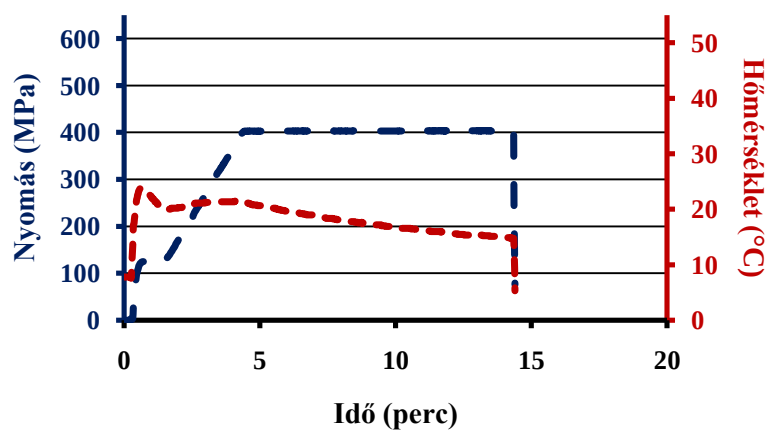


4. melléklet Különböző tartási idővel kezelt málna- és szamócapürek nyomás-
hőmérséklet profiljai

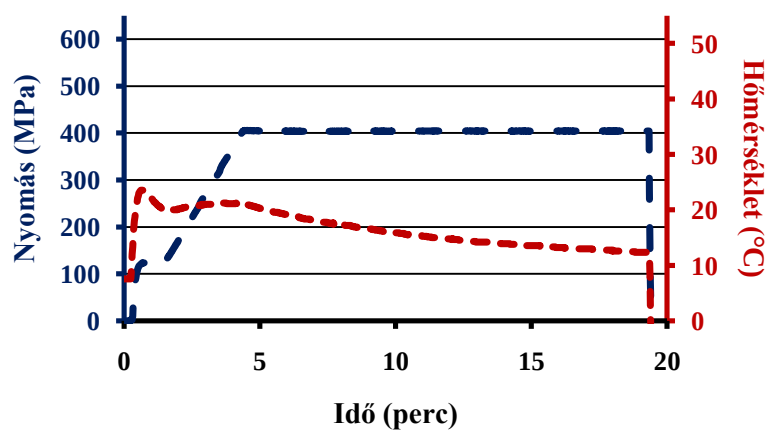
5 perc



10 perc

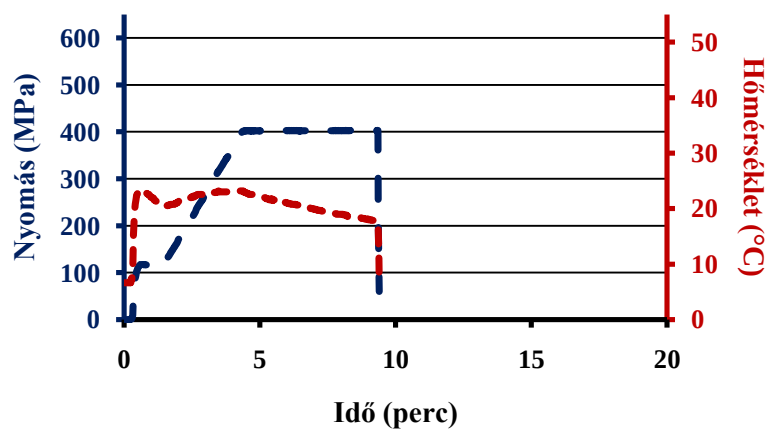


15 perc

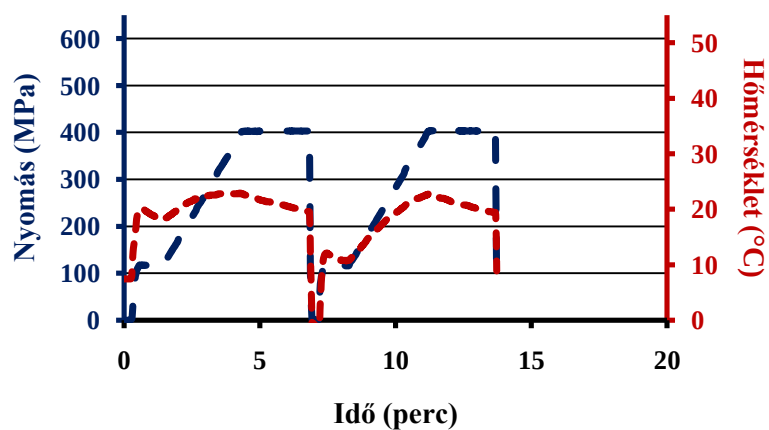


5. melléklet Különböző ciklusszámmal kezelt málna- és szamócapürék nyomás-hőmérséklet profiljai

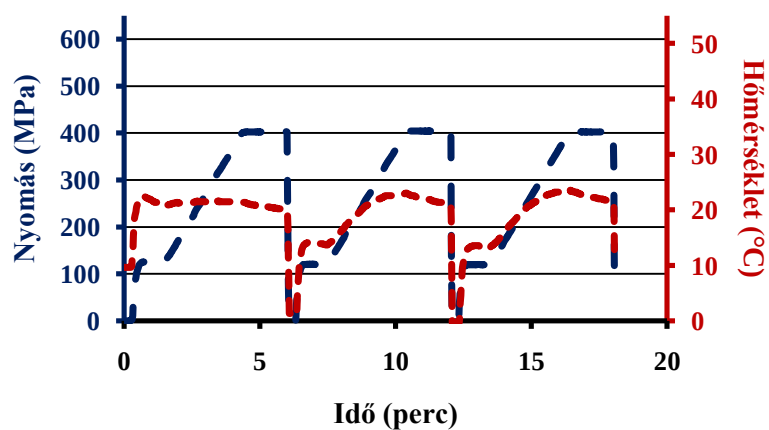
1 ciklus



2 ciklus



3 ciklus



6. melléklet Háromszög-próba során alkalmazott bírálati lap

Név:

Dátum:

Tálcánként három bogyósgyümölcs-püré minta található Ön előtt, melyből kettő egyforma, egy különböző. Kérem, szagolja meg a mintákat, s pusztán az illattulajdonságok figyelembevételével döntse el, hogy melyik minta különbözik a másik kettőtől. Az alábbi táblázatban karikázza be a különbözőnek ítélt minta sorszámát. Értékelje az észlelt különbséget! 0-10 közötti pontszámmal jelezze, mennyire karakteres az eltérés. Kérem, szövegesen írja le, milyen illattulajdonságban érez különbséget.

	Minta1	Minta2	Minta3	Mennyire biztos az ítéletében? 0: csak tipppek 10: a különbség határozottan érezhető	Milyen különbséget érez?
1. tálca	1	2	3		
2. tálca	1	2	3		
3. tálca	1	2	3		
4. tálca	1	2	3		
5. tálca	1	2	3		
6. tálca	1	2	3		

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném kifejezni köszönetemet témavezetőmnek, Dr. Dalmadi Istvánnak, a kísérletek végrehajtásához, az eredmények értékeléséhez és a dolgozat összeállításához nyújtott segítségéért.

A kutatás a TÁMOP 4.2.4.A/1-11-1-2012-0001 azonosító számú Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése országos program című kiemelt projekt keretében zajlott. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

A kutatáshoz a HHP berendezés beszerzésével a TÁMOP 4.2.1/B/09/1/KMR/-2010-0005 projekt járult hozzá.