



SZENT ISTVÁN EGYETEM

DON-toxin koncentráció csökkentés lehetőségei a búza
tisztításában

Doktori (PhD) értekezés
Kecskésné Nagy Eleonóra

Gödöllő
2018

A doktori iskola

megnevezése: Műszaki Tudományi Doktori Iskola

tudományága: Agrárműszaki tudományok

vezetője: Prof. Dr. Farkas István

egyetemi tanár, DSC, intézetigazgató

Szent István Egyetem, Gépészmérnöki kar, Környezetipari Rendszerek
Intézet

Témavezető: Prof. Dr. Sembery Péter

professzor emeritusz

Szent István Egyetem, Gépészmérnöki kar, Folyamatmérnöki Intézet,
Méréstechnika Tanszék

Társ-témavezető: Dr. Korzenszky Péter

habilitált egyetemi docens, PhD

Szent István Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Mechanika és Géptani
Intézet, Mezőgazdasági és Élelmiszeripari Gépek Tanszék

A témavezető jóváhagyása

A társ-témavezető jóváhagyása

Iskolavezető jóváhagyása

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉSEK.....	6
1.1. A téma aktualitása és jelentősége.....	6
1.2. Célkítűzések	7
2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS	9
2.1. A búza gazdasági és élelmezési jelentősége	9
2.2. A búza mikotoxin koncentrációját meghatározó tényezők	10
2.2.1. A gabonákban előforduló toxinok.....	10
2.2.2. A fuzárium fertőzés jellege és a búzaszemek toxinszennyezettsége.....	11
2.3. A DON-toxin élelmiszerbiztonsági vonatkozása.....	13
2.4. A tisztítási folyamat és gépei	14
2.4.1. A halmaztisztítás és gépei	15
2.4.2. A felülettisztítás és gépei.....	21
2.5. A szakirodalmi áttekintés összefoglaló értékelése	24
3. ANYAG ÉS MÓDSZER.....	26
3.1. A vizsgálat helyszíne.....	26
3.1.1. A feldolgozási folyamat feltételei	27
3.1.2. A vizsgálatok műszaki feltételei a technológiai folyamatban	28
3.2. A vizsgálatok ismertetése.....	33
3.2.1. A vizsgált alapanyag jellemzői, a tételek meghatározása	33
3.2.2. A Sortex Z+ és a Schule Verticone VPC 480 berendezések.....	35
3.2.3. A mintavételezés rendszere	38
3.3. A búza DON-toxin koncentrációjának meghatározása ELISA teszttel	42
3.4. Az adatok kiértékelésénél alkalmazott módszerek	45
4. EREDMÉNYEK	49
4.1. A statisztikai értékelés előkészítése.....	49
4.1.1. A deskriptív értékelés módja.....	49
4.1.2. Normalitásvizsgálat	50
4.2. A DON-toxin változása a teljes tisztítási folyamatban.....	52
4.2.1. A teljes tisztítási folyamat elemzése leíró statisztikai módszerekkel.....	53
4.2.2. A teljes tisztítási folyamat hipotézisvizsgálata.....	59
4.3. Az optikai válogató és a felülettisztító gépek egyenkénti hatásossága a DON-toxin csökkentésében	62
4.3.1. Az optikai válogató gép hatásossága.....	62
4.3.2. A korszerű felülettisztító gép szerepe a búzaminták tisztításában	67
4.3.3. A mintapárok hipotézisvizsgálata	71
4.4. A két gép tisztítási hatásosságának elemzése a különbségmintákon keresztül.....	73

4.5. A DON-toxin koncentráció csökkenés mértéke.....	75
4.6. A színválogató és a hántoló gépek nélkül a tisztítás folyamata.....	93
4.7. Új tudományos eredmények.....	97
5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK	101
6. ÖSSZEFOGLALÁS	102
7. SUMMARY	103
8. MELLÉKLETEK.....	104
M1: Irodalomjegyzék.....	104
M2: Az értekezés témaköréhez tartozó saját publikációk listája	110
M3: A V_2 minták DON-toxin koncentrációjának becslése a V_1 minták adatai alapján konfidenciaintervallum segítségével (2013-2015. évjárat).....	113
M4: A V_5 minták DON-toxin koncentrációjának becslése a V_4 minták adatai alapján konfidenciaintervallum segítségével (2013-2015. évjáratok)	115
M5: A V_5 minták DON-toxin koncentrációjának becslése a V_1 minták adatai alapján a konfidenciaintervallum segítségével (2013-2015. évjárat).....	117
9. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	119

SZAKKIFEJEZÉSEK

búza felülettisztítása	búzaszemek felszínének vékony rétegű eltávolítása különböző technikai eljárásokkal, ami egyben meghatározza a munkaművelet precizitását, korszerű kivitelezését
búza halmaztisztítása	a magtömegből azoknak az alkotóknak a kiválasztása, amelyek a feldolgozás során a gépeket károsíthatják, valamint a végtermék minőségét ronthatják
búzatételek egalizálása (örlés előtti)	a minőség stabilizálása érdekében az örlés előtt az eltérő paraméterekkel rendelkező búzatételek homogenizálása keveréssel
DON-toxin	deoxinivalenol, ami az emberi és állati szervezetre mérgező hatású toxin, a gabonákban a fuzárium gombanemzetség fertőzését követően keletkezik
élelmiszerbiztonsági kockázat	az élelmiszerlánc bármely pontján előforduló, meghatározott biológiai, kémiai vagy fizikai veszély eredményeként jelentkező egészségügyi hatás és annak valószínűsége
előminta	a búzatétel malomipari felvásárlása előtti mintája, aminek vizsgálati eredményei alapján dönthető el, hogy a tétel alapanyagként felhasználható-e
évjárat	azoknak a tényezőknek az összessége, amelyek a vegetációs időben a termesztés során érik a búzát, és többek között eltérő DON-toxin koncentrációt okoznak
Fusarium spp.	a fuzárium nemzetségbe tartozó gombafajok együttes elnevezése (spp = species plurale = fajok), az emberekre és állatokra veszélyes toxinokat termelnek, köztük a DON-toxint
hántolás	a búza örlése előtt alkalmazott felülettisztítási eljárás, a maghéj meghatározott százalékának az eltávolítása minimális liszt- és törmelékképződés mellett oly módon, hogy a magbelső egészben maradjon
mikroklíma	a talaj közeli légrétegek kb. 2 m-es magasságig terjedő tartományának, illetve egy pontosan körülhatárolható kis terület klímája

1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉSEK

Az értekezésem első fejezetében a téma jelentőségét fogalmazom meg, illetve a munkám célkitűzéseit mutatom be.

1.1. A téma aktualitása és jelentősége

A világon a megtermesztett búza nagy részét élelmiszer alapanyagként vagy takarmányként hasznosítják. A lakosság növekedésével a búza élelmiszerláncon belüli felhasználása, azaz feldolgozása egyre nagyobb mennyiségi igényt generál. Ez maga után vonja azt, hogy egyrészt egyre nagyobb volumenben kell előállítani ezt a növényt, másrészt törekedni kell arra, hogy a termelés és felhasználás során keletkezett veszteségeket minimalizáljuk. A statisztikai előrejelzések azt mutatják, hogy a jövőben a búza vetésterületének a növelésére már korlátozottak a lehetőségek, így két módon lehet a szükséges búzamennyiséget biztosítani: egyrészt a termésátlagokat kell növelni, másrészt a megtermelt termény minél nagyobb hányadának élelmiszerbiztonsági megfelelőségét kell biztosítani ahhoz, hogy felhasználható legyen feldolgozásra, azaz élelmiszeripari és takarmányipari felhasználásra egyaránt. A disszertáció témáját adó kutatás azokat a lehetőségeket vizsgálja, amelyek a veszteségek minimalizálására nyújtanak megoldást az élelmiszerbiztonsági feltételek javítása mellett. A vizsgálataim során olyan berendezések hatásosságát elemzem, amelyekkel a malmi búzatételek DON-toxin tartalma csökkenthető a feldolgozási folyamatban.

Az elmúlt években a búzatermesztésben és feldolgozásban komoly veszteségeket okoztak a Fusarium nemzetségbe tartozó gombafajok. A gombafertőzés egyrészt a termésátlagok és így az össztermés mennyiségének csökkenését idézheti elő, másrészt azok a toxinok – mint például a DON-toxin – jelentenek komoly élelmiszerbiztonsági kockázatot, amelyeket a mikroorganizmusok termelnek az életfolyamataik során. E toxinok következtében a már megtermelt és betakarított búzatételek nem kis hányadát élelmiszerként vagy takarmányként egyáltalán nem, vagy csak korlátozottan lehet használni, ami esetenként nagyfokú gazdasági kárt eredményezhet. Ez a jelenség a világ nagyon sok országában okozott és okoz gondot a szakirodalmi adatok szerint. A szakirodalomban olvasható az a megállapítás is, hogy a búzatételek DON-toxin tartalmát hatékonyan és biztonságosan csak a termesztési folyamatokban lehet csökkenteni, a tárolás és a feldolgozás során már erre nagyon korlátozottan van mód (Szeitzné, 2009). Feltételezésem szerint a korszerű technikai eszközök alkalmazása lehetőséget biztosít arra, hogy ezt az élelmiszerbiztonsági kockázatot minimalizálni lehessen nem csupán az alaptermék előállítás folyamatában, hanem az élelmiszerlánc további lépcsőfokán is. Ez a búza esetében különösen fontos, mert alapvető élelmiszerek alapanyagaként használjuk. Mindezek ismeretében kiemelkedő szerepük van azoknak a tudományos kutatásoknak, amelyek arra irányulnak, hogy az élelmiszer- és takarmányellátás mennyiségi és minőségi elvárásainak megfelelő termékek biztosíthatóak legyenek. E gondolatmenetnek megfelelően a kutatómunkámban kísérletekkel igazolom, hogy a malmi feldolgozás során alkalmazott korszerű gépekkel, eszközökkel csökkenthető a búzaalapanyagok DON-toxin tartalma. Vagyis a megfelelő technikai háttérrel rendelkező malmokban egy komoly élelmiszerbiztonsági kockázati tényező kézbe tartására, szakszerű és tudatos kezelésére van lehetőség.

A malmi technológia folyamatosan fejlődik. A korszerű gépek és berendezések alkalmazása lehetővé teszi, hogy a liszt gyártása során a minőségi, az élelmiszerbiztonsági és a mennyiségi követelmények összehangolhatók, mind pontosabban teljesíthetők, tervezhetők legyenek. A kutatás során két korszerű malomipari gép hatását vizsgáltam, melyek esetén a gyakorlati tapasztalatok alapján várható, hogy szerepük lehet a búza DON-toxin tartalmának csökkentésében a feldolgozás során. Alapvető célkitűzésem tudományos kutatási eredmények segítségével alátámasztani vagy cáfolni azt, hogy a malmi technológiába beépített két berendezés

a fertőzött és toxinnal szennyezett búzatételek esetén megfelelő biztonsággal és meghatározható mértékben tudja a toxinszintet csökkenteni. A megfelelő biztonságnak ebben az esetben kiemelkedő szerepe van, hiszen élelmiszerbiztonsági kérdésről van szó.

A búza élelmiszeripari felhasználhatóságának alapvető feltétele, hogy a jogszabályban előírtaknak meg kell felelnie. Esetünkben most a toxin-koncentrációra irányuló követelmények az irányadók. Tehát a toxintartalom tekintetében az elsődleges cél, hogy a liszt gyártásához használt alapanyag teljesítse a jogszabályi elvárásokat, mert csak ekkor tekinthető biztonságosnak. Igen fontos tény az, hogy a búzából készült végtermékek nagy százaléka az alapvető élelmiszerek kategóriájába tartoznak. Vagyis a gyermek és felnőtt lakosság fogyasztásában nagy mennyiséget kitevő termékekről van szó. Ezért a megengedett határértéken belüli búzatételek átlagos toxinszintjének csökkentési lehetőségeire figyelmet kell fordítani. Így a fogyasztók szervezetébe kevesebb káros anyag kerül be, ami a teljes populáció egészségi állapotára nézve kedvező hatású. Ezen túl az élelmiszerek esetén nagyon sok fogyasztónál a vásárlási tudatosság egyre inkább kiterjed arra is, hogy figyeljenek a káros anyagoktól való mentességre a termékek kiválasztásakor. Ebből következően a kísérleteim ahhoz is szeretnének adatokat szolgáltatni, hogy a gyakorlati szakemberek a toxincsökkentés mértékét a termelési feltételek optimalizálásához igazítva hogyan és milyen körülmények között tudják meghatározni.

Összefoglalva, a téma jelentőségéből adódóan a kutatással több olyan kérdésre keresem, és reményeim szerint, adom meg a választ, amelyek a malmi technológia műszaki fejlesztése kapcsán az élelmiszerbiztonsági szempontoknak való megfelelésre fókuszálnak, de gazdasági szempontból sem kis jelentőségűek. Az első ezek közül az a kérdés: igazolható-e, hogy a magas DON-toxin tartalommal rendelkező búzatételek toxinkoncentrációja a megfelelő malmi technológiai feltételek biztosításával lecsökkenthető a feldolgozás során? Nagyon fontos kérdés az is, hogy milyen mértékű lehet a toxincsökkentés? E kérdésre adott válasz egyrészt technológiai szempontból érdekes: a kívánt eredmény eléréséhez elegendő valamelyik gép és az általa képviselt eljárás alkalmazása vagy a két gép együttesen biztosítja a kellő biztonságot. E kérdések túlmutatnak a kísérlet keretein és alapvető céljain. Hiszen ha van lehetőség a toxintartalom minimalizálására a határértéken belüli búzatételeknél, akkor az a lakosság egészségvédelmében jelenthet pozitív hatást, mert e toxinok által okozott szervi megbetegedések kockázata kisebb lesz. Illetve kiiktathatjuk azokat az anyagokat a mindennapokból, amelyek az immunrendszer működésére kedvezőtlenül hatnak. Kísérleteimnek kiemelten fontos célja annak igazolása, hogy célirányos technológiai fejlesztésekkel az élelmiszerbiztonsági kockázatok kezelésére van lehetőség. Ehhez azonban az élelmiszer-előállítóknak és a műszaki-technikai feltételeket biztosító beszállítóknak az együttgondolkodására és együttműködésére, közös fejlesztési projektek kialakítására van szükség.

A kísérleti eredmények az alapvető célkitűzésen túl kiindulópontot nyújthatnak ahhoz is, hogy e berendezések fejlesztésében milyen további lehetőségeket és irányokat érdemes kutatni és kidolgozni a pontosabb és szélesebb körű alkalmazás érdekében. Illetve a gyakorlati szakemberek figyelmét is ráirányítja arra, hogy az alapanyag beszerzésénél, tárolásánál milyen szempontokat kell és érdemes figyelembe venni e kémiai kockázatok minimalizálásához.

A kutatási eredményeim gyakorlati alkalmazásával a műszaki fejlesztések célirányosabbá tehetőek. Ezáltal hatékonyabb együttműködés valósítható meg a gyártás műszaki feltételeit nyújtó beszállítók, és az élelmiszerlánc közvetlen résztvevői között. Mindennek a termelő szervezeteken túl a végfogyasztó lesz a nyertese, hiszen biztonságos, az egészségre kockázatot nem vagy alig jelentő élelmiszerekhez juthat.

1.2. Célkitűzések

A Magyarországon működő malmok által alkalmazott technológiák nagyon sokszínűek. A technológia fejlettségének egyik legmeghatározóbb eleme az, hogy milyen gépekkel és

berendezésekkel működik a folyamat. A kutatómunkám során arra keresem a választ, hogy van-e lehetőség a búza DON-toxin tartalmának a csökkentésére abban az esetben, ha a malomipari tisztítási folyamatba korszerű berendezéseket építenek be és alkalmaznak. Kísérleteimben a Sortex Z+ optikai válogatógép és a Schule Verticone VPC 480 felülettisztító gép hatását vizsgálom a toxincsökkentésben. Az optikai tulajdonságok alapján történő válogatás alkalmazása a malomiparban, a búza halmaztisztításban egészen új keletűnek számít. Ma még csak a legkorszerűbb technológiával rendelkező malmok alkalmazzák. Ezzel szemben a gabonaszemek felülettisztítási eljárását szolgáló gépek már régóta részei a malmi technológiának. Azonban a fejlesztések révén e gépek korszerűbbé váltak, teljesítőképességük, precizitásuk nagymértékben javult. Ebből következően mindkét gépnek fontos szerepe van az élelmiszerbiztonsági kockázatok csökkentésében is. Konkrétan arra a kérdésre keresem a választ, hogy ezek a berendezések az alapfeladataik ellátásán túl, a gyakorlatban képesek igazolhatóan csökkenteni a búzátételek DON-toxin tartalmát. Ennek bizonyításához egy konkrét malomipari folyamatban végeztem méréseket 2013-2015-i időszakban, eltérő években betakarított és különböző toxinszennyezett búzátételeknél.

A kutatómunkám célja az, hogy egy súlyos élelmiszerbiztonsági kockázat minimalizálásában szerepet játszó műszaki megoldások hatásosságát, az azokra vonatkozó adatokat elemezzem és értékeljem, illetve ennek eredményeként fejlesztési lehetőségekre világítsak rá:

- Igazoljam, hogy a malomipari folyamatba beépített optikai válogatógép és „új generációs” felülettisztító gép együttes alkalmazásával a búzátételek DON-toxin tartalma biztonságosan csökkenthető a gyártás során a kiinduló toxinszennyezettségtől függetlenül. Az eltérő toxinszennyezettséget eredményezheti, többek között, a termőhelyek eltérő termesztési feltételrendszere, illetve a különböző tenyésztésekben kialakult ökológiai hatások, azaz az évjáráthatás.
- Kutatási eredményekkel bizonyítsam az optikai válogató és a korszerű felülettisztító gépek nélkül működő tisztítási folyamat hatását a durum búza tételek DON-toxin tartalmára.
- Megállapítsam, hogy az optikai válogató gép és a felülettisztító gép milyen arányban járul hozzá a tisztítás hatáshoz, és külön-külön kellő biztonsággal csökkenthető-e velük a búzátételek toxinkoncentrációja a toxinszennyezetség kialakulási körülményeitől függetlenül.
- Meghatározom azt a módszert, amivel egy adott betakarítási évben a tisztítási folyamat végén mérhető DON-toxin tartalom a malmi szakemberek meg tudják határozni a gyártástervezéshez és optimalizáláshoz az egyes búzátételek esetén.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

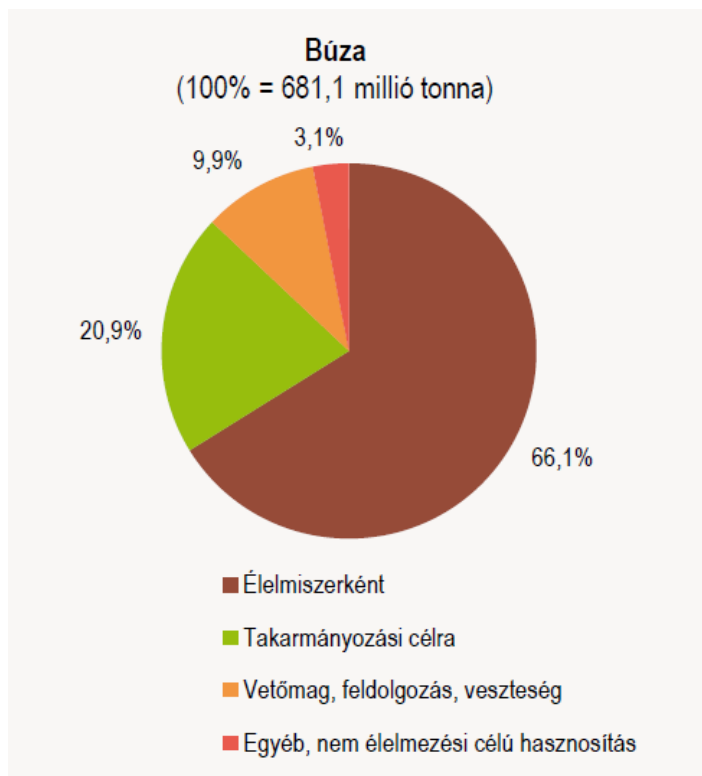
2.1. A búza gazdasági és élelmezési jelentősége

A gabonaszektor alapvető élelmiszereket és takarmányt biztosít a Föld lakossága és állatállománya számára. E szektoron belül az egyik legjelentősebb növény a búza, amit több mint 100 országban termelnek. Legnagyobb arányban a mérsékelt övben folyik a termesztése. Jó alkalmazkodó képességének köszönhetően, azonban, az arktikus területek kivételével mindenhol foglalkoznak e növény termesztésével. Annak köszönhetően, hogy a búzát a legnagyobb területen és mennyiségben termesztik, bátran állíthatjuk, hogy a Földünk legfontosabb növénye. A FAO adatok azt mutatják, hogy a 1500 millió hektár szántóterületből mintegy 220 millió hektáron termelnek búzát a világon, ami az összes szántóterület 14%-a. Ezt követi a kukorica, amit a szántóterületek 12%-án és a rizs, amit a 11%-án termesztnek (FAOSTAT, 2016).

A világ gabona termésmennyiségének több mint egynegyedét teszi ki a búza, ha az elmúlt évek átlagát tekintjük, ami a FAOSTAT adatai szerint, 2014. évben a 27%-os értéket mutatott. Ez azt jelenti, hogy az összes szántóterület 14%-án, az évjáráthatástól függően, mintegy 600-700 millió tonna szemtermést takarítanak be évente búzából. Európában 60 millió hektár körüli területen 200-250 millió tonna között alakul az össztermés mennyisége. Az Európai Unió búzatermelése szintén jelentős, hiszen az elmúlt évek átalagadatait tekintve 26 millió hektáros a vetésterület, amiről 140-160 millió tonna búzát takarítanak be, és ez növekvő tendenciát mutatott az elmúlt években. Magyarországon az ország felületének csaknem fele, azaz 4,5 millió ha a szántóterület. Ebből több mint 1 millió hektáron termelnek búzát. Ez a világ búzatermő területének mintegy 0,5%-a, amivel Kiss (2011) szerint a világ búzatermelő országai között a 29. helyen állunk. Erről a területről valamivel több mint 5 millió tonna szemtermést arathatunk le (KSH, 2016; FAOSTAT, 2016), de ez a mennyiség egy-egy adott évben az időjárási viszonyoknak köszönhetően nagymértékben eltérhet, csökkenhet (Bedő és társai, 2017). A Magyarországon átlagosan betakarított terméseredmény azt is mutatja, hogy az Európában és a világon elért területegységre vonatkoztatott átlagtermést meghaladó mennyiségű búza termesztésére vagyunk képesek. Az EU-s átlagot azonban nem érjük el. A 2014. évi terméseredményeket vizsgálva az Európai Unió tagállamai közül kimagasló átlagterméseket elérő országok, mint Írország (10 t/ha), Belgium (9,6 t/ha), Hollandia (9,1 t/ha), csaknem kétszer annyi búzát takarítottak be egy hektárról, mint a hazai átlag. Ezen túlmenően, ha továbbra is az Európai Unió tagállamait vizsgáljuk, igen kiváló terméseredményeket mondhat magáénak Németország (8,6 t/ha), Dánia (7,4 t/ha), Franciaország (7,3 t/ha). Ha kitekintünk és a világ országait vizsgáljuk meg, 2014-ben az Európában elért termésátlaghoz hasonló nagyságrendet csak Új-Zéland tudott produkálni, ami 8,6 tonna volt hektáronként. Érdemes megemlíteni Namíbiát (6,6 t/ha), Egyiptomot (6,5 t/ha) és Chilét (5,3 t/ha) a búzatermésátlagaikkal. Ezek az adatok jó összehasonlítási alapot nyújtanak a jelenleg elért és az elérhető terméseredmények tekintetében.

A búza nagy része élelmiszer-alapanyag és takarmány lesz, viszonylag kishányada az, amit ipari vagy egyéb célra hasznosítanak (2.1. ábra). A világ lakosságának a növekedésével egyre nagyobb lesz az a búzamennyiség, amit az élelmiszerláncban belül fognak felhasználni. Ebből következtethetünk arra, hogy az eddiginél nagyobb mennyiségben kell előállítani ezt az alapanyagot. A FAPRI 2012-es előrejelzése, amelyek 2026-ig szólnak, azt mutatják, hogy várhatóan a búza vetésterülete csak nagyon kis mértékben fog változni a jövőben, hiszen a jelenlegi vetésterületeket az elkövetkezendő időben már számottevően bővíteni nem lehet. Így a takarmány- és élelmiszerszektor növekvő igényét a magasabb termésátlagok elérésével lehet kielégíteni. Ezen túl ki kell dolgozni olyan eljárásokat, amelyekkel a már megtermesztett termés egyes évjáratokban előforduló veszteségeit lehet csökkenteni. Az erre vonatkozó kutatások a jövő szempontjából nagy jelentőséggel bírnak. Annál is inkább, mert az

élelmiszerláncba bekerülő termékekkel kapcsolatban nemcsak a mennyiségi, hanem a minőségi és élelmiszerbiztonsági igények is egyre hangsúlyosabbá válnak.



2.1. ábra A búza felhasználása a világon 2011-ben. (Forrás: KSH, 2014)

2.2. A búza mikotoxin koncentrációját meghatározó tényezők

2.2.1. A gabonákban előforduló toxinok

Az élelmiszerekben előforduló mikotoxinok egyes penészgombák által termelt másodlagos anyagcseretermékek, amelyek erős toxikus hatással bírnak, és ezért élelmiszerbiztonsági szempontból magas kockázatot jelentenek (D’Mello, Macdonald, 1997). Ezek a másodlagos anyagcseretermékek többségükben citotoxikumok. A sejtekre hatnak kedvezőtlenül oly módon, hogy a sejtalkotókat vagy egyes sejtfunkciókat teszik tönkre. Ezért a természetesen előforduló mérgező anyagok közül a legveszélyesebbnek tekinthetők (Deák, 2006). Ugyanakkor nincs szerepük az őket termelő mikroszkopikus gombák normál anyagcseréjében.

A középkortól találhatók olyan járványokról információk, leírások, amelyek a mai vizsgálatok alapján a penészgombák által termelt toxinok hatására vezethetők vissza. Az akkori kor embere az eredendő okokkal nem volt tisztában, hanem büntetésnek, Istencsapásnak vélte, amit vezekléssel lehet megszüntetni. Ilyen például az i.sz. 945-ben Franciaországban tomboló, majd időszakra időszakra visszatérő, nagy tömegeket érintő „járvány”, amit Szent Antal tüzeinek neveztek el. Csak az 1700-as évek végén jöttek rá, hogy valójában a nem megfelelően tisztított rozsban található anyarozstól betegedtek meg az emberek. Ebben az esetben ma már tudjuk és bizonyítható, hogy a fitopatogén gomba által termelt toxin váltotta ki ezt a hatást (ergotizmus). Ennél korábbi időszakról is maradtak fenn olyan információk, amelyekből utólag csak következtetni tudunk arra, hogy toxinok okozta megbetegedésekről van szó. Feltételezések szerint a peloponnészoszi háború időszakában, az Athénban tomboló kórságot, amiben több ezren haltak meg, nem pestis okozta, hanem toxinszennyezett búza. Írásos emlékek szerint elsősorban a felsőbb osztály tagjai betegedtek meg, akik naponta ehettek abból a kenyérből, ami a Fekete-tenger mellett megtermesztett búzából készült. A Fekete-tenger vidékéről származó

búzaról szicíliai források is azt állították, hogy „rossz” volt (Németh, 2002). Hasonló esetet regisztráltak Egyiptomban, amit a bibliai tizedik csapásként emlegettek és az első szülött fiúk halálát okozta. Az első szülöttek kiváltságokat élveztek, az étkezésben is ők voltak az elsők és a legnagyobb mennyiséget fogyasztók. Több kutató szerint ebben az esetben is a toxinszennyezett búza okozhatta a csapást. Ez is bizonyítja, hogy ezek az anyagok már ősidők óta jelen vannak az élelmiszerláncban. (Jakucs, Vajna, 2003; Varga és mtsai., 2009;)

Pasteur volt az első az 1800-as évek közepén, aki a mikroorganizmusok jelenlétét és tevékenységét kísérletekkel igazolta (Deák, 2006). A mikotoxinokat termelő penészgombák kutatása csak a huszadik század második felében indult intenzív fejlődésnek (Kiss, Toldi, 2013). Az úgynevezett gomba-méregtan tudomány a 60-as években alakult ki. A kutatást az indította el, hogy Angliában százezernél is több pulyka pusztult el. Blount írta le azt a pulykabetegséget, amit a később aflatoxinak elnevezett vegyület okozott (Blount, 1960; Cole, 1986). A fuzárium gomba által termelt toxinról először Platter és Clauson tett említést, ugyancsak a múlt század közepén. Ők azonosították paradicsomban a lycopersin nevű anyagot, amit a *Fusarium lycopersici* gomba termelt (Szabó-Hevér, 2013). A vizsgálati módszerek fejlődésével számtalan fuzárium törzs több mint ötven fajáról igazolták, hogy toxinokat termelnek. Deák (2006) szerint a fuzárium fajok termelik az ismert mikotoxinok csaknem egyharmadát és elsődlegesen a gabonaféléken jelennek meg. Tehát ezek jelentősége kimagaslónak mondható. Az élelmiszerlánc minden pontján, azaz a termesztésnél, a tárolásnál, a feldolgozásnál és a forgalmazásnál is számolnunk kell e penészgombák és toxinjaik előfordulásával (Ambrus, Szeitzné, 2010). A toxinok jelentőségét az adja, hogy az emberi és az állati szervezetben súlyos szövődeményeket, rövidebb-hosszabb idő alatt kialakuló betegségeket, sok esetben maradandó károsodást okozhatnak (Hussein, Brasel, 2011)

2.2.2. A fuzárium fertőzés jellege és a búzaszemek toxinszennyezettsége

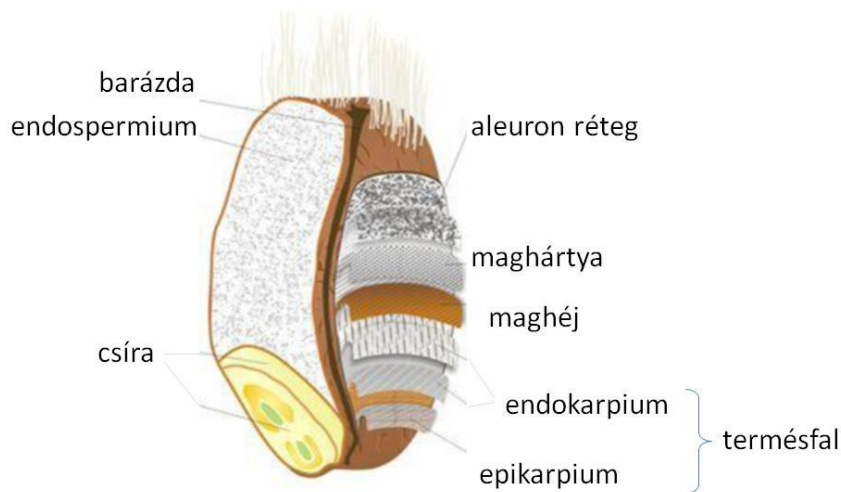
A kalászokat fertőző fuzárium fajok úgynevezett fakultatív paraziták, ami azt jelenti, hogy képesek az élő növényt fertőzni és azok elhalt maradványain is túlélni. Ezen túl a talajban vagy annak felületén, fertőzött magvakban vagy azok felületén is képesek a fennmaradásra (Parry et al, 1995). Már a múlt század elején egyértelmű volt a kutatók számára, hogy a búza a fuzárium fertőzésre a virágzás idején a legfogékonyabb (Atanasoff, 1920). A kísérletekben is az a legáltalánosabb eljárás, hogy a virágzás és az azt követő 10 napos időszakban fertőzik meg a gombával a búzát, mert ezt tartják a leghatékonyabb időszaknak (Bekele, 1985; Mesterházy, 1998). Mesterházy (2002) szerint a betegség fellépéséhez három feltétel szükséges: fertőzőanyag, fogékony gazdanövény és megfelelő környezeti feltételek.

A gabonák fuzárium fertőzésének a kialakulásában és a toxintartalom alakulásában kiemelt szerepe van az időjárási tényezőknek. Ez olyan kockázati faktor, amire a búza előállítása során nincs ráhatása a termesztőknek (2006/583/EK irányelv; Mesterházy, 1995). E tényezőkkel szemben a védekezés egyik leghatékonyabb módja a rezisztens fajták alkalmazása lehetne. De tudjuk, hogy az elmúlt években a fajtastruktúra ilyen tekintetben nem sokat változott. Megfelelő időben és minőségben végzett agrotechnikával is csökkenteni lehet a betegség kialakulási kockázatát, de az elmúlt évek tapasztalata szerint ez a különböző évjáratokban eltérő hatékonyságú volt. Mindez azt jelenti, hogy a fuzárium fertőzéssel számolnunk kell az elkövetkező időszakokban is, különösen a csapadékos kora nyári időjárást követően.

A fuzárium fertőzés mértéke és jellege attól függ, hogy mely fenofázisban támadja meg a búzát a gomba (Hertelendy, 2017). Ez határozza meg, hogy az a szemtermésnek csak a magháját, vagy a tápszövetét, azaz endospermiumát is érinti, avagy nem.

A búzaszem három fő részből áll: a héjrészből, az endospermiumból (liszttest) és a csirából (2.2. ábra). A legnagyobb részét az endospermium (81-84%), a csíra 2-3%-át, míg a héjrész 14-16 %-át teszi ki (MacMaster et al., 1964). A szem külső felületét a több rétegből összenőtt terméscső és

a szintén több részből kialakult maghéj alkotja (Andersson, 2011). Ez a többrétegű, érett állapotban igen kemény, elfásodott sejtekből álló héj óvja a mag belső részeit, azaz az endospermiumot és a csírat a külső behatásoktól (Györi, Györiné 2011).



2.2. ábra A búzaszem részei (Forrás: Rakszegi és mtsai, 2014)

A 2.2. ábra jobb oldalán látható rétegek alkotják a terméshéjat, ami a malmi feldolgozás során a korpa nagy részét adja. Ha a megtermékenyülést követő időszakban, a szemek fejlődésének kezdetén kedvező az időjárás a fuzárium gomba fertőzéséhez, akkor egy adott búzatételben nagyobb az aránya azoknak a szemeknek, amelyeknél a magbelsőben (endospermiumban) van jelen a gomba. Ez minden bizonnyal összefüggésbe hozható azzal, hogy a magvak külső védelme ebben az időszakban még nem tökéletes (Hertelendy, 2017). A szemek színe ebben az esetben megváltozik. Világosabbá, elsősorban szürkésfehérré válhat (2.3. ábra, A” kép), de halványlila (2.3. ábra, „B” kép) vagy rózsaszínű elszíneződés is előfordulhat.



2.3. ábra A búzaszem színváltozása a Fuzárium spp. fertőzés következtében

A színváltozásnak a kísérleteim szempontjából nagy jelentősége van. A korai fertőzésnél a szemek egy része, az előbb említettek mellett kisebb, puhább állományú lehet, könnyebb a fajsúlyuk. Amennyiben az időjárás a búzaszemek fejlettebb állapotában, vagyis a teljes érés elején válik csapadékossá, akkor a gombafertőzés már csak kisebb százalékban éri el a magbelsőt, a fertőzési góc a terméshéj rétegeiben alakul ki. Ennek a jelenségnek köszönhetően terjedt el a szakirodalomban és a gyakorlati szakemberek körében is az általános nézet, hogy a

toxinok a búzamag külső héjrétegében halmozódnak fel elsősorban (Szeitzné, 2009, Véha és mtsai, 2011). Teljes érésben történő fertőzés esetén a szemek színének a megváltozása kevésbé jellemző és a szemméret sem lesz számottevően kisebb. Viszont az egészséges szemekhez képest általában puhábbak lesznek a fertőzött magvak. A teljes érés végén megbetegedett szemek már alig térnek el az egészségesektől, a magbelső érintetlen marad. Esetenként előforduló, felületükön látható micéliumok vagy enyhe elszíneződések utalhatnak a fertőzésre.

Veres és Borbély (2007) kísérleti eredményei egyértelműen alátámasztják az előző bekezdésben leírt folyamatot. A fertőzött búzatételek analizálása során kimutatták, hogy a szem külső és belső fertőzöttsége között nincs szoros korreláció, vagyis egymástól független jelenségek következtében alakulnak ki. Ezen túlmenően megállapították azt is, hogy az általuk vizsgált tételben a külső és a belső fertőzöttség mértéke, valamint a búza toxintartalma között nem állt fenn egyenes arányosság. Azzal kapcsolatosan pedig napjainkban még a szakirodalom sincs egységes állásponton, hogy a gombák toxintermelési aktivitását milyen tényezők befolyásolják.

A fent leírt információk és kutatási eredmények alapján valóban levonható az a következtetés, hogy a fertőzött szemeket nehéz eltávolítani egy búzatételből a betakarítás utáni tisztítási fázisban. A hagyományos, konvencionális tisztítási, válogatási eljárással nem lehet biztonságosan és hatékonyan csökkenteni a toxinkoncentrációt, hiszen az az évjáráthatástól, azaz az adott termesztési év ökológiai tényezőitől függően a búzaszem különböző részeiben lehet jelen. Ezek alapján a tapasztalatok alapján a szakirodalom feltételezi tehát, hogy a feldolgozás során nincs vagy nagyon korlátozott, illetve bizonytalan annak lehetősége, hogy a mikotoxin koncentrációt, azaz az élelmiszerbiztonsági kockázat mértékét minden búzatétel esetén biztonsággal tudjuk mérsékelni (Szabó-Hevér, 2013; Szeitzné, 2009; 2006/583/EK irányelv). Sándor és munkatársai (2010), valamint Frank (2010) végeztek közel azonos módon felépített modellkísérleteket a DON-toxin csökkentésére, amelyben a malmi feldolgozás során alkalmazott felülettisztító eljárásokhoz hasonló, laboratóriumban kialakított és felépített eszközök alkalmazásával vizsgálták azok hatását. Ők is abból a feltevésből indultak ki, hogy a toxinok nagy része a búzaszemek csírájában és héjrészében koncentrálódik. Egy adott tételből vett, viszonylag kisszámú minta bevizsgálását értékelték. Az eredményeik fontosak abból a szempontból, hogy igazolták, bizonyos felülettisztítási módok alkalmazásával csökkenthető a búzatétel toxintartalma. Viszont nem szabad figyelmen kívül hagynunk azt, hogy a fuzárium infekció mértéke és jellege attól függ, mely fenofázisban támadja meg a búzát a gomba. Ez határozza meg, hogy a szemtermésnek csak a maghéját, a csíráját, vagy már a tápszövetét is érinti a fertőzés. Az is meghatározó, hogy a malmi feldolgozási körülmények között az alapanyagtételek keveredéséből, a folyamat jellegéből, valamint több egyéb tényező egymásra hatásából adódóan a tisztítás folyamata és annak hatékonysága más eredményt mutathat, mint laboratóriumi körülmények között. Élelmiszerbiztonsági szempontból viszont nagyon fontos, hogy ne csupán az elméleti lehetőségekről, hanem a ténylegesen végbemenő folyamat hatékonyságáról kapjunk korrekt információt.

A kísérleteim alaphipotézise az, hogy a korszerű malomipari gépek segítségével már van lehetőségünk arra, hogy a feldolgozás során, a fertőződés mértékétől, típusától függetlenül az őrlésre feladott búzatételek DON-toxin koncentrációját biztonsággal csökkenteni tudjuk, azt az élelmiszerbiztonsági határérték alatt tudjuk tartani (Kecskésné, Szalai 2014; Kecskésné, Sembery 2014; Kecskésné, Sembery 2015/a; Kecskésné, Sembery 2015/b; Kecskésné és mtsai, 2015; Kecskésné és mtsai, 2016; Kecskésné és mtsai, 2017).

2.3. A DON-toxin élelmiszerbiztonsági vonatkozása

Utaltam rá korábbi fejezetekben, hogy a *Fusarium* nemzetségbe tartozó fajok jelentős toxintermelő penészgombák, amelyek nagyon sokféle fuzariotoxint termelnek. Elterjedésüket segíti, hogy számos haszonnövényen élősködhetnek. A világon a legnagyobb gazdasági kárt

azonban a gabonafélék fertőzésével okozzák, ami kihat a növénytermesztés és az állattenyésztés eredményességére egyaránt. Mindezekon keresztül a humán-egészségügyi következményük is számottevő lehet (Mesterházy, 2007; Szabó-Hevér, 2013).

A fuzariotoxinok egyik gyakran előforduló képviselője a deoxinivalenol, vagy vomitoxin, még ismertebb nevén DON-toxin (Kiss, Toldi, 2013). Mesterházy (2007) szerint a búzában ez a toxin fordul elő leggyakrabban. Mivel e mikotoxin a gabonafélékben és a feldolgozott gabonatermékekben egyaránt jelen lehet, így élelmiszerbiztonsági szempontból jelentősnek mondható. A szervezetbe akár egyszeri alkalommal, nagy mennyiségbe bekerülő DON-toxin már heveny emésztőrendszeri problémákat okozhat. Nagyon stabil vegyület, hőhatásnak ellenáll, a tárolási és a feldolgozási folyamatok során sem bomlik le, tehát az egész élelmiszerláncon képes végighaladni (Sohár, 2007; Ambrus, Szeitzné, 2010). Ebből eredően az Európai Unióban szigorúan szabályozták, rendeletben meghatározták az egyes termékekben a megengedhető legmagasabb értékét. A 1881/2006/EK rendelet rögzíti e szennyező anyagok felső határértékét. A feldolgozatlan durumbúza esetén a megengedett legmagasabb DON-toxin tartalom 1,75 ppm, míg feldolgozatlan étkezési vagy más néven aestivum búzákbán 1,25 ppm lehet ez az érték.

A jogszabályban megadott határértékek betartása kötelező, ami átlagos évjáratban többnyire nem jelent problémát a termelők és a feldolgozók számára. Csapadékos, meleg években azonban a gabonák toxintartalma erőteljesen megemelkedhet. Fontos tehát a jó mezőgazdasági, illetve gyártási gyakorlati protokoll kialakítása, amivel a toxinkoncentrációt biztonságosan és ellenőrzött módon az egészségügyi határérték alá lehet csökkenteni kedvezőtlen évjáratokban is.

2.4. A tisztítási folyamat és gépei

A gabona feldolgozási folyamatának feladata, hogy a búzaszemek őrlésre előkészítése után a mag három fő alkotórészét (2.2. ábra) a lehető legtökéletesebben szétválassa. A két fő terméknek, vagyis a lisztnek és a korpának, megfelelő arányban kell tartalmaznia a magbelsőt és a burkot. A malmi technológia három fő részből áll:

- A gabona előkészítése az őrléshez
- A gabona őrlési munkaműveletei
- A malmi késztermékek kialakítása.

E fejezetben a feldolgozási fázisok céljának rövid meghatározása után a gabona előkészítési folyamataiban megvalósított tisztítási műveleteket és azok gépeit szeretném bemutatni a szakirodalmi információk alapján. A kísérleteim szempontjából e munkaműveleteknek van jelentőségük a tekintetben, hogy mennyire megbízhatóan csökkenthető egy búzátétel DON-toxin tartalma.

A malmi munkafolyamatok őrlést előkészítő munkaműveletekkel kezdődnek. Céljuk a gabonahalmaz olyan „állapotának” kialakítása, amiből a minőségi és az élelmiszerbiztonsági előírásoknak megfelelő őrleményt lehet gyártani. Az előkészítő szakasz első lépése a búzátételek minőségének az egalizálása. A malmi feldolgozás során elengedhetetlen a bemenő anyagáram minőségstabilitása, ezért a gyakorlatban az eltérő beltartalmi tulajdonságokkal rendelkező, ebből következően különböző lisztsilókban betárolt búzákat keveréssel kell homogenizálni (Biacs és mtsai, 2010). Ezt követi a gabonátétel halmaztisztítása és a búzaszemek felülettisztítása, majd az aprításhoz, valamint az alkotórészek szétválasztásához szükséges nedvességtartalom biztosítása (Sugden, 1999). E munkaműveletek után kezdődhet a technológia második fázisa, az őrlés. Az őrlés lépései: töretés, felbontás, kiörlés, a töret osztályozása, daraörlés és daratisztítás, derceörlés és dercetisztítási műveletek (Jakóné, 2006). Az őrlés eredményeként a magbelsőtől nyerjük a lisztet, amit elkülönítünk a héjrésztől, azaz a korpától. Szükséges a magbelsőtől a csíra elszeparálása is, mert ezzel megakadályozható a végtermék gyors minőségromlása, avasodása. A malmi folyamat utolsó fázisában a feladat az őrlés során keletkezett félkész termékek (különböző

szemcseméretű és beltartalmi tulajdonságokkal rendelkező un. lefolyások) keveréséből a végtermék Magyar Élelmiszerkönyvi előírások szerinti frakcióinak és a vevői igényeknek megfelelő kialakítása (Lovra-Szabolcski, 2011). A feldolgozás utolsó két fázisának a minőségét alapvetően befolyásolja az alapanyag tisztasága, azaz az első fázis minősége, a tisztítási műveletek precíz, megfelelő eszközökkel történő kivitelezése (Bratucu, 2009).

A malmok technológiáit összehasonlítva, tapasztalatom szerint, a tisztítási munkafolyamatokba beépített gépek és berendezések nagyon változatosak lehetnek. Az, hogy a búza őrlése mennyire korszerű berendezésekkel történik, sok tényezőnek a függvénye egy adott üzemben. Feltevésem szerint a fertőzött búzatételek esetén a toxincsökkentés mértékét meghatározza, hogy milyen gépekkel, technikai eszközökkel végzik a malmi búza előkészítését az őrlésre. A tisztítási mechanizmusok szakirodalmi adatok alapján történő feldolgozásával az a célom, hogy az egyes tisztítási lépéseknél alkalmazott gépek fő funkciójának és működési mechanizmusának leírása alapján egyértelmű legyen, hogy a búzatétel mely alkotóinak eltávolítását szolgálják, amiből következik azok toxincsökkentésben betöltött szerepe is.

2.4.1. A halmaztisztítás és gépei

A gabona tisztítási műveletei a halmaztisztítással kezdődnek, aminek során az alapanyag alkotóit eltérő fizikai tulajdonságaik alapján választják szét (Jakóné. 2006), azaz méret, sűrűség szerint, illetve aerodinamikai tulajdonságok alapján szeparálják. Erre azért van szükség, mert betakarítás után a gabonátételek tartalmazhatnak gyommagvakat, fajtaidegen magvakat, fajtaazonos törött vagy fejletlen szemeket, valamint egyéb szennyeződések, amelyek egyrészt a feldolgozógépeket károsíthatják, másrészt a végtermék minőségét ronthatják. Nem utolsó sorban, élelmiszerbiztonsági kockázatot jelenthetnek (Posner, Hibbs, 2005). Ezeket az anyagokat több lépésben távolítják el a halmazból, mielőtt a búzát megőrlik.

A halmaztisztítás már a betakarítás után közvetlenül elkezdődik. Ilyenkor a durva szennyeződések, idegen anyagok, valamint a por és kő egy részének a kiválasztása történik meg. Ebben a fázisban a cél a tárolási hatékonyság javítása és a tárolás minőségére kedvezőtlen hatást gyakorló elemek eltávolítása a gabonátételből. A minőséget rontó összetevők kiválasztása érdekében érdemes az előtisztításra nagy gondot fordítani, mert közvetett hatása van a malmi végtermék minőségére, e mellett a feldolgozás során keletkezett melléktermékek összetételét és minőségét is befolyásolja. Ezt Stoenescu és munkatársai (2010) vizsgálatokkal igazolták. Az eredmények azt mutatták, hogy a malmi tisztítógépek hatásfoka nagymértékben függ a kiinduló halmazban lévő szennyezőanyagok mennyiségétől, valamint minőségétől, és ezen keresztül hat a lisztminőségre.

A konvencionális malmi technológiában a halmaztisztítás nagyobb hatékonysággal végzett, jóval több fázisból és lépésből álló munkaművelet, mint amit az előtisztítási szakaszban alkalmaznak (Lakatos, 2013). Ez a folyamat a megfelelő sorrendbe beépített vagy kapcsolt gépek segítségével zajlik, amelyek szeparáló jellegű műveleteket végeznek az összetevők különböző fizikai tulajdonságai alapján (Biacs és mtsai, 2010). Tehát a tisztítás egyes lépéseit eltérő céllal és ehhez megfelelően kiválasztott gépekkel végzik, ami a legtöbb esetben, egy konvencionális technológiában az alábbi műveletek kombinációjával valósul meg:

- mágneses tisztítás, azaz a mágnesezhető fémszennyeződések eltávolítása,
- rostálás, szelelő rostálás, azaz az alkotók méret szerinti, valamint aerodinamikai tulajdonságai alapján történő szétválasztása
- száraz kő- és rögkiválasztás, vagyis az alkotók sűrűség és méret szerinti osztályozása
- triórökkel történő osztályozás, ahol a tört és ép szemek szétválasztása az elsődleges cél.

Minden tisztítási szakasz a mágnesezhető fémek kiválasztásával kezdődik. Így a búza őrlésre

előkészítési fázisában, a tisztítási műveletek során, több helyen fordul elő a mágnessel történő kiválasztás. A fémszennyeződések a betakarítás és a szállítási folyamatlépéseken túl a malmi feldolgozás munkaműveletei alatt is a rendszerbe kerülhetnek. Így például apró alkatrészek, amelyek a kopás révén váltak le, csavarok, huzal, stb. De a súrlódás következtében a hegesztési varratokról is forgácsolódhat le finom fémréteg. A vas és az acél jelenléte egyrészt rontja a végtermék minőségét, másrészt veszélyezteti a malmi gépek épségét és üzembiztonságát. Bizonyos feltételek között még porrobbanást is okozhatnak. Ezért elengedhetetlen a gabonátétel fémmentesítése több szakaszban is: vagyis a búzátételek keverése utáni lépésben; a halmaztisztítás azon szakaszaiban, ahol a főtermék továbbhalad; a felülettisztítást közvetlenül megelőzően, és az 1. töret előtt, majd az ömlesztett liszt kiadagolásánál (Biacs és mtsai, 2010). A mágnesezhető fémeket permanens mágnessel választják ki a malmi folyamatokban. A permanens mágnes, szemben az elektromágnessel, egy esetleges áramszünet idején is zavartalanul és megbízhatóan működik. Hatásfoka függ attól, hogy milyen vastagságú és sebességű az anyagáram, amelyből a kiválasztás történik, valamint a mágnesek tisztításának a gyakoriságától és módjától. Ilyen szempontból előnyösek a többrekeszes mágnesek, mert az eszköz tisztítási művelete alatt is jó hatékonysággal tudják a fémeket kiválasztani.

A mágnesezhető fémek kiválasztását általában a száraz kőkiválasztás követi, aminek a célja a nem mágnesezhető fémek, kövek, üvegszilánkok, rögök, stb. eltávolítása. A szakirodalom nem minden esetben javasolja a malmi tisztításba beépíteni a kőkiválasztást, ami bizonyos feltételek mellett az étkezési vagy aestivum búzánál teljesen érthető (Biacs és mtsai, 2010). A durumbúza őrlésekor viszont kifejezetten javasolt az alkalmazás (Fowler, 2014). Az ok pedig az előállított lisztfrakciókban keresendő. E búzafajból az elsődleges termék a durumbara, ami a szennyeződésekre érzékenyebb, mint a kis szemcseméretű lisztfrakciók, de ezt a későbbiekben részletezem majd.

A kőkiválasztás során a ferdén elhelyezett osztályozó asztalon a gabonahalmaz önrétegző képességét használjuk ki. A vibráló asztalon az anyaghalmaz méret-, alak-, és sűrűség alapján rétegződik. Ennek a folyamatnak a hatásfokát a szívó rendszerű légáram növeli, aminek révén a gabonahalmaz egy ún. aero-vibrofluid állapotba kerül. A nagyobb sűrűségű anyagok, mint például a kő, a vibrációnak köszönhetően felfelé haladnak, míg a könnyebb és a nehezebb gabonaszemek lefolynak az előbb említett jelenségnek köszönhetően. Gordon és Willm (1993) megállapították, hogy a tökéletesen beállított kőkiválasztóval a nagyobb kövek mintegy 98% -át, a kisebbek 87% -át távolíthatjuk el.

A halmaztisztítás egyik összetett művelete a rostálás. Attól függően, hogy milyen egységekből áll, és ezek az egységek egymáshoz képest hogyan helyezkednek el, nagyon sokféle halmazkötő eltávolítására alkalmasak lehetnek (Lovra-Szabolcski, 2011). A rosták már nem csak az idegen szervesanyagok, hanem a liszt minőségét rontó tört, hasadt, sérült, léha búzaszemek és idegen kultúr- és gyommagvak egy részének a kiválogatására is képesek. A búzahalmazt különböző alakú és méretű perforált lemezre vagy fémszövetre öntjük fel. A lyukakat az átlagos szemmérethez igazodóan alakítják ki. Így azok a búza szélesség-, vastagság- és hosszúságai szerint tudnak osztályozni. A válogatást a lyukak méretén túl azok alakja is meghatározza. A malomiparban, elsősorban, a kör- (búza szélességi méretei alapján válogató) és a hosszlyukazatú (hosszúság és vastagság szerint válogató) rostákat alkalmazzák (Biacs és mtsai, 2010). A rostálás hatékonyságát a különféle rosták összekapcsolásával növelik, ami soros, párhuzamos és zezugos elrendezésű lehet. A rostákat szögben helyezik el. A lejtés előtisztításnál 5-15 fok, utótisztításnál 0-5 fok. A válogatást a mozgással tudják megvalósítani. A rosták alternáló, vagy lengő mozgást végeznek, lökethosszuk 10-30 mm, lengésszámuk 200-500 löket/perc. Vannak vibrációs rosták 2-3 mm lökettel és 1000-3000 percenkénti lengésszámmal (Csizmazia, 2011). A rosták alátámasztása (felfüggesztése) rugós, mozgásukat forgattyús hajtómű, vagy kiegyenlített tömeg biztosítja. Működés közben az eltömődés ellen

lengő, vagy folyamatosan haladó kefék, a rosta felületét ütögető gumikalapácsok, illetve hullámos felületen mozgó (pattogó) gumigolyók biztosítják. Ez utóbbi esetben a tisztító szerkezet nem hajtott, a rosta mozgása biztosítja a golyók mozgatását (Monda et. al., 1990).

A szemek aerodinamikai tulajdonságai alapján történik a szétválasztás a szélszekrényben vagy az úgynevezett szeleléskor. Ebben az esetben is a keverékalkotók alakja, mérete, sűrűsége és a felületi érdesség vagy egyenetlenség határozza meg annak viselkedését a megfelelő sebességű, szívó üzemű légáramban. Így a gabonaszemek méretével azonos, de annál könnyebb vagy nehezebb idegen anyagok szétválasztására van lehetőség (Monda és mtsai, 1990). Az osztályozás határfoka függ az alkotórészek közötti lebegési határsebesség különbségétől (Láng, 1999). Nagyon fontos, hogy a szélszekrény beépítése a malmi tisztítási rendszerbe a gabona méret szerinti válogatása után történjen. Az átcsapat, vagyis a légárammal eltávozó idegen anyagok és az átesés (a kiülepedett szemcsék) minőségét vizsgálni kell, és ennek megfelelően kell beállítani az áramlási keresztmetszetet (Posner, Hibbs, 2011).

A méret és aerodinamikai tulajdonságok közötti eltéréseket együttesen használja a kiválogatásra a tarár vagy más néven a szelelőrosta. Ahogy az a nevéből is látszik, a rosta és a szeelés kombinált alkalmazása valósul meg. Az előbbieken leírt fizikai jelenségeknek megfelelően itt is először a halmazalkotókat méret szerint kell osztályozni, hogy a szeelés megfelelő hatékonyságú lehessen. A tarározás egy vagy kétfokozatú rostálásból és ugyanígy egy vagy kétfokozatú szeelésből állhat (Biacs és mtsai, 2010).

A halmaztisztítás során a malmi gabonából a fent ismertetett műveletekkel, minden olyan alkotót, amelyek a búzaszemtől alakban, méretben vagy fajsúlyban eltérőek, eltávolítjuk. De vannak olyan összetevők a tételben, amelyeknek valamilyen paramétere megegyezik a búzáéval. Ha azonos a vastagságuk, de az alakjukban vagy a tömegben van különbség, akkor azok a triőrözéssel választhatók ki. Triőrrel, például a tört szemek, amelyek nagyobbak, mint egy fél búzaszem, a hosszában tört hasadt szemek, illetve a töppedt, aszott szemek válogathatók ki. Fontos, hogy ezek ne kerüljenek töretre, mert rontják az őrlési minőséget (Stoenescu, et al., 2010). A tört felületen megtapadt mikrobák pedig élelmiszerbiztonsági szempontból okozhatnak gondot. Különbözik a tört felületek higroszkóposága is az ép szemekétől, ami a nedvességtartalomban eltérést eredményez. Amellett, hogy ez élelmiszerbiztonsági problémák forrása lehet, a kondicionálásnál is okozhat problémát. Mindenesetre a liszt minőségét kedvezőtlenül befolyásolják az alapanyag-halmaznak ezek az összetevői. A tört szemeken túl azok az idegen magvak is kiválaszthatók triőrrel, amelyek mérete hasonló a búzáéhoz, de alakjuk gömbölyű. Triőrözéssel tisztíthatók ki a halmazból a mérgező konkoly és a minőségre kedvezőtlen hatású bükköny.

A triőrök felépítésük szerint lehetnek hengeres-, tárcsás- és csigatriőrök (Rajkó, 2011). A hengeres triőr belső hengerpalástján úgynevezett sejtek vannak kiképezve, amibe a henger belsejének alsó felében levő magok a henger forgatása közben beleülnek. Amint a forgás közben a magvak egyre magasabbra illetve eltérő szög helyzetbe kerülnek, fokozatosan kihullnak a sejtekből. A nagyobb hosszúságú magok előbb, a kisebb, gömbölydedebb magvak később. Ez a különböző szögelfordulásnál, vagyis palástmagasságnál történő kihullás képezi a szétválasztás alapját. A kisebb magvak a triőrhenger belsejében futó, a szemméretnek megfelelő magasságba állított vályúba esnek, ahonnan szállítócsiga továbbítja őket a kiömlőnyíláshoz. A henger belsejében maradt magvak tengelyirányú mozgását a henger megdőntése biztosítja (Monda és mtsai, 1990).

A triőrhenger átmérője 400-800 mm, fordulatszáma 15-60 percenként. A hengeres triőrök lassú, normál, gyors és ultragyors forgásúak lehetnek. A lassú triőrök lejtése 6-10%, kerületi sebessége 0,3-0,45 m/s. A gyors triőrök lejtése 2-4%, kerületi sebessége 1-1,4 m/s. A triőrök áteresztőképessége kicsi, növelése a fordulatszám emelésével (gyors, vagy ultra triőrök) lehetséges. Nagyobb fordulatszámánál azonban kisebb anyagvastagságot képesek megfelelő

elválasztás mellett kezelni, amihez a triór belsejébe megfelelő terelőlemezt kell elhelyezni.

A rosták áteresztőképessége lényegesen nagyobb, mint a triőröké, ezért a rosták és a triőrök teljesítményének összehangolása érdekében egy rosthhoz több triór is csatlakoztatható. A triőrök párhuzamos kapcsolása növeli az áteresztőképességet, soros kapcsolásuk javítja a szétválasztás fokát. Felépítésük szerint lehetnek egy vagy többhengeres triőrök. Többhengeres kialakítás esetén a triórblokkban lehetnek azonos sejt méretű hengerek, így növekszik a termelékenység. Ha különböző sejt méretű eszközöket kapcsolunk, akkor többlépcsős szétválasztást valósítunk meg.

A tárcsás triőrök esetén a sejtek a forgó tárcsa két oldalán helyezkednek el. A sejtekbe beülő szemek közül a hosszabbak hamar kibillenek, a rövidebb, gömbölydedebb szemek viszont a centrifugális erő hatására a helyükön maradnak, s csak a tárcsa átfordulása után esnek ki a helyükről, a tárcsák közé benyúló lemezcsatornába. A tárcsás triőrökhöz többféle sejt méretű tárcsát gyártanak. A tárcsás triór előnyei a hengereshez képest a rövidebb építési hossz, vagy azonos hossz mellett nagyobb termelékenység. Növeli a teljesítményüket, hogy a tárcsás triőrök nagyobb fordulatszámmal (160-190 fordulat/perc) üzemeltethetők (Csizmazia, 2011).

A csigatriór már nem a méret, hanem a gördülékenység alapján választja szét az alkotókat. Ez a berendezés gyakorlatilag nem más, mint egy több bekezdésű csavarfelület, mely egy külső és egy belső menetből áll. A belső csavarfelületek száma három, míg a nagyobb átmérőjű külsőé egy (Csizmazia, 2011). A magkeverék a garatból a belső felületekre ömlik. A gördülékenyebb magok lefelé csúszás közben nagyobb sebességet érnek el, ezért a centrifugális erő hatására átkerülnek a külső csavarfelületre. A külső felületen további szétválasztódás jön létre. A gördülékenyebb magvak a csavarfelület külső peremén, míg a kevésbé gördülékenyek a csavar beljebb eső részein futnak végig, és így érkeznek a kiömlőnyíláshoz.

A korszerűbb malmokban a triőrök helyettesítésére építettek be optikai válogató gépeket az elmúlt években. E berendezésekkel egy műveletben válogathatók ki azok az idegen anyagok, amelyeket eddig a különböző típusú és sejt méretű triőrök kombinálásával volt lehetőség eltávolítani.

A halmaztisztítási műveletek a durumbúza esetén összetettebbek, nagyobb gondosságot igényelnek, mint a hagyományos étkezési vagy aestivum búzánál (Fowler, 2014). Ennek indoklása a végtermék jellegében keresendő. A durumbúzából elsősorban téstát gyártanak, amihez nagyobb szemcseméretű darafrakciót használnak. Ez a frakció a tételben visszamaradt idegen vagy elszíneződött magokra érzékenyebbek, mivel azok barna és fekete foltokként tűnnek fel a téstafélékben. Tehát, ha a halmazból e szennyeződések nem tudjuk tökéletesen eltávolítani, akkor a minőséget erőteljesebben rontják, mint a jóval kisebb szemcseméretű lisztfrakciók esetében.

A teljes halmaztisztítás hatásfokát a búza DON-toxin tartalmának a csökkenésére Lesnik et al. (2014) vizsgálták modellkísérletben. A malmi tisztítási folyamatot Pfeuffer gabonaminta tisztító berendezéssel modellezték, ami egy légárammal történő tisztításból és egy rostálásból áll. Vagyis a halmaztisztítás bizonyos munkaműveleteit szimulálja. Az osztályozás az összetevők fizikai tulajdonságainak eltérése alapján, vagyis az aerodinamikai, méretbeli és fajsúly különbségek szerint történt. A kísérlet a búza termesztésével kezdődött. A termesztési technológia során, vagyis tisztítást jóval megelőzően, a búzatételeket többféle kezelésnek vetették alá. Egyrészt különböző fajtákat használtak, amelyek között a fuzárium fertőzésre toleráns és érzékeny egyedek is voltak. A búzafajtákat virágzás idején mesterségesen fertőzték meg fuzáriummal, és a parcellák egy részénél növényvédelmi kezeléseket alkalmaztak, másik részénél nem. Betakarítást követően vizsgálták, hogy a különböző méretű búzaszemeknél a toxinszint alakulása és annak csökkentési lehetősége hogyan alakul a tisztítási folyamatban. Az eredmények nagyon változatosak voltak. Véggkonklúzióként megállapították, hogy az őrlés előtti tisztítás nem nyújt garanciát arra, hogy a DON-toxin tartalom minden esetben csökkenthető legyen. Arra a

következtetésre jutottak, hogy ennek következtében a tisztított búzából őrölt liszt sem tekinthető teljes mértékben biztonságosnak. A kísérleti eredmények más szakirodalmakban is olvasható megállapításokkal egyeznek meg (Szeitzné, 2009). Viszont a végkonklúziót érdemes úgy módosítani, hogy a kísérletben alkalmazott tisztítási eljárások esetén válik bizonytalanná a DON-toxin tartalom alakulása. Az eredmények viszont mindenképp jelzik, hogy konvencionális búzafeldolgozás során a DON-toxin tartalom nem csökkenthető megbízható módon.

2.4.1.1. Az optikai válogatógép alkalmazása

A malmi technológiában a búza tisztítását hosszú időn át csak mechanikai módszerekkel volt lehetőség megvalósítani. Ezért az optikai tulajdonságok alapján történő válogatásnak még nincs évekre visszanyúló hagyománya ebben az iparágban annak ellenére, hogy a válogatási technológiák fejlesztésének köszönhetően már a múlt század végén megjelentek az automatikus szeparátorok. Az új malomipari technológiák bevezetése, és az ezzel járó kapacitásnövekedés, valamint a vevői igények változása, együttesen tették szükségessé a tisztítási folyamat ilyen irányú fejlesztését (Flower, 2012).

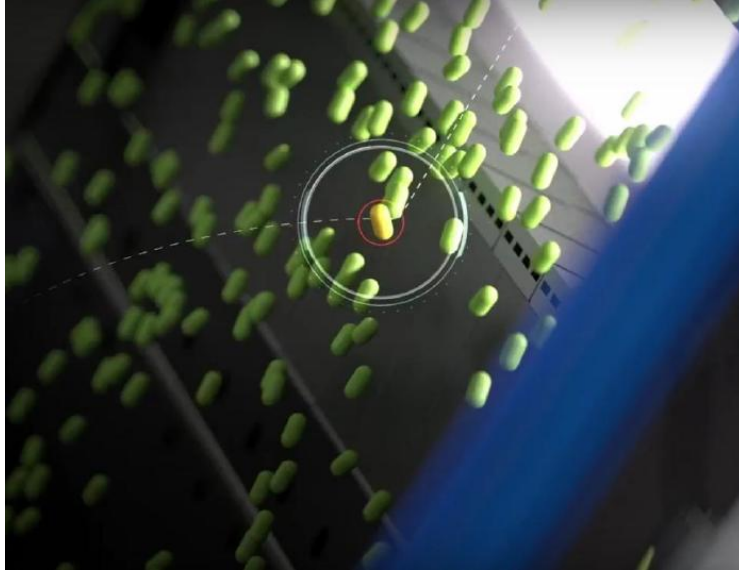
Az első szeparátorok, amelyek fotodiódákkal vagy fotoelektron sokszorozó csövekkel működtek, nem terjedtek el a gabonaszektorban, így a malomiparban sem (Bee, 2002). A első generációs színválogatókat, amelyek már monokróm kamerákkal voltak felszerelve, a rizs tisztításában lehetett sikerrel használni (Inamdar, Suresh, 2014). A technológia fejlődésével a szélesebb színspektrumú, nagy felbontású, bikromatikus kamerákkal felszerelt berendezésekkel finomabb hibák és szennyeződések kiszűrésére is lehetőség nyílt a különféle összetevők eltérő fényvisszaverő tulajdonságát kihasználva. A szín-, vagy optikai válogatók fejlesztése azonban nem korlátozódott csak a kamerákra. A halogén vagy fluoreszkáló világítással még pontosabbá vált a hibák detektálása, így olyan eltéréseket is ki lehetett szűrni, amelyek szabad szemmel nem érzékelhetők (Flower, 2012). Ezeket az eszközöket sokkal szélesebb körben lehetett alkalmazni, így a búzamalmokban is sikeresen kezdték használni (2.4. ábra).



2.4. ábra Optikai válogatógép részegységei (forrás: <https://www.youtube.com>)

A folyamat során egy megfelelő adagolóberendezés (2.4. ábrán nyíllal jelölve) segítségével egyes sorba rendezett magok áthaladnak egy olyan ponton, ahol több fotocella látóterének a metszéspontja helyezkedik el. Ezen a ponton egy a mag színének megfelelő színű fényvel

megvilágítva érhető el, hogy az egyik típusú mag elnyelje, míg a másik típusú visszaverje a fényt. A visszavert fény hatására a fotocellában feszültség jön létre, aminek a megfelelő erősítését követően, a létrejött elektromos jel hatására kinyílik egy mágnesszelep. Ez a mag haladási irányára merőleges, nagynyomású légáramot szabadít fel, s a légáram mintegy lefújja a magot a szállítószalagról (2.5. ábra) (Fowler, 2014).



2.5. ábra Az optikai tulajdonságok alapján kiszelektált alkotó (forrás: <https://www.youtube.com>)

A nagynyomású levegővel működő kidobó egységek megbízhatóbb, kevesebb veszteséggel járó válogatást tesznek lehetővé, mint a mechanikus rendszerű szeparálógépek. Mindemellett a tisztítási kapacitásuk is jóval nagyobb, ezzel szemben az egységnyi terményre jutó költségei kisebbek, ami az alacsonyabb energiafelhasználásból és karbantartási szükségletből tevődik össze (Fowler, 2014; Inamdar, Suresh, 2014). Elsődlegesen ezek voltak azok az érvek, ami miatt elindult e gépek malomipari felhasználása. A másik indok a kiváló tisztítási hatások, ami különösen a durumbúzából készült durumdara esetén meghatározó fontosságú. Így a vevői igények tökéletesebben kielégíthetők. Ezért is alkalmazták elsőként a durummalmokban e berendezéseket.

A fent leírtak alapján érthető, hogy az optikai válogatógépekkel végzett kísérletekben elsősorban a válogatás hatékonyságát vizsgálták. Pasikatan és Dowell (2003) vörös és fehér színű búzák szétválogatását végezték ScanMasterII 200 színválogatóval. Nem találtak szignifikáns különbséget a búza eltérő áthaladási mennyiségeinél mért válogatási pontosságok között. Tehát igazolták a berendezés megbízhatóságát a nagyobb kapacitású tisztítás esetén is.

A fertőzött gabonaszemek kiválogatására is alkalmasnak találták az optikai válogatógépeket. Tudományos kísérleteknek a *Tilletia indica* karantén kártevővel fertőzött búzák tételeit vetették alá (Dowell et al., 2002). Azt tapasztalták, hogy az export piacra vagy malomipari felhasználásra szánt beteg tételeket érdemes az optikai válogatóval kezelni, mert megfelelő hatásokkal távolítja el a beteg szemeket. Több szerző utalt arra, hogy a fuzáriummal fertőzött gabonátételeknél is sikeresen lehetne használni a színválogatást (Inamdar, Suresh, 2014), azonban konkrét kutatási eredményeket nem közöltek. Így feltételezhető, hogy a fertőzés jellegének ismeretében tették e megállapításaikat. De ismételten nem szabad elfeledkeznünk arról, hogy a fuzárium fertőzések eltérőek lehetnek. Nem minden esetben járnak olyan változással, ami a szemek optikai tulajdonságait befolyásolja.

2.4.2. A felülettisztítás és gépei

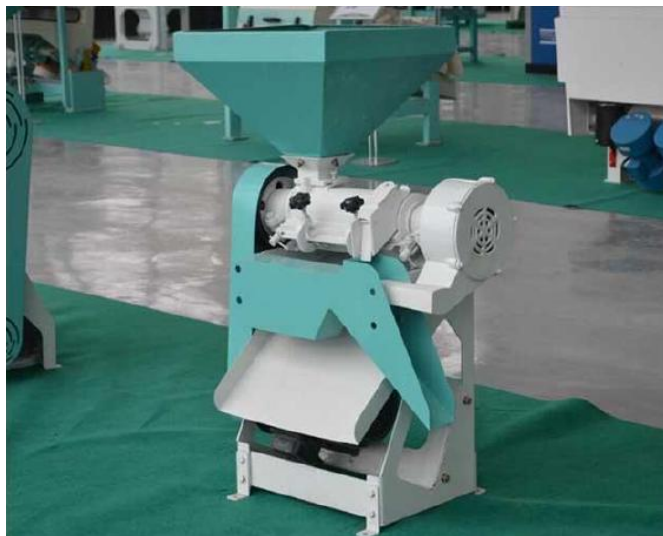
Az idegen anyagok eltávolítása után, az őrlés-előkészítés második nagy fázisa a felülettisztítás, ami a búzaszemek felszínének a tisztítását jelenti. A búzaszem hasi oldalán végigfutó barázda és a szakáll (2.2. ábra) sokféle szerves és szervetlen szennyezőanyag (pl.: por) és szerves anyag (pl.: mikroorganizmusok, rovarmaradványok) megtelepedési helye, amit el kell távolítani. A szakirodalom szerint a felülettisztítás legfőbb szerepe épp abban áll, hogy a mag felületén megtapadt, az előbbieken felsorolt szerves és szervetlen szennyeződések eltávolítása megtörténik (Bratucu, 2009). Ebből adódóan a végtermék minőségére gyakorolt hatása miatt és élelmiszerbiztonsági szempontból is fontos ez a munkaművelet. Nagyon sok szerző szintén azt emeli ki, hogy a felülettisztítás a búzatétel higiéniai állapotát javítja, és e mellett a minőségére is kedvezően hat (Tkachuk et al., 1991; Eugster, 2002; Jouany, 2007; Kushiro, 2008). Ezen túl Zapodenau (2015) felhívja a figyelmet arra is, hogy a felülettisztítás a végtermék beltartalmi mutatóit, pontosabban a liszt ásványi anyag tartalmát is befolyásolja. Stoienescu és munkatársai (2010) a hamutartalom csökkenést 0,025%-osnak mérték a hámozógép használata után, ugyanakkor azt tapasztalták, hogy a tört szemek aránya növekedhet a munkaművelet hatására, ami egyértelműen minőségrontó hatású. A legkorszerűbb, úgynevezett új generációs hántológépek használatával az előbb említett kedvezőtlen hatások csökkenthetők.

A felülettisztítás elméletileg megoldható nedves és száraz eljárásokkal. A nedves felülettisztítás mosást jelent, ami ma már Magyarországon kevésbé alkalmazott, a környezetet terhelő, élelmiszerbiztonsági szempontból kifogásolható művelet. Külföldi szakirodalmak még tesznek róla említést (Bratucu, 2009).

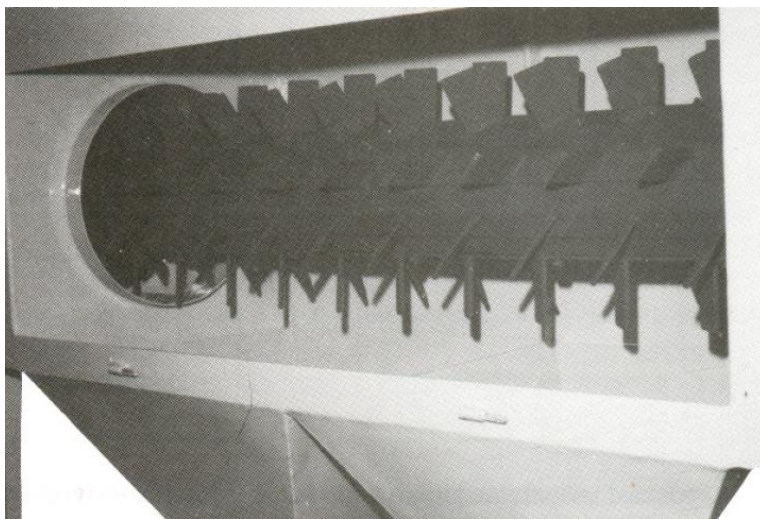
A hazánkban működő nagy termelési kapacitással működő malmok kizárólag intenzív, száraztisztítást alkalmaznak. A száraztisztításra kétféle módszer terjedt el, a hagyományos és az intenzív súrolás. A hagyományosabbnak tekinthető megoldás két egymást kiegészítő műveletből áll: a hámozásból és a kefélésből. A hámozás során a gabonaszemeket egy fekvő henger egyik végén vezetik be. A szemek a palást belső falához verődnek, melynek kiképzése korundszemcsékből öntött, érdes felületű. A köpeny belsejében verőlécekkal ellátott rotor forog, ami a szemeket a falhoz ütközteti. A forgástengely párhuzamos a szem hosszúságával. Ettől a gabonaszemek csavart vonalú pályán mozogva egymáshoz és az érdes felülethez dörzsölődnek. A dörzsölődés eltávolítja az epikarpiumot és az endokarpiumot. A szakáll és a csírarész kevésbé hámozódik le a magról, így a tapasztalatok szerint ennek a határfoka mintegy 75%-os. A hámozást követően a fellazított és a mag felületén megtapadt részeket kefégepek szedik le a felületről. E munkaművelet végén a búza sima és fényes lesz, ezért ezt polírozásnak is nevezik. A kefélés során a fellazított részek (szakáll, csíra) is eltávolíthatók, amivel a felülettisztítási művelet határfoka nagymértékben javul. A kefégepek szerkezete hasonlóan néz ki, mint a hámozógépeké, azzal a különbséggel, hogy minden második verőléc helyett kefécsipő van felszerelve. A köpeny legtöbbször sima lemez, de a hámozó gépeknél alkalmazott croise szövetből is készülhet.

A hámozás és kefélés kétműveletes felülettisztítási módszer helyett ma már a legkorszerűbb malmi technológiában az egyfázisú, intenzív koptatást vagy más néven súrolást, dörzsölést alkalmaznak (2.6. ábra). Ezt az intenzív hatást egy speciális forgórész és köpeny, illetve a köztük lévő optimális réstávolság eredményezi (2.7. ábra). A művelet során a gabonátömeg haladását fékezzük, miközben a szemek egymáshoz, a perforált hengerhez és a továbbító lécekhez ütődnek, dörzsölődnek. Így többszörös dörzsölés érhető el, ami hatékonyságnövelő. A felülettisztítás határfokát fokozza az, hogy a perforáción keresztül a leválasztott burokrészek folyamatosan eltávoznak a rendszerből. A különböző cégek által előállított intenzív súroló- vagy koptató berendezések felépítése és ebből adódóan a koptatás módja között vannak eltérések, ami a felülettisztítás végeredményét meghatározó módon befolyásolja. A legmodernebb, úgynevezett hántoló berendezésekben a dörzsölést oly módon növelik, hogy forgó, kúp alakú csiszoló

köveket alkalmaznak. A finomabb mechanikai hatásnak köszönhetően kevesebb lesz a sérült szemek aránya. Ezen túl intenzív levegő áramoltatással távolítják el a rendszerből az úgynevezett csiszolóport. Így jobb minőségű alapanyag vár az őrlésre.



2.6. ábra Egyfázisú, intenzív súrológép - 6NF-90 (Forrás: www.alibaba.com)



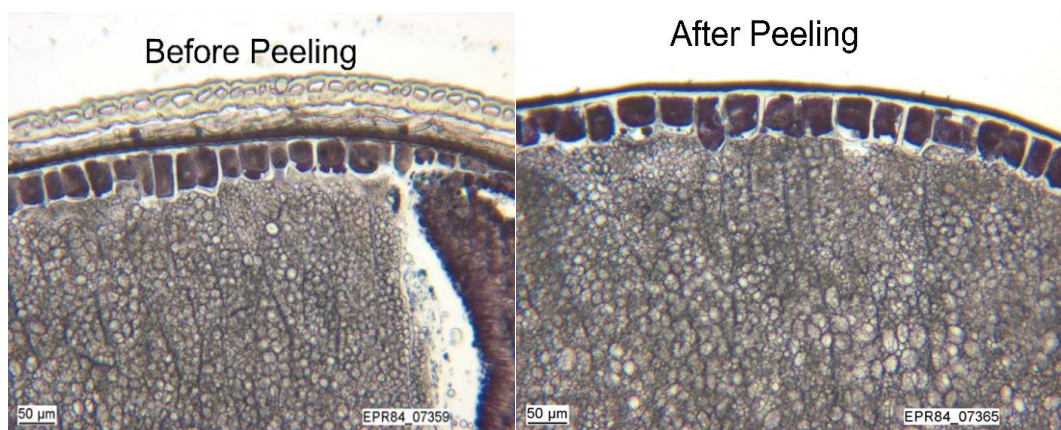
2.7. ábra IK-5 intenzív koptatógép belső nézete (Forrás: Malomipari Gépgyártó Kft. prospektusa)

A durumbúzaszem alakja és rendkívül kemény, üveges endospermiuma miatt a hámozás (peeling), súrolás (pearling) és a hántolás (shelling) is erőteljesen javítja az őrlési hatékonyságot és a dara mennyiségi és minőségi mutatóit. Minél korszerűbb eszközzel dolgozik egy malom, annál gazdaságosabbá tehető a feldolgozási folyamat, mert az őrlési idő lerövidülhet, mindemellett a durumdara nagyobb arányban keletkezik az őrlés folyamán (Fowler, 2014).

A korszerű malmi technológiákban legtöbbször nem egy felülettisztítási folyamatot építenek be. Biacs és munkatársai (2010) a mikroorganizmusok eltávolításának érdekében a szemek száraz és nedves állapotában, vagyis a kondicionálás előtt és után is javasolják alkalmazni a felülettisztító gépeket. A kondicionálás a búza őrlésre történő előkészítésének a végső fázisa, ami a gabonátétel nedvesítését és pihentetését jelenti. Fő célja elősegíteni a héj és a magbelső fizikai állapotában a

különbségek kiemelését. Ezáltal a héj szívóssá válik, aminek az eredményeként lemezes lesz a korpa és kevésbé törik bele a lisztbe. Az őrléskor nagyobb darabokban marad, nem aprítódik fel, könnyebben elválasztható.

A magbelsőben is változásokat idéz elő a kondicionálás. Kisebb erővel lehet megőrölni azt, porhanyósabbá válik, és javul a sikéreképző fehérjék minősége is. A korszerű nedvesítő berendezésekkel 3-5%-nyi vizet lehet egy lépcsőben a búzához adagolni, hogy annak víztartalmát 16% körüli értékre lehessen beállítani. Puha búzákat rövidebb, 6-8 órás pihentetéssel, míg az acélos búzákat 10-12 órás pihentetéssel kondicionálják. A pihentetés konkrét időtartama az adott technológia függvénye. Ez idő alatt a nedvesség a mag belseje felé haladva egyenletesen eloszlik. E technológiai fázis után célszerű beiktatni még egy intenzív felülettisztítást, amivel a fellazult maghéjat nagyon precízen, ellenőrzött módon lehet eltávolítani (2.8. ábra). A kondicionálás után történő felülettisztításnál előnyként azt fogalmazzák meg, hogy a nedvesítés alatt felszaporodó mikroorganizmusokat is el lehet távolítani, illetve a héj felpuhulása miatt a barázdából is tökéletesebben lesúrolható minden szennyeződés. Ez a korszerű súroló berendezésekkel oldható meg ma már a leghatásosabban.



2.8. ábra A búzaszem felülete súrolás előtt és után (forrás: Andersson, 2011)

Több szerző írt a gabonák felülettisztításának a hatásáról, amit a fuzárium toxinok koncentrációjának a változásában idézhet elő e munkaművelet (Hazel-Patel, 2004; Brera et al., 2006; Kushiro, 2008, Szeitzné, 2009). Abból a feltételezésből indultak ki, hogy ezeknek a toxinoknak a nagy része a héj külső rétegeiben halmozódik fel, így a felület koptatásával egy részük eltávolítható. A feltételezéseken túl Kushiro, (2008), Sándor és munkatársai (2010), Frank (2010), valamint Véha és munkatársai (2011) modell kísérleteket is végeztek erre vonatkozóan laboratóriumi eszközökkel. Megállapították, hogy a legtöbb esetben a száraz felülettisztításnak kedvező hatása van a toxincsökkentésre. Fontos azonban, hogy a kísérleti eredmények és egyéb megállapítások értékelésekor nem szabad megfeledkeznünk arról, hogy a DON-toxin nem csak a búzaszem külső rétegeiben, hanem annak tápszöveiteiben is jelen lehet a fertőzés jellegétől függően.

Brera és munkatársai (2013) a durumbúza őrlésének előkészítésétől a tésztagyártás és felhasználás teljes folyamatában vizsgálták a DON-toxin csökkentését. Ők nem modellkísérletet végeztek, hanem két malomból az őrlés különböző fázisaiban vettek mintákat, illetve a lisztet és a készre főzött tésztát is megvizsgálták. Megállapították, hogy egy általános malmi technológiában a tisztítási folyamat bár nagyon változó hatásokkal, de csökkenti a DON-toxin szintjét a búzában. Egy adott módon felépített technológiai folyamat hatását nézték, és az eredményeket nem bontották le a folyamat elemeit alkotó berendezésekre. Az őrlés után további csökkenést tapasztaltak, ha csak a lisztfrakciókat vizsgálták. A főtt tésztában mérték a legkisebb a toxinkoncentrációt, ami annak is köszönhető, hogy a DON-toxin vízoldékony. A végső

konklúziója az volt a kísérletnek, hogy a tésztagyártáshoz megfelelő biztonsággal fel lehet használni a jogszabályi határértéken belüli toxintartalmú búzákat. Azonban felvetették azt a kérdést, hogy a kenyér, a péksütemény és a kekszgyártásban valóban megfelelő-e ez a toxinszint a végtermék biztonságát illetően.

2.5. A szakirodalmi áttekintés összefoglaló értékelése

A kutatási témám megalapozását szolgáló nemzetközi és hazai szakirodalmak feldolgozása magába foglalja a búzában előforduló toxinok, kiemelten a DON-toxin előfordulására, következményére és megelőzési lehetőségeire vonatkozó információkat. Kiterjed a gabonátételek feldolgozást megelőző konvencionális tisztítási munkaműveleteire, gépeire és azok szerepére a toxincsökkentésben, valamint bemutatja a korszerű berendezések alkalmazásának a lehetőségeit.

A fuzárium fertőzés jellegét a virágzáskori makro- és mikroklímatis viszonyok határozzák meg elsődlegesen. Ezt Veres és Borbély azzal támasztották alá, hogy a szemek külső és belső fertőzöttsége között nem találtak szoros korrelációt, azaz egymástól független jelenségeknek tekinthetjük azokat. A fertőzés jellege befolyásolja, hogy a fertőzött szemek külső megjelenése, mérete, optikai tulajdonságai eltérnek-e az egészséges szemekétől. Ez meghatározó a megfelelő tisztító gépek alkalmazása szempontjából. Mindemellett az infekció jellegének befolyása van arra is, hogy a toxin a búzaszem mely részein lesz jelen nagyobb mennyiségben. Ezt az adott berendezések tisztítási határfokának értékelésénél tudom figyelembe venni.

A búzátételek tisztításában a halmaztisztítás feladata az idegen anyagok és egyéb, a végtermék minőségét rontó alkotók eltávolítása. A felülettisztítás a búzaszemek felszínéről távolítja el a szennyeződések. Az irodalmi információk áttekintése képet ad arról, hogy a konvencionális tisztítási folyamatban alkalmazott gépek célirányosan nem vesznek részt a gabonátételek toxinmentesítésében. Lesnyik és munkatársai modellkísérletben, azaz a halmaztisztítás bizonyos munkaműveleteit szimulálva vizsgálták annak toxincsökkentésben játszott szerepét. Az adataik nagyon változatos eredményt mutattak, aminek végkonklúziója, hogy az őrlés előtti tisztítás nem nyújt garanciát arra, hogy a DON-toxin tartalom megfelelő mértékben lecsökkenthető legyen.

A hagyományos berendezésekkel összehasonlítva a modern technológiával dolgozó malmokban az optikai válogató gépek elsődleges alkalmazásának célja a halmaztisztításban az, hogy kevesebb munkaművelettel és hatékonyabban, precízebben lehet a búzahalmazból eltávolítani a szennyeződések, illetve az őrlés, valamint a liszt minőségét rontó összetevőket. Inamdar és Suresh (2014) leírják, hogy a fuzáriummal fertőzött búzák esetén is érdemes az optikai válogatást alkalmazni, de kísérleti eredményeket nem közölnek ennek alátámasztására.

A felülettisztítási eljárás már a hagyományos malmoknak is fontos munkaművelete volt, de a módszer, amelyet az alkalmazott gépek képviselnek, egyre korszerűbbé vált az idő előrehaladtával. A korszerű technológiába beépített hántológépek precizitása lehetővé teszi, hogy a szabálytalan alakú, barázdált búzaszemek esetén is egyenletesen, a technológiai elvárásnak megfelelő mértékben és a tört szemek arányának csökkenése mellett lesúrolható legyen a külső héjrész.

Több külföldi és magyar szerző végzett laboratóriumi körülmények között modellkísérletet a felülettisztítás DON-toxincsökkentő hatására vonatkozóan. Megállapították, hogy a száraz felülettisztításnak a legtöbb esetben van toxincsökkentő hatása. Ezeket a kísérletek a korábbi szakirodalmakban publikált megállapításra alapozva alakították ki, miszerint a toxinok nagy része a búzaszem héj részében koncentrálódik.

A hagyományos technológiák kapcsán több szerző tesz olyan megállapítást, miszerint a feldolgozási folyamatban már nem lehet csökkenteni a búzátételek DON-toxin koncentrációját. Nem tárgyalja a szakirodalom az optikai válogatás és a korszerű felülettisztítási eljárások együttes hatását a DON-toxin csökkentésében. Illetve a felülettisztítást vizsgáló kutatási munkák

csaknem mindegyike modell kísérletre alapozta a megállapításait, nem termelési környezetben zajlott. Brera és munkatársai a toxin mennyiségének csökkenését a téstágyártás különböző fázisaiban nézték meg, egészen a liszt előállításától végigkísérve. Ebben az esetben nem a technológiában alkalmazott gépek toxincsökkentő hatása, hanem az egyes fázisokban megszedett félkésztermékek adatainak vizsgálata volt hangsúlyos.

Mindezen információk birtokában kutató munkám célja, hogy termelési körülmények között vizsgáljam azt, hogy ha a búza tisztítási folyamatában optikai válogató és korszerű hántoló gépeket is alkalmaznak egymás után a technológiai rendnek megfelelően, akkor milyen mértékben csökkenthető a tételek DON-toxin tartalma.

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

A kutatási cél megvalósításának alapfeltételét jelentik a megfelelő helyszín kiválasztása, valamint az adatgyűjtés és feldolgozás módjának a kidolgozása. A kutatás helyszíne biztosítja a kísérlet megtervezésének és az adatgyűjtés megvalósításának technikai feltételeit. Az Anyag és módszer fejezetben e tényezőket mutatom be.

3.1. A vizsgálat helyszíne

A szakirodalmi információk alapján láthattuk, hogy a hagyományos malomipari halmaztisztítási folyamatban alkalmazott mechanikai módszerekkel nem garantálható, hogy az egyéb idegen összetevőkkel együtt a fuzáriummal fertőzött szemek meghatározott mennyiségben kikerüljenek a búzatételből. De a folyamat ismeretében az is előfordulhat, hogy az egyéb idegen anyagok nagyobb mértékű eltávolítása a toxikus összetevők arányának relatív növekedését idézi elő. Ez a meglepő fordulat két tényező hatására jöhet létre. Egyrészt a hagyományos és általánosan alkalmazott tisztító berendezéseket úgy alakították ki, hogy elsődlegesen az idegen anyagokat legyenek képesek eltávolítani a halmazból, a toxinnal szennyezett szemeket nem „ismerik fel”, és véletlenszerűen szelektálják ki. Viszont ez függhet a fuzárium fertőzés jellegétől, ami a második tényezője az előbb említett jelenségnek. Ha a fertőzés következtében torzul a búzaszemek alakja, mérete, csökken a fajsúlya, van esély a kiszelektálásukra a konvencionális halmaztisztítás során. Mivel súlyos következménnyel járó ételminőségbiztonsági kockázatról beszélünk, ezért a kis és megbízhatatlan valószínűségi értékekben történő gondolkodás nem megengedhető. Ebből a szempontból fontosak voltak a különböző felülettisztítási eljárásokkal folytatott modellkísérletek. A vizsgálatok igazolták, hogy e módszerek között vannak olyanok, amelyekkel a mesterségesen fertőzött búzák toxintartalma csökkenthető volt. Ez jelentős eredmény, de nem szabad figyelmen kívül hagynunk azt a szakirodalmi információt, hogy a fuzárium infekció eltérő tüneteket okozhat a búzában a fertőzés időpontjától és jellegétől függően, ami természetes körülmények között nem irányítottan zajlik. Ennek következtében a búzamazag különböző részeiben koncentrálódhatnak a toxinok, nem csak a héjrészben. Így az alapkérdés az, hogy mennyire kiszámíthatóan és stabil módon valósítható meg a feldolgozásra váró búzátételek toxinmentesítése a malomipari technológiában alkalmazott jelenlegi tisztítási eljárásokkal.

A modellkísérletek alapján, a megítélésem szerint, nem kaphatunk megnyugtató választ arra, hogy a termelési környezetben milyen hatásokkal lehet a toxinszennyezettséget lecsökkenteni. Ennek több oka van:

- E kísérletek szinte mindegyike arra a feltételezésre alapoz, hogy a DON-toxin a búzaszem héjrészében koncentrálódik. Ahogy arra már utaltam, a szakirodalmi vizsgálatok ezzel szemben azt mutatják, hogy nem csak a gabona héja lehet érintett a toxinszennyezésben. Ezt támasztják alá, többek között, Veres és Borbély (2007) vizsgálati eredményei.
- A modellkísérletekhez mesterségesen, egy adott időpontban, adott körülmények között fertőzött gabonát használtak. Ezzel szemben a gyártás során felhasznált, különböző beszállítóktól, termőhelyekről származó búzátételekben eltérő makro- és mikroklimatikus, valamint egyéb tényezők egymásra hatásából alakul ki a fertőzés és a kémiai szennyeződés mértéke. Az a kérdés, hogy a vizsgált technológia ilyen feltételek mellett is biztonságosan csökkentheti-e a toxintartalmat.
- Fontosnak tartom azt is, hogy a kísérletben használt gépek üzemeltetése és beállítása olyan legyen, amit a liszt gyártásához alkalmaznak, mert csak így kapunk választ arra, hogy a gyakorlatban alkalmazott gyártási körülmények között milyen a hatásosságuk.

Mindezeket figyelembe véve termelési körülmények között lehet biztonsággal igazolni azt, hogy

a gyakorlatban is megvalósítható módon, megbízhatóan csökkenthető egy komoly élelmiszerbiztonsági kockázat az optikai válogatás és a korszerű felülettisztító berendezés alkalmazásával.

Az említett műszaki feltételekkel egy élelmiszerbiztonsági kockázatot szeretnénk minimalizálni, ezért a megelőzésre kell törekednünk, így az alapanyag, azaz a búza megfelelőségére kell koncentrálni. Ez megegyezik a gyakorlatban alkalmazott eljárásrenddel, hiszen a malmokban is a búza felvásárlás előtti, majd a feldolgozást megelőző vizsgálatok a hangsúlyosak. A végtermék szempontjából, a fogyasztók egészségvédelme oldaláról nézve nagyon lényeges kérdés, hogy a jogszabálynak megfelelő búzát örljenek a malmokban. Egészségvédelem szempontjából arra is figyelmet kell fordítani, hogy minden káros anyagot, így a DON-toxin mennyiségét is minimalizáljuk a feldolgozás előtt. Az élelmiszerekben több olyan összetevő is lehet, amelyek kedvezőtlen hatása összeadódhat, és így fejtik ki egészségkárosító hatásukat. Ennek elkerülésében felelőssége vana feldolgozó iparnak.

A kutatás helyszínének megválasztásakor fontos szempont volt, hogy a mintavételek ellenőrzött termelési körülmények között végrehajthatók legyenek. A folyamat teljes mechanizmusa és annak környezete jól átlátható, feltérképezhető és mérhető legyen. Mindemellett a feltételek, a kísérleti beállítások megismételhetők legyenek.

Kutatómunkámhoz a vizsgálatok helyszínéül szolgáló malom durumbúza feldolgozási folyamatába állítottam be kísérleteket. A malom gyártási folyamata, azaz a feldolgozás három fázisa (előtisztítás; őrlés; végtermékek tárolás, értékesítés) számítógép-vezérlésű. Az egyes technológiai lépések pontosan meghatározottak és időbeli lefolyásuk ismert. A malomban működő FSSC 22 000 élelmiszerbiztonsági irányítási rendszernek köszönhetően a teljes termék-előállítási folyamat szabályozott körülmények között zajlik, a minőség és a biztonság szempontjából lényeges munkaműveletek dokumentáltak. A termék nyomonkövetési rendszerének köszönhetően az alapanyag és a liszt a folyamatban lekövethető.

A korszerű technológia lehetőséget nyújt a körülmények tervszerű kialakítására, a számításba vett és lényegesnek ítélt jellemzők meghatározására, ami a tudományos kísérlet szempontjából alapvetően fontos (Csizmadia, 2009.; Göcze, 2010).

3.1.1. A feldolgozási folyamat feltételei

E fejezetben azokat a tényezőket és adatokat szeretném bemutatni, amelyek a kísérlet környezeti feltételeit adták.

A vizsgálatok helyszínéül szolgáló malom magántőke befektetésével 2004-ben jött létre zöldmezős beruházással. A termelés, azaz a malomipari termékek gyártása és forgalmazása 2005-ben kezdődött meg. A zöldmezős beruházásban felépült üzem infrastrukturális háttere európai viszonylatban is a legkorszerűbb technológia alkalmazását teszi lehetővé, aminek révén a jó gyártási gyakorlat (GMP), valamint az élelmiszer-előállítás higiéniai követelményeinek (GHP) a feltételeit képes teljesíteni. A telephely kialakításánál az fontos szempont volt, hogy korszerű, számítógépes vezérléssel szabályozott legyen a termelés kiszolgálása (pl.: az alapanyag beszállítás, ellenőrzés és fogadás rendszere), a technológia megvalósítása és a végtermék ellenőrzése, rakodása, valamint a kiszállítás. E mellett nagy figyelmet fordítottak arra, hogy a működés biztonságos és környezetkímélő legyen.

Jelenleg három gépsoron folyik a termelés. Két gépsoron az aestivum búzát, egy gépsoron a durumbúzát őrlik. Fő termékeiket a kenyérlisztek és a tésztalisztek adják, de a vevők egyéb igényeit is ki tudják elégíteni, mint például keksz gyártására alkalmas és az állateledelhez keverhető lisztek. A fő termékek előállításával párhuzamosan melléktermékek is keletkeznek. A búzakorpát és a takarmánylisztet takarmányozás céljára, a búzacsírárt étkezési célra értékesítik. A malom megbízhatóan és a vevői igényeket kielégítő minőségben állítja elő termékeit. Ezt az is

alátámasztja, hogy a vevői keresletnek megfelelően, a termelés indítása óta két lépcsőben tudtak végrehajtani termelésbővítő beruházást. Az induláskor 2005-ben még csak egy malmi gépsor működött. Ebben az időszakban felváltva öröltek aestivum és durum búzát. 2006-ban egy durum búza őrlésére alkalmas malmi gépsorral bővült az üzem, így a két termék előállítás teljesen különvált. 2008-ban egy újabb aestivum malmi gépsor beüzemelése történt meg. Jellemző még, hogy amíg a kenyérbúzát folyamatos üzemeléssel, napi három műszakban, hétvégén is őrlik, addig a durummalom szakaszos üzemeltetésű. Vagyis hetente jellemzően 4-5 napi őrléssel állítják elő a vevői igények szerint a durumdarát. Ez az őrlési rend nagyban segítette a kísérlet megtervezését és az alapanyag lekötését. A malomban kétféle technikai megoldással, illetve gépsorral történik a feldolgozás: a GBS és a Bühler cégek berendezéseivel. A durum búzát a Bühler gépekkel dolgozzák fel.

A malom 2016 szeptemberéig csak annyi alapanyagot tárolt a telephelyén, amennyi az üzem fennakadás nélküli, biztonságos és folytonos működéséhez szükséges. Tehát a kísérlet időszaka alatt csak a malmi silók üzemeltek a telephelyen. Az őrlést közvetlenül kiszolgáló búzatárolás tizenhat betonsilóban történt. Az alapanyag maximális tárolási kapacitása 660 t durum búza és 2100 t aestivum búza volt. 24 óra alatt a durummalom 85 t búzát, a két aestivum malom összesen 450 t búzát tud őrölni.

A durum búzát termeltetés útján szerzik be. Így az aratást követően, ha a minőségi és az élelmiszerbiztonsági feltételeknek megfelelnek a tételek, akkor 100%-ban lekötik, majd egész évre felvásárolják az alapanyagot. A felvásárlásról minden esetben laborvizsgálati eredmények alapján döntenek. A feldolgozásig a durum búza tárolása jórészt a termelőknél, illetve szükség esetén külső tárolók igénybevételével történt. Ebből a szempontból is jó alapanyagoknak bizonyult a kutatási témához ez a búzafaj, mivel a feldolgozásra kerülő tételek jól nyomonkövethetőek, elkülöníthetőek voltak a termelési és tárolási feltételekből adódóan is.

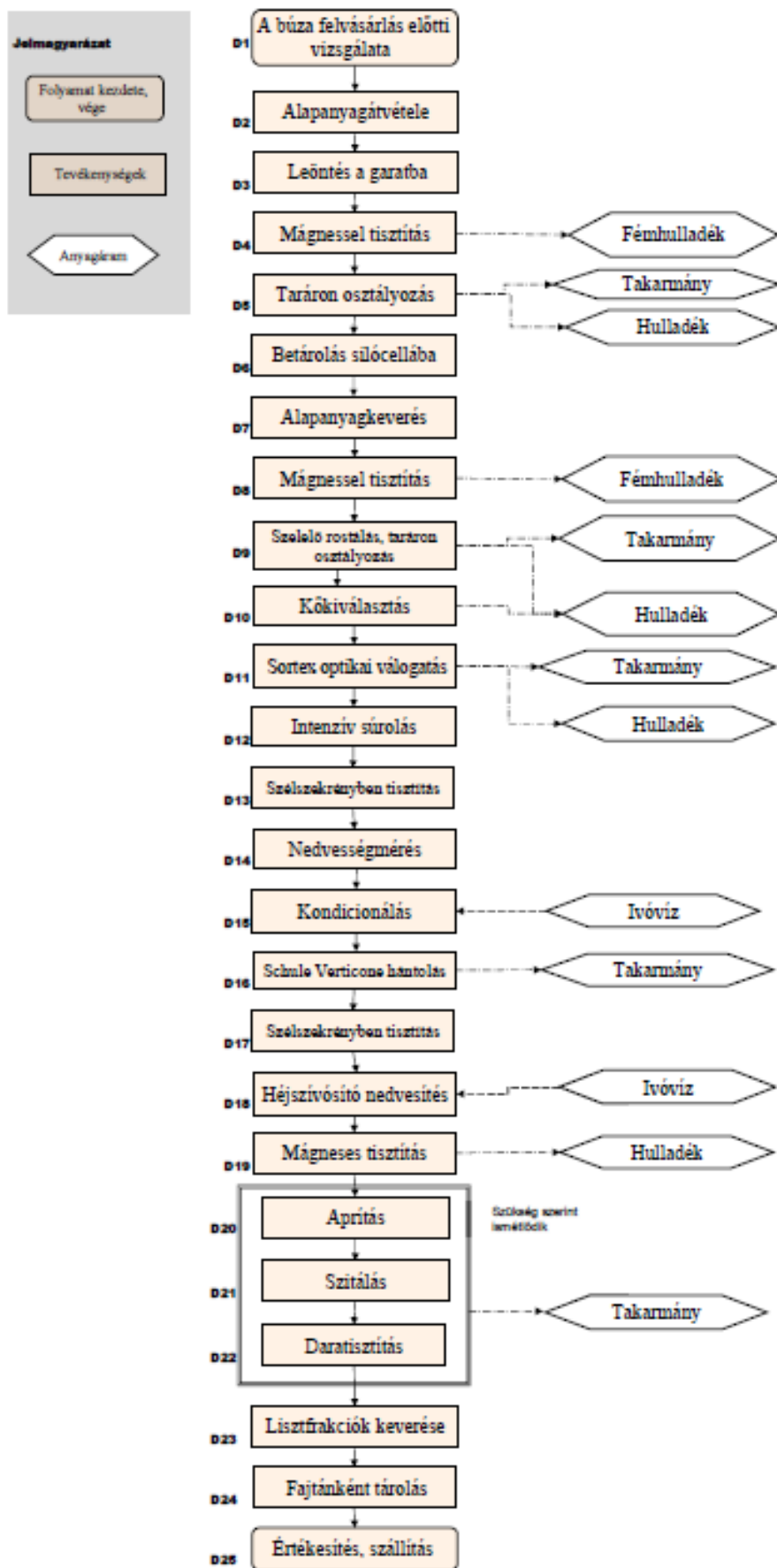
A korszerű technológiának köszönhetően a termékek őrlése zárt rendszerben zajlik, egészen a búza garatra öntésétől a liszt silós tárolásáig, kiszűréséig. A zárt rendszerű őrlés azt jelenti, hogy az őrlési folyamatba szabadon belenyúlni nem lehet. A folyamat működésének az ellenőrzéséhez, meghatározott szabályok szerint, a mintavételi pontokon tudnak mintát venni az alapanyagból, a félkész termékből és a késztermékből.

A késztermékeket, azaz a különböző lisztféleségeket, a vevői megrendelésekhez igazítva alakítják ki az őrlést követően a frakciók keverésével, és eltérő kapacitású silócellákban tárolják. Az összes tárolási kapacitás a kísérleti időszakban 1022 t örlemény, aminek egynegyedét a durum búzából készült termékek teszik ki. A lisztek mellett a takarmányként hasznosított malmi melléktermékek számító korpá tárolására 160 t összkapacitású silók állnak rendelkezésre.

Az értékesítés elsősorban a belföldi piacokat célozta meg. Professzionális felhasználóknak forgalmazta a malom a termékeit, a lakossági fogyasztók felé közvetlen értékesítés ebben az időszakban nem volt. Az értékesítési célnak és a vevők igényének megfelelően főként ömlesztett, kisebb hányadban zsákos (25 és 50 kg-os) kiszűrésű végtermék forgalmazása történt.

3.1.2. A vizsgálatok műszaki feltételei a technológiai folyamatban

A malom vezetése a tapasztalatok, a vevői visszajelzések alapján folyamatosan fejleszti a termék-előállítási folyamatot. Ennek eredményeként néhány év sikeres üzemelés után az általános, konvencionális malmi technológiába újabb gépeket és berendezéseket építettek be. Olyan eszközökkel egészítették ki a feldolgozási folyamatot, amelyek még nem terjedtek el széles körben a gabona-feldolgozásban, viszont a végtermék minősége szempontjából sokkal kedvezőbb feldolgozási folyamat valósítható meg általuk.



3.1. ábra A kutatási helyszín malomipari feldolgozásának egyszerűsített folyamatábrája

A kísérlet szempontjából kiemelt beruházás volt 2011-ben, hogy a durumbúza őrlési folyamatába a Sortex Z+ színválogató gépet (3.1. ábra, D 11. lépés) és a Schule Verticone VPC 480 hántoló gépet (3.1. ábra, D 16. lépés) beépítették és üzembe helyezték. A fejlesztéssel a malom vezetésének a célja a durumbúza tisztítási folyamatának a hatékonyabbá tétele, a durumdara és a durumliszt minőségének a javítása volt.

Az optikai válogatás a halmaztisztításban vesz részt, míg a hántoló gép a búzaszemek felülettisztítását végzi. Ezeknek a gépeknek a működési elvét, ami a kísérlet szempontjából számunkra meghatározó, a 3.2.2. fejezetben foglalom össze.

A technológiai folyamat első lépése a búza felvásárlás előtti vizsgálata (3.1. ábra D1. lépés). E munkaművelet több lépésből áll. A vizsgálati eredményektől függően választja ki a malom, hogy a megmintázott tételekből élelmiszerbiztonsági és minőségi szempontok alapján mely tételeket fogja felvásárolni. Ezért a biztonságos élelmiszer-előállítás alapjait határozza meg. Az élelmiszerbiztonsági szempontokat a jogszabályban lefektetett paraméterek határozzák meg. A kísérleteim alapját képző alapanyagtételek kiválasztásához is fontos és meghatározó információt nyújtott ez a munkaművelet.

A D1. lépés a búza felvásárlását megelőző mintavételezésből, az úgynevezett előmintázásból, majd ezt követő laboratóriumi vizsgálatokból áll. A felvásárlást megelőző előmintázás a malom élelmiszerbiztonsági irányítási rendszerében előírtak szerint, szabályozott módon megy végbe. Nagyon fontos a feldolgozás és a kísérlet szempontjából egyaránt, hogy a minták reprezentatívak legyenek és egy adott tétel (alapsokaság vagy statisztikai populáció) fő jellemzőit tükrözzék. Ezért a belső szabályozásban a mintavételi rend kidolgozásakor a 2005/38 EK irányelvet használtam. Ennek értelmében a lekötött búzatétel nagyságától függően határoztam meg az altételek számát, amelyekből a vizsgálati minták származtak:

- 50 t alatti tétel esetén: 10 tonnánként vesznek mintát.
- 50 - 500 t tételek esetén: 3 altételt kell képezni és minden altételből 30 szűrással vesznek stekkerrel mintát.
- <500 -1500 t közötti mennyiségből is 3 altétel képzendő. Ebben az esetben az altételek két félre osztandók. A tételfelekből külön-külön kell keverékmintát gyűjteni kb. 15-16 szűrésből.
- az 1 500 t feletti tételek esetén 500 tonnánként kell altételeket képezni és az előző bekezdésben leírtak szerinti szűrőszámot kell alkalmazni.

Síktárolókban a búza a betárolás után is megmintázható, míg silós tárolás esetén a betárolást megelőzően kell a beszállító járművekről a keverékmintákhoz a gabonát a stekkerrel megszünni.

A felvásárlás előtti minták megszedésekor, azzal párhuzamosan úgynevezett mintavételezési térkép készül minden egyes tárolóban, illetve termelőnél. A térkép segítségével lekövethető egy adott tétel tárolási helye, módja, mennyisége, illetve a laborvizsgálatok után hozzárendelhetők az őrlés során figyelembeveendő minőségi paraméterek és a felvásárlást alaptól meghatározó élelmiszerbiztonsági értékek, mint például a DON-toxin tartalom. Ezen információk alapján döntenek el a szakemberek, hogy egy adott tételt felvásárolnak, vagy sem. A felvásárlás után pedig a búzatételek telephelyre történő ütemezett beszállításához nyújt információt a térkép.

A búza előmintáinak beltartalmi mutatóit és toxintartalmát határozza meg a malom laboratóriuma. A beltartalmi tulajdonságok közül a tételek fehérjetartalmát, sikértartalmát, gluténindexét, esésszámát, üvegességét, nedvességtartalmát, tisztaságát, hektolitersúlyát jegyzi fel a labor. A DON-toxin tartalom meghatározása a széles körben alkalmazott ELISA-teszttel történik. Ezek az adatok elsődlegesen a malmi szakemberek számára a tétel megvételéhez, beazonosításához és felhasználásához szükséges információk, de természetesen a kísérletem megtervezéséhez is fontosak voltak. A felvásárlás első számú kizáró tényezője, ha a búzatétel

DON-toxin tartalma a jogszabályi határértéket meghaladja. Minden más paramétert csak ezt követően vesznek számba. Ugyancsak nem vásárolja fel a malom azokat a búzákat, amelyeknél a minőségi paraméterek nem felelnek meg a Magyar Élelmiszerkönyvi előírásoknak, vagy a vevői elvárásoknak megfelelő durumdara nem állítható elő belőle.

A malom által felvásárolt búza telephelyre szállítása ütemezetten történik, a vevői igényeknek megfelelő liszt őrlésére alkalmas búzatételeket tervezetten szállítják be. Ehhez használják fel az előminták laborvizsgálati eredményeit. A kísérleti tételeim kiválasztásához és beszállításához én is ezeket az információkat használtam fel. Egy beszállítótól egyszerre minimum 24 t, de leggyakrabban 48 t alapanyag mennyiséget szállítanak be a malom telephelyére.

A minőségi igényeknek megfelelő ütemben történő beszállításkor a szállítójárművekről ismét mintát vesznek, és többek között a toxintartalomra vonatkozóan elvégzik az ellenőrző méréseket a malom laboratóriumában. Az ezt követő átvétel után a garatba öntéssel a búza bekerül a termelési rendszerbe (3.1. ábra D2-D3. lépései). Egy rövid halmaztisztítás után (3.1. ábra D4-D5. lépései), amikor a fizikai szennyeződések (mágnesezhető fémek, kő, föld, stb.) egy részét eltávolítják, az alapanyagot behúzzák a silócellába, ahol rövid idejű, az őrlés előtti tisztítási folyamat megkezdéséig tartó, átmeneti tárolás történik (3.1. ábra D6. lépése). A durumbúza őrlés előtti tárolására három 220 t-ás silócella áll rendelkezésre.

A kísérleti napok kivételével, egy átlagos műszakban a tisztítási folyamat előtt történik a búza minőségének az egalizálása (3.1. ábra D7. lépése) azért, hogy a kívánt paraméterekkel és tulajdonságokkal rendelkező és egyöntetű liszt őrlése lehetővé váljon. A durumbúzáknál ehhez a művelethez két vagy három silóból történik az alapanyag keverése. A keverési arányt, vagyis azt, hogy melyik silócellából hány százalékban adagolják a gabonát, naponta határozzák meg a silóállás alapján, azaz a betárolt búzatételek és az ennek megfelelően kialakult rétegek minőségi paramétereit ismerve. Ehhez a munkaművelethez az alapanyag esésszámát és a sikértartalmát veszik figyelembe. Jelenleg ebben a folyamatban a búza DON-toxin tartalmának csak akkor van jelentősége, ha az adott tételnél vagy tételeknél az a jogszabályi határértéket megközelíti. Ilyen esetben empirikus úton állapítanak meg olyan keverési arányt, amivel valószínűsíthető, hogy a végtermék toxinszennyezettsége a lehető legalacsonyabb szinten tartható. Mivel ez a módszer empirikus, ezért gyakori laborvizsgálatokkal ellenőrzik vissza a termék toxintartalmát. Ez viszont a kritikus évjáratokban nagymértékben növeli a költségeket. A különböző minőségi paraméterekkel rendelkező búzák keverése, illetve homogenizálása csigás felhordó segítségével történik. A keverési arány megfelelőségét az örleményből vett minták minőségi paraméterei igazolják vissza, amit az úgynevezett folyamatközi vizsgálatokkal ellenőriznek. Az eredmények alapján döntenek el, hogy a keverési arányt kell módosítani vagy nem. A kísérleti durumbúza tételeknél az előbb említett egalizálás, azaz keverés elmaradt. Egy silócellából egy adott tétel tisztítási folyamatát követtem le és ebből szedtem meg a vizsgálati mintákat a 3.2.1. fejezetben leírtaknak megfelelően.

A silókból csigás felhordó szállítja az alapanyagot az előtisztítási műveletekhez. A malomban az őrlés-előkészítés során a búzát intenzív tisztítási folyamatnak vetik alá, itt a szállítás magas nyomású levegő áramoltatásával történik. Az első feladat a halmaztisztítás, ami több lépésből áll. Az optikai válogatás előtt eltávolítják a rendszerből a mágnesezhető fémeket, köveket és más, a búzaszemtől eltérő mérettel és fajsúllyal rendelkező szennyező anyagok, idegen magvak, illetve a cséplésből visszamaradt pelyva, valamint egyéb alkotók egy részét. A munkaműveleteket több ponton elhelyezett állandó mágnessel, szelelő rostával, tarárral és kőkiválasztó berendezéssel végzik (3.1. ábra. D8-D10. lépései), az irodalmi feldolgozásban (2.4. fejezet) részletesen leírt technológiával. Ez az előtisztított anyag kerül a színválogató gépre, ami az eltérő optikai tulajdonságokkal rendelkező maradványanyagokat is precízen ki tudja válogatni. A Sortex Z+ színválogató beépítését megelőzően a folyamatnak ezen a pontján triörözés történt.

Az optikai válogató kimagasló teljesítménnyel és nagy pontossággal képes szelektálni a

búzahalmazt. A moduláris felépítésnek köszönhetően akár óránként 20 tonnás teljesítménnyel is megbízhatóan működhet (Bühler, 2011). A malomban e teljesítmény töredékét kell csak kihasználni, mert a jó minőségű liszt őrléséhez, a kutatási időszakban 3,6 t/h kapacitással működtek a rendelkezésre álló malmi gépek. Ezzel összhangba kell a színválogatás teljesítményét is meghatározni. A Sortex Z+ színválogató gép működési elvét részletesen a 3.2.2. fejezet tartalmazza.

Az optikai válogatás után a búzaszemek felületének tisztítása történik meg kettő lépésben (3.1. ábra. D 12. és D16. lépései). Az első intenzív súrolás technológiája eltér a második, Schule Verticone VPC 480 felülettisztító géppel végzett hántolástól. A D12 lépésnek a fő célja a mag felszínéről könnyen eltávolítható szakáll lesúrolása és a héj lazítás. A lazább héjszerkezetnek köszönhetően a mag vízfelvétele javul, tehát a nedvesítéshez készíti elő e munkaművelet a búzaszemeket. Ebben a fázisban működő gép sík felépítésű, a köpeny croise szövetből készült, ami a szakáll eltávolításához és a búzaszemek felületének a dörzsöléséhez megfelelő. A forgótengelyen hajlított verőlécek vagy ütőlapátok segítik a munkafolyamatot. Ebben a munkafázisban a magnak csak a felszínét súrolja le a gép, és a legkülső héjrétegét csupán meglazítja. Ezt követően egy pneumatikus halmaztisztítási művelettel távolítják el a szemek felületéről lesúrolt szakállt, port és egyéb szennyező anyagokat (3.1. ábra D13. lépése). A szélszékély azonban ebben a fázisban nem csak tisztítási funkciót lát el, hanem a halmaz súrolását követő hűtését is végzi. Ezután történik a búzatétel nedvesítése (3.1. ábra D15. lépése). E munkaművelet során mintegy 4-5%-nyi nedvességtartalom növeléshez elegendő vizet adagol a gép egyenletesen a halmazhoz. Így annak víztartalma 15,5-16,5%-os lesz. Az adagolás számítógép-vezérelt, automatikusan működő nedvességszabályozó rendszer segítségével történik (3.1. ábra D14. lépése). A berendezés a búzatétel nedvességtartalmának meghatározását és tömegáramának mérését, valamint regisztrálását követően kiszámítja és adagolja a nedvesítő csigába a megfelelő mennyiségű vizet. A nedvességet a gabona nehezen tudja felvenni, egyrészt megakadályozza ebben a héj legbelső rétegében található hyalin réteg, illetve a mag alakja és a barázda jelenléte. Ezért ehhez a folyamathoz hosszabb időre van szükség. A búzaszemben, illetve a tételben a nedvesség kiegyenlítődése a pihentető kamrában történik. A búzatételnek itt 10-12 órát kell tartózkodnia, ami a 3,6 t/h termelési kapacitással tartható időintervallum. Ez idő alatt válnak alkalmassá a szemek arra, hogy a korpa jó minőségben eltávolítható legyen, illetve az őrlés és a liszt minősége is ennek köszönhetően biztosítható. A kondicionálás folyamata gyakorlatilag a kamrában egy lassú, egyenletes áramlást jelent. A pihentető kamra búzabefogadó képessége 45 t. Kilenc kiömlő nyílás biztosítja az alapanyag egyenletes áramlását, ahonnan egy szállító rédlerre kerül a gabona. A rédler sebességével szabályozható a kifolyási ütem. A szabályozást számítógép segítségével végzik a malmi szakemberek. A kísérlet megtervezésében a nedvesítés módjának és időtartamának pontos ismerete fontos szerepet játszott abban, hogy a Schule Verticone által végzett felülettisztítási művelet előtt és után meghatározhassam a mintavétel időzítését. Ebben minden mintavételi napon az üzemvezető főmolnár volt a segítségemre.

A pihentető kamrából kerül a búza a Schule Verticone VPC 480 hántoló gépre, amivel a nedvesített héj külső részének eltávolítása precízen, milliméter pontosságú beállítással valósítható meg. Így növekszik a tisztítás határfoka. Itt a búzahalmaz súlyvesztése mintegy 5-7 %-os lesz a beállítástól függően, e mellett a tört szemek aránya sem számottevő. A felülettisztítással párhuzamosan a lesúrolt részek sűrített levegővel eltávolíthatók, ami növeli a munkaművelet hatékonyságát. A gép működésének részletes ismertetése a 3.2.2. fejezetben olvasható.

A Schule Verticone gép beüzemelése, mintegy hat évvel a malom indulása után történt. Tehát a kezdeti vagy más szóval a hagyományos technológiának ez a berendezés nem volt része. 2005-ben az őrlés indításakor a folyamat ezen szakaszán egy két lépcsős hámozó-polírozógép végezte

a felülettisztítást. Azonban e gépegyüttes tisztítási hatásfoka messze elmaradt a jelenleg alkalmazott, korszerű eszközhöz hasonlítva. A mai napig az egyik legkorszerűbb felülettisztítást biztosító Schule Verticone gép beszerelésével növelni lehetett az őrlési hatékonyságot és javítani a végtermék minőségét.

A második felülettisztítás után és az őrlés megkezdése előtt két halmaztisztítási művelet (szélszekrényben tisztítás és mágnesezés), valamint egy héjszívósító nedvesítés történik (3.1. ábra D17-19. lépései). A szélszekrénynek a hámozás után az elsődleges szerepe ismételten nem a tisztítás, hiszen a hántológépből a magas nyomású légáram a felületről eltávolított részeket jó hatékonysággal kivitte a rendszerből. A búzaszemek ütközése és súrlódása során keletkezett hő csökkentése a feladat e munkafázisban. Ezt követő héjszívósító nedvesítésre közvetlen az őrlés előtt van szükség. Ekkor maximum 0,3%-nyi vizet juttatnak a halmazba, amit 15-20 perc pihentetés követ, mert nem cél a nedvesség mélyebbre hatolása. Ez a korpa tökéletes eltávolítását segíti.

A búzaszemek aprításával kezdődik az őrlési folyamat (3.1. ábra D20. lépése). Az őrlés végére három fő termékör szeparálása történik meg. A lisztfrakciók, mint főtermék, valamint melléktermékként korpa és búzacsíra. A korpa a legnagyobb hányadban takarmány alapanyag lesz, a búzacsíra többségét étkezési céllal értékesítik.

3.2. A vizsgálatok ismertetése

3.2.1. A vizsgált alapanyag jellemzői, a tételek meghatározása

A vizsgálataim alapanyagául szolgáló durumbúza (*Triticum durum*) a második legnagyobb területen termesztett búzafaj a világon. Különösen a mediterrán vidéken népszerű. Magyarországon a vetésterülete 2011 és 2015 között átlagosan 14,3 ezer hektár volt, ami alig érte el az országos búzavetés 2%-át. A hazai kereslet növekedését jelzi, hogy 2015-ben 19 ezer, míg 2016-ban 30 ezer ha feletti volt a vetésterületünk. A durumbúza termesztési területe hat év alatt megduplázódott, míg a kenyérbúzáé folyamatosan csökken (KSH, 2016). Magyarországon először a múlt század 20-as éveiben kezdték a honosítását, de ekkor nem jártak sikerrel. Ennek elsődlegesen a hazai téstagyártás technológiája volt az oka. A durumtészta ugyanis tojás nélkül készül, és nagy nyomáson kell préselni. A rendszerváltás után viszont egyre népszerűbbek lettek itthon is a durumörlemények a feldolgozók körében, így néhány malom felkészült e termékek előállítására.

A *Triticum durum* kromoszómaszáma alapján tetraploid. A legtöbb tetraploid faj a kemény búzák közé tartozik, amit a neve is mutat. Durum latin eredetű szó, jelentése kemény. E búzatípusok általános jellemzője, hogy szemtermésük jelentős része kemény, üveges szerkezetű, mely tulajdonságát akkor is megtartja, ha az érési időszak alatt nem optimális a hőmérséklet és mérsékelt a tápanyag ellátottság (Konopka et al. 2005). A kemény szemű, üveges búzaszemekből őrölt darát vagy más szóval dercét elsősorban a téstaipar használja fel. A szemek üvegeességétől, acélosságától függ a darakihozatal, ami a durum esetén 60-62%-os lehet, szemben az étkezési búza (*Triticum aestivum*) 25%-os értékével. Szicíliában, illetve a Földközi-tenger más vidékein és Észak-Afrikában a lisztjéből kenyeret és lepényt is sütnek (Fowler, 2014). A nagy szemcseméretű durumlisztből készül az észak-afrikai népi eledel, a „kuskusz”. A Balkán-félsziget országaiban és a Közel-keleten már a Bizánci korból ismert durumbúzából készül a „bulgur”, a „trahana”, a „kishk”, a „falabel”.

Táplálkozási értéke a nálunk elterjedt *Triticum aestivum* búzafajnál kedvezőbb. Béta-karotin tartalma, az aminosav- és fehérje összetétele, lassan felszívódó szénhidrát tartalma és magas rosttartalma miatt előnyös a fogyasztása a cukorbetegség és a korszerű táplálkozási szokásoknak hódoló körében egyaránt. A béta-karotin és a fehérje összetételének köszönhető az is, hogy az örleményből tojás nélkül készíthető téstta. Így koleszterintől és állati eredetű összetevőtől

mentes termék állítható elő belőle, ami szintén egyre több fogyasztó számára fontos. A nagyon magas sikértartalmának és a fehérje összetételének köszönhető, hogy viszonylag kevés víz hozzáadásával, magas hőmérsékleten és nagy nyomáson állítható elő a durumdarából tészta. Ennek köszönhetően az egészséges táplálkozás hívei egyre nagyobb mennyiségben keresik a durumőrleményekből készült termékeket az említett kedvező táplálkozási és élettani hatás miatt. Az egyik indok, hogy a durumbúzát a kísérletben alapanyagként választottam az, hogy a szakirodalomban leírt tapasztalatok szerint a termesztése során a fuzárium fertőzésre érzékenyebben reagál, mint az egyéb búzafélék (Szunics és mtsai, 2002).

A malom a durumbúzát termeltetés útján szerzi be. Így a termesztőkkel már a vetés előtt szerződésben meghatározzák a termesztett fajtákat, a technológia főbb elemeit és a minőségi elvárásokat. A malmi szakemberek igény szerint szaktanáccsal segíti a gazdákat a termesztéstechnológia megfelelő kivitelezésében. A termeltetéssel megbízott munkatárs rendszeresen tartja a kapcsolatot a termesztőkkel, akiknek nagy része állandó beszállító. Területileg az Alföld középső és déli részén, valamint a Dél-Dunántúlon helyezkednek el azok a termőterületek, ahonnan az alapanyag származik. Ebből látszik, hogy nem egységes ökológiai hatásoknak van kitéve a termesztési időszakban a feldolgozandó alapanyag.

A megvásárolt búza felhasználásig történő tárolása a kísérlet éveiben kétféle módon történt: a termelőknél vagy bértárolókban. A tárolásról, pontosabban a búzatételek elhelyezéséről, azok paramétereiről részletes dokumentáció (pl.: előmintatérkép) készül az élelmiszerbiztonsági irányítási rendszer belső szabályozása szerint. A kísérlet megtervezésénél, a kísérleti tételek malomba történő beszállításánál is ezek az adatok álltak a rendelkezésemre. Az ütemezett beszállítás során 48 tonnás alapanyagtételekkel dolgoztam. Ez minden esetben egy termelőtől származott, ami azért fontos, mert azonos feltételek között megtermesztett gabonát vizsgáltam.

A búza beszállítását követően a betárolás előtt, az élelmiszerbiztonsági irányítási rendszer előírásainak megfelelő gyakorisággal, a szállító járművekről még egyszer vesznek mintát laboratóriumi vizsgálathoz. Visszaellenőrizik, hogy valóban a megfelelő tétel beszállítása történt-e meg, illetve a tárolás során valamilyen változás történt-e a búza minőségi paramétereiben. A megfelelőnek talált és az előminta alapján beazonosítható alapanyagtételeket minőségi paraméterek alapján tárolják be a silócellákba. A betárolást a „Búzasiló állása” elnevezésű lapra jegyzik fel. Ezen szerepel a tétel azonosítója és a főbb minőségi paraméterei.

A búzasilók alján négy kifolyónyílás van, ami a betároláskor keletkezett búzaoszlop egyenletesebb kiürülését eredményezi. Vagyis a betároláskor egymásra rétegzett tételek egyenletes ütemben tárolhatók ki. Méréseink szerint a 48 tonnás búzatétel a durumsilóban több mint 290 cm-es oszlopmagasságot képviselt. Ez az alapanyag mennyiség minimum 13,3 órás feldolgozási mennyiséget jelent. Ha a minőséegalizálás miatt a malomban keverik az egyes silókba betárolt búzatételeket őrlés előtt, akkor ez az idő természetesen meghosszabbodik. A kísérlet idején az egalizálás, azaz a keverés fázisát kihagytuk, tehát egy silóból történt az alapanyag malomra adása. Ebben a formában a 48 tonnás tétel nagyságnál a vizsgálati minták megszedését meg lehet tervezni úgy, hogy az egymásra rétegződött tételek keveredését elkerüljük. A termelési kapacitás ismeretében pedig kiszámolható az alapanyag fogyása a FIFO elv alapján. Az élelmiszerbiztonsági irányítási rendszerben a termék nyomonkövetése is ennek az elvnek megfelelően történik, ami folyamatos üzemelésű őrlés esetén is lehetővé teszi a végtermék és az alapanyag pontos lekövetését. A kísérletemben tehát ezen adatok alapján tudtam kiszámolni, hogy a DON-toxin tartalom meghatározásához egy adott tétel mintavételi időpontja mikor lesz optimális. A mintavétel pontos időzítését segítette az, hogy a durummalom nem folyamatos, hanem szakaszos üzemelésű. Az alapanyag beszállítása is ehhez volt ütemezve. A három, egyenként 220 t maximális befogadó képességű, a durumbúza tárolására szolgáló siló kapacitását a termelés kiszolgálásához nem kellett száz százalékban kihasználni. Ezek a tényezők mind segítették a kísérlet pontos megtervezését és tervszerű végrehajtását.

A 2015. évi kísérletembe beválogathattam olyan búzátételeket, amelyeket a magas DON-toxin tartalma miatt a malom nem vásárolt fel és nem őrlött, csak tisztításon esett át és a vizsgálataimhoz használhattam azokat. Az élelmezés-egészségügyi előírások betartására ebben az esetben csak úgy volt lehetőségünk, hogy teljesen elkülönítetten folyt ezeknek a tételeknek a betárolása és a tisztítása a mintavételezés ideje alatt. Mivel vevői igény szerint a malom tisztított durum búzát is értékesít, a durummalomban kiépítettek egy olyan rendszert, amin keresztül a tisztított búza a hántolás után közvetlenül, vagyis az őrlési folyamat előtt lefejtethető és eltávolítható a malomból. Ezt a technikai lehetőséget használtam a kísérletben az említett tizenegy tételnél arra, hogy a tisztítás után a szemeket őrlés nélkül távolítsuk el a malmi folyamatból.

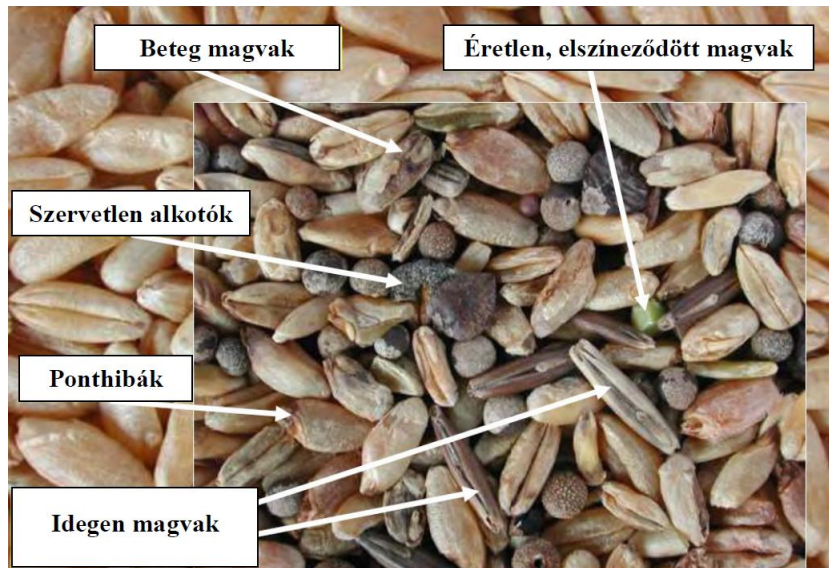
A fent leírtakból látszik, hogy a malomban nagy gondot fordítanak az alapanyag vizsgálatára, beazonosíthatóságára. Sokoldalú, nagyon részletes és visszatérő elemeket tartalmazó mérési rendszert alakítottak ki. Ez elengedhetetlen ahhoz, hogy a feldolgozást jól meg lehessen tervezni, a liszt beltartalmi tulajdonságait és egyéb paramétereit az előírásoknak megfelelően lehessen kialakítani, az állandó minőséget biztosítani tudják, illetve szükség szerint a vevői igényekhez rugalmasan lehessen alkalmazkodni. Nem utolsó sorban a jogszabályi előírás szerinti nyomkövetés is biztosítható. A kísérlet szempontjából is jó feltételeket nyújtott az alapanyag vizsgálati rend, mert az előminták és a búza beszállításakor vizsgált adatok alapján tudtam teljes körű információhoz jutni az egyes tételekről.

A fent ismertetett átfogó alapanyag vizsgálat ellenére a csapadékos évszakokban, amikor a fuzárium fertőzés veszélye nagy, és az alapanyagok toxinszint tartalma elővigyázatosságra int, komoly fejtörést okoz a szakembereknek annak biztosítása, hogy a végtermék az élelmiszerbiztonsági feltételeknek biztosan megfelelő legyen. A malomnál ezt az elmúlt években úgy oldották meg, hogy a toxinvizsgálatok számát a többszörösére növelték nem csak az alapanyag, hanem a végtermék tekintetében egyaránt. Ez több tízmillió plusz vizsgálati költséget jelent egy-egy ilyen évjárásban, illetve a végtermék kiszállítási, értékesítési folyamatát lassítja. Ráadásul a végtermék laborvizsgálata a gyártást követően történhet meg, ezért csak utólagos információt biztosít, ez alapján a beavatkozási lehetőségek drasztikusak és magas költségvonzattal járók lehetnek. Nagyban támogatná a malmi szakemberek munkáját, ha már a gyártás közben lehetne olyan módszerekkel élni, amivel az élelmiszerbiztonsági előírások betartása biztosítható. Kísérletemben ennek lehetőségét vizsgáltam.

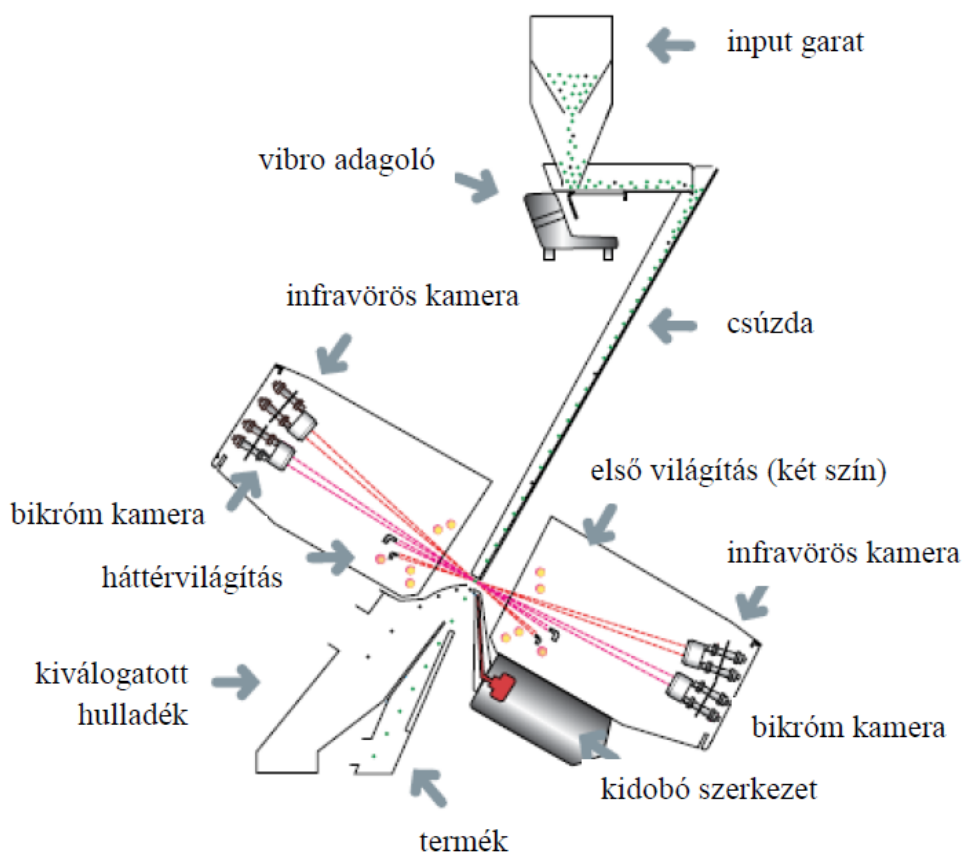
3.2.2. A Sortex Z+ és a Schule Verticone VPC 480 berendezések

A Sortex Z+ színválogató gép alkalmazására nagyon sok területen lehetőség. A gabonafélék, bab, hüvelyesek, fűszerek, dió, rizs, zöldség és gyümölcs, valamint a nem élelmiszer termékek, mint például a műanyag válogatására is alkalmas a berendezés. Tehát e berendezés elsődleges funkciója nem a DON-toxin tartalom csökkentése.

A malmi feldolgozás a halmaztisztításában új, precízebb, gyorsabb és kevesebb veszteséggel járó tisztítási lehetőséget jelent. A gabonákban azoknak az alkotóknak a kiválogatására is lehetőséget biztosít, amelyeknek például a mérete megegyezik az ép, egészséges magvakéval, de optikailag attól eltérő tulajdonsággal rendelkeznek (3.2. ábra). Ez a kísérletem szempontjából jelentőséggel bír. A korábban alkalmazott válogató berendezések, mint például a triőrök, nem megfelelő hatékonysággal tudták elkülöníteni a búzával megegyező méretű minőséget rontó összetevőket. A válogató gép alapfeladata, hogy a búzából a fizikai szennyeződések, valamint a tört, léha magvakat válogassa ki, azok eltérő optikai tulajdonságainak köszönhetően. A gyártó az eddig alkalmazott mechanikus tisztító berendezések alternatívájaként javasolja a Sortex Z+ optikai válogató alkalmazását (3.3. ábra). A mechanikus tisztítóknál viszont hatékonyabb válogatás érhető el és a végeredmény a tisztább, szennyező anyagoktól mentes termék. Ez a durum dara előállításánál a szemcseméret miatt rendkívül fontos.



3.2. ábra A Sortex Z+ optikai válogatógép által kiválogatott halmazösszetevők (forrás: Grain Sorting Solution, 2016.)

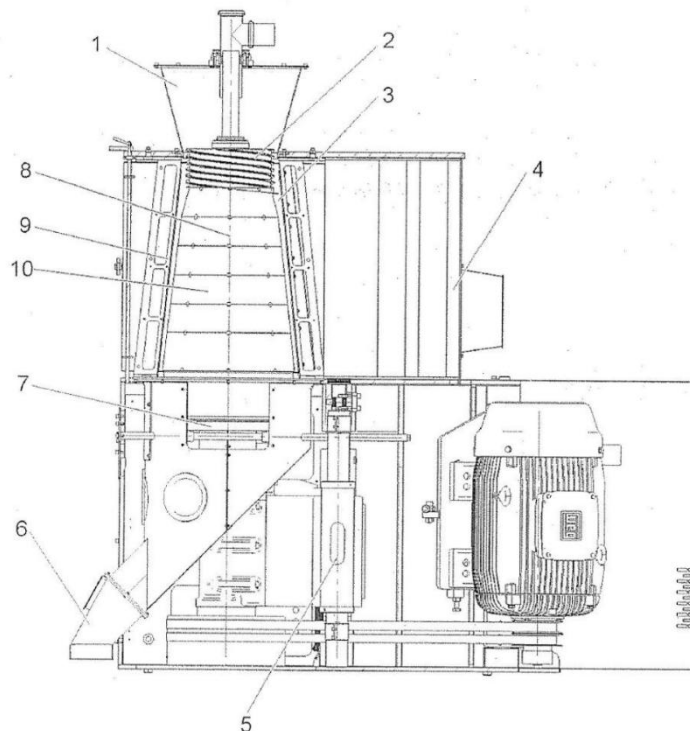


3.3. ábra Sortex Z+ színválogató gép felépítése (forrás: Velten, 2007)

A Sortex Z+ optikai válogató gépen a tömegáramot a termékadagoló (input garat) segítségével kell beállítani, hogy a válogatás megfelelő minőségű legyen (3.3. ábra). A gép alapvető optikai konfigurációja kétoldalas monokromatikus kamerákkal rendelkezik, amelyek kiegészülnek bikromatikus kamerákkal. A nagy felbontású monokróm, látható fénytartományban működő

kamerák a világos és sötét hibák egyidejű érzékelését teszik lehetővé. Az infravörös tartományban működő monokromatikus kamerákkal az idegen anyagok (pl.: üveg, műanyag, stb.) válogathatók ki. A bikromatikus kamerák érzékelik a színhibákat a látható hullámhosszon, míg infravörös tartomány a hasonló színű összetevők speciális szétválogatására ad lehetőséget. A PROfile alak- és színfelismerő rendszer nagyon precíz válogatást tesz lehetővé kis eltérések esetén is. Ennek köszönhetően várhatjuk el, hogy a különböző gombafajokkal fertőzött búzaszemek egy részét is eltávolítja a gabonahalmazból. A kamerák digitális fényképeket készítenek, amelyeket a gép processzorai értékelnek ki és azonosítják a nem megfelelő alkotókat. A gép „döntésének” értelmében a pneumatikus kidobó szerkezet működésbe lép és eltávolítja a rossznak ítélt összetevőket.

A Schule Verticone VPC 480 intenzív felület tisztító gép a hagyományos horizontális anyagáramot biztosító felület tisztító berendezésekkel ellentétben, vertikális, kúp alakba felépített forgó csiszoló kövek segítségével végzi a hántolást. Gabonafélék, hüvelyesek és fűszerek legkülső hélyrétegének az eltávolítására szolgál (3.4. ábra). Alkalmazásának az elsődleges célja a búzaszemek külső felületének megtisztítása a rátapadt szennyező anyagoktól és a mikroorganizmusoktól, illetve az őrlési minőség javítása a héjréteg megfelelő hántolásával. Tehát e gép elsődleges funkciója szintén nem a gabonatételek DON-toxin csökkentése. Használatával a végtermék, azaz a liszt minősége jobb lesz és a malom kapacitásnövekedésére is pozitív hatása van. Ez annak köszönhető, hogy a Schule Verticone intenzív hántológép fokozatosan leválasztja a mag külső hélyrétegeit az őrlés előtt, és e munkaművelet közben minimális a törtszemképződés. Ezzel optimalizálható a kihozatal, csökkenthető a liszt korpszennyezettsége. A héjeltávolítás foka állítható a minimális 3-4%-tól a mag külső részének 10-12%-os lehántolásáig.



1. bevezető tartály; 2. adagoló csiga; 3. munkarés; 4. porkivezetés; 5. emelőmotor;
6. termék kivezetése; 7. záró kúp; 8. hajtóhenger; 9. csiszoló szita; 10. csiszolókö

3.4. ábra A Verticone VPC 480 intenzív felület tisztító gép keresztmetszete
(Forrás: Schule Verticone VPC 480 technikai dokumentáció)

A beállítás két tényező függvénye:

- a kihozatal optimalizálása, mert az egyenetlen magfelszín miatt a nagyarányú súrolással a számunkra hasznos magbelsőből is veszteség keletkezne,
- a búza acélossága és keménysége meghatározó abból a szempontból, hogy elkerülhető legyen a tört szemek arányának a növekedése – a durumbúzákat az acélos, kemény típusokhoz tartoznak, az acélosság határértékeit a búzaszabvány határozza meg.

A Schule Verticone VPC 480 gép működési elvét a 3.4. ábrán látható keresztmetszeti rajzon lehet követni, a 3.5. ábra kiegészítésével, ami a 3.4. ábra 10-es számmal jelölt csiszoló kövek felépítését szemlélteti. A búza egy bevezető tartályon keresztül (3.4. ábra / 1) az adagoló csiga (3.4. ábra / 2) segítségével jut a rendszerbe. A csiga a munkarésbe (3.4. ábra / 3) vezeti a terméket, ahol a csiszoló kúp és a csiszoló szita (3.4. ábra / 9) közötti térközben a forgó csiszoló kövek (3.4. ábra / 10) segítségével a hántolás és a csiszolás megtörténik. A forgó, kúp alakú csiszoló henger (3.5. ábra) hat kőből áll a VPC 480-as modellnél.



3.5. ábra A Schule Verticone intenzív felülettisztító gépek csiszolókövei

A felülettisztítás mértékét a munkarés szélességével, illetve a zárókúp (3.4. ábra / 7) ellennyomásával tudjuk szabályozni. A zárókúp ellennyomása a terméknek a munkarésben tartózkodási idejét szabályozza. A termék hűtéséhez és a poreltávolításhoz a hajtóhenger (3.4. ábra / 8) nagynyomású levegőt présel. Ez a sűrített levegő a csiszolókövek nyílásain keresztül áramlik be (3.5. ábra), és a portérből a porkivezetésen át (3.4. ábra / 4) távolítja el a csiszolás eredményeként a maghéj külső részeiből keletkezett púderszerű anyagot. A megmunkált gabona az úgynevezett termékkivezetésen át (3.4. ábra / 6) hagyja el a gépet. Látszik, hogy a kúphengeres felülettisztítási módszer egészen más elven működik, mint a 2.4.2 fejezetben bemutatott verőléces gépek esetén alkalmazott technológia.

A fent leírt két tisztítógépet tehát alapvetően nem a toxinszennyeződés csökkentésére fejlesztették ki. Ha azonban a fuzárium fertőzés 2.2.2. fejezetben leírt folyamatát analizáljuk, akkor e két gépnek a búzatételek mikotoxin csökkentésében is kell, hogy szerepe legyen. Kísérleteim ennek a vizsgálatára irányulnak.

3.2.3. A mintavételezés rendszere

A fuzárium fertőzés jellegére, illetve mértékére, mint ahogy arról már az irodalmi feldolgozás fejezetben szó esett, a termesztési és az ökológiai tényezőknek, azaz az évjáratnak van a

legnagyobb hatása. Ezért a vizsgálatok tárgyát, azaz a mintavételezéshez meghatározott tételeket a különböző években betakarított búzák analízise jelenti. Így választ kaphatunk arra, hogy az eltérő ökológiai körülmények között megtermesztett búzáknál statisztikailag igazolható-e a technológia DON-toxincsökkentő hatása. Eltérő ökológiai viszonyok között nevelkedhetnek a különféle termőhelyekről származó tételek is. Azt a szakirodalomból tudjuk, hogy a fuzárium fertőzés mértéke és jellege nem minden esetben korrelál a búzatételek DON-toxin szennyezettségének mértékével, illetve azzal, hogy a búzatételben milyen arányban lesznek jelen azok a szemek, amelyeknek a héjrészében, és milyen arányban azok, amelyeknek a magbelsőben mérhető nagyobb toxinszennyeződés. Viszont a malmi tisztítás hatásosságát, pontosabban a kísérlet szempontjából érdekes DON-toxin tartalom csökkenés mértékét a búzatételekben a szennyeződés jellege alapvetően meghatározza.

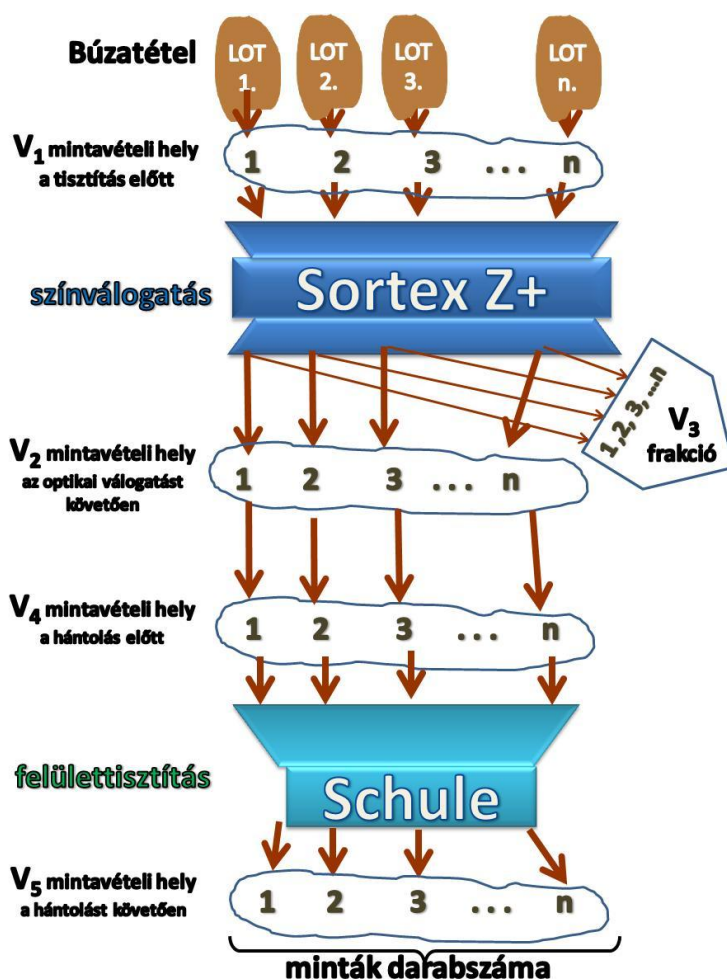
A kísérlet szempontjából az évjáráthatás alatt azoknak a tényezőknek az összességét értem, amelyek a vegetációs időben a termesztés során érik a búzát és meghatározzák annak DON-toxin tartalmát. A szakirodalom szerint elsődlegesen az időjárási tényezők vannak hatással a búza toxinszennyezettségére, de módosító hatással bírnak a mikroklimatikus tényezők, a termesztéstechnológia módja és szakszerű kivitelezése, illetve a fajták fuzáriummal szembeni érzékenysége is. Ez azt jelenti, hogy egy adott évjáraton belül a különböző termőhelyekről betakarított búzatételek között lehet eltérés a toxinszennyezettség mértékében. Hosszú évek tapasztalata azt mutatja, hogy az országos adatok alapján elkülöníthetünk olyan évjáratokat, amikor magasabb vagy alacsonyabb a betakarított búzában a toxinkockázat. Sok esetben ezt a szakemberek összekötik az időjárási tényezők alakulásával. Elsősorban azzal, hogy a búza virágzása és a szemképződés, valamint az érés időszakában csapadékos volt-e az időjárás. Más esetekben nem fedezhető fel olyan meteorológiai háttér, aminek következtében várható lenne a toxintartalom növekedése. Ez történt 2015. évben, amikor az időjárási tényezők nem indokolták a búzák magas toxinszennyezettségét. Erről 2015. augusztus 6-án a NÉBIH sajtóközleményt adott ki (NÉBIH, 2015). A kísérleteimnek nem célja annak analízálása, hogy egy adott évjáratra jellemző tényezők és a búzák toxinszennyezettségének mértéke milyen összefüggést mutat. Vizsgálataim arra vonatkoznak, hogy különböző termesztési évben betakarított búzatételek esetén, amelyekben toxinszennyezettség eltérő mértékű, a két korszerű malmi tisztító berendezéssel biztonságosan lehet-e csökkenteni a búzatételek átlagos toxinszintjét. A malmi szakembereknek sincs lehetősége annak vizsgálatára és elemzésére, hogy a felvásárolt búzatételek toxinszennyezettségét milyen hatások befolyásolták. Arra sincs mód, hogy az évjáráthatáshoz választhassanak tisztítási technológiát. Egy technológiai beruházás hosszútávra szól, tehát olyan módszer kialakítására van szükségük, amelyekkel a magas DON-kockázatú években, amikor a búzatételek nagy része a megengedett határértéket megközelítő szennyezettségűvé válhat, akkor is megbízhatóan kézben tartható legyen ez a kémiai veszély.

Jelen tanulmányban a 2013., a 2014. és a 2015. évek betakarítási időszakában aratott malmi búzatételek mintáinak vizsgálati eredményeit elemzem. Ahogy azt korábban említettem, az élelmiszeralapanyagként felhasznált búzáknak Európai Unió jogszabály írja elő a DON-toxinra vonatkozó élelmiszerbiztonsági határértékét. Tehát felvásárlás előtt az előmintázás egyik célja, hogy kiszűrjék a malmok a jogszabályi határértéket meghaladó tételeket, hogy az előírásoknak megfelelő búzákat vásárolhassák fel. Kísérletemben is az előírásoknak megfelelő alapanyagokat mintáztam meg. Kivéve 2015-ben, amikor olyan tételeket is vizsgálhattam, amelyek e határérték feletti toxinszennyezettségűek voltak. Épp ezért őrlésre nem kerültek. Erről részletesen a 3.2.1. fejezetben írtam. A malmi szakembereknek azt is figyelniük kell, hogy ha a tárolás során nem megfelelő körülményeket biztosítanak, akkor kisebb mértékű toxinemelkedés bekövetkezhet az előmintázott búzáknál.

A tisztítás során a toxincsökkentés célja az élelmiszerbiztonság növelése. Az alapvető élelmiszerekből a fogyasztók, legyenek azok felnőttek vagy gyermekek, nagyobb mennyiséget fogyasztanak, mint más termékekből. Ezért fontos a DON-toxin minimalizálása a lisztgyártás

technológiai folyamatában. Mindemellett a búzában jelen lehetnek más olyan anyagok is, bár határérték alatt, amelyek az emberi szervezetre kedvezőtlen hatást gyakorolhatnak. Ezek hatása összeadódhat, és nem minden esetben ismert a következmény. Ezért is fontos a DON-toxin tartalomra figyelmet fordítani a malmi feldolgozási folyamatban.

A mintavételi rendet a technológiai lépéseknek megfelelően alakítottam ki. A cél az, hogy egy búzátétel toxintartalmának a változását nyomon lehessen követni a feldolgozási folyamatban. Egy adott tételt öt mintavételi helyen mintáztam meg (3.6. ábra). Az első három mintavételi helyet a Sortex Z+ színválogató gépnél alakítottam ki. Egy mintavétel történt a gép előtt (V_1), majd a színválogatás után két helyen szedtem mintát: a tisztított búzából (V_2) és a visszamaradó, kiválogatott, úgynevezett melléktermékből (V_3). A V_3 mintavételi hely mintáit a dolgozatban nem értékeltem ki, mivel azok kikerülnek a malmi folyamatból. Két mintavételi helyet alakítottam ki a Schule Verticone VPC 480 felülettisztító berendezésnél: V_4 -el jelöltem a hántoló gép előtt és V_5 -el az utáni mintavételt. A V_4 és a V_5 helyeken a mintákat 12,5 órával a színválogatást követően lehetett megszedni. A szedésig eltelt időtartamot a technológiai lépések, elsősorban a kondicionálás időtartama határozta meg. Minden egyes mintavételi napon a számítógépes vezérlésű beállításoknak és az üzemelési adatoknak megfelelően, az üzemvezető főmolnár segítségével tudtuk meghatározni azt a pontos időtartamot, aminek a V_2 és a V_4 minták megszedése között el kellett telnie.



3.6. ábra A kísérletben a mintavétel rendje és a mintavételi helyek jelölése

Egy mintavételi napon egy búzátétel megmintázása történt. A mintavételi helyekről egy adott napon négy almintát gyűjtöttem be. Azaz egy tételből a V_1 - V_5 mintavételi helyeken összesen 20

búzaminta DON-toxin tartalmát határoztam meg. A dolgozatban ebből négy mintavételi hely (V_1 ; V_2 ; V_4 ; V_5) 16 almintájának adatait használtam az adatértékeléshez. Mintavételi pontonként az almintákat egyenlő időközönként, vagyis egy fél órás időtartam alatt 10 percnként szedtem meg (0. percben indult és a 30. percben fejeztem be), azaz 1,8 t búzából szedtem meg az almintákat. Egy adott mintavételi helyen megszedett alminták DON-toxin adatait átlagoltam az adatfeldolgozás során, és a továbbiakban az átlag értékekkel számoltam, illetve ábrázoltam grafikusan. Az átlagolással még pontosabbá kívántam tenni a mérési eredményeket, azaz a búzatételeket, pontosabban az összetartozó mintákat jellemző adatokat. Ez tette lehetővé a centrális határeloszlás tétel alkalmazását, ami a korrekt statisztikai kiértékelést segítette (3.4. fejezetben leírtak szerint).

A 2013-ban betakarított búzából a V_1 ; V_2 ; V_4 ; V_5 mintavételi helyen 656 alminta adatai alapján 41 db, 2014-ben betakarított búzából 1024 alminta adatai alapján 64 db, míg a 2015-ös évjáratból 1120 alminta adatai alapján 70 tétel vizsgálati eredményeit értékeltem. Az egyes évjáratokban az eltérő tételszámot az okozta, hogy a termelési rendszerhez igazodóan kellett megtervezni a kísérletet. Tehát figyelemmel kellett lennem a feldolgozási folyamat élelmiszerbiztonsági, termelékenységi és vevői igényeket kielégítő voltára annak érdekében, hogy valós adatokkal tudjak dolgozni. Az is befolyásolta, illetve egyszerűsítette a mintavételi időpontok meghatározását, hogy a durummalom nem folyamatosan működött a hét minden napján.

A Sortex Z+, és a Schule Verticone gépek a mintavételkor a termelési beállításnak megfelelően üzemeltek, mind a kapacitás vonatkozásában, mind a tisztítási folyamat tekintetében. Ennek az alábbi alapvető okai vannak:

- Vizsgálati adatoknak a tényleges termelési paraméterek mellett mérhető adatoknak kellett lenniük ahhoz, hogy valós képet kaphassak a DON-toxin csökkentés lehetőségéről a malomipari folyamatokban. Az elméleti vagy modell kísérletből származó eredmények, mivel nem követik le pontosan a termelés sajátosságait és beállításait, ezért nem szolgáltatnának teljes mértékűen megbízható eredményt arról, hogy szokásos működés esetén a malomban milyen mértékű toxincsökkenés érhető el.
- A fenti indokok alapján, a kísérlet megtervezésénél és a gépek használatánál figyelembe kellett venni minden olyan tényezőt (pl.: élelmiszerbiztonsági, termelékenységi, munkaszervezési, stb.), amit a termelés során is figyelemmel kísérnek, és amelyek a feldolgozási folyamat tervezésével, menedzselésével kapcsolatos döntéseket befolyásolják. Csak így volt biztosítható, hogy a vizsgálati adatok a gyártási folyamatra jellemző valós eredményeket mutassák be a toxintartalom változására vonatkozóan, és a gyakorlatban alkalmazhatóak legyenek.

A Sortex Z+ optikai válogató gép bekalibrálását a gyártó képviselője végzi éves gyakorisággal a búzabetakarításnak megfelelő időzítéssel. A beállítást minden esetben egy tisztítási és karbantartási folyamat előzi meg. A válogatás során a vibrátorok időszakonként leállítják a termékadagolást és a gép ellenőrzi a folyamatot, majd szükség esetén korrigál. A búzaáramot a malmi szakaemberek állítják be a feldolgozási teljesítményhez igazítva, összehangolva a többi berendezéssel. A kísérleti időszakban 3,6 t búza válogatása történt meg óránként, ami meghatározta a búzafolyam vastagságát. A tisztítás hatásfokának a beállítása az anyagáram függvényében történik, és külön-külön állítható, hogy milyen mértékű legyen a színhibák és a ponthibák felismerése, valamint az infravörös tartományban érzékelhető idegen anyagok kiválogatása. A beállításnál figyelembe kell venni a kihozatali arányt is. A kísérleti időszakban a gép által elérendő tisztasági százalék értéke 99,5%-os volt.

A Schule Verticone VPC 480 intenzív felülettisztító gép beállításánál a legfontosabb paraméter a réstávolság. Ennek értéke a gyártás során, ebből adódóan a kísérlet idején is, állandó volt. Így a 3,6 t/h teljesítménnyel dolgozó gép 6-8%-os felületi tisztítást ért el. Ez biztosította az optimális

kihozatalt és a megfelelő őrlési minőséget.

A mintavételi rend kialakításánál megfigyelhető, hogy a Schule Verticone VPC 480 intenzív felülettisztító gépen történő tisztítási folyamatot minden mintavételnél megelőzte az optikai válogatás. Vagyis nem elemeztem olyan búzaminták DON-toxin csökkenését, amelyek csak felülettisztításon estek át. Ennek több oka is van. Az alapvető indok, hogy elsődlegesen arra kerestem a választ, vajon az optikai válogatás és az adott, korszerű felülettisztítási eljárás, illetve az ezekhez használt gépek együttesen képesek-e csökkenteni az étkezési búza toxintartalmát. Erről az oldalról megközelítve, sokkal érdekesebb volt számomra az, hogy az optikai válogatást követően elérhető-e még további toxincsökkentés a Schule Verticone VPC 480 géppel. A szakirodalmi adatokból kiindulva, a fuzárium fertőzés eltérő jellegzetességeit ismerve az is feltételezhető volt a kísérlet megtervezésénél, hogy a két gép egy adott búzatételből nem ugyanolyan tulajdonságokkal rendelkező fertőzött szemeket válogat ki. Ezzel a kísérleti beállítással fontos információkat kaptam erre vonatkozóan is.

3.3. A búza DON-toxin koncentrációjának meghatározása ELISA tesztel

A fuzárium toxinok kimutatására többféle eszköz és módszer használható. A korábban széles körben alkalmazott laborvizsgálatokat, mint például a vékonyréteg kromatográfiát (TLC) felváltotta az üzemi körülmények között is viszonylag egyszerűen kezelhető, a mikotoxin vizsgálatok esetében gyors és megbízható eredményeket produkáló ELISA (Enzyme Linked Immuno Sorbent Assay) módszer. A módszer nagy előnye az, hogy a gabona felhasználásának a helyén kaphatunk nagyon pontos és rövid idő alatt rendelkezésre álló adatokat abban a mérési tartományban, ami a feldolgozásban az élelmiszerbiztonsági feltételek biztosításához szükséges. Megfelelő vizsgálati terv kialakításával e mérések költségei a korábban alkalmazott metódusokhoz képes kedvezőbben alakíthatók. Ezért a malmokban ma már a legtöbb helyen a DON-toxin meghatározására az ELISA tesztet alkalmazzák.

A toxinmeghatározás módszere az antitestek használatán alapul, amelyek specifikusak az adott mikotoxinra. Ezeknek az anyagoknak azt a tulajdonságát használják ki, miszerint a mikotoxinok háromdimenziós szerkezetét nagyon jól meg tudják különböztetni (Gromadzka et al., 2008). Tehát a mérés elve az antigén-antitest kötésen alapul folyadék fázisban. A detektálás színreakción keresztül valósul meg, a legtöbb esetben fotométer használatával. A módszer segítségével nagyszámú minta bevizsgálására is lehetőség nyílik.

A kutatás helyszínét adó malom laboratóriumában a búzamintákban a toxin-meghatározása a Romer Labs által forgalmazott, direkt kompetitív elven működő ELISA módszerrel, az AgraQuant Deoxynivalenol vizsgálati kittel történt. A mérés nem akkreditált, de annak pontosságát más, akkreditált laboratóriumokkal történő szervezett összemérésekkel, úgynevezett körvizsgálatokkal rendszeresen ellenőrzik. A mérési eredményeket teljes mértékben megbízhatónak tekinthetjük, hiszen minden körvizsgálatban a jogszabályban rögzített hibahatáron belüli értékeket mértek.

A tényleges laborvizsgálatokhoz a Romer Labs által kialakított és megadott vizsgálati metodikát követtük lépésről-lépésre. Először a mintákat kellett előkészíteni a vizsgálatra. Ennek során a DON-toxint a búzából darálást követően desztillált víz segítségével nyertük ki. A búzát 0,8 mm szemcseméretű darálón homogenizáltuk, majd a darálmányból 10 grammot kivéve összekevertük 100 ml desztillált vízzel és 30 percig rázógépen ráztuk (3.7. ábra). Újabb 30 perces ülepités után szűrés és további 1:1 arányú desztillált vizes hígítással készítettük el a vizsgálati mintát.

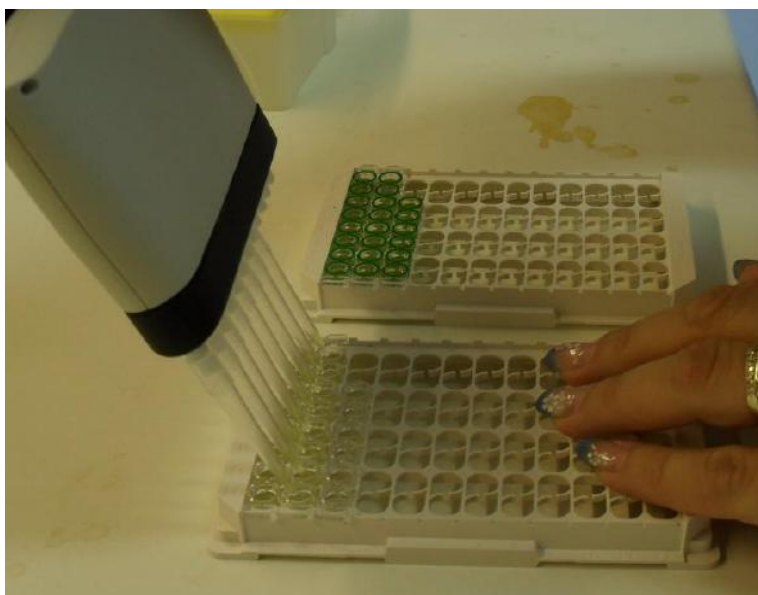


3.7. ábra A búzaőrlemény desztillált vizes oldatának rázógépen történő kioldása

A fentiek szerint előkészített mintákat standard oldattal kevertük (3.8. ábra) és az elegyeket antitesttel bevont kíttekbe pipettáztuk (3.9. ábra). Ezt követően 15 perces inkubációs időre van szükség. Az antitesttel bevont kíttek kiürítése és átmosása után a kíttekészlemben található szubsztrát oldatot, majd a reakciót leállító stop oldatot pipettáztunk a cellákba. Ez színváltozást eredményezett.

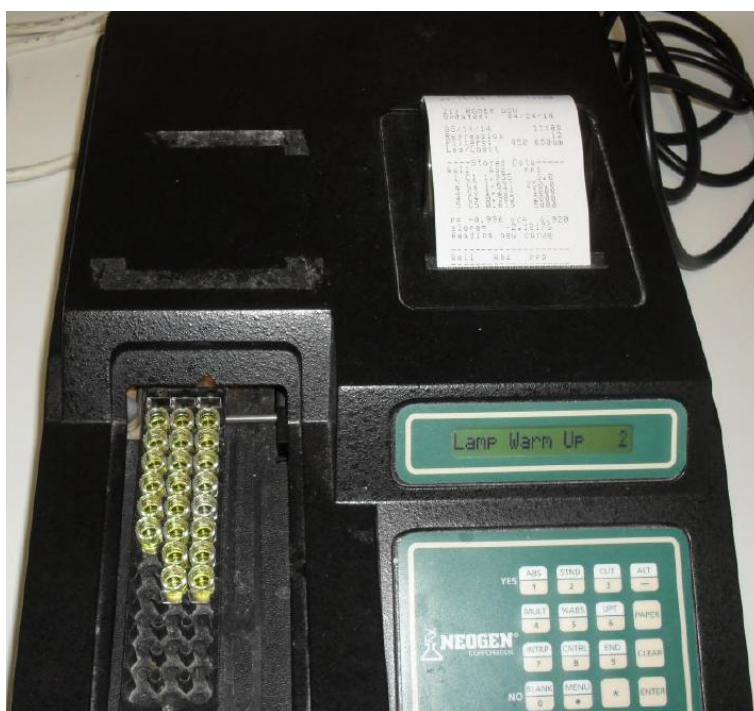


3.8. ábra A vizsgálati minták előkészítése a hígító cellákban



3.9. ábra A hígító cellából az elegyet az antitestekkel bevont cellákba pipetázzuk

Az eredményeket a 450 nm-es optikai szűrővel rendelkező ELISA olvasóval értékeltük ki (3.10. ábra).



3.10. ábra Az eredmények leolvasása 450 nm optikai szűrővel rendelkező ELISA olvasóval

A tesztelt jellemzői között szerepelnek: a kimutatási határ (LOD) 0,2 ppm, a mennyiségi meghatározás alsó határa (LOQ) 0,25 ppm és a mennyiségi meghatározás legfelső határa, ami 5 ppm. A legfelső határ feletti értékek esetén a Romer Labs javaslata szerint pontos mérést tudunk végezni, ha a mintákat tovább hígítjuk úgy, hogy az a mennyiségi meghatározási tartományba essen, majd visszaszámoljuk a tényleges koncentrációt.

A mérési tartomány és a malmi búza DON-toxin koncentrációra vonatkozó jogszabályi előírásainak az ismeretében egyértelműen megállapíthatjuk, hogy a fenti mérési metodika teljes mértékben megfelel a malomipari feldolgozáshoz és a kísérleti minták vizsgálatához is.

3.4. Az adatok kiértékelésénél alkalmazott módszerek

Az adatkiértékeléshez leíró (deskriptív) és induktív statisztikai módszereket alkalmazok. A leíró statisztikai részben a mintákat jellemző összefüggések szemléltetéséhez diagramokba és táblázatokba rendezem az adatokat, hogy az azokban rejlő információkat, tendenciákat minél szemléletesebben és tömör formában tudjam bemutatni. A grafikonok segítségével az egyes mintavételi helyek mintáit a vizsgálati célnak megfelelő elrendezésben ábrázolom. Az elemzés kapcsán a DON-toxin tartalom alakulásának olyan összefüggéseire szeretnék rávilágítani és értékelni, amit az induktív statisztikai módszerek nem részleteznek. A leíró statisztikai elemzéseknek fontos szerepe van az induktív statisztikai módszerek kiválasztásában is, a tesztek előkészítő információit adják. A két módszer alkalmazásában szoros kapcsolat áll fenn, mert a leíró statisztikával nem minden esetben lehet biztosan állítani, hogy két különböző számadat valós eltérést jelent a kísérlet szempontjából tekintve azokat. Az induktív statisztikai tesztek hipotézisvizsgálata tudja kimutatni azt, hogy az adatok között a kezelések hatásának köszönhető valós különbségek állnak-e fenn. Tehát a deskriptív statisztikával a mintákban bekövetkezett változást tudom értékelni a kezelések hatására, míg induktív statisztikával a teljes statisztikai populációra vonatkozó állításokat tudok megfogalmazni 95%-os valószínűségi szinten.

Az induktív statisztikai vizsgálatok kiválasztásához meg kell vizsgálni a minták eloszlását. Ismert, hogy normális, vagy közel normális eloszlású minta esetén a használható statisztikai eljárások köre szélesebb, és ezek alkalmazásával pontosabb eredményeket kapunk, mint a normális eloszlást nem feltételező módszerek esetén. A statisztikai szakirodalom viszont egyértelműen kimondja, hogy a normalitás tesztek erőssége között különbségek vannak (Osztényiné, 2015). Ezért azoknál a vizsgálati adatsoroknál, ahol az eloszlások kicsi eltérést mutatnak, a párhuzamosan végzett normalitás tesztek eltérő eredménnyel járhatnak. Ha ezt nem vesszük figyelembe, az a további hipotézisvizsgálatok kiválasztásánál, az eredmények kiértékelésénél hibát, pontatlanságot idézhet elő. Így több, a szakirodalom által javasolt és a gyakorlatban általánosan elterjedt normalitás teszttel dolgoztam. Amennyiben ezek a kiértékelések egyértelműen azt mutatják, hogy az adatsoraim normális eloszlásúak, úgy ezt követően a négy mintavételi hely mintáinak együttes értékelésére a varianciaanalízist, a mintapáronkénti változások lekövetésére a párosított t-próbát használom. Amennyiben az eredmények szerint nem normális eloszlásúak az adatok, akkor a négy mintavételi hely mintáinak együttes értékelésére a Friedman próba, a mintapáronkénti változások lekövetésére a Wilcoxon teszt lesz megfelelő adatértékelő módszer. Viszont, ha a tesztek egymásnak ellentmondó eredménnyel zárulnak, vagyis a fent említett okokból adódóan az egyik teszt a normalitás meglétét mutatja, míg a másik nem, akkor az előbb említett négy teszt (varianciaanalízis, t-próba, Friedman próba, Wilcoxon teszt) mindegyikével ellenőriznem kell a vizsgálati adatsorokat ahhoz, hogy a kiértékelésem korrekt és egzakt legyen. Ugyancsak mind a négy hipotézisvizsgálatot alkalmaznom kell abban az esetben is, ha az összetartozó mintapárok között vannak normális és nem normális eloszlású adatsorok is.

A búzatételekből megszedett alminták átlagolásával valamelyest segítjük a normalitáshoz való közelítést a centrális határeloszlás tétel alapján. Ez a tétel azt állítja, hogy véges szórású, azonos eloszlásokból származó minta átlaga közel normális eloszlásúvá válik. Az átlagértékek használata ezen túlmenően szélesebb lehetőséget nyújt, mert ezekkel az adatokkal az adott búzatétel összetartozó mintái jobban és pontosabban jellemezhetőek és lekövethetőek.

A normalitás meghatározására az illeszkedésvizsgálati eljárások közül, a szakirodalmi információk figyelembevételével, hármat használok. A leggyakrabban használt módszer a Wilk–Shapiro-teszt. Ezt a statisztikai szakirodalom a nagyon erős vizsgálati módszerek közé sorolja (Shapiro, Wilk, 1965). Hátránya, hogy csak 50 mintaszámig használható, így a kísérletben csak a 2013. évi minták értékelésére alkalmazható. Továbbfejlesztett változata a D’Agostino teszt, ami nagyobb mintaméretre is alkalmazható (Pearson et al, 1977; D’Agostino, Stephens, 1986;

D'Agostino, 1997; Osztényiné, 2016), így mind a három évjárat adatait vizsgálni tudom e módszerrel. Ugyancsak gyakran használt normalitásvizsgálat, és a szakirodalom szerint kevésbé szigorú teszt, a Kolmogorov–Szirnov-teszt Stephens által javasolt módosított változata (Kolmogorov, 1933; Stephens, 1974). A Kolmogorov–Szirnov teszt a Stephens-féle módosítással felhasználóbarát, mert különböző mintaméretek mellett ugyanaz a kritikus érték használható.

A normalitás vizsgálata után az alaphipotézist vizsgálom: statisztikailag igazolható-e 95%-os valószínűségi szint mellett, hogy a tisztítási folyamat hatására változik a búzátételek DON-toxin tartalma.

Ehhez első lépésben egy búzátétel mind a négy összetartozó mintájának, azaz a V_1 ; V_2 ; V_4 ; V_5 mintavételi helyek mintáinak (3.6. ábra) az összevetését végzem el. Ha a normalitás teljesül, akkor a varianciaanalízis használatával, míg ha nem, akkor a nemparaméteres eljárások közül a Friedman-próbát használva. További statisztikai próba alkalmazásának, vagyis a mintapárok vizsgálatának csak akkor van értelme, ha az alaphipotézis fennáll.

A varianciaanalízis alkalmazásához meg kell vizsgálni azt, hogy az összetartozó minták szórása azonos-e? Vagyis meg kell határozni az adatok szfericitását. A Mauchly-tesztel tudjuk ezt ellenőrizni (Mauchly, 1940). A varianciaanalízis kiértékelésekor figyelembe vesszük, hogy a statisztikai irodalom robusztus eljárásnak minősíti, ami azt jelenti, hogy ha a feltételek nem teljes mértékben teljesülnek, akkor is biztonsággal alkalmazható a módszer (Fidy és mtsai, 2005).

Ha a fenti vizsgálatok igazolják, hogy a tisztítási folyamatnak köszönhetően változik a malmi búza DON-toxin tartalma, akkor érdemes továbblépni és a kezelések, más szóval a tisztítási eljárások hatásosságát külön-külön értékelni:

- a tisztítási folyamat egészére vonatkozóan a V_1 - V_5 mintapárok összevetésével,
- a halmaztisztítás V_1 - V_2 mintapárjainak vizsgálatával és
- a felülettisztítás V_4 - V_5 mintapárjai esetén.

Vagyis meg kell állapítani azt, hogy a Sortex Z+ optikai válogató és a Schule Verticone VPC 480 felülettisztító gépeknek külön-külön és együttesen mennyiben köszönhető a DON-toxin csökkenés. Ha nem teljes körű adatvizsgálatot szeretnénk végezni, hanem az összetartozó mintapárokat akarjuk vizsgálni, akkor a mintapárokból létrehozott különbség-mintát kell használnunk. A különbségmintát úgy képezzük, hogy minden mintapár kiinduló toxinszintjéből kivonjuk a tisztítás utáni toxinszintet és az így kapott értékekkel végezzük el az analízist. A paraméteres eljárás a páros t-próba, aminek a normalitás a feltétele. A nemparaméteres megfelelője pedig a Wilcoxon-féle előjeles rangpróba. E próba a szimmetrikus eloszlású különbség-minták esetében alkalmazható. Vagyis ennek az eljárásnak van további feltétele. A szimmetria meglétét Pearson-féle mutatószámmal tudjuk ellenőrizni.

Ezt követően arra is választ keresek a mért adatok alapján, hogy vajon előre jelezhető-e és milyen pontossággal a tisztítás hatására bekövetkező DON-toxin tartalom csökkentés mértéke (V_1 és V_5 mintavételi helyek vizsgálata). Ehhez regressziószámítást végzek (Reiczigel és mtsai, 2014). Regresszióanalízist akkor használunk, ha függvényszerű kapcsolatot keresünk a függő és a független változó között. A mérési pontok és a számított egyenes közötti illeszkedés szorosságát a determinációs együtthatóval szokták jellemezni (R^2). Az értéke azt mutatja meg, hogy az y varianciájának, azaz szórás négyzetének mekkora részét tudjuk megadni az y becült értékével. Korábbi szakirodalmakban 100-as szorzóval %-os értéké alakították (Sváb, 1973) és ezen értékkel határozták meg, hogy a függő változó (y) értékei közötti eltérés hányad része vezethető vissza a lineáris összefüggésre. Ebből következően az $1-R^2$ a véletlenül visszavezethető eltérések arányát adja meg. Más szerzők között kifejezett vita alakult ki az R^2 ilyen értelemben vett megbízhatóságával kapcsolatban (Moksony, 1998; Hunyadi, 2000), és

rámutatnak arra, hogy alkalmazása ellentmondásos. Abban azonban egyetértés mutatkozik, hogy a nagyon kicsi determinációs együttható, amit Hunyadi (2000) $R^2=0,1$ érték alatt határoz meg, azt jelenti, hogy az illeszkedés gyenge, rossz, a modellnek igen kevés köze van a valósághoz. A másik oldalról pedig rávilágít a szakirodalom arra, hogy a biológiai rendszerekben a 0,9-es értéket meghaladó R^2 nem reális. Elsősorban arra utal, hogy az egyik mért érték a másiktól következik, vagyis ez által determinált. A gyakorlatban a determinációs együttható helyett ma már leginkább annak előjeles négyzetgyökét, a korrelációs együtthatót szokták használni a kapcsolat szorosságának jellemzésére (Reichart, 2012). Én is ezt használom a továbbiakban.

A korrelációs koefficienssel (r) vagy más néven Pearson-féle korrelációs együtthatóval a függvényszerű kapcsolat lineáris erősségét tudjuk jellemezni, ezért ezt sok esetben a két változó kapcsolatának mérőszámaként emlegeti a szakirodalom (Hajtman, 2012). A korrelációs együttható az egyik legismertebb kapcsolati mérőszám. Értéke azt mutatja, hogy a vizsgált két kvantitatív változó (x , y) milyen erősségű lineáris kapcsolatban van egymással. A statisztikai szakirodalom egyszerűbb megfogalmazással is él (Tóthné, 2011): milyen a változók együttjárása, együttmozgása. Ez arra utal, hogy nem ok-okozati kapcsolatot kell feltételeznünk, hanem a külső tényezőknek köszönhetően lineáris együttmozgásról beszélhetünk. A lineáris korrelációs együttható segítségével számszerűsíthetjük a kapcsolat erősségét és irányát, mivel megadja a mérések közötti lineáris kapcsolat szorosságát. A korrelációs együttható fő tulajdonsága, hogy mindig $-1 < r < 1$ közé esik. Ha értéke a 0-hoz közelít, akkor nincs kapcsolat a független és függő változó között, ha viszont közelít (-1)-hez vagy (+1)-hez, akkor a kapcsolat szoros. Az előjel a korreláció irányára utal, vagyis arra, hogy a független változók milyen irányba befolyásolják a függő változót. A statisztikai számításoknál a két változó közötti kapcsolat erősségét, illetve szorosságát a korrelációs együttható abszolút értéke alapján jellemezhetjük, ami a szakirodalomban megtalálható intervallumok alapján határozhatunk meg. A mezőgazdasági folyamatokra kialakított és alkalmazott skálát használom a továbbiakban az adatok kiértékelésénél (1. táblázat).

1. táblázat A korrelációs együttható értéke és a változók közötti kapcsolat erőssége

Korrelációs együttható értéke	Változók közötti kapcsolat
0,75 – 1,00	erős
0,50 - 0,75	közepes
0,25 - 0,50	gyenge
0,00 - 0,25	nagyon gyenge
0	nincs kapcsolat

Forrás: Szalai (2000)

Az adatokat legjobban reprezentáló regressziós egyenes meghatározását követően fel tudjuk írni az egyenletét. A normális eloszlás esetében a regressziós függvények közül a lineáris adja a legjobb becslést. A lineáris regresszió azokban az esetekben is alkalmazható, amelyekben a normalitás nem teljesül. Viszont akkor nem biztos, hogy az egyenes illeszkedik leginkább a ponthalmazra. Ezt a legtöbb esetben már a pontdiagram is egyértelműen mutatja.

A lineáris regressziós egyenes egyenletének az általános alakja $y=ax+b$. A függvény értékészlete (R_f) a kezelésektől függetlenül csak pozitív valós szám lehet. Meghatározom a függvények értelmezési tartományát is, amit a szakirodalomban megszokott módon D_f -el jelölök. A megadott információk segítségével prognosztizálható, hogy egy adott x értékhez várhatóan vagy átlagosan milyen y érték tartozhat. Azaz az x változó ismeretében előre jelezhető y változó értéke. Az egyenletben szereplő „ a ” a regressziós együttható, és a legjobban illeszkedő regressziós egyenes meredekségét adja meg, míg „ b ” azt mutatja meg, hogy a regressziós egyenes hol metszené az y tengelyt. A regresszió úgynevezett statisztikai előrejelzést ad, ami

nem tökéletes. Ez a gyakorlatban azt jelenti, hogy a számított értéket y nem minden esetben veszi fel pontosan, de N elemet vizsgálva, azok átlagához közel van a becsült érték.

A kísérletem során három tisztítási fázist, azaz kezelést vizsgáltam: az optikai válogatás és a felülettisztítás együttes hatását, illetve a két eljárást külön-külön. Ezért az összetartozó mintapárok mindegyikére meghatározom a regressziós egyenest. Azok meredekségét elemezve megbecsülhető, hogy a végeredményhez melyik kezelés járult hozzá nagyobb mértékben, melyik volt hatásosabb, illetve a különböző betakarítási évekből származó búzatételeknél a két vizsgált berendezés ugyanolyan eredményes volt-e.

Ezen tanulmányban minden statisztikai eljárást, ami szignifikanciaszintet igényel, $\alpha=0,05$ szignifikanciaszint mellett, más szóval 95%-os valószínűségi szinttel végeztem el. Minden számolt értéket két tizedes jegyre kerekítettem. Mivel élelmiszeralapanyagként hasznosított durumbúza paramétereit vizsgáltam, ezért a regresszióanalízis során az értelmezési tartomány felső értékét a jogszabályban megadott határérték határozza meg.

4. EREDMÉNYEK

Ebben a fejezetben három különböző évben betakarított (2013., 2014., 2015.) és őrlés előtt a tisztítás során optikai válogatáson, valamint korszerű felülettisztítási eljárásan átesett búzátételek mintáit vizsgálom, azok DON-toxin tartalmának alakulása szempontjából.

4.1. A statisztikai értékelés előkészítése

Az adatokat első lépésben egyszerű leíró vagy deskriptív, majd induktív statisztikai módszerekkel értékeltem.

4.1.1. A deskriptív értékelés módja

A leíró vagy deskriptív statisztikai módszerrel a tisztítási folyamatban keletkezett minták, illetve mintapárok számszerű jellemzőit mutatom be grafikusán és rendezem azokat az értékelési szempontjaimnak megfelelően. Így a statisztikai elemzéssel a mintákban lejátszódó változásokra világítok rá, és értékelem az azokat jellemző adatok konkrét értékeinek kvantitatív vizsgálatával. Előkészítve ezzel az induktív statisztikai módszerek alkalmazását. Mindebből következik, hogy a deskriptív statisztikai értékelés az alapsokaság tulajdonságait jellemző információt nem adja meg, a leíró statisztika alapján meghozott, a statisztikai populációt érintő következtetés csak spekulatív jellegű. Ebből továbblépést az induktív statisztika biztosít, ami a jelenségeket általánosan írja le meghatározott valószínűségi szinten, ami a kísérletemben 95%-os szint.

A leíró statisztikai vizsgálatok során az áttekinthetőség érdekében a minták DON-toxin koncentrációját grafikusán ábrázolom. Ügyelek arra, hogy ahol lehetőség van rá, azaz nagyon kiugró eredményekkel nem kell számolni, az y-tengelyen a beosztás azonos skálát vegyen fel minden diagramban. Így az oszlopok eltérő magassága jól mutatja a toxinszintekben mutatkozó különbségeket.

A diagramokon belül a mérési eredményeket a vizsgálat tárgyának, azaz a tisztítási eljárásoknak megfelelően növekvő sorrendbe rakom mindhárom évben, a toxincsökkenés változásának egyszerűbb követése, átláthatóbb ábrázolása érdekében. A nagyság szerinti sorba rendezés annak vizuális áttekintéséhez, és így arra vonatkozó következtetések levonásához is lehetőséget nyújt, hogy a búzátételek mintáinál mért adatok alapján a csökkenés mutat-e valamilyen szabályszerűséget. Mivel a folyamatban a vizsgálati célnak megfelelő kezelések, azaz a tisztítási eljárások szerint ábrázolom a mintapárokat, e célhoz igazodóan kell megállapítani, hogy melyik adatsor alapján határozom meg a nagyság szerinti adatsorrendet a grafikonban. A kísérlet célja annak meghatározása, hogy az egész tisztítási folyamat végén, illetve a két gépnél külön-külön a bemeneti toxinszinthez képest csökken-e a kimeneti DON-toxin tartalom. Ennek megfelelően a teljes tisztítási folyamat, azaz a V_1 - V_5 mintapárok vizsgálatánál, illetve a Sortex Z+ optikai válogató V_1 - V_2 mintapárjainál mért adatok esetén a V_1 mintavételi hely szerinti nagyságrendi sorrendet állítok fel. E logikát alkalmazva a Schule Verticone VPC 480 felülettisztító gép V_4 - V_5 mintapárjainál a V_4 mintavételi hely mintái jelentik a viszonyítási alapot. Ez azt jelenti, hogy egy adott évjáraton belül a V_1 - V_2 és a V_4 - V_5 oszlopdiagramokat egymás mellé téve nem lehet lekövetni a toxinváltozást a sorba rendezés miatt. De ennek az információnak a kísérletben deklarált vizsgálati cél szempontjából nincs is jelentősége. Viszont csak az egyes tisztítási módszerekre és területekre jellemző kiindulási toxinszint szerinti adatsorrend teszi áttekinthetővé a mintákban a tisztítás hatását, és így módon lehet vizsgálni annak minden összefüggését. A négy összetartozó minta toxinváltozását pedig a különbségminták oszlopdiagramjai mutatják be áttekinthetően (4.4. fejezet). Itt az optikai válogatás és a felülettisztítás összetartozó különbségmintáit egy diagramba és egymásmellé rendezve ábrázoltam évjáratonként.

Az oszlopdiagramokon minden esetben kék szín jelzi az adott vizsgálati célnak megfelelő kiinduló toxinszintet és bordó szín a tisztítás utáni eredményeket. Ezt azért tartom fontosnak

egységesen jelölni a grafikonokon, hogy abban az esetben is lehetőség legyen a gyors, egységes séma szerinti vizuális beazonosításra, amikor a tisztítási folyamat nem jár toxincsökkenéssel, vagy bizonyos esetekben akár toxinszint emelkedéssel is járhat. Ezzel az opcióval is számolni kell a kísérleti adatok kiértékelésénél.

Az ábrákon a mintapárok átlagát külön-külön berajzolom. A világoskék szaggatott, vízszintes vonal jelzi a kiinduló átlagos DON-toxin szintet, míg a piros vonal a tisztítást követő átlagos toxintartalmat mutatja. A vonalak jobb oldali végén az átlagértékeket számszerűen feltüntettem, hogy pontosabban lehessen követni a változást.

4.1.2. Normalitásvizsgálat

A leíró statisztikával szemben az induktív statisztika, a valószínűségszámítás elméleti alapjain nyugodva, a statisztikai populációt, azaz az alapsokaságot jellemző információkat szolgáltat. Az induktív statisztikával azt lehet megállapítani a kísérletben, hogy a Sortex Z+ optikai válogató és a Schule Verticone VPC 480 felülettisztító gépek, pontosabban az általuk képviselt technológiák, az egyéb tényezők hatását is figyelembe véve, a technológiai folyamatokba beépítve megbízhatóan képesek-e csökkenteni a búzátételek DON-toxin tartalmát függetlenül attól, hogy az adott betakarítási évben milyen hatások eredményezték a toxinszennyeződést.

A kísérleti adatok induktív statisztikai kiértékeléséhez a hipotézisvizsgálatok kiválasztását kell első lépésben alátámasztani, amihez normalitásvizsgálatot kell végezni. Majd az eredmények alapján kiválasztott módszerekkel 95%-os valószínűségi szinten tudom igazolni annak a tisztítási folyamatnak a várható eredményességét, amelybe az említett két gépet beépítik és alkalmazzák.

Mindenekelőtt tehát meg kell határozni azt, hogy az alminták átlagolásával kapott minták (3.2.3. fejezetben részletezve) normális eloszlásúnak tekinthetők-e. A különböző évjáráthatásnak kitett (azaz a 2013, 2014, 2015. években betakarított) búzátételekből a tisztítási folyamat V_1 , V_2 , V_4 és V_5 mintavételi helyein megszedett minták adatait, szükség szerint, különböző erősségű teszteknek vetem alá, ahogy azt a 3.4. fejezetben részleteztem. A 2013. évben betakarított búzátételek mintáinak normalitását, ahol 41 tétel összetartozó mintapárjait vizsgáltam, három módszerrel értékeltem: a Wilk–Shapiro és a D’Agostino, majd a Kolmogorov–Szirnov teszttel. A Wilk–Shapiro a gyakorlatban az egyik legelterjedtebb teszt, ezért mindenképp fontosnak tartom az alkalmazását, de ez maximum 50 elemű adatsorra használható. A 2014-ben és a 2015-ben betakarított búzátételeket a D’Agostino módszerrel és a Kolmogorov–Szirnov teszttel tudom megnézni. A H_0 hipotézis minden esetben az, hogy a minták normális eloszlásból származnak.

A 2. táblázatban feltüntetett három statisztikai tesztnél a H_0 nullhipotézis elfogadási módszere eltér egymástól. A Wilk–Shapiro teszt esetében akkor fogadjuk azt el, ha a tesztstatisztika értéke nagyobb a kritikus értéknél. A D’Agostinonál a két értékhatár közé kell esnie a számított értéknek ahhoz, hogy a hipotézist elfogadjuk. A Kolmogorov–Szirnov teszténél pedig a tesztstatisztika értékének kisebbnek kell lennie, a kritikus értéknél, különben elutasítjuk a nullhipotézist. A könnyebb követhetőség kedvéért a táblázatokban sárgával emeltem ki azokat az adatokat, amelyek az adott teszt alapján normális eloszlásúak.

Az eredményekből világosan látszik (2. táblázat), hogy a 2013-ban betakarított búzáminták esetén mindhárom teszt egyformán ítéli meg az adatok normalitását, vagyis a V_2 , V_4 és V_5 mintavételi helyek mintáit normális eloszlásúnak tekinti. A további vizsgálatok szempontjából érdekes helyzetet jelent viszont az, hogy az összetartozó mintapárok között, amelyeket nem egymástól függetlenül vizsgálok, vannak olyanok, amelyek normális eloszlásúak és van, amelyik nem. A táblázat szerint a V_1 minták normalitása nem igazolható egyik teszt szerint sem, míg az ettől nem független V_2 – V_5 mintavételi helyek mintái pedig normálisak. Statisztikailag ez teljes mértékben lehetséges, a vizsgálati módszerek meghatározásakor kell figyelembe venni ezt az eredményt.

2. táblázat Az adatok normalitásvizsgálati eredményei a 2013-ban betakarított búzátételek esetén

Mintavételi helyek mintái	Wilk–Shapiro teszt		D’Agostino teszt		Kolmogorov-Szirnov teszt	
	Testztstatisztika	Kritikus érték	Testztstatisztika	Kritikus érték	Testztstatisztika	Kritikus érték
V ₁	0,92	0,94	-3,05	-2,81 0,96	1,11	0,90
V ₂	0,98		0,20		0,64	
V ₄	0,97		0,21		0,51	
V ₅	0,98		0,43		0,60	

Míg az előző évben mindhárom tesztél összecsendő eredményt kaptam a minták esetén, addig a 2014-ben betakarított búzáknál a két normalitásteszt különböző végeredményt mutat (3. táblázat). A D’Agostino tesztél akkor fogadjuk el a nullhipotézist, ha a testztstatisztika a kritikus értékek közé esik. Ennek értelmében a 2014-ben betakarított búzák mintáit ez a teszt a V₁ kivételével normálisnak tekinti. Ezzel szemben a Kolmogorov-Szirnov teszt a V₄ mintavételi helyen megszedett minták adatait kivéve elutasítja a normalitást. Az eredmény megerősít abban, hogy érdemes több oldalról vizsgálni az adatok normalitását, mert csak így kaphatok teljes képet azok viselkedéséről. Az általános szakirodalmi sémák nem minden esetben alkalmazhatók a kimeneti eredményt illetően.

3. táblázat Az adatok normalitásvizsgálati eredményei a 2014-ben betakarított búzátételek esetén

Mintavételi helyek mintái	D’Agostino teszt		Kolmogorov-Szirnov teszt	
	Testztstatisztika	Kritikus érték	Testztstatisztika	Kritikus érték
V ₁	-3,59	-2,68	1,61	0,90
V ₂	-1,20		1,04	
V ₄	-0,99	1,13	0,81	
V ₅	-0,47		0,99	

A 2015-ben betakarított búzátételek mintáinak az adatai azt mutatják (4. táblázat), hogy a V₅ mintavételi helyen megszedett minták mindkét vizsgálati módszernél normálisnak tekinthetők. A Kolmogorov-Szirnov teszt esetén ezen felül a V₁ mintavételi hely mintáinak adatai is teljesítették a normalitás feltételeit. A többi esetben viszont el kellett utasítani a H₀ hipotézist. Tehát a két teszt ebben az esetben is eltérő végeredménnyel járt.

A fenti normalitásvizsgálatok kimenetei összetettek, vagyis nem kaptam teljes mértékben egyértelmű választ arra, hogy a továbbiakban hogyan járjak el és milyen statisztikai vizsgálatoknak vessem alá az adataimat. Annak érdekében, hogy egzakt következtetéseket vonhassak le a minták eredménye alapján, több szempontot figyelembe véve hoztam döntést a további testztstatisztikákat illetően.

4. táblázat Az adatok normalitásvizsgálati eredményei a 2015-ben betakarított búzatelekek esetén

Mintavételi helyek mintái	D'Agostino teszt		Kolmogorov-Szirnov teszt	
	Tesztstatisztika	Kritikus érték	Tesztstatisztika	Kritikus érték
V ₁	-4,77	-2,64 1,19	0,89	0,90
V ₂	-3,90		0,93	
V ₄	-4,60		1,06	
V ₅	-1,69		0,61	

A további statisztikai vizsgálatok kiválasztásánál elsősorban vettem figyelembe, hogy az öt összetartozó minta között minden évjáratban található normális és attól eltérő eloszlású adatsor is. Ha a normalitást nem vizsgálja meg a kutató kellő részletességgel, és például csak egy erős teszttel végez próbát, akkor könnyen dönthet úgy, hogy a normalitást nem igénylő módszereket alkalmazza a továbbiakban. Ahogy már korábban is említettem, ezek a tesztek sok esetben megengedőbbek, mint a normalitást igénylő tesztek, ami a következtetések levonásánál jelenthet némi bizonytalanságot. Ismert az is, hogy a normalitástesztek a gyakorlatban olyankor is elutasíthatják a nullhipotézist, ha az eloszlások csak kis mértékben különböznek a normálistól (Osztényiné, 2015). A 2-4. táblázatból az látszik, hogy a tesztstatisztikák értékének többsége viszonylag közel esik a kritikus értékhez. Tehát Osztényiné (2015) megállapítása e kísérleti eredményeknél is helytállóak.

A fenti információkat figyelembe véve akkor járok el helyesen, ha mind a normalitást feltételező szigorúbb, és nem feltételező megengedőbb statisztikai módszerek értékelésének alávetem az adataimat. A végeredmény szempontjából fontos, hogy azonos vagy eltérő lesz-e a kétféle vizsgálati módszer végeredménye. Ha egyezőséget tapasztalok, akkor a két módszer megerősíti egymást, ha eltérnek az eredmények, akkor további vizsgálatokra lesz szükség. A döntést, miszerint a normalitást feltételező eljárásokat is alkalmazom a továbbiakban, még egy nagyon fontos és határozott okfejtés támasztja alá. A normalitást igénylő módszerek között, mint ahogy azt már korábban említettem, a párosított t-próba és a varianciaanalízis szerepelnek. A varianciaanalízisről tudott, hogy statisztikai szakirodalom szerint a robusztussága miatt azokban az esetekben is sikeresen használható, amikor az alkalmazásának a feltételei nem teljesülnek maradék nélkül. A t-próba esetén pedig a centrális határeloszlás tétele alkalmazható. A t-próbában a viszonylag nagy, de véges számú minták átlagával számolok. A centrális határeloszlás tétel lényegében azt mondja ki, hogy nagy minta-elemszám esetén, ami e kísérletben teljesül, a független és egyformán viselkedő valószínűségi változók összege a normális eloszláshoz tart, függetlenül az eredeti populáció eloszlásától.

4.2. A DON-toxin változása a teljes tisztítási folyamatban

A fejezetben azt vizsgálom meg, hogy a teljes tisztítási folyamat végére a búzaminták toxinszennyezettsége hogyan változott. Vagyis a kiértékelés során először a kutatás fő célkitűzésének megfelelően azt nézem meg deskriptív statisztikával, majd hipotézisvizsgálatokkal, hogy a malmi folyamatban, minden évjáratban a Sortex Z+ optikai válogató és a Schule Verticone VPC 480 felülettisztító gépek együttes alkalmazásával csökken-e a búzatelekek vizsgálati mintáinak toxintartalma. A leíró statisztikai vizsgálatoknál a V₁ és V₅ mintavételi helyek mintapárjainak az adatait vettem össze, míg az induktív statisztikai módszereknél teljes körű adatelemzést végzek Friedman-próbával és varianciaanalízissel. Tehát

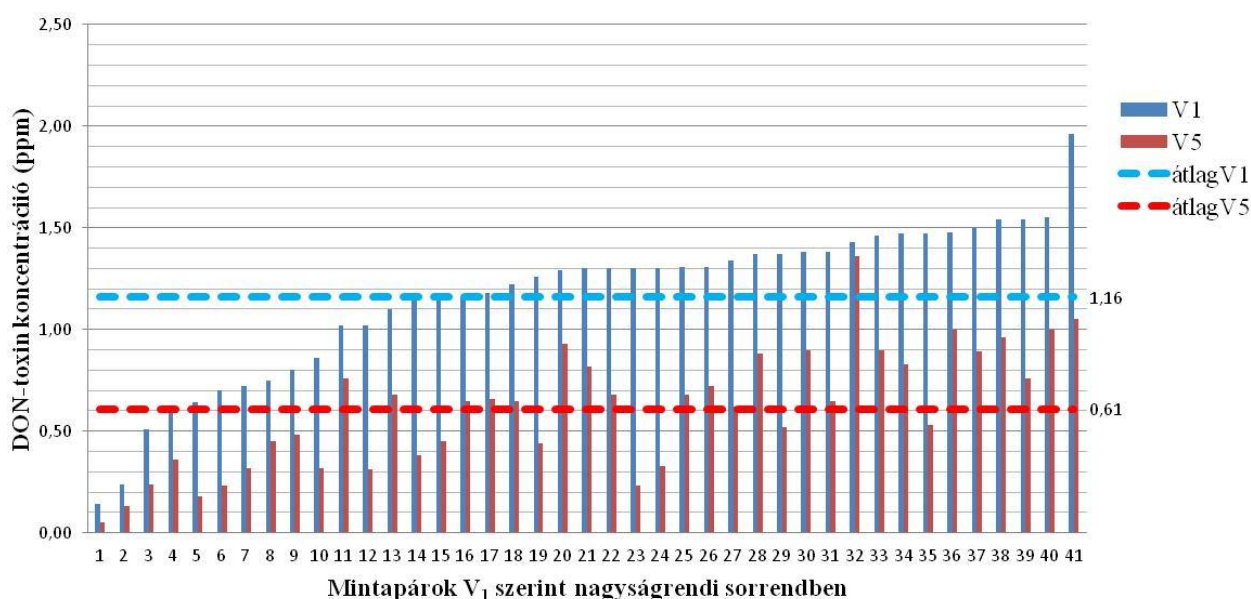
a hipotézisvizsgálatoknál mind a négy mintavételi hely mintaadatainak együttes elemzése adja az eredményt.

4.2.1. A teljes tisztítási folyamat elemzése leíró statisztikai módszerekkel

A leíró statisztika grafikonjain látható, hogy a különböző évjáratban betakarított búzaminták kiinduló toxintartalma eltér egymástól (4.1., 4.3., 4.5., 4.6. ábrák)

A 2013. évjáratban betakarított búzák teljes tisztítási folyamatának eredményességét a 4.1. ábra szemlélteti. A mintapárokat ábrázoló oszlopdiaagram azt mutatja, hogy a tisztítási folyamat végére jelentősen csökkent a búzaminták toxintartalma. Az eredményeket vizsgálva az látszik, hogy ebben az évben a búzaminták kiinduló toxinszennyezettsége (V_1 mintavételi hely) viszonylag kiegyenlített volt. A 2013-ban betakarított búzák toxintartalma közepes értéknek mondható. A mintákban 0 ppm-et nem mértem, a legalacsonyabb érték 0,14 ppm. Az adatok többsége az átlag körül mozog, nagy szórást nem mutatnak. Egyedül az ábrán a 41. számot kapott minta koncentrációja kimagasló: 1,96 ppm, ami feltételezhetően a tárolás során bekövetkezett toxinemelkedést jelzi. Az adatok többsége (80%-a) 0,6-1,5 ppm között mozog.

A tisztítás után a mikotoxin tartalom csökkenés mértéke nagy változatosságot mutat (V_5 mintavételi hely mintái). A 2013. évi mintákban az átlagos toxincsökkenés 0,55 ppm, ebből az következik, hogy csaknem 47%-al, vagyis 53%-ra csökkent a DON-toxin tartalom a teljes tisztítási folyamatnak köszönhetően a mintákban.



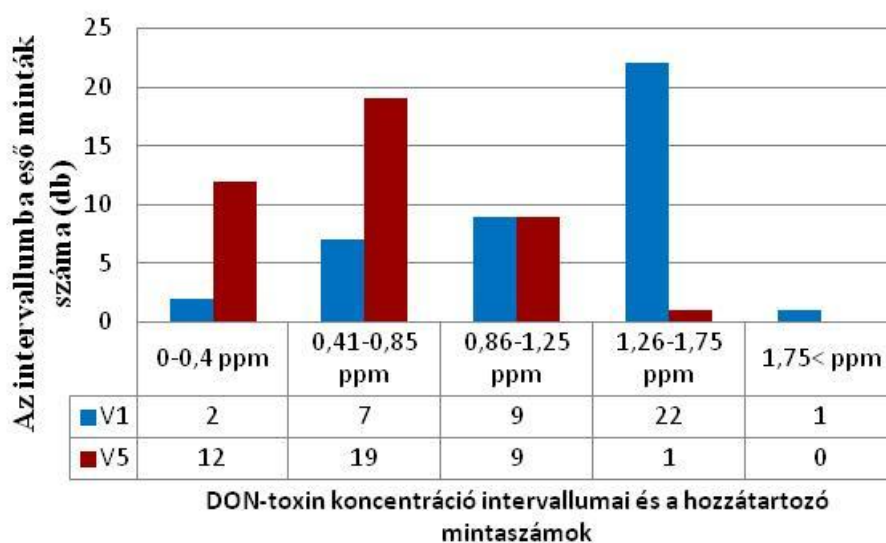
4.1. ábra A búzaminták kiinduló (V_1) és a teljes tisztítási folyamatot követő (V_5) DON-toxin koncentrációja (2013. évi betakarítás)

A V_5 mintavételi hely mintáinak változatos alakulása abból adódik, hogy nem egyenletesen és nem arányosan tudta az optikai válogatás és a felülettisztítás együttesen levinni a toxinszintet az egyes mintáknál. A legkisebb mértékű csökkenés 0,07 ppm, aminek a kiinduló toxinszintje 1,43 ppm (4.1. ábra 32. minta). Ennél a mintánál a legkevésbé hatásos a tisztítás, mert a kezdeti toxintartalmat 5%-al lehetett csupán csökkenteni. A legnagyobb mértékű változás pedig 1,07 ppm, aminek a kiinduló szintje 1,30 ppm (4.1. ábra 23. minta). Az adatok alakulásából az látható, hogy nem a legkisebb kiinduló toxinszint eredményezi a legkisebb mértékű csökkenést. Viszont ennek a megállapításnak az inverze is igaz, hogy nem a legnagyobb kezdeti toxintartalom változik a legnagyobb mértékben. Tehát, ha a mintákat egyedileg vizsgáljuk, a

2013. évi adatok azt igazolják, hogy a kiinduló toxinszinttel nem arányosan csökken a tisztított búza kémiai szennyezettsége. A szakirodalomban olvasható erre vonatkozóan elméleti okfejtés, amit a kutatási eredményeimmel alá tudtam támasztani. Ha általános érvényű, a teljes statisztikai sokaságra igaz, korrekt megállapítást szeretnék tenni, azt csak az induktív statisztikai módszerekkel végzett adatértékelést követően tehetem meg.

Az élelmiszeripari feldolgozási folyamat jellegéből adódóan a V_1 mintavételi hely mintáinak DON-toxin értékei a jogszabályi határértéken belül mozognak, egy kivétellel. Ahogy a 4.1. ábra is jelzi, a 4.2. ábra gyakorisági diagramja pedig számszerűen is igazolja, ezt a teljes tisztítási folyamattal még tovább lehetett csökkenteni. Ennek élelmiszerbiztonsági szempontból nagy jelentősége van.

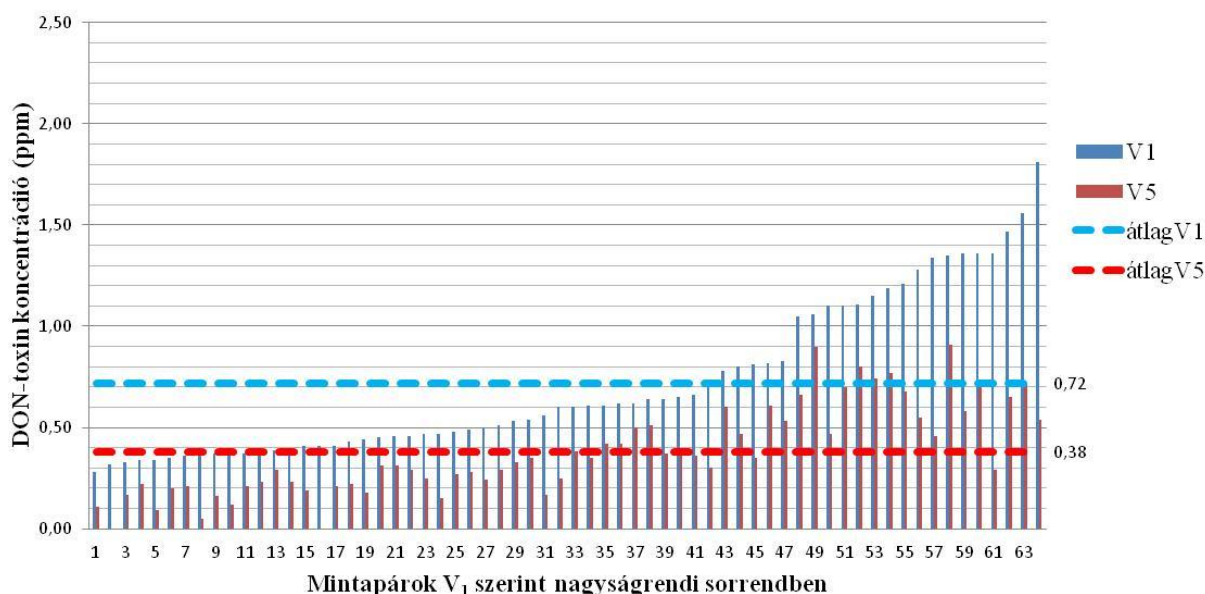
Jól szemlélteti a DON-toxin változást a gyakorisági diagram (4.2. ábra). A koordináta-rendszer x-tengelyén öt intervallumot alakítottam ki a DON-toxin koncentráció értékeinek a csoportosításával. Az első négy intervallum a jogszabályi határértéket négy egyenlő részre osztja, az ötödikbe a határérték feletti minták kerültek. Meghatároztam, hogy egy-egy intervallumba a vizsgált minták közül hány darab sorolható be. Látszik, hogy a V_1 mintavételi hely mintáinak több mint a fele a 1,25-1,75 ppm-es értéktartományban található. Ami elvileg az egészséget nem veszélyeztető, de az emberi szervezet számára szükségtelen terhelést okozó érték. Viszont a tisztítási folyamat végén a V_5 mintavételi hely mintáinak több mint a 75%-a a jogszabályi határérték felénél kevesebb toxint tartalmaz.



4.2. ábra Gyakorisági diagram a V_1 és V_5 mintavételi helyek mintáinak toxinváltozására a teljes tisztítási folyamatban (2013. évjárat)

A fenti eredmény azért kiemelten fontos, mert mint tudjuk, a búzából készült termékek nagy része alapvető élelmiszer, vagyis a lakosság nagy mennyiségben fogyasztja azokat. Tegyük ehhez hozzá, hogy az étkezés révén megvan az eshetősége annak, hogy egyéb olyan összetevőket is bevihetünk a szervezetbe, amelyek élettani szempontból kedvezőtlen hatást gyakorolhatnak. Bár a jogszabályi határértékek megfelelő biztonságot jelentenek a fogyasztók számára, mégis célszerű minimalizálni e kockázati tényezők mennyiségét az egészség megőrzése érdekében, mert az említett kémiai anyagok szervezetre gyakorolt hatása összeadódhat. Összességében az eredmények egyértelműen jelzik, hogy ebben az évjáratban a tisztítással abszolút biztonságossá lehetett tenni a malmi búzátételeket.

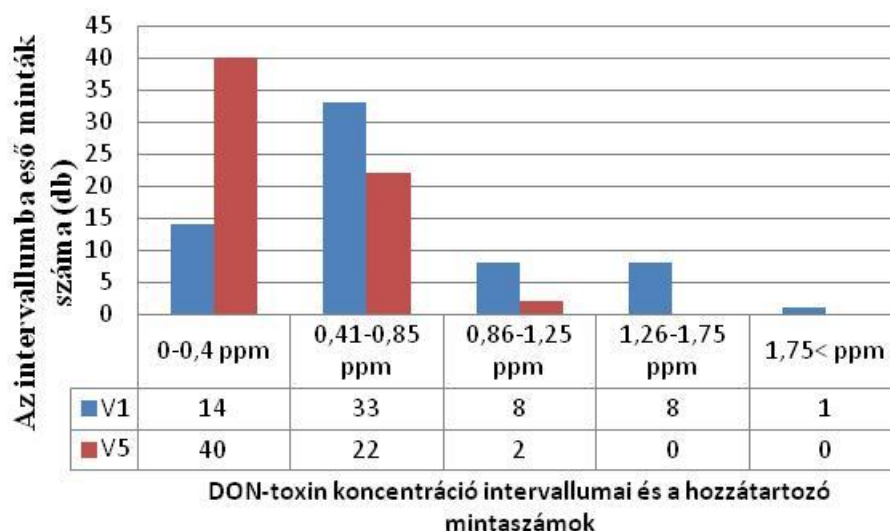
A 2014. évi betakarításból származó búzaminták átlagos toxincsökkenése 0,34 ppm (4.3. ábra). Vagyis a V_1 mintavételi hely átlagmintájához képest a V_5 mintavételi hely mintáinak az átlaga 53%-os értéket mutat, hasonlóan a 2013. évi adatokhoz. A minták átlagértékei szerint ebben az évjáratban a búzák tisztítás előtti DON-toxin koncentrációja alacsonyabb volt, mint 2013-ban. A kiinduló átlagkoncentráció 0,72 ppm (2013-ban 1,16 ppm), a tisztítás után pedig 0,38 ppm (2013-ban 0,61 ppm). Ez abból adódik, hogy a minták több mint 73%-ának a bemeneti (V_1 mintavételi helyen mért) toxinszintje a jogszabályi határérték felénél kevesebb, pontosabban 0,83 ppm alatti. A maradék 27% 1,05-1,81 ppm közé esik, a legalacsonyabb érték 0,28 ppm.



4.3. ábra A búzaminták kiinduló (V_1) és a teljes tisztítási folyamatot követő (V_5) DON-toxin koncentrációja (2014. betakarítás)

A tisztítást követő mintákban (V_5 mintavételi hely) a DON-toxin tartalom ebben az évben is nagy változatosságot mutat. A legnagyobb mértékű toxincsökkenés 1,27 ppm, aminek a kiinduló toxinszintje a legmagasabb éves adat, 1,81 ppm (4.3. ábra 64. számmal jelölt minta). Így ennek a mintának igen alacsony szintre, 0,54 ppm-re (30%-ra) lehetett levinni a tisztítás során a DON-toxin tartalmát. A legkisebb mértékű toxincsökkentést 0,10 ppm-el a 4.3. ábra 13. mintájánál érték el. A tisztítás legrosszabb hatékonyságú a 4.3. ábra 49. mintájánál volt 0,15 ppm-el, ami a kiinduláshoz képest mindösszesen 14%-os csökkenést jelent. A 2014. évi mintáknál 4.3. ábra oszlopdiagramja jó közelítéssel azt mutatja, hogy a legnagyobb kiinduló DON-toxin tartalmú minták esetén a tisztítás nagyobb mértékű csökkenést idézett elő. Ez eltérés a 2013-as évjáratban betakarított búzatételeknél tapasztaltakhoz képest.

A gyakorisági diagram ebben az évjáratban is jelzi, hogy nagy arányban lehetett növelni a tisztítás után ebben az évben is azoknak a mintáknak a számát, amelyek alacsonyabb toxintartalmúak lettek (4.4. ábra). Bár 2014-ben már a tisztítást megelőzően is (V_1 mintavételi hely) a minták nagyobb darabszáma esett a kisebb DON-toxin tartományba, azaz 73%-a 0,85 ppm alatti. De a teljes tisztítási folyamat után (V_5 mintavételi hely) a minták csaknem 97%-a került ebben az intervallumba. A V_5 mintavételi hely mintáinak a 63%-a 0,40 ppm alatti értéket mutat. Ez kifejezetten alacsony értéktartomány.



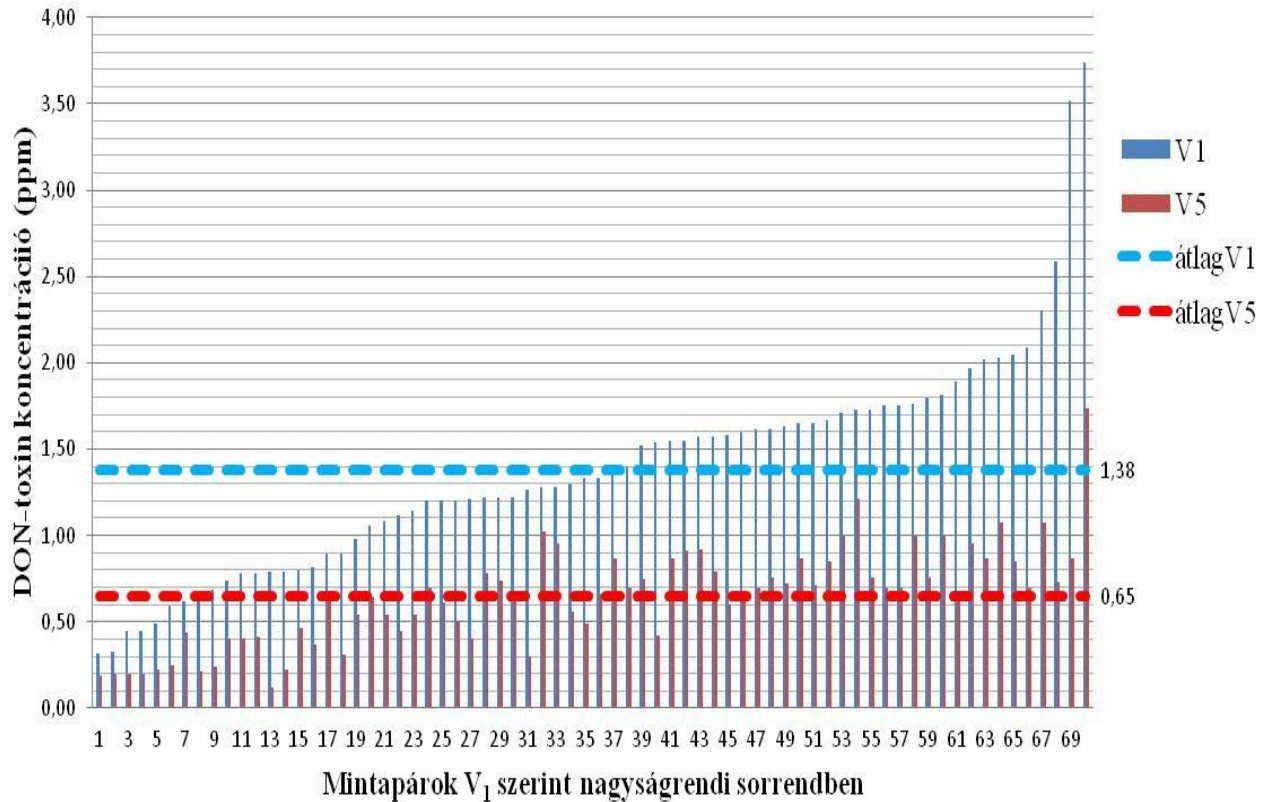
4.4. ábra Gyakorisági diagram a V₁ és V₅ mintavételi hely mintáinak toxinváltozására a teljes tisztítási folyamatban (2014. évjárat)

A 2015-ös évben, ahogy arról a 3.2.1. fejezetben már írtam, a búzatételek egy része (59 db) a korábbi évekhez hasonló metodikával került be a kísérletbe. Tehát a jogszabályi előírásoknak megfelelően felvásárolt és őrlésre szánt búzákból kerültek ki a vizsgált alapanyagok. Egy kisebb hányadát (11 tétel) pedig azért válogattam be a kutatásba, mert a megengedett határérték feletti volt a toxinkoncentrációjuk. A tisztítási folyamat e 11 búzatétel esetén is ugyanúgy zajlott, mint a 2013. és a 2014. években. De ezekből a gabonákból lisztet nem őrlött a malom, hanem a felülettisztítást követően eltávolítottuk a feldolgozó rendszeréből. Viszont a 11 tétel beválogatása lehetőséget adott arra, hogy a rendelkezésemre álló mintapárok adatait különböző csoportosításban vizsgáljam ebben az évjáratban:

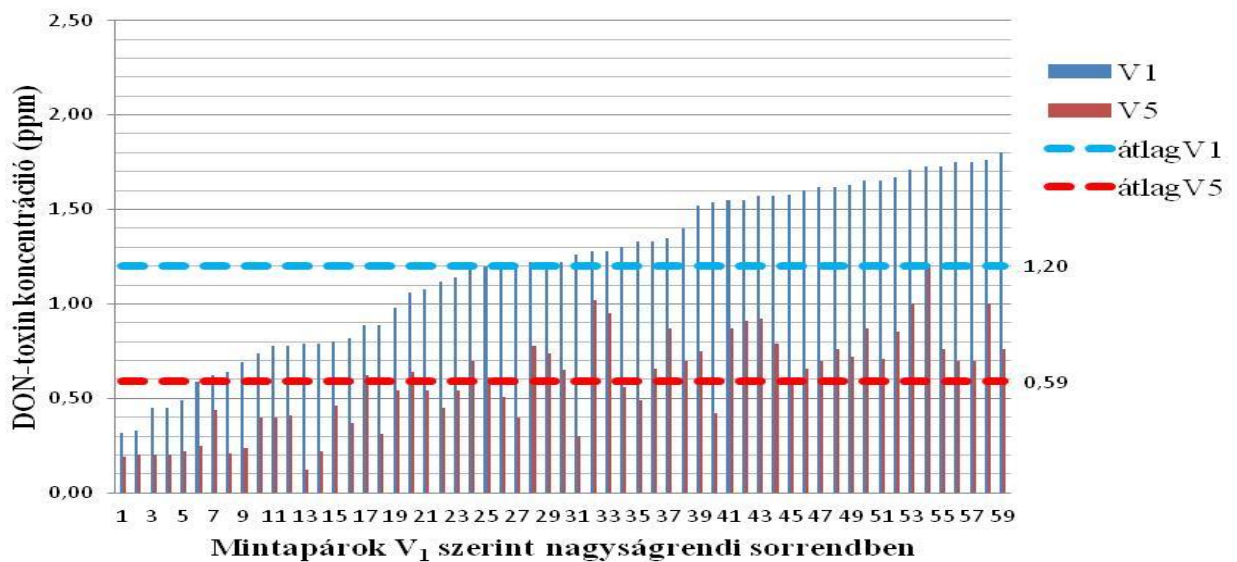
- a 70 minta toxinváltozását együttesen
- az 59+11 minták toxinkoncentrációját külön-külön minden mintavételi hely esetén

A 4.5. ábra mind a 70 búzaminta adatait tartalmazza. Mivel ebben az esetben 3,5 ppm feletti kiinduló toxinszintet is mértünk, a diagram y-tengelye négyes skálát vett fel. A 4.6. ábra mutatja a felvásárolt, jogszabályi feltételeknek megfelelő alapanyagok mintáinak adatait, amelyek végig mentek a malmi feldolgozáson és lisztet őrltek belőlük. Ezen a grafikonon visszatértem az y-tengely 2,5-ös skálájára. A 4.7. ábrán látható azoknak a búzamintáknak a toxinkoncentráció változása, amelyeket külön válogattam a kísérletbe, és amelyeket még az őrlés megkezdése előtt eltávolítottunk a feldolgozási rendszerből. A grafikon x-tengelyén a minták sorszámát nem változtattam meg a 4.5. ábrán megadotthoz képest, ezért 4.7. ábrán a számozás hatvanas számmal kezdődik.

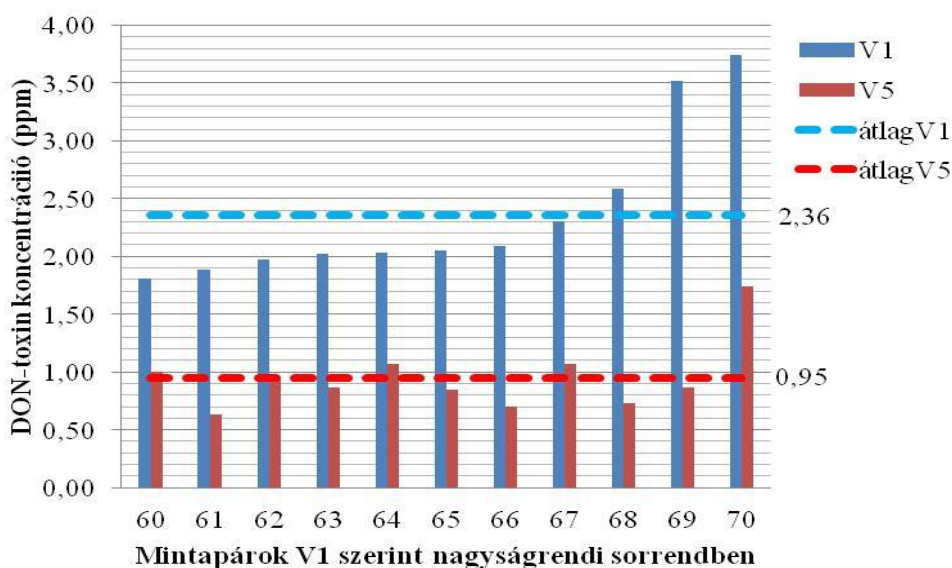
Az a szakirodalomból ismert, hogy az országban nagyon sok területen komoly fuzárium fertőzést tapasztaltak ebben az évben. Az országos meteorológiai adatokat vizsgálva, az időjárási tényezők a toxinszennyeződés ilyen alakulását nem indokolják, mert nem volt extrém csapadékos a 2015. év. Tehát a helyi mikroklímatis tényezőkkel, illetve az alkalmazott termesztéstechnológiával magyarázhatóak azok a különbségek a fuzárium fertőzés tekintetében, amelyek az egyes termőhelyeken tapasztalhatóak voltak. Mindezt a minták toxinadatai is tükrözik. Így kerülhettek a kísérletbe 4.7. ábrán látható 11 tétel mintái. A 2015. évi adatok ezen túl rámutatnak arra is, hogy nagyon „változatos” alapanyagból kell dolgoznia a malmoknak egyes évjáratokban.



4.5. ábra A malmi és a kimagasló toxintartalommal rendelkező búzaminták kiinduló (V_1) és a teljes tisztítási folyamatot követő (V_5) DON-toxin koncentrációja (2015. betakarítás)



4.6. ábra A malmi búza mintáinak a kiinduló (V_1) és a teljes tisztítási folyamatot követő (V_5) DON-toxin koncentrációja (2015. betakarítás)



4.7. ábra A kimagasló toxintartalommal rendelkező búzaminták kiinduló (V_1) és a teljes tisztítási folyamatot követő (V_5) DON-toxin koncentrációja (2015. betakarítás)

Első lépésben arra vagyok kíváncsi, hogy a felvásárolt malmi búzának, amelyekből lisztet őrölnék a folyamat végén, hogyan alakul az átlagos DON-toxin koncentrációja a 2015-ös évjáratban (V_1 mintavételi hely). Erre a 4.6. ábra adja meg a választ. A szám adatok azt mutatják, hogy a kiinduló toxinszint átlaga 1,20 ppm. Az előző két év adataival összehasonlítva ez az érték a legmagasabb. Bár a 2013-ban mért adathoz (1,16 ppm) képest mérsékelt az emelkedés. A teljes kép kialakítása érdekében érdemes összehasonlítani a 4.1. és a 4.6. ábrákat. Ebből az látszik, hogy az átlagértékek mögött az adatok alakulásának eltérő tendenciája húzódik meg. Amíg 2013-ban kiegyenlített a minták toxintartalma, addig 2015-ben nagyobb a szórás, azaz az átlagértéktől való eltérés. A 4.6. ábrát vizsgálva a legalacsonyabb toxinkoncentráció 0,32 ppm, a legmagasabb 1,80 ppm. Ha a liszt gyártására felhasznált búzák mintáinak az adatait nézzük, akkor az átlagos toxinkoncentrációt 0,61 ppm-el tudtuk csökkenteni, vagyis azt 49%-ra lehetett levinni a tisztítási folyamattal. A három évjárat közül ez a legnagyobb csökkenési arány. Tehát az adatok azt mutatják, hogy a relatíve magasabb toxinkockázatú évjáratban a tisztítás hatásfoka jobbnak bizonyult a malmi búza mintáinál.

2015-ben a tisztítási folyamatot követően a malmi búzaminták toxintartalmát, kettő kivételével 1 ppm alá lehetett csökkenteni, ami teljes biztonságot tud nyújtani ahhoz, hogy a jogszabályi határérték alatti lisztet tudjanak őrölni a malomban. Ebből a két mintából az egyik alig haladta meg az 1 ppm-et, míg a másik kevéssel felette, 1,20 ppm értéket vett fel. Ebben az évben is voltak olyan mintáink, amelyeknél nagyon kismértékű toxincsökkenést lehetett elérni a halmaz és felülettisztítás együttes alkalmazásával: 4.6. ábra 1-es mintánál 0,13 ppm, a 4.6. ábra 7-es mintánál 0,18 ppm. Míg a legnagyobb mértékű, 1,04 ppm toxincsökkenés a 4.6. ábra 59-es mintájánál volt mérhető. Ez viszont mutatja, hogy a magasabb toxintartalmú búzamintáknál az optikai válogatás és a felülettisztítás együttes alkalmazása igen jelentős toxincsökkenést ért el ebben az évjáratban.

A kiemelkedően magas toxintartalmú búzaminták adatait együtt ábrázoljuk az előbb említett malmi búza eredményeivel (4.5. ábra) és összevetjük a 4.6. ábra adataival, az azt jelzi, hogy a malmi szakembereknek nagyon pontos vizsgálati rendszert kell kidolgozniuk az alapanyagtételek DON-toxin tartalmának a megismerésére még a felvásárlás előtt. Ehhez pontosan le kell szabályozni a mintavételi rendet, ami egy adott tételre vonatkozó pontos adat-meghatározást tesz lehetővé, e mellett ki kell alakítani a laborvizsgálatoknak azt a gyakoriságát, ami teljes

biztonságot nyújt. A 4.6. ábra jól alátámasztja, hogy egy-egy minta igen erős torzító hatással bírhat, és komoly kockázati tényező lehet a feldolgozás során, ha annak paramétereiről nem pontos eredmények állnak rendelkezésre.

A 4.5. ábra viszont azt is mutatja, hogy a tisztítási folyamat végeredményeként minden mintának, még a kiemelkedően magas toxinszinttel rendelkezőknek is, sikerült a jogszabályi előírás szerinti határérték alá vinni a DON-toxin tartalmát (V_5 mintavételi hely). A 70 minta adataiból kiderül, hogy az átlagos toxinszintet 0,73 ppm-el csökkentette a teljes tisztítási folyamat, amivel 47%-ára csökkent a kiinduló DON-toxin szintje. Ez is nagyon jó arány. Jelzi, hogy van lehetőség megfelelő tisztító berendezésekkel a toxintartalomból eredő kockázatot megfelelő mértékben lecsökkenteni a jogszabályi határérték feletti búzatételeknél is. Bár megjegyzem, hogy ezzel a lehetőséggel a jelen jogszabályi előírások szerint a malmok nem élhetnek. De a búza egyéb felhasználási területein hasznosak lehetnek ezek az információk.

A 4.7. ábra további megerősítést ad az előbb tett megállapításokra. A jogszabályi határérték feletti búzamintáknál az átlagos, kiinduló toxinszintet (2,36 ppm), 1,41 ppm-el tudtuk csökkenteni, azaz kevesebb, mint a felére (40%-ra). Mindez egyelőre spekulatív következtetés, de a minták adatai alapján az látszik, hogy a tisztítás előtti magas DON-toxin tartalmú búzák is megfeleltek a jogszabályi előírásoknak a Sortex Z+ színválogató és a Schule Verticone VPC 480 felülettisztító gépek munkájának eredményeképp. Az eredmények alapján azt gondolom, hogy a két tisztító berendezés hatásosságát a betakarítást követő, a feldolgozást megelőző tisztítási folyamatokban is érdemes lenne tovább vizsgálni. Azonban általános következtetést csak az adatok induktív statisztikai kiértékelését követően mondhatunk az adatok alakulására vonatkozóan.

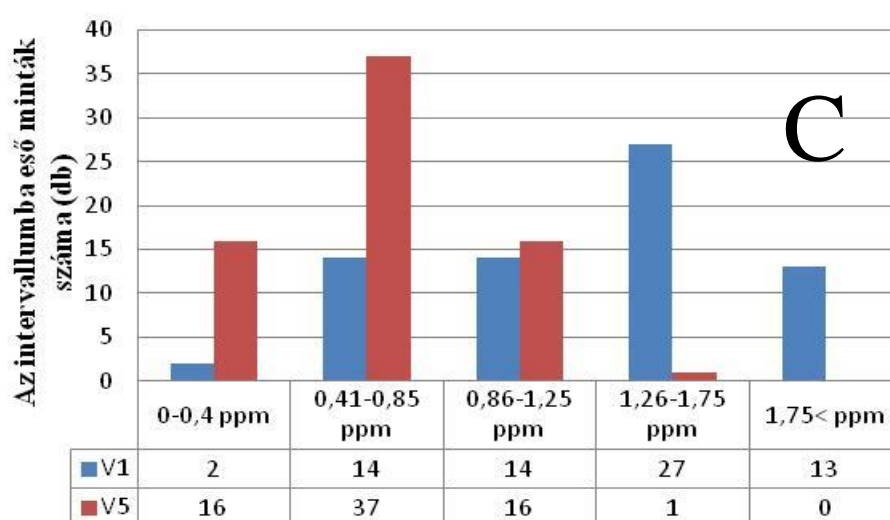
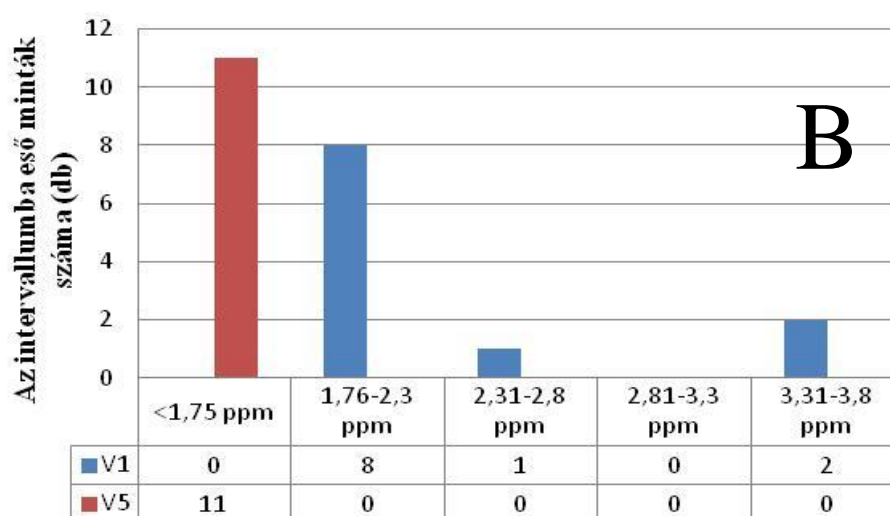
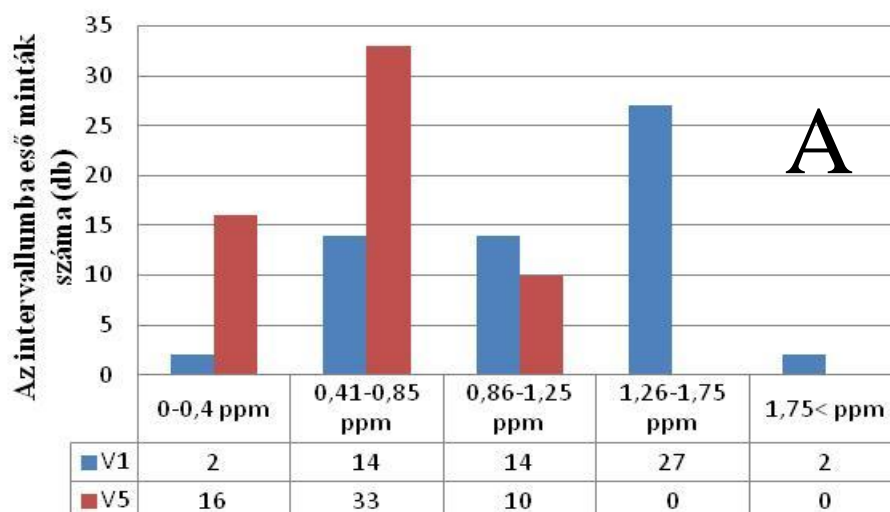
A gyakorisági diagramok (4.8. ábra) is azt mutatják, hogy a tisztítás hatékonysága megfelelő volt a 2015. évjáratban. Az őrlésre kerülő 59 búzatétel V_1 mintavételi helyeiről származó minták 73%-a a jogszabályi határérték felénél több DON-toxint tartalmaz (4.8. ábra „A” diagramja), azaz a magasabb toxin-szennyezettségű csoportba sorolhatóak. A halmaz és a felülettisztítás után viszont a minták 83%-ában a jogszabályi határérték felénél kevesebb toxinszennyeződés maradt, ami élelmiszerbiztonsági szempontból igen kedvező feltételeket biztosít a liszt előállításához.

A 4.8. ábra „B” diagramja mutatja a kiemelkedően magas DON tartalmú minták eredményeit. Ebben az esetben is öt intervallumot alakítottam ki a minták besorolására, de megváltoztattam az intervallumok értékhatárait: a kiinduló toxinszintet a jogszabályi határérték jelentette ebben az esetben. Így tudtam szemléltetni azt, hogy a tisztítás előtt a 11 mintából egynek sem maradt a toxintartalma a határérték felett. Az viszont a 4.8. ábra „C” diagramjából olvasható le, hogy ezek közül a minták közül a tisztítás után (V_5) 1,26-1,75 ppm-es értéktartományba csak egy került.

Tehát a leíró statisztikai módszerek azt mutatják, hogy ebben az évjáratban a magasabb toxinszennyezettségű tételek mintáit is olyan hatásosan lehetett megtisztítani az optikai válogató gép és a felülettisztító gép együttes alkalmazásával, hogy azok élelmiszerbiztonsági szempontból megfelelőek lehettek volna. Azonban a kiemelkedően magas toxintartalmú búzatételekkel kapcsolatos messzemenő következtetések levonásához javaslom további adatok gyűjtését a feldolgozás előtti fázisban.

4.2.2. A teljes tisztítási folyamat hipotézisvizsgálata

Az induktív statisztikai kiértékelés esetén, ha a normalitást illetően szigorúak vagyunk, akkor a négy összetartozó mintát a Friedman-próba segítségével kell vizsgálni, mert ennek nem feltétele az adatok normális eloszlása. A Friedman-próba H_0 hipotézise, hogy mind a négy minta eloszlása megegyezik. A próba tesztstatisztikája, egy (4-1) szabadsági fokú aszimptotikusan χ^2 -eloszlású véletlen mennyiség.



Jelmagyarázat: „A” grafikon: a malmi búza tételeinek az adatai (59 minta); „B” grafikon: a kimagasló toxintartalommal rendelkező búzatételek adatai (11 minta); „C” grafikon: malmi és a kimagasló toxintartalommal rendelkező búzatételek adatai (70 minta)

4.8. ábra Gyakorisági diagramok a V₁ és V₅ mintavételi helyek mintáinak toxinváltozására a teljes tisztítási folyamatban (2015. évjárat)

Mind a három évjáratban a statisztikai érték jóval nagyobb a kritikus értéknél, ezért a nullhipotézist el kell veteni, ami azt jelenti, hogy nem azonosak az eloszlások (5. táblázat). Tehát az őrlést megelőző tisztítási folyamatban statisztikailag is igazolhatóan változott a búzatelemek DON-toxin tartalma. Vagyis e teszt szerint az optikai válogatást és a korszerű felülettisztítást alkalmazva a malmi folyamatban, a 2013-ban, a 2014-ben és a 2015-ben betakarított alapanyagtételeknél csökkenteni lehetett a toxintartalmat. Ebből azt a következtetést vonhatjuk le, hogy amit a leíró statisztikában mutattak a minták adatai, általános érvényűnek tekinthető a teljes statisztikai sokaságra.

5. táblázat A Friedman-próba eredménye a különböző évjáratokban betakarított búzaminták esetén

Évjárat	2013.	2014.	2015.
Statisztikai érték	105,62	158,01	174,95
Kritikus érték	7,81		

Bár az adatok nagyon meggyőzőek, mert a statisztikai és a kritikus értékek között igen nagy eltérés mutatkozik, fontos, hogy további vizsgálatokkal igazoljam az állítást, mivel a Friedman-próba megengedőbb statisztikai módszernek tekinthető. Ezért elvégzem az adatelemzést varianciaanalízissel is.

A varianciaanalízis egyik feltétele a normalitás, de a robusztusságra hivatkozva alkalmazom. Az analízis másik feltétele a szfericitás, amit a 3.4. fejezetben ismertettek alapján vizsgálnom kell. A Mauchly tesztnek a nullhipotézise, hogy a szórások tökéletesen megegyeznek. Az $\alpha=0,05$ szignifikanciaszinthez tartozó kritikus érték mindhárom esetben 0,377. A tesztstatisztika értékei az alábbiak szerint alakulnak:

- a 2013-ban betakarított búza mintáira vonatkozóan 0,0016,
- a 2014-ben betakarított búza mintáira vonatkozóan 0,0014,
- a 2015-ben betakarított búza mintáira vonatkozóan 0,0012.

Akkor fogadjuk el a H_0 hipotézist, ha a tesztstatisztika értéke kisebb a kritikus értéknél. Az eredmények egyértelműen jelzik, hogy azonosnak tekinthetjük a szórásokat, tehát a szfericitás teljesült, így a varianciaanalízist nyugodtan alkalmazhatom.

A varianciaanalízis nullhipotézise megegyezik a Friedman-próba nullhipotézisével, de ebben az esetben a vizsgálati feltételek szigorúbbak. Tehát az eljárásnál a feltételek miatt ez a nullhipotézis valójában a várható értékek megegyezésével ekvivalens. A feltételek – azaz a normalitás és a szfericitás – teljesülése esetén már csak a várható értékeknek kell egyezniük az eloszlások megegyezéséhez. A teszt statisztikája az alábbiak szerint alakul:

- 2013-ban betakarított búza esetén: egy (4-1); (41-1)*(4-1) szabadsági fokú F-eloszlású véletlen mennyiség, ami ebben az esetben az összetartozó mintákra vonatkozóan 101,40 értéket vett fel. A 95%-os valószínűségi szinthez tartozó kritikus érték 2,68.
- 2014-ben betakarított búza esetén: egy (4-1); (64-1)*(4-1) szabadsági fokú F-eloszlású véletlen mennyiség, ami ebben az esetben az összetartozó mintákra vonatkozóan 79,88 értéket vett fel. A 95%-os valószínűségi szinthez tartozó kritikus érték 2,65.
- 2015-ben betakarított búza esetén: egy (4-1); (70-1)*(4-1) szabadsági fokú F-

eloszlású véletlen mennyiség, ami ebben az esetben az összetartozó mintákra vonatkozóan 159,61 értéket vett fel. A 95%-os valószínűségi szinthez tartozó kritikus érték szintén 2,65.

Mivel a tesztstatisztika értéke mindhárom évjáratra vonatkozóan jóval nagyobb a kritikus értéknél, így megint el kell utasítani a nullhipotézist, azaz a minták eloszlása különböző. Megerősítette a teszt a Friedman-próba alapján tett megállapítást, miszerint az őrlés előtti közvetlen tisztítási folyamatnak van hatása a bemeneti alapanyag DON-toxin tartalmának a változására. Tehát mindkét statisztikai vizsgálatból az következik, hogy a válogatás és a felülettisztítás során módosul a DON-toxin szint eloszlása. A varianciaanalízis alapján az is elmondható, hogy ennek a szintnek az átlagos értéke változott. A Friedman-próba és a varianciaanalízis tehát megerősítette a leíró statisztika, vagyis a mintapárok adatainak lekövetése alapján meghozott feltételezésemet, és igazolta 95%-os valószínűségi szinten, hogy az általam vizsgált tisztítási folyamatban változik a búzatételek DON-toxin szintje az évjáratoktól függetlenül. Már ennek alapján is kijelenthető, hogy érdemes a malmokba beépíteni a Sortex Z+ optikai válogató és a Schule Verticone VPC 480 hántoló gépeket. Viszont ezek az eredmények a toxinváltozás irányáról, helyéről és mértékéről önmagukban nem adnak pontos információt. A leíróstatisztika alapján a változás irányáról már van fogalmunk. Arra a kérdésre pedig, hogy melyik gép milyen mértékben csökkentette a toxinszintet, további statisztikai vizsgálatokat kell végezni.

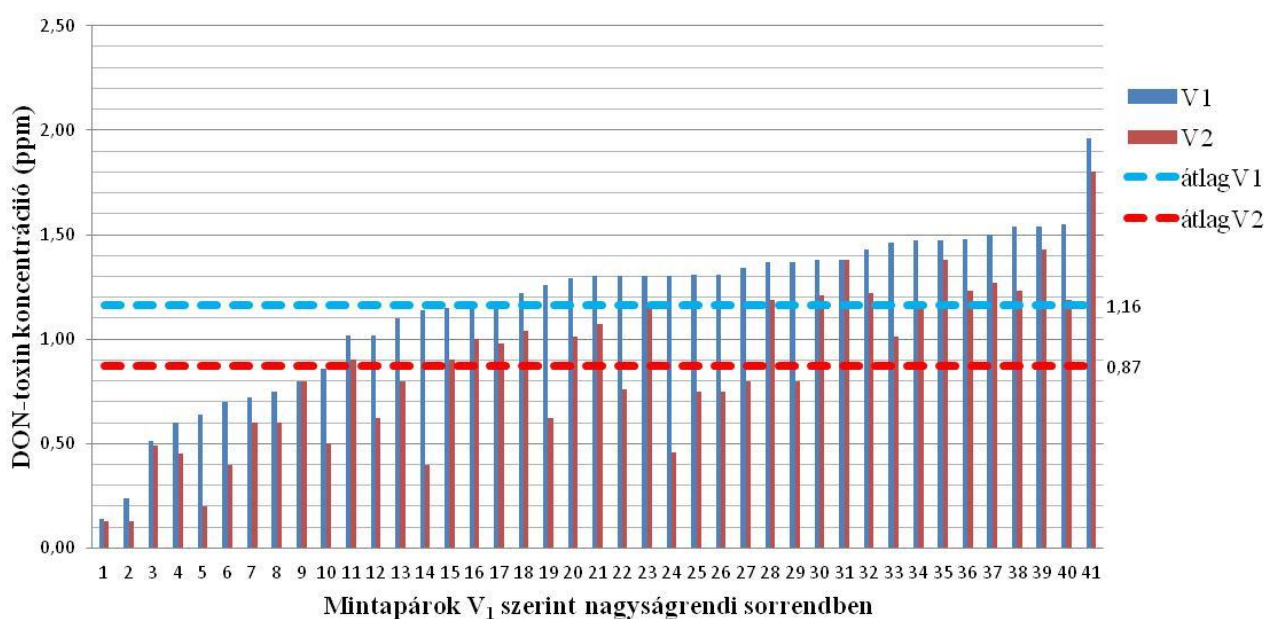
4.3. Az optikai válogató és a felülettisztító gépek egyenkénti hatásossága a DON-toxin csökkentésében

A teljes tisztítási folyamat után, a technológiai sorrendnek megfelelően először a Sortex Z+ optikai válogató gép hatásosságát (V_1 és V_2 mintavételei helyek mintapárjainak az összevetése), majd a Schule Verticone VPC 480 felülettisztító gép eredményességét vizsgálom (V_4 és V_5 mintavételei helyek mintapárjainak az összevetése) az egyes évjáratokban, leíró statisztikai módszerrel. A két tisztítógép adatainak külön-külön történő ábrázolásával és vizsgálatával arra keresem a választ, hogy a különböző évjáratoknak kitett, azaz eltérő környezeti tényezők között természetesen és várhatóan különböző mértékű és jellegű fertőzést mutató búzamintáknál tapasztalható-e eltérés a gépek toxincsökkentése terén. Pontosabban arra keresem a választ, hogy a tisztító gépek külön-külön alkalmazva, minden évjáratban képesek-e toxin mennyiségét csökkenteni, és az kellő biztonságot jelenthet-e. Előfordul-e olyan eset, amikor valamelyik gép egy adott búzatétel mintájában nem módosítja a toxinszintet? A technológiai sorrendben a felülettisztítás az optikai válogatás után van, ezért tisztázandó, hogy a felülettisztítás tud-e további csökkenést előidézni a búzatételekben a szelekció után? A felmerült kérdésekre úgy adhatom meg a választ, ha az oszlopdiagramok alapján először meghatározom az átlagos toxinszintváltozást az egyes évjáratokban gépenként. Ennek alapján lehet következtetni arra, hogy a gépek tisztítási hatásfoka eltér-e egymástól egy-egy évjáratban. Ezt követően pedig a minták eredményeit egyedileg vizsgálom meg mindkét gép esetén.

4.3.1. Az optikai válogató gép hatásossága

A technológiai sorrendnek megfelelően először nézzük meg a Sortex Z+ optikai válogató mintáinak adatsorait a három betakarítási évben. A leíró statisztikához a grafikonokat a 4.9-4.13. ábrák tartalmazzák, ahol a kiinduló (V_1), majd az optikai válogatáson átesett (V_2) mintapárok adatait ábrázolom, azok átlagértékeit is feltüntetve. Az átlagos toxineredmények alapján azt mondhatjuk, hogy mind a három évjáratban természetesen búzamintáknál, ha különböző mértékben is, a Sortex Z+ gép hozzájárul a toxincsökkentéshez. Viszont, ha a mintákat egyedileg vizsgáljuk, előfordul olyan eset, bár kis számban, amikor a kiinduló toxinszint nem változik vagy esetleg kis mértékben növekszik. Ezeket az eseteket érdemes évjáratonként külön megvizsgálni.

Az optikai válogatás hatásosságát a 4.9. ábra szemlélteti a 2013. betakarítási évre vonatkozóan. Erről leolvasható, hogy nagyon változókéony az egyes mintáknál elért tisztítási fok. Nem látszik törvényszerűség és összefüggés a Sortex Z+ géppel végzett optikai válogatás DON-toxin csökkentésének hatásfoka és a kiinduló toxinszint között. Az adatok teljesen random módon alakulnak a válogatás után. Vannak igen nagymértékű csökkenések kis kezdeti toxinszintnél és viszonylag kis csökkenés magasabb toxin tartalomnál. Ez a tendencia megegyezik a teljes tisztítási folyamatban tapasztalhatóval (4.1. ábra), de annál jóval nagyobb mértékű. Ez azt látszik igazolni, hogy nagyban függ a fertőzés jellegétől, hogy milyen tisztítási módszerrel és eszközzel érhetjük el a legjobb hatásfokot. Tovább erősíti az állítást az, hogy vannak olyan minták a sorban, amelyeknél gyakorlatilag semmi csökkenés nem mérhető (4.9. ábra 1-es, 3-as, 9-es és 31-es számozású mintái). Ezekben az esetekben maximum 0,02 ppm volt a mintapárok közötti különbség, a 9-es és a 31-es mintánál pedig 0 ppm. A búzatételek kiinduló átlag toxinkoncentrációja, azaz az optikai válogatás előtti átlagos toxinkoncentráció ($V_1 = 1,16$ ppm), 0,87 ppm-re módosult (V_2). Tehát az eredeti toxinszintet a mintákban a Zortex Z+ optikai válogató ebben az évjáratban 75%-ra tudta csökkenteni. Hogy a csökkenés mértékébe milyen szerepe volt a szeparálásnak és az egyéb tényezőknek külön-külön, arra majd az induktív statisztikai vizsgálatokkal adhatjuk meg a választ. Többet mondó adat az, hogy voltak olyan minták, amelyeknek kevesebb, mint a felére (4.9. ábra 5-ös, 4.1-es és 24-es mintái), vagy csaknem a felére (4.9. ábra 2-es, 10-es, 25-ös, 26-os, 27-es és 29-es mintái) volt csökkenthető a DON-toxin szint.

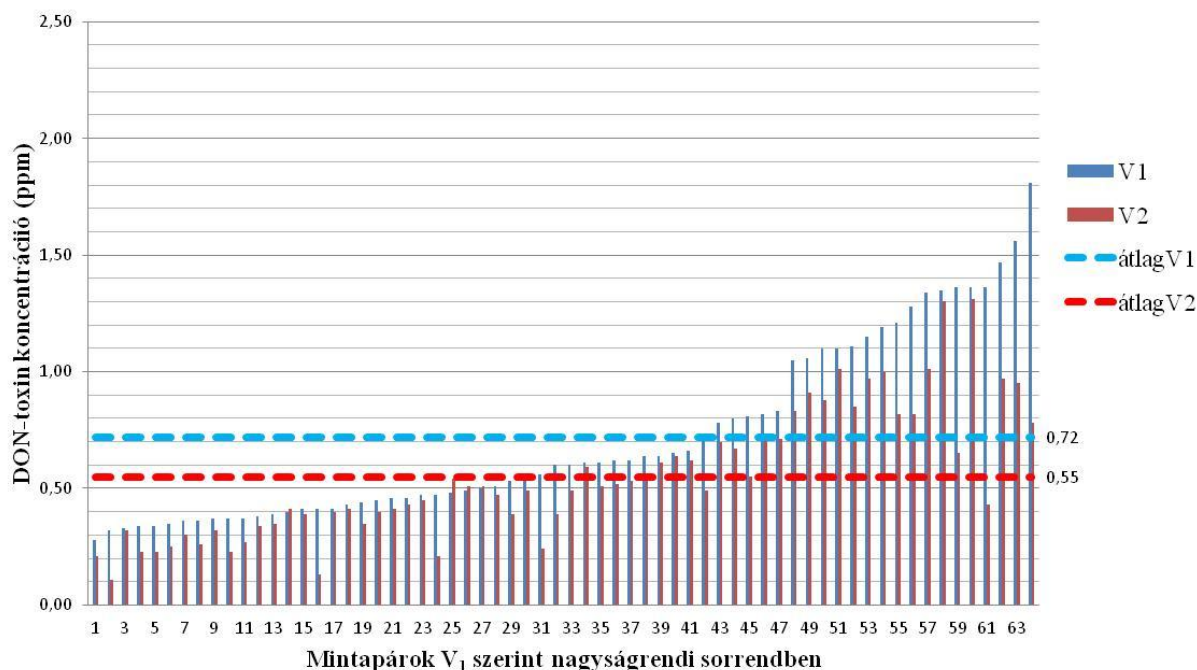


4.9. ábra A Sortex Z+ optikai válogató gépnél megszedett búzaminták DON-toxin tartalom változása (2013. évjárat)

A 4.1. ábrával összehasonlítva a 4.9. ábra eredményeit nyilvánvalóvá válik, hogy a teljes tisztítási folyamat végére (V_5) nagyobb mértékű a toxincsökkenés, mint a V_2 mintavételi hely mintáinál. Ez már sejteti azt a meglepőnek nem mondható eredményt, hogy az optikai válogatás a teljes toxincsökkentésnek csupán egy részét eredményezte.

A fenti logika szerinti értékelést elvégezve a Sortex Z+ gép eredményességére vonatkozóan, a 2014. évben betakarított búzamintáknál azt látjuk (4.10. ábra), hogy szintén nagyon változókéonyan alakul a tisztítás foka, hasonlóan az előző évi adatokhoz. Ebben az évjáratban sem lehet egyértelműen azt mondani az optikai válogatásra a deskriptív statisztikai eredmények

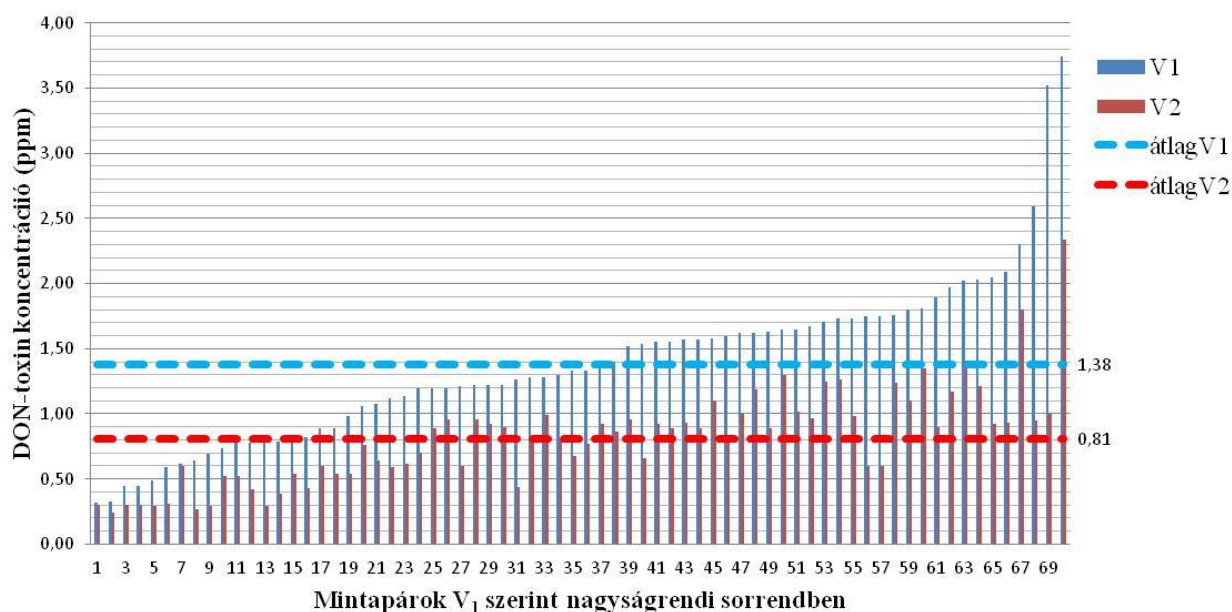
alapján, hogy a magasabb szennyezettségű mintákat jobb hatásokkal tisztította volna a gép. Erre jó példák a 4.10. ábra 51., 58., 60. számú mintái. Az alacsonyabb kiinduló DON-toxin tartalmú búzamintáknál pedig szintén találkozunk olyanokkal, amelyeknek a tisztítási hatásfoka igen magas (például a 4.10. ábra 2., 17., 31. számú mintáinál). Viszont előfordult, hogy lényeges mértékben nem változott a toxintartalom (4.10. ábra 3-as, 7-es, 9-es, 12-es, 13-as, 14-es, 15-ös, 17-es, 18-as, 28-as, 39- es és 40-es számú mintáit emelem ki). Volt, ahol minimális mértékben, de emelkedett a toxinszint a válogatás után (4.10. ábra 25-ös, 26-os, és 27-es, mintáknál). Ez egyértelműen azt jelzi, hogy voltak olyan fertőzött szemek, amelyeket az optikai szeparálással nem lehet elkülöníteni. A toxinkoncentráció emelkedése pedig abból adódhat ezekben az esetekben, hogy a tisztítási folyamat során az egyéb szennyeződések kiválogatása nagyobb mértékben történt meg, mint a toxinszennyezett szemeké. Ennek következtében nagyobb lett a DON-toxin tartalmú búzaszemek részaránya a tételben. Tovább erősödött az a megállapítás, hogy az évjáráttól függően, illetve a termőhelyi hatásokban tapasztalható eltérések miatt nem mindegy, hogy milyen tisztítási módot alkalmaznak a malomiparban. Már csak azért sem, mert a teljes tisztítási folyamat eredményének, azaz a két gép együttes hatásának a vizsgálatokor nem találkozhattunk olyan mintapárral, amelynél a toxincsökkenés nem következett be.



4.10. ábra A Sortex Z+ optikai válogató gépnél megszedett búzaminták DON-toxin tartalom változása (2014. évjárat)

A 2014. évben betakarított búzaminták optikai válogatásra vonatkozó eredményeinek az elemzése azt mutatja, hogy 0,72 ppm-ről átlagosan 0,55 ppm-re lehetett levinni a Sortex Z+ berendezéssel a toxinkoncentrációt. Ez valamivel kisebb átlagértéket jelent a 2013. évinél, de ne feledjük, hogy a kezdeti toxinszint is alacsonyabb volt 2014-ben. Ha az 1 ppm feletti mintáknál számolunk átlagokat, akkor ebben az esetben 1,29 ppm-ről 0,91 ppm-re sikerült csökkenteni az értékeket, ami az eddig tapasztaltak alapján jó aránynak mutatkozik. Ebben az évjáratban kevesebb minta toxinszintjét lehetett a felére csökkenteni az optikai válogatással. A 64 mintából mindössze 5-nél. Nyilván ez összefüggésbe hozható a kiinduló alacsony kémiai szennyezettséggel. A tisztítás után két minta kivételével a toxintartalmak 1 ppm és az alatt mozognak, ami a feldolgozásra abszolút alkalmassá teszi a búzákat. A belőlük örölt lisztek teljes mértékben biztonságosak.

A 2015-ben betakarított búzatételeknél a Sortex színválogató gép még az előző évjáratoknál is hatásosabbnak tűnik a 4.11-4.13. ábrák grafikonja alapján. Ahogy az a 4.3. ábra adatainak a vizsgálatokor is látszott, ebben az évjáratban a minták toxinszennyezettsége igen magasnak tekinthető, ha a 2013-as és a 2014-es évhez viszonyítjuk. A 2015-ös mintáknál kettő olyat találtam, aminél lényegi toxinváltozást nem okozott a Sorter Z+ géppel végzett tisztítás (4.11. ábra 1-es és 7-es mintái). Mindkét minta kiinduló toxinszennyezettsége az átlagosnál jóval alacsonyabb volt. A grafikon azt is mutatja, hogy jó közelítéssel a magasabb szennyezettségű búzáknál hasonló arányban tudta a Sortex Z+ gép a toxinkoncentrációt csökkenteni, mint az alacsonyabb kezdeti koncentrációval rendelkezőknél. Viszont az arányokat konkrét számértékekre vetítve ez a nagyobb kiinduló toxinkoncentrációnál (V_1) magasabb csökkenést jelent ppm-ben kifejezve, így a tisztított búza mintáiban (V_2) viszonylag kisebb ingadozást látunk az átlaghoz képest.

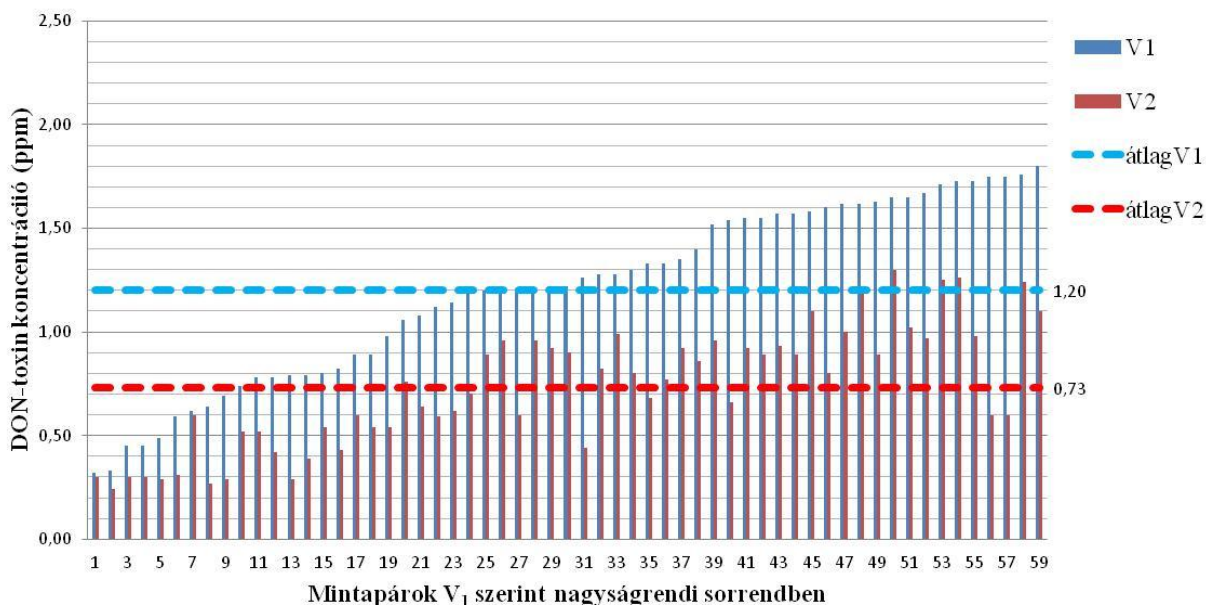


4.11. ábra A Sortex Z+ optikai válogató gépnél megszedett búzaminták DON-toxin tartalom változása a 2015. évjáratban – a malmi búza és a kiemelkedő toxintartalommal rendelkező búzaminták esetén

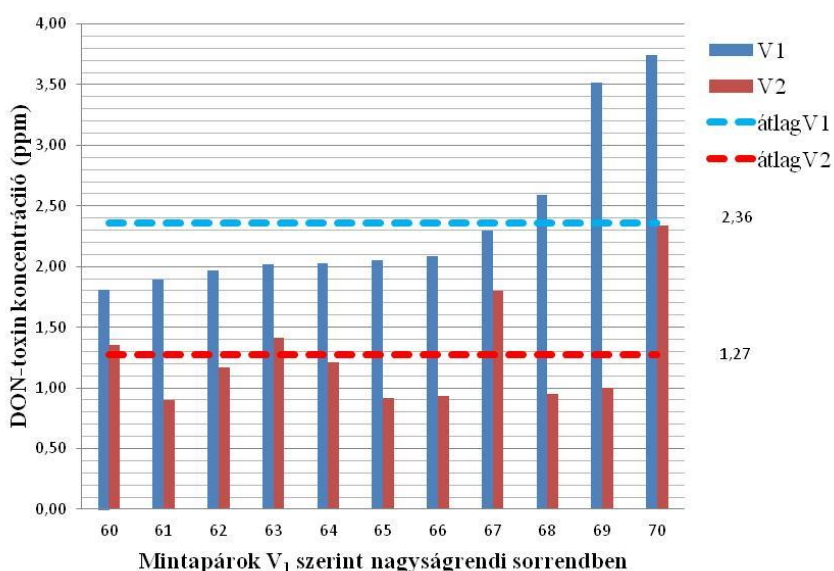
Ha a teljes mintasor (70 minta) átlagadatait vizsgáljuk (4.11. ábra), akkor azt látjuk, hogy 0,57 ppm-el lehetett csökkenteni a búzák DON-toxin tartalmát az optikai halmaztisztítás végére (59%-ra). A malmi búzáknál (4.12. ábra) 0,47 ppm-el, azaz 61%-ra volt csökkenthető a toxintartalom. Így is azt mondhatjuk, hogy ebben az évjáratban volt a leghatásosabb az optikai válogatás a toxincsökkentésben. Az adatok azt is jelzik, hogy az optikai válogató gép a jogszabályi határérték feletti búzaminták esetén volt a legeredményesebb. A kiinduló átlagát 1,09 ppm-el, 54%-ra csökkentette ezeknek a mintáknak (4.13. ábra). A V_2 mintavételi hely mintái közül a válogatás után csak két minta adatai maradtak nagyobbak, mint a jogszabályi határérték (4.11. és 4.13. ábrák 67. és 70. mintái). E minták kiinduló toxintartalma a legnagyobbak közé tartozott. Az eredmények alapján javasolható az optikai válogatás tesztelése olyan gabonatisztítási folyamatokban is, amelyekben a jelen kísérlet jogszabályi határérték által maximált limitje nem érvényes.

A kísérleti minták vizsgálatából adódó egyszerű matematikai következtetések alapján elmondhatjuk, hogy az optikai válogatással, ha a különböző évjáratokban különböző mértékben is, de csökkenthető a búzaminták DON-toxin szintje. Mindhárom grafikon ezt erősíti meg. A

leíró statisztikai adatok szerint 2013-as és 2014-es évjáratban a színválogatás hatásfoka kisebb volt, mint a 2015. évben termesztett búzamintáknál. De ebben az évben a kiinduló toxinszint az előző évekenél magasabb volt. Az is látható a grafikonokból, hogy nem törvényszerű, hogy a magasabb toxintartalmú minták kémiai szennyeződését tudja az optikai válogatás a legnagyobb mértékben csökkenteni. Arra kell következtetnünk, hogy nem a toxinkoncentráció, mint inkább a fertőzés jellege határozza meg a búzahalmaz tisztítási hatásfokát.



4.12. ábra A Sortex Z+ optikai válogató gépnél megszedett búzaminták DON-toxin tartalom változása a 2015. évjáratban – a malmi búza búzamintái esetén



4.13. ábra A Sortex Z+ optikai válogató gépnél megszedett búzaminták DON-toxin tartalom változása a 2015. évjáratban – a kimagasló toxintartalommal rendelkező búzaminták esetén

A Sortex Z+ optikai válogató gép szerepét a malmi búza toxintartalmának a csökkentésében akkor ítélnék meg a fent leírtaknál egzaktabban, és akkor vonhatunk le általános

következtetéseket a búzatételek vonatkozásában, ha induktív statisztikai módszerekkel is elvégezzük a kiértékelést. De mielőtt erre sor kerülne, vizsgáljuk meg leíró módszerekkel a Schule Verticone VPC 480 felülettisztító gépnél megszedett mintapárok eredményeit.

4.3.2. A korszerű felülettisztító gép szerepe a búzaminták tisztításában

A 4.2. fejezetben láttuk, hogy mindhárom évjáratban sikeresen lecsökkenthető volt a megfelelő halmaz- és felülettisztítási módszerek együttes alkalmazásával a malmi feldolgozásra szánt búzaminták DON-toxin tartalma. Az előző fejezetből arra is választ kaptunk, hogy ehhez a Sortex Z+ optikai válogató gép mennyiben járult hozzá. Ebben a fejezetben arra keresem a választ, hogy a Schule Verticone VPC 480 felülettisztító gép hatásossága milyen volt a tisztítási folyamatban. Egyáltalán az optikai válogatás után további toxincsökkenést eredményez-e a gép. Tehát ebben az esetben a V_4 - V_5 mintapárokat vizsgálom. Megnézem, hogy hogyan alakul a búzák toxinszintje a felülettisztítást megelőzően (V_4) és közvetlenül a tisztítási művelet után (V_5). A deskriptív vizsgálatokban ennek megfelelően a V_4 mintavételi hely mintái jelentik a viszonyítási alapot.

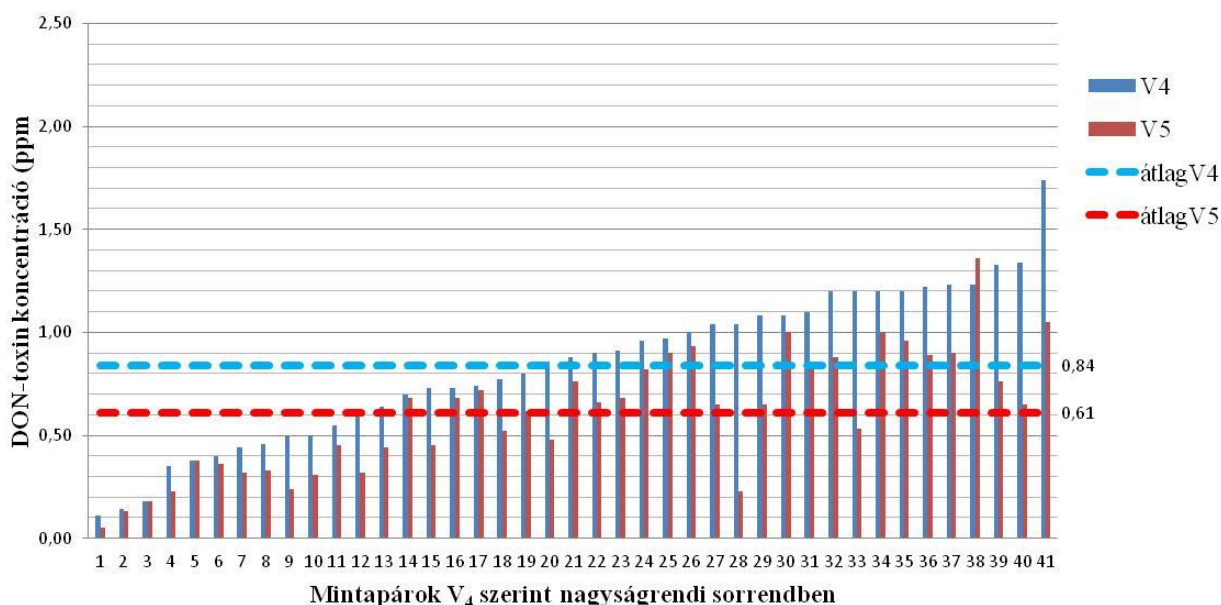
A búza mielőtt a felülettisztító géphez ér már több tisztítási műveleten átesik a feldolgozási folyamat előkészítő szakaszában (3.1. ábra – technológiai folyamatábra), ahol elsősorban a fizikai szennyezéseket választják ki. Ez szükségszerű, mert a felülettisztítás csak akkor lehet hatékony, ha minden olyan alkotót kiszelektálunk a búzahalmazból, ami nem kerülhet őrlésre, mert az a liszt minőségét rontaná, szennyezné, élelmiszerbiztonsági szempontból kockázatos. A kérdés az, hogy a kísérlet szempontjából helyes és korrekt-e, hogy azoknál a mintáknál vizsgálom a felülettisztításban alkalmazott berendezés DON-toxin csökkentésre gyakorolt hatását, amelyek előzőleg már átestek olyan tisztítási folyamaton, ami ennek az élelmiszerbiztonsági szempontból kémiai veszélyként kezelendő anyagnak a mennyiségét képes volt csökkenteni a búzatételekben. A válasz egyértelműen igen. Ennek alátámasztását a kísérleti cél megfogalmazása adja. A kutató munkámnak az az elsődleges célja, hogy termelési körülmények között vizsgáljam a malmi búza toxincsökkentési lehetőségeit. Nem arra keresem a választ, hogy önmagában egy korszerű felülettisztítási eljárás milyen hatékonyságú e téren. Azért nem ezzel a kérdéssel foglalkozom a kutató munkámban, mert a szakirodalomban különböző felülettisztítási eljárásokkal kapcsolatos modellkísérleti eredményekről már beszámoltak. Tehát az én feladatomban, hogy a malmi feldolgozásban vizsgáljam a DON-toxin csökkentési lehetőséget. A malomban pedig mindenképp meg kell előznie a halmaztisztítási eljárásoknak a felülettisztítást. Az viszont különösen érdekes számomra, hogy az optikai válogatás után képes-e még tovább csökkenteni a búzatételek toxintartalmát az általam vizsgált felülettisztítási eljárás. Ennek megválaszolásával olyan kérdésekre is választ adhat a kísérlet, amelyek a szakirodalomban eddig nem, vagy csupán spekulatív jellegű okfejtésként jelentek meg. Erre példa az, hogy az eltérő jellegű fertőzések hogyan befolyásolják a búzatételek toxincsökkentési lehetőségeit, és alkalmazandó gépeit. A vizsgálati adatok birtokában érdemes-e újragondolni néhány kutató-szakíró korábbi feltételezését, miszerint nincs lehetőség a betakarítást követően a búzák toxinszintjének számottevő mértékű és megbízható csökkentésére? Igaz-e ez a korszerű berendezéseket alkalmazó technológiákra is? A malomipari gyakorlatban ezek fontos kérdések, mert ahogy már korábban is utaltam erre, olyan megoldásokban kell gondolkodni, amelyek bármilyen évjáratban megtermesztett és bármilyen termőhelyi környezetből érkezett alapanyag kezelésére alkalmasak.

A kísérleti adatok elemzésével, tehát, arra a gyakorlati szempontból fontos kérdésre is választ kell adni, hogy a teljes tisztítási teljesítményben a két gép hogyan veszi ki a részét az eltérő körülmények között termesztett búzák esetén. Ez igen fontos számunkra, mert a fuzárium fertőzés jellegéről az ismert szakirodalmi adatok alapján feltételezhető, az befolyásolhatja, hogy mikor melyik gép lesz hatékonyabb a tisztítási folyamatban. Ez alapvetően befolyásolja, hogy a két gép, azaz a Sortex Z+ és a Schule Verticone VPC 480 felülettisztító gépek együttesen

megbízhatóan tudják-e csökkenteni a búzatételek toxintartalmát. A kérdésre csak akkor kaphatok választ, ha különböző tenyészidőben termesztett, különböző termőhelyekről származó tételek esetén vizsgálom, a tisztítás hatásfokát. A kísérleteim ebben eltérnek az irodalomban közölt adatoktól, mivel azok, jellemzően egy meghatározott időszakban, mesterségesen megtermékenyített búzatételek felülettisztítási adatait vizsgálták modellkísérletekben.

A Schule Verticone VPC 480 felülettisztító gép mintapárjainak (V_4 és V_5 mintavételi helyek) az adatait is grafikusan ábrázolom a leíró statisztikai vizsgálatok szemléltetéséhez. Annak érdekében, hogy az eredményeket hasonló módon tudjam értékelni, mint az előző két alfejezetben, a V_4 mintavételi hely mintáinál mért toxinszintek alapján nagyság szerinti sorba rendeztem az adatokat.

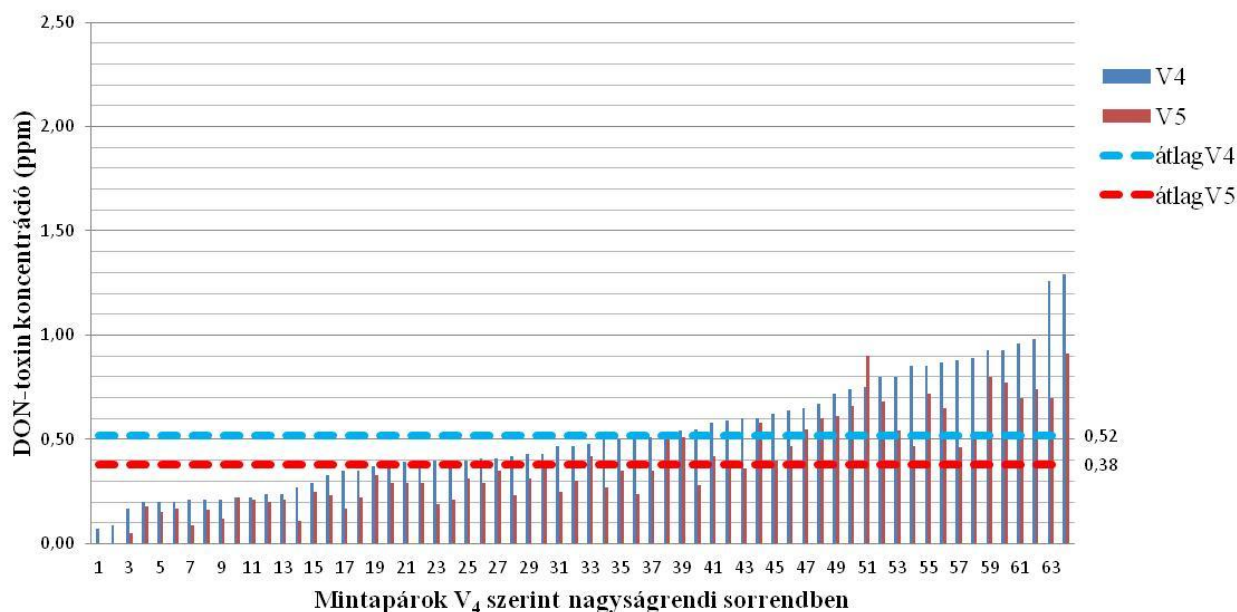
A 2013-ban betakarított búza V_4 és a V_5 mintapárjainak a toxintartalmát ábrázoló diagramból az látszik (4.14. ábra), hogy az eredmények nagyon változatosan alakulnak. A tisztítás hatásfoka nem függ a kiinduló toxinkoncentráció mértékétől, azaz annak nagyságától. Viszont az jól látható, hogy az előtisztított, optikai válogatáson is átesett búzatételek többségénél a felülettisztítás további toxincsökkentést eredményez. Átlagosan további 0,23 ppm-el, vagyis még 27%-al csökkent a felülettisztítás hatására a toxinszint. Vannak olyan minták, amelyeknél a tisztítás igen nagymértékű, megközelíti vagy túlhaladja az 50%-os értéket (4.14. ábra 9-es, 12-es, 28-as, 33-as, 39-es, 40-es és 41-es mintái). Kiemelkedő ebből a szempontból a 28-as minta, ahol egynegyedére csökkent a tisztítás után a DON-toxin koncentráció. Más esetben viszont nem csökkenti számottevően a felülettisztítás a szennyezőanyag mennyiségét (4.14. ábra 2-es, 3-as, 5-ös, 14-es, 16-os és 17-es mintái). Sőt a 38. minta esetén kismértékű koncentráció emelkedés figyelhető meg az előtisztított anyag toxintartalmához képest. Most se feledkezzünk el arról, hogy a teljes tisztítási folyamat adatainak a vizsgálatokor nem talákoztunk olyan mintapárral, ahol ne csökkent volna a DON-toxin mennyisége.



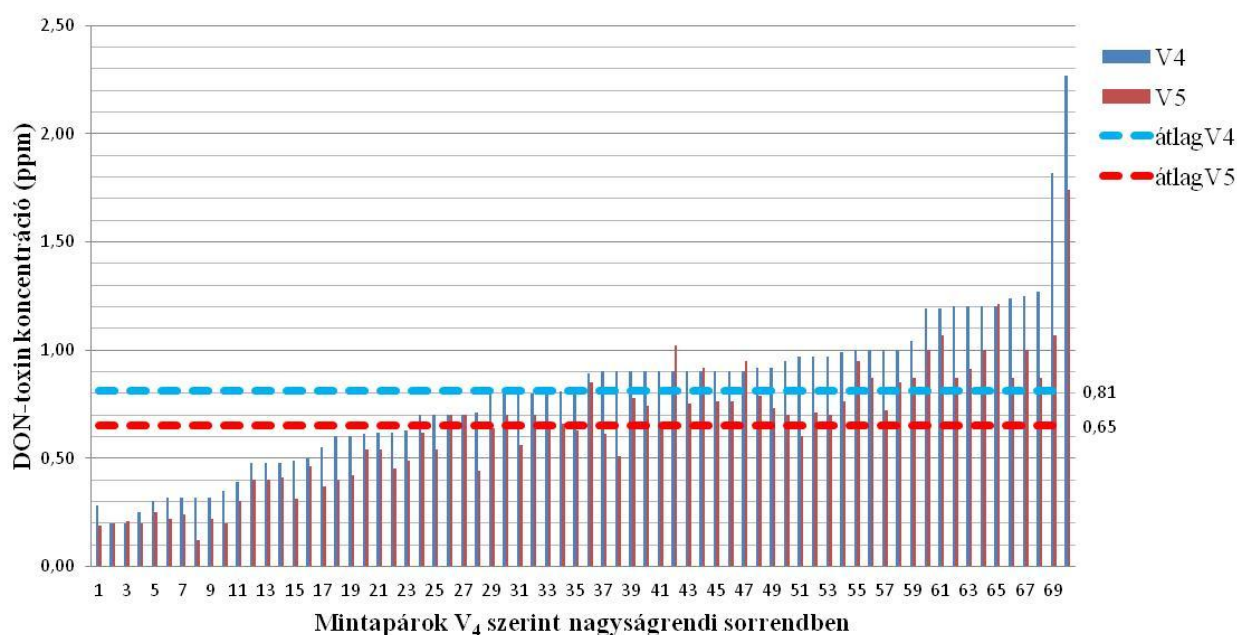
4.14. ábra A Schule Verticone VPC 480 felülettisztító gépnél megszedett búzaminták DON-toxin tartalom változása (2013. évjárat)

A 2014. évjárat adatai hasonlóan alakulnak (4.15. ábra), mint az előző évben, annak ellenére, hogy ebben az évjáratban a kiinduló búzatételek toxintartalma alacsonyabb, mint 2013-ban. Tehát a felülettisztítás is alacsonyabb értékről indul (V_4 mintavételi hely mintái). Átlagosan mintegy 0,14 ppm-el lett kevesebb a V_5 mintáinak a toxinszintje a felülettisztítás után. Az ábra

azt mutatja, hogy a kiinduló toxinszint nagyságától függetlenül csökken a toxinok mennyisége a Schule Verticone VPC 480 felülettisztító gép hatására. Vagyis nem ez volt a determináló tényező. A 2014. évi Sortex adatokhoz képest merőben más eredményt kapunk. Öt mintánál nem érzékelhető a toxintartalom változása (4.15. ábra 4-es, 10-es, 11-es, 38-as és 44-es mintái), ami arányaiban jóval kevesebb, mint az előző évben. Egy mintánál, az 51. számúnál, viszont a tisztítás után megnövekedett a toxintartalom, szemmel láthatólag nem kis mértékben, mintegy 0,25 ppm-el.



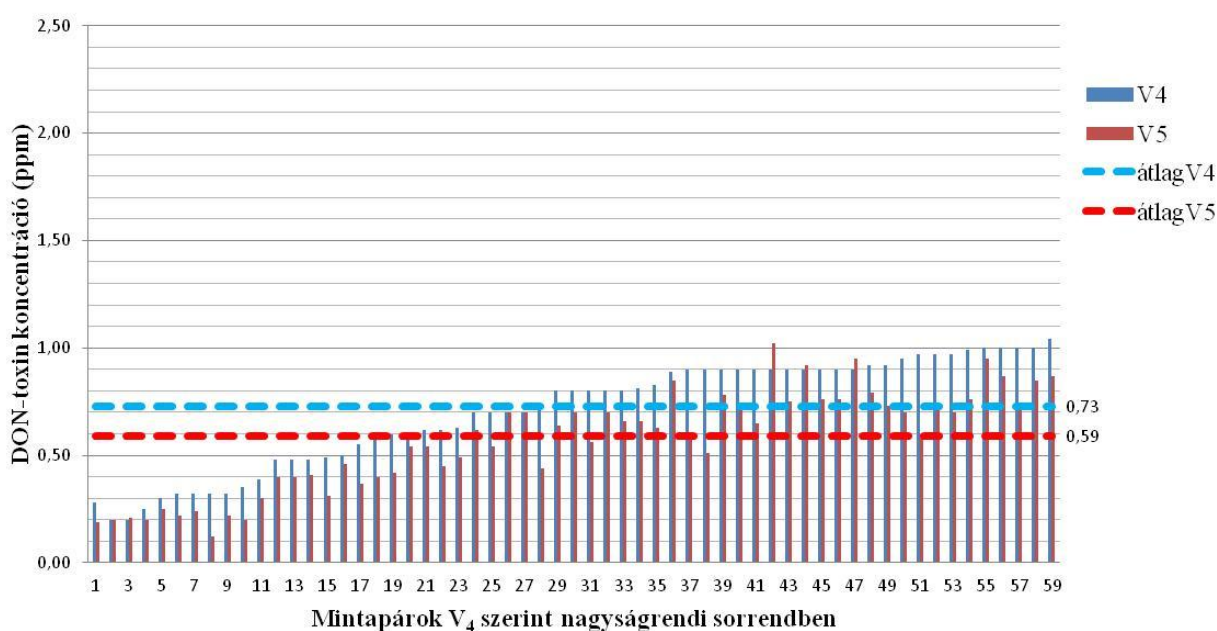
4.15. ábra A Schule Verticone VPC 480 felülettisztító gépnél megszedett búzaminták DON-toxin tartalom változása (2014. évjárat)



4.16. ábra A Schule Verticone VPC 480 felülettisztító gépnél megszedett búzaminták DON-toxin tartalom változása 2015. évjáratban – a malmi búza és a kiemelkedő toxintartalommal rendelkező búzaminták esetén

A 4.16. ábra szerint a 2015-ben betakarított búzatételekből megszedett minták toxineredményei azt mutatják, hogy a 2014. évihez hasonlóan alakul a felülettisztítás hatásossága. Ebben az esetben is leszögezhetjük, mint az előző éveknél, hogy a színválogatást követően szintén további toxincsökkenést értünk el a munkaművelettel.

Az előző alfejezetekben ismertetett okok miatt a 2015-ben betakarított búzáknál külön értékelem a feldolgozásra szánt búzatételek, és külön a jogszabályi határérték feletti tételek mintáit. Ha csak az első 59 minta eredményeivel számolunk (feldolgozásra szánt, azaz malmi búzatételek mintái), akkor az átlagos csökkenés 0,14 ppm (4.17. ábra). Amennyiben ehhez hozzávesszük a határérték feletti 11 minta értékeit is (összesen 70 minta), akkor az átlagos csökkenés 0,16 ppm (4.16. ábra). Tehát nem változott az eredmény jelentősen. A határérték feletti mintákat megvizsgálva (4.18. ábra) a csökkenés mértéke 0,26 ppm, ami szintén nem kimagasló érték, ha a Sortex optikai válogatónál vizsgált adatokhoz hasonlítjuk.

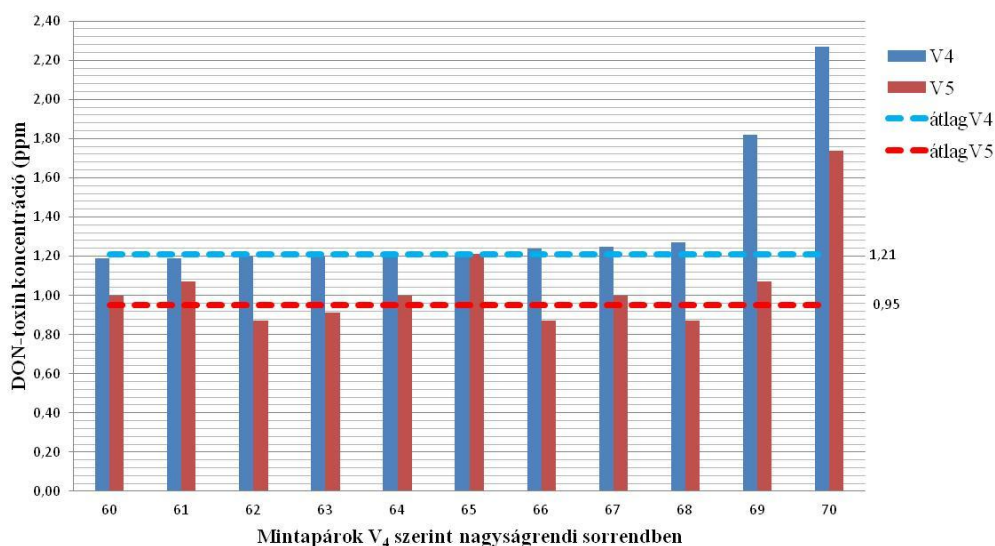


4.17. ábra A Schule Verticone VPC 480 felülettisztító gépnél megszedett búzaminták DON-toxin tartalom változása 2015. évjáratban – a malmi búza esetén

Ebből ismételtelen levonhatjuk azt a következtetést, hogy a felülettisztítás során, ha az az optikai válogatást követően megy végbe a feldolgozási folyamatban, akkor nem tapasztalunk összefüggést a csökkenés mértéke és a kiinduló toxinszint nagysága között. Ebben az évjáratban is előfordult, hogy a minták toxinkoncentrációja nem változott a hántolás után (4.17. ábra 2-es, 3-as, 26-os, 27-es és 65-ös minták). Három esetben pedig kismértékű növekedést tapasztalhattunk (4.17. ábra 42-es, 44-es és 47-es minták).

Azokban az esetekben, amikor a minták toxinszintje nem változik, illetve kismértékben növekszik, azt a következtetést vonhatjuk le, hogy nem minden típusú fuzárium fertőzés esetén használható kellő hatásossággal a gép önmagában. Ez a szakirodalmi adatok alapján kialakított feltételezést látszik ismételtelen igazolni, miszerint nem mindegy, hogy a búzakaralászt milyen fejlődési szakaszában támadja meg a gomba. Ahogy korábban említettem ez kihat arra, hogy a szemek „külső megjelenése” eltér-e az egészségesekétől és ezzel összefüggésben arra is, hogy a toxinok mennyisége a mag mely részeiben koncentrálódik. Ezt az elméleti okfejtést a Sortex Z+ optikai válogató mintáinak az adatai is alátámasztják. Érdekes tehát tovább vizsgálni és megnézni, hogy azoknál a mintáknál, amelyekben toxinszint emelkedést látunk, a két gép eltérő

hatásossággal végzi-e a toxincsökkentést. A feltételezés szerint igen, mert egyébként a teljes tisztítási folyamat végén is találkozunk kellene olyan mintákkal, amelyekben e kémiai anyag mennyisége nem csökken. A kérdésre az igazolást a különbségminták adatainak deskriptív elemzésével kerestem meg a 4.4. fejezetben.



4.18. ábra A Schule Verticone VPC 480 felülettisztító gépnél megszedett búzaminták DON-toxin tartalom változása 2015. évjáratban - a kimagasló toxintartalommal rendelkező búzaminták esetén

4.3.3. A mintapárok hipotézisvizsgálata

Ebben a fejezetben hipotézisvizsgálattal igazolom, hogy az előző két fejezetben a leíró statisztika alapján tett megállapítások valós eredményt adtak és a teljes statisztikai populációra igazak. Vagyis a minták mért és ppm-ben kifejezett értékei bármilyen mértékű ingadozást mutattak, az 95%-os valószínűségi szinten mindkét gép esetén tényleges toxincsökkenést okozott. Amíg a teljes tisztítási folyamat induktív statisztikai értékelésében (4.2.2. fejezet) csak arra kaptam választ, hogy a két gép hatására megváltozott a toxinszint, most meghatározom a változás helyét is. Vagyis azt, hogy a technológia mely fázisaiban történt csökkenés. Ha mindkét tisztító gép esetén a toxinváltozásban betöltött szerepet a hipotézis vizsgálat igazolja, ezt követően lesz érdemes meghatározni regresszióanalízissel a toxinszint alakulásának az irányát és mértékét is

A toxinváltozás hipotézisvizsgálatához is páronként kell a mintákat vizsgálnom, amihez a normalitás függvényében Wilcoxon féle előjeles rangpróba és a t-próba használható. Ugyanazokat a mintapárokat használom, mint a leíró statisztikai módszerek ábráiban:

- az optikai válogatás vizsgálatához a Sortex színválogató gép előtti V_1 és utáni V_2 mintavételi helyek mintáit,
- a felülettisztítás vizsgálatához a Schule gép előtti V_4 és utáni V_5 mintavételi helyek mintáit, és a rend kedvéért
- a teljes tisztítási folyamat vizsgálatához a Sortex színválogató gép előtti V_1 és a Schule gép utáni V_5 mintavételi helyek mintáit.

A teljes tisztítási folyamatról a 4.2.2. fejezet eredményei alapján már van információm, de ott a négy mintapárt együttesen vizsgáltam induktív statisztikával. Most viszont a V_1 és a V_5 mintavételi helyek mintáinak összevetését végzem el.

Az értékelés jellegéből adódóan, szemben a leíró statisztikai módszerekkel, a gépeknél keletkezett mintapárok vizsgálatakor már az egyéb technológiai tényezők és a véletlen hatások

szerepe is megjelenik az eredményben 95%-os valószínűségi szinten.

Az eredmények kiértékeléséhez a mintapárok különbségmintáit hoztam létre és azokon végzem el a két próbát. A különbségmintákhoz, ahogy arról korábban írtam, a két tisztítógép mintapárjainak DON-toxin tartalmát páronként kivontam egymásból. Így egy adott búzatételhez tartozó különbségmintákat úgy képeztem és párosítottam össze, hogy a Sortex Z+ gépnél keletkezett mintapárok egyenkénti különbségét vettem (V_1-V_2), Majd a Shule Verticone VPC 480 felülettisztító gépnél keletkezett mintapárokat vontam ki egyenként egymásból (V_4-V_5), és az összetartozó értékeket párba rendeztem. Így az első adatsor azt mutatja meg, hogy mennyi ppm-el csökkent az optikai válogatás után az egyes minták toxinszennyezettsége, míg a második adatsor ugyanezt mutatja a Schule Verticone VPC 480 felülettisztító esetén. Az induktív statisztikai vizsgálat elve nem változott a korábbi fejezetekben tárgyaltakhoz képest: megvizsgálom a normalitást nem feltételező és feltételező tesztekkel is az adatokat.

A Wilcoxon-féle előjeles rangpróbának nem feltétele a normalitás. A nullhipotézise, hogy az eloszlások megegyeznek. Másrésztől viszont feltétele a szimmetria, amit a Pearson féle ferdeségi mutatószám segítségével határozhatunk meg. A mintapárok különbségmintáihoz tartozó adatokat a 6. táblázat tartalmazza. Először a ferdeségi mutatókat értékelem. Ha ez a mutatószám abszolút értékben 1-nél nagyobb, akkor beszélünk az eloszlás erős aszimmetriájáról, egyéb esetben az eloszlás közel szimmetrikusnak tekinthető. A 6. táblázat adatai azt mutatják, hogy a szimmetria minden évjárat mindhárom mintapárjánál feltételezhető, vagyis alkalmazható a Wilcoxon-féle előjeles rangpróba. Itt a nagy mintaméret miatt a tesztstatisztika értéke közel normális eloszlású, ezért csak egy kritikus értékkel kell dolgozni.

6. táblázat Wilcoxon próba eredménytáblázata

Évjárat	Minta-párok	Statisztikai adatok		
		Statisztikai érték	Kritikus érték	Ferdeségi mutató
2013.	V_1-V_2	5,44	1,64	-0,07
	V_4-V_5	5,24	1,64	0,52
	V_1-V_5	5,58	1,64	0,30
2014.	V_1-V_2	6,71	1,64	0,31
	V_4-V_5	6,65	1,64	0,20
	V_1-V_5	6,96	1,64	0,36
2015.	V_1-V_2	7,27	1,64	0,18
	V_4-V_5	6,88	1,64	0,61
	V_1-V_5	7,27	1,64	0,92

Összevetve a táblázatban feltüntetett értékeket (6. táblázat), a számított érték minden esetben nagyobb a kritikus értéknél, ezért minden évjárat minden mintapárjánál elutasítom a nullhipotézist, azaz az eloszlások nem egyeznek meg. Tehát mindegyik mintapárnál, azaz minden tisztítási műveletnél statisztikailag igazolhatóan változott a DON-toxin koncentráció a tisztítási folyamat során.

A továbbiakban a normalitást feltételezve *páros t-próbákat* alkalmazok. A páros t-próba H_0 nullhipotézise, hogy a két mintából képzett különbségminta átlaga nulla. A tesztstatisztika

értékeit és a kritikus értékeket a 7. táblázatba foglalom össze. Az szintén látszik, hogy mind a három évjáratban a tesztstatisztikák értékei nagyobbak a kritikus értéknél, tehát a nullhipotézist ebben az esetben is el kell utasítani. Azaz mindhárom mintapárnál változás történt a toxinkoncentrációban. Vagyis a páros t-próbával is igazolni és megerősíteni tudom a Wilkoxon teszt eredményeit. Egyértelmű, hogy a két tisztító gép malmi technológiába történő beépítésével az alapsokaság, azaz a bemeneti búzatételek DON-toxin koncentrációja lecsökkenthető. Most már biztosan kijelenthető, hogy a búza toxinszennyezettségének mértékétől és jellegétől függetlenül a két gép együttesen alkalmazva, a tisztítási folyamatban képes a búzatételek DON-toxin tartalmát csökkenteni. Ezek az eredmények a malmi szakemberek számára azért fontosak, mert a feldolgozás során nincs lehetőségük annak figyelemmel kísérésére, hogy egy adott termesztési évben milyen időjárási viszonyok, mikroklimatikus és egyéb hatások érték együttesen azt a búzatételt, amit egy adott gyártási folyamathoz felhasználnak. Tehát olyan technológiára van szükségük, ami ezektől a tényezőktől függetlenül ad megbízható eredményt.

7. táblázat A párosított t-próba eredményei

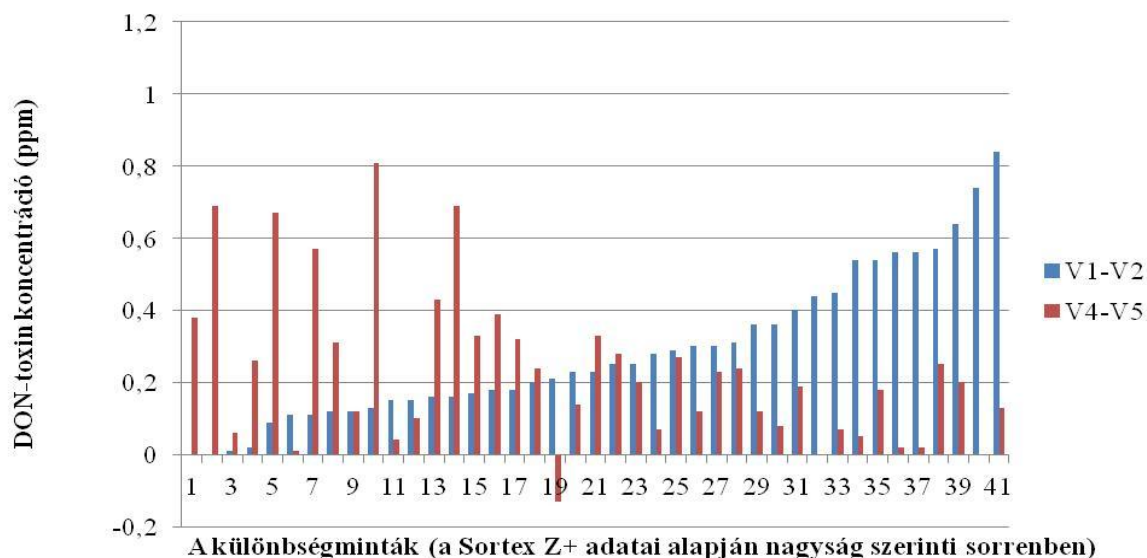
Minta-párok	2013. év		2014. év		2015. év	
	Statisztikai érték	Kritikus érték	Statisztikai érték	Kritikus érték	Statisztikai érték	Kritikus érték
V ₁ -V ₂	8,90	2,02	6,27	2,00	12,24	1,99
V ₄ -V ₅	6,95		9,83		9,99	
V ₁ -V ₅	14,89		11,15		14,29	

4.4. A két gép tisztítási hatásosságának elemzése a különbségmintákon keresztül

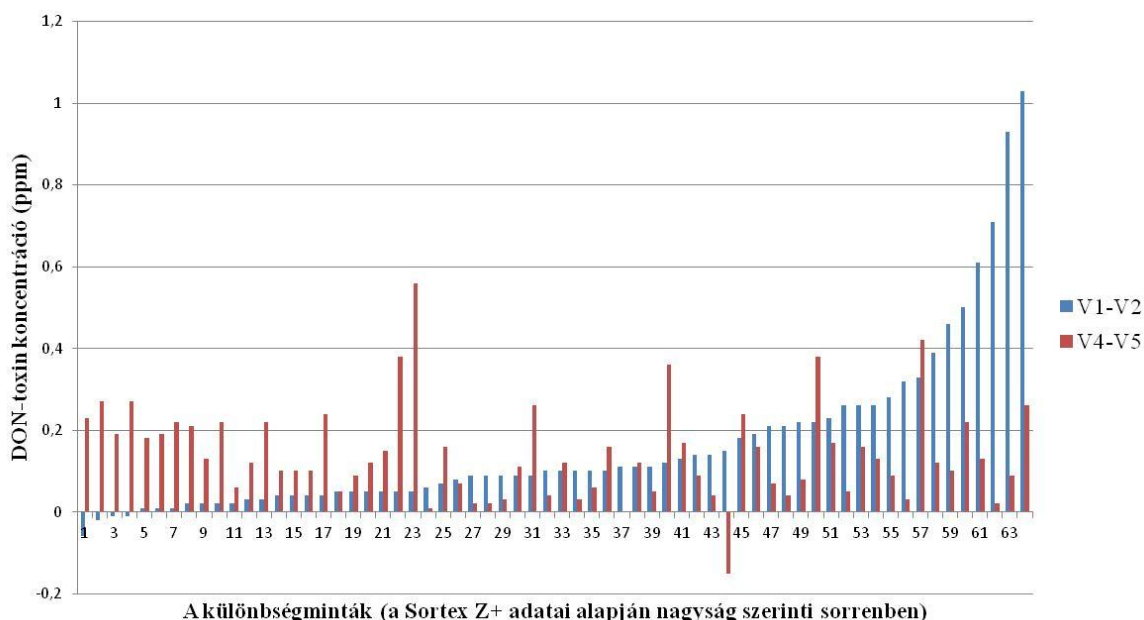
Ugyanazokat a különbségmintákat használom e leíró statisztikai vizsgálatnál, mint a 4.3.3. fejezetben, és a mintapáronként történt kivonásokkal kapott adatokat ábrázolom grafikusán. Az ábrákban egymás mellé illeszttem az azonos búzatételhez tartozó különbségmintákat. A kék oszlopok mutatják az optikai válogatásnál a mintapárokban a toxincsökkenés nagyságát, a piros oszlopok pedig ugyanazon tétel felülettisztításánál adódó különbözetet. Az ábra azt mutatja be, hogy egy adott alapanyag-tételnél az optikai válogatás vagy a felülettisztítás tudja magasabb ppm értékkel csökkenteni a toxinszintet. Így ez az oszlopdiaagram szemlélteti, hogy abban az esetben, ahol az egyik gép kisebb hatásfokkal dolgozott, a másik gép teljesítése tudta-e ezt ellensúlyozni. Ebben az esetben is nagyságrendi sorrendbe rendeztem az adatokat a jobb áttekinthetőség kedvéért. A rendezés alapját a V₁-V₂ mintavételi helyek mintapárjainak különbségmintái adják. A grafikonokon megjelenő negatív toxinérték azt jelöli, hogy az adott tisztítási folyamat végére csökkenés helyett növekedést tapasztaltunk a minták toxintartalmában, az oszlopok színe mutatja, hogy melyik gépnél.

A 4.19., a 4.20., és a 4.21. ábrák oszlopdiaagramjait vizsgálva látható, hogy a 2013., 2014. és a 2015. évi különbség-mintapárok többségénél meglehetősen alternál a két gép tisztítási hatásossága. Vagyis ahol az optikai válogatás kisebb hatásfokú, azt ellensúlyozta a felülettisztító gép toxincsökkentő képessége, illetve fordítva. Ez a 4.19. ábrán követhető le vizuálisan a legjobban. Ha a számadatokat nézzük az egyes termesztési évek szerint, akkor a 2013-as búzatételek 80%-ára, a 2014-es tételek 77%-ára és a 2015-ös búzáknak 91%-ára igaz ez a megállapítás. Vagyis igen kicsi azoknak a búzatételeknek a darabszáma, amelyek mintáinál közel azonos mennyiségű toxint tudott az optikai válogatás és a felülettisztítás is eltávolítani a halmazból. Abban a néhány mintában viszont, amelyekben a tisztítás után emelkedett a toxinszint valamelyik gép esetén (az ábrákon a negatív értékek), a másik gép csökkentő hatást fejtett ki minden esetben. Ez azt a feltételezést igazolja a gyakorlati szakemberek számára, hogy

a két gép nem ugyanolyan jellegű DON-toxin szennyezettséget tud hatékonyan csökkenteni. Az is látható a grafikonokból, ha a búzátételek mintáit egyenként vesszük szemügyre, hogy az eltérő jellegű szennyeződéssel bíró szemek aránya mutat némi változatosságot az évjáratokban. Ha a 2013. és 2014. év adataival összevetjük a 2015. évi adatokat, akkor e megállapítás egyértelműen igazolódik. A mintapárok leíró statisztikai vizsgálatából az látszik, hogy a két gép külön-külön nem tud olyan hatásos lenni és biztonságosan csak együttes működtetésükkel lehet csökkenteni a búzaminták toxintartalmát, amennyiben azok toxinszennyezettsége különböző, azaz a termesztés során előforduló hatások eredményeként jön létre, és nem mesterséges fertőzés eredményeként.



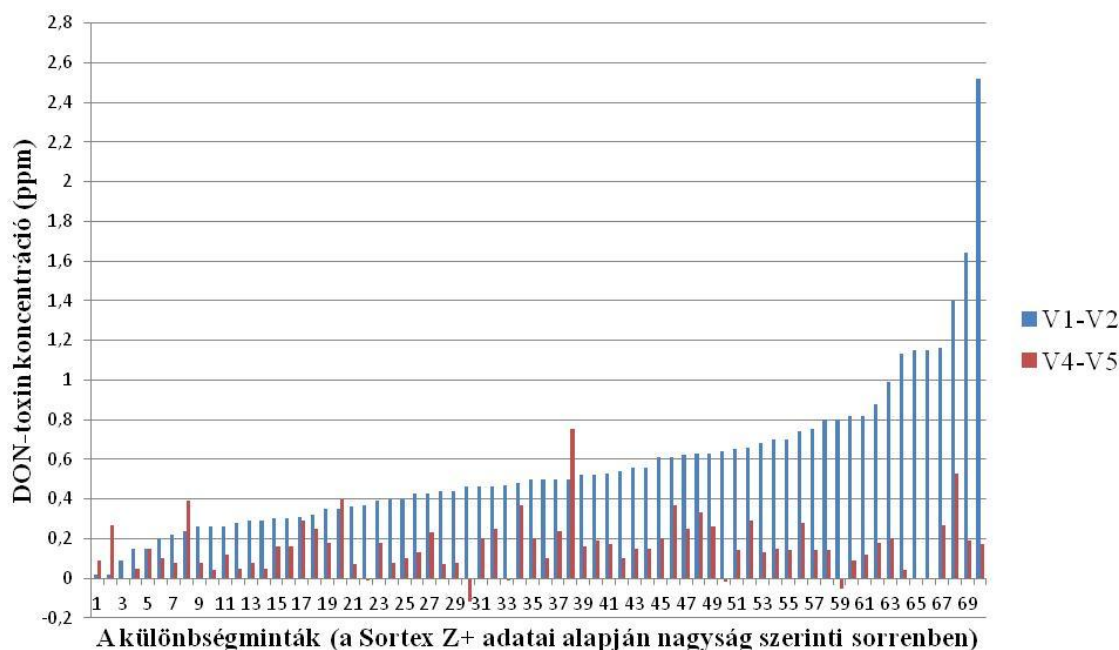
4.19. ábra A Sortex Z+ és a Shcule Verticone felülettisztítónál vizsgált mintapárok különbségmintái a 2013. évjáratban



4.20. ábra A Sortex Z+ és a Shcule Verticone felülettisztítónál vizsgált mintapárok különbségmintái a 2014. évjáratban

A 2015. év diagramjából az is szembetűnik, hogy a Sortex optikai válogató csökkentette nagyobb mennyiségben a kiinduló toxinszintet (4.21. ábra). A különbség-mintapárok alapján a

másik két évjáratra vonatkozóan ilyen következtetés levonására minden kétséget kizáróan nincs lehetőség, erre az induktív statisztikai módszerekkel tudok egyértelmű választ adni.



4.21. ábra A Sortex Z+ és a Schule Verticone felülettisztítónál vizsgált mintapárok különbségmintái a 2015. évjáratban

4.5. A DON-toxin koncentráció csökkenés mértéke

A kísérleti minták adataiból regresszióanalízissel határozom meg azt, hogy milyen mértékben csökkenthető a durumbúza DON-toxin tartalma. A regressziós egyenes ábrázolásával a csökkenés iránya is könnyen szemléltethető. Az analízis eredményeit két módon fogom felhasználni. Első lépésben a számadatok alapján megvizsgálom a Sortex Z+ és a Schule Verticone VPC 480 tisztítógépek tényleges hatásfokát. Az analízis megmutatja, hogy az egyes évjáratokban van-e statisztikailag igazolható, tényleges eltérés a két gép tisztítási hatékonysága között, azaz mennyiben járult hozzá az optikai válogatás és mennyiben a felülettisztítás a teljes DON-toxin csökkenéshez. Ehhez a két gépnél külön-külön és évjáratonként kell a hatásosságot számszerűsítenem, ami az egyes mintavételi helyek mintapárjainak a regresszióanalízisével történik. Először az optikai válogatás mintapárjainak (V_1 - V_2 mintavételi helyek) adatait ábrázolom koordinátarendszerben és illesztek rá regressziós egyenest, majd ugyanezt a műveletsort elvégzem a felülettisztítás (V_4 - V_5 mintavételi helyek) mintapárjaival is. Meghatározom a regressziós egyenesek egyenletét, aminek általános alakja az $y=ax+b$. Az egyenes meredeksége („a” értéke) alapján vonhatok le következtetést arra, hogy a tisztító gépek egy adott évjáratban milyen hatásossággal dolgoztak. Majd kiszámolom a korrelációs együtthatókat, aminek értéke megmutatja, hogy a függő és független változók kapcsolata, pontosabban együttmozgása mennyire szoros. Ennek megítéléséhez az 1. táblázat adatait használom fel. Erős kapcsolat esetén a regresszióanalízis felhasználható a toxincsökkenés várható mértékének az előrejelzésére, azaz becslésére is.

Ezt követően meghatározom a kiinduló és a tisztítási folyamat végén (V_1 - V_5 mintavételi helyeken) megszedett mintapárok adataira vonatkozó regressziós egyenes egyenletét, majd azok alapján számolom ki a várható értékeket. Ezek az adatok megmutatják a teljes tisztítási folyamat hatásosságát, illetve a toxincsökkenés mértékének várható értéke adható meg évjáratonként.

A toxinvizsgálatok regressziós függvényének értelmezési tartományát (D_f) elméletileg a valós pozitív számok adhatják. A kísérletemben élelmiszeripari alapanyagot vizsgálok, így a felső határértéket alapvetően a jogszabályi előírások, illetve az ennek figyelembevételével felvásárolt búzátételek toxintartalma határozza meg. Abban az esetben, amikor a regressziós függvényt becslésre, illetve esetünkben a tisztítás utáni toxinszennyezettség várható értékének a meghatározására is használjuk, akkor matematikailag a függvény értelmezési tartománya a független változó legkisebb és legnagyobb értékei által determinált intervallum. E tartományon belül a legkisebb a becslés hibája. A gyakorlati alkalmazhatóság kedvéért azonban megvizsgálom, hogy a becslés „jósa”, használhatósága változik-e az élelmiszerbiztonsági határértéket közelítve a tisztítási folyamat során alkalmazott kezelések, azaz tisztítási módszerek eredményei esetén. Ha nem, akkor a módszer könnyebb használhatósága és kezelhetősége érdekében a függvények értelmezési tartományát a jogszabályi határértéknek megfelelően adom meg a dolgozatban, azaz $D_f=[0;1,75]$. Minden esetben így járok el, amikor ez a várható érték meghatározásának a pontosságát nem befolyásolja. Ezt minden függvény esetén jelzem.

A vizsgálataimban a regressziós egyenes egyenlete csak a pozitív tartományban értelmezhető, azaz az értékkészlete (R_f) nullát vagy annál nagyobb értéket vehet fel ($y \geq 0$). Ezt a különböző függvényeknél nem jelzem külön.

A regresszióanalízis során kapott adatok további elemzése tehát arra is választ ad, milyen módon prognosztizálható az alapanyag DON-toxin szint csökkenésének a mértéke a két tisztítógéppel végzett munkaművelet után, ha az adott évjáratban (betakarítástól betakarításig terjedő időszakban) a búzák kiinduló toxintartalmát ismerjük. A vizsgálataimban ezt a V_1 mintavételi helyen mértem, a gyakorlatban viszont a malmok az előminták, illetve a telephelyre szállításkor mért toxinadatokkal helyettesíthetik ezeket az értékeket. Ennek az a gyakorlati jelentősége, hogy az alapanyag felvásárlása a búzátételek megmintázásával (előmintázással), és a toxintartalmuk meghatározásával történik. Majd a telephelyre történő beszállításkor, a belső szabályozásban meghatározott gyakorisággal a búzátételek toxintartalmát visszamérik a malom laboratóriumában (3.1.2. fejezetben leírtak szerint). Tehát a felvásárolt búza kiinduló toxintartalmára vonatkozóan több adat is az őrlést megtervező szakemberek rendelkezésére áll, mivel ez a vizsgálati rend a technológia részét képezi a malomban. Tulajdonképp ezeket az adatokat használják fel jelenleg is az alapanyag egalizálásához, mert az előmintázáskor a tételeknek nemcsak a toxintartalmát, hanem egyéb minőségi paramétereit is meghatározzák.

A regresszióanalízisre alapozott módszer kidolgozásával és gyakorlati alkalmazásával az említett adatokat a gyártástervezésben is hasznosítani lehet. Ezt azért tartom hangsúlyosnak, mert a búza felvásárlását és egalizálását a mai napig empirikus úton állapítják meg a malmokban. A magas DON-kockázatú években azonban van jelentősége annak, hogy számadatokra alapozott, meghatározott valószínűségi szinten tudják tervezni a toxincsökkenés mértékét a tisztítási folyamatban. Természetesen ebben az esetben is be kell tartani a malmokban a vonatkozó jogszabályi előírásokat, tehát határérték feletti búzátételek nem vásárolhatók fel. De épp ennek a betartásához nyújt segítséget az általam kidolgozott módszer. A regresszióanalízis alkalmazásával még a magas DON-kockázatú években is szakmailag korrektebben meg tudják tervezni, optimalizálni tudják a szakemberek a felvásárlást, ismerve a búzátételek minőségi paramétereit és toxinszennyezettségét. Ha már a felvásárlásnál lehet számolni azzal, hogy a jogszabályi határértéken belüli szennyezettségű tételeknél milyen mértékű csökkenés várható a tisztítás után, a búza minőségi paramétereit is nagyobb mértékben figyelembe vevő, tudatosabb alapanyag kiválasztásra van lehetősége a malmi szakembereknek. Tehát a módszer alkalmazása lehetővé teszi a felvásárlás oly módon történő megtervezését, amivel a végtermék kémiai szennyezettségének minimalizálása, és a minőség optimalizálása megvalósítható.

A jelen gyakorlat szerint a végtermékben végzett nagyobb számú, azaz utólagos mérésekkel, laborvizsgálattal tudják ellenőrizni a toxintartalomra vonatkozó, tapasztalati úton meghozott

döntések eredményességét. Azon túl, hogy ez költséges, az utólagos vizsgálatok élelmiszerbiztonsági szempontból is aggályosak. Mindamellet nemmegfelelőség esetén igen jelentős kár lehet a következmény. A regressziószámítás adatait használva az egalizálás során, a kiválasztott és felvásárolt búzatételekből pontosabban meghatározható a keverési arány a magas DON-kockázatú évjáratokban is. Ennek segítségével egy jól definiált intervallumon belül tudják a tervezéskor optimalizálni a különböző kiinduló toxintartalmú búzatételek megfelelő arányának meghatározásával a toxinszintet, úgy hogy a lehető legjobb minőségű végterméket tudja előállítani a malom az adott évjáratban. Természetesen ebben az esetben sem válthatók ki az ellenőrző mérések, amelyek a végtermék biztonságos voltát igazolják. De kisebb számban és a nemmegfelelőség alacsonyabb kockázatával történhet ez meg. Tehát a módszer élelmiszerbiztonsági szempontból a megelőzést szolgálja.

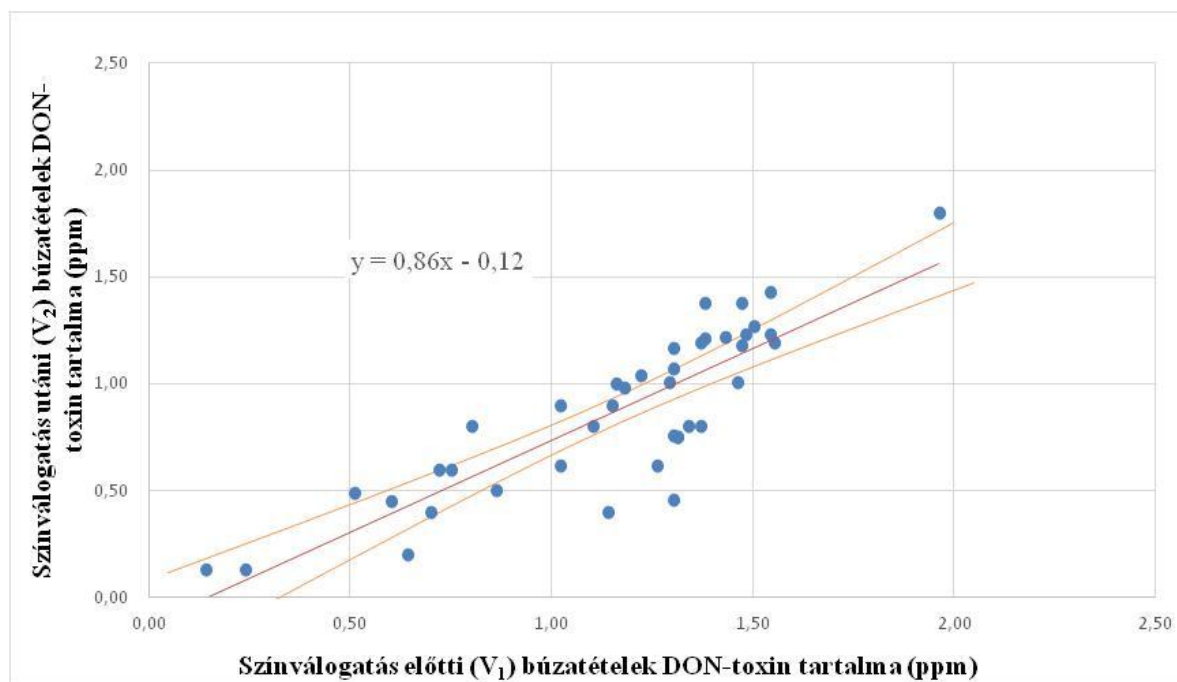
A kísérleti mintákkal végzett regressziószámítás eredményeit a 4.22-4.35. ábrák tartalmazzák. Az ábrákba berajzolt regressziós egyenesekre ráillesztettem a konfidenciasávot. A sáv azt mutatja meg 90%-os valószínűséggel, hogy ha a független változó (x) adataiból megbecsüljük az y átlagértékét, vagyis a kiinduló toxinszintből a tisztítás utáni toxinszintet, akkor az a becslés milyen hibával terhelt. A 90%-os valószínűségi szint az előző bekezdésben leírt optimalizáláshoz szakmailag teljes mértékben megfelelő. Minden regressziós függvény egyértelműen mutatja, hogy minél jobban eltávolodunk bármelyik irányba az egyenes mentén a független változó, vagyis a kiinduló toxinszint átlagától, annál nagyobb konfidencia határokat kapunk. Az alacsonyabb kiinduló toxinszintek esetén (x közelít a nullához) ennek nincs jelentősége, mert azok élelmiszerbiztonsági szempontból nem járnak magas kockázattal. A nagyobb DON-toxin tartalomnál van annak szerepe, hogy minél pontosabban lehessen megbecsülni a tisztítás utáni értékeket. A grafikonokból az látszik, hogy a kísérletben, vagyis a malmi búza mérési eredményeinél, a jogszabályi határértéken belüli toxintartalmú búzáknál (< 1,75 ppm) jár a legkisebb hibával a becslés. Ezt követően a sáv egyre erőteljesebben szélesedik, ami a becslési pontosságot jelentősen rontja. Ez a malomipari gyakorlati használhatóság szempontjából fontos megállapítás. De nem jelenti azt, hogy más kísérletekben, amikor nem élelmiszeralapanyag vizsgálata történik, vagyis amikor a jogszabályi határérték feletti búzatételek nagyszámú vizsgálatára is lehetőség nyílik, az átlagértékek eltolódása miatt a magasabb toxinkoncentráció esetén is nagyon kis hibával lehessen becsülni az adatokat. A kísérlet regressziós ábrái megmutatják, hogy a búzatételek keverési arányának jelenlegi empirikus úton történő meghatározásához képest a valószínűségi számítás módszerét használva jobban kalkulálható az alapanyag-előkészítési folyamata. De újra szeretném hangsúlyozni, hogy egy malomban a jogszabályi határértéken belüli toxintartalom esetén van lehetőség a tisztítási határfok becslésére.

A búzatételek felvásárlásához és keverési arányának a meghatározásához a teljes tisztítási folyamat regressziós egyenesének az egyenlete vagy a konfidenciasáv adatainak felhasználása ad elsősorban támpontot. Viszont, ha már ismerjük egyenként a halmaztisztítás és a felülettisztítás hatásosságát is, ezen információk alapján érdemes deklarálni, hogy a gépek egyedileg kellő biztonsággal csökkentik-e a toxintartalmat. Illetve arra is egyértelmű választ kell adni, hogy akár az optikai válogatás, akár a felülettisztítás toxincsökkentő képességének ismeretében következtetni tudunk-e a teljes tisztítási folyamat eredményességére, ha mindkét gép a tisztítási folyamat részét képezi. Azért tartom fontosnak e kérdések felvetését és tisztázását, mert egyrészt vannak olyan malmi technológiák, ahol még nem teljes körű a korszerűsítés, és nem alkalmazzák mindkét gépet a folyamatban. Ezekben az esetekben a vizsgálati eredményeim a feldolgozási folyamat fejlesztéséhez nyújthatnak támpontot a malmi szakemberek számára. Másrészt, ha már a malomipari tisztítás részét képezik az optikai válogató és a korszerű felülettisztító gépek, nem biztos, hogy van lehetősége a szakembereknek egy adott búzatétel toxinváltozásának lekövetésére a teljes folyamatban. Ehhez ugyanis megfelelő műszaki feltételekkel kell rendelkeznie a malomnak. A toxinváltozás nyomonkövetése viszont a tisztítás utáni DON-toxin tartalom várható értékének meghatározása szempontjából alapkritérium. Ha nincs mód a teljes

tisztítási folyamat hatásosságának meghatározására egy adott évjáratban, ezekben az esetekben fontos információt jelenthet, hogy lehet-e az egyik vagy másik gép adatai alapján következtetni a malmi tisztítás eredményességre. Más szóval, valamilyen arányosság felfedezhető-e a gépek teljesítése és a teljes tisztítási eredmény között. E kérdésekre adott válaszok is ráirányítják a figyelmet olyan szempontokra, amelyek az élelmiszerbiztonsági feltételek javításához, azaz egy rövid távú folyamattervezéshez, és egy hosszabb távú fejlesztési terv elkészítéséhez elengedhetetlenek.

Először a Sortex színválogatás előtt és után megszedett mintapárok (V_1 ; V_2) adataira vonatkozó függvényt határozom meg a három évjáratban (4.22-4.26. ábra).

A 2013. évjárat búzatételei közül a V_1 és V_2 mintavételi hely mintapárjainak az adataira illeszkedő függvény egyenlete: $y = 0,86x - 0,12$, értelmezési tartománya, a korábban leírtaknak megfelelően: $D_f = [0; 1,75]$ értékben adható meg (4.22. ábra). A korrelációs együttható azt mutatja ($r = 0,85$), hogy a változók közötti kapcsolat erős (1. táblázat). Vagyis az egyenlet alapján számítható a tisztítás utáni toxinszint várható értéke. A korrelációs egyenes egyenlete alapján a kimeneti DON-toxin szint (V_2) lehetséges értékét úgy tudjuk kiszámítani a bemeneti búzatétel (V_1) toxintartalma alapján, hogy vesszük annak a 86%-át, majd a kapott értéket csökkentjük 0,12 ppm-el. Ez azt jelenti, hogy a feldolgozási folyamatban mintegy 24%-al csökkenthető a toxinszint az optikai válogatás hatására ebben az évjáratban. Ez azt mutatja, hogy a malmi búza és a belőle gyártott liszt biztonságát növelni lehetett ezzel a munkaművelettel.



4.22. ábra A Sortex Z+ színválogatás előtt (V_1) és után (V_2) megszedett minták regressziós függvénye 2013. évjárat adatai alapján

Az optikai válogatást követő várható toxincsökkenés mértékének másik meghatározási módját, ami véleményem szerint a gyakorlatban könnyebben használható az egyenes egyenleténél, a regressziós egyenesre illesztett konfidenciasáv adatai jelentik (4.22. ábra). Ennek előnye, hogy a konfidenciasávot meghatározó adatok táblázatba rendezhetőek, és ebben a formában könnyen leolvashatóvá válnak bárki számára. A táblázatba foglalt adatok jól definiálják azt az intervallumot, amilyen értékeket a tisztítás után felvehet az őrlésre kerülő búza toxinszintje. Tehát ebben az esetben eredményként nem csupán egy átlagértéket kapunk, mint az egyenlet használatakor. Az intervallum alapján meghozott döntéshez a szakembereknek a szakmai tapasztalataik, valamint az egyéb feltételek, minőségi elvárások ismeretében kell átgondolniuk a

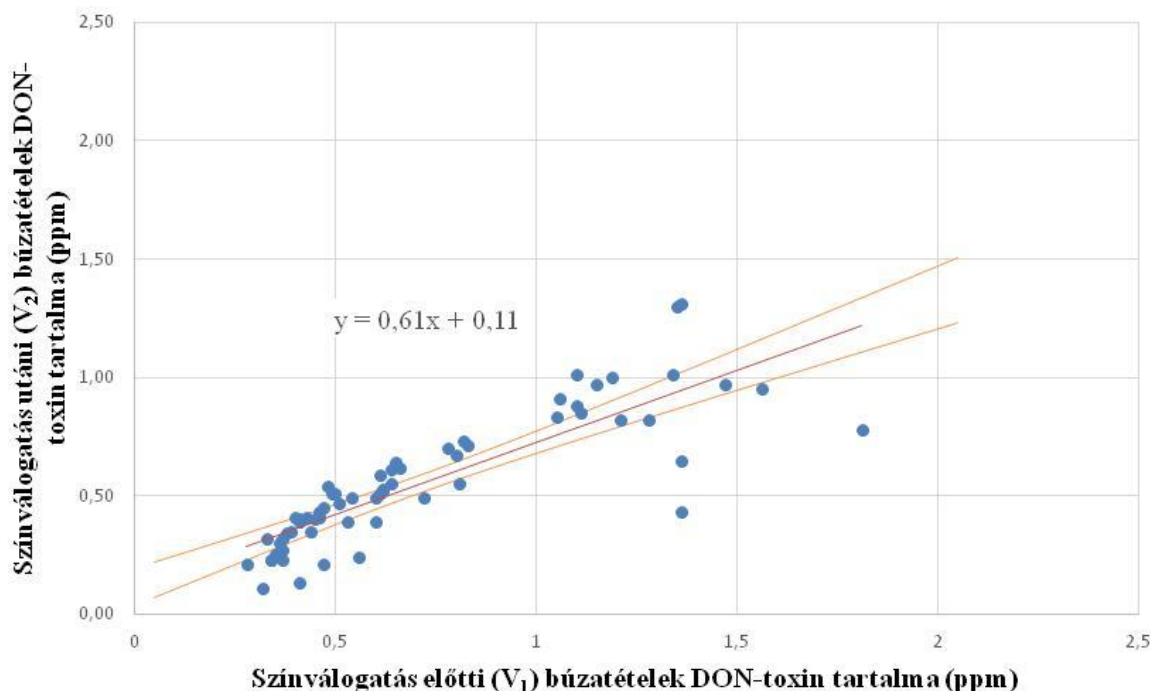
tisztítás hatásosságát, azaz annak várható eredményességét. Ez egy adott termelési környezetben, vagyis konkrét malomipari folyamatban korrektebb megoldást adhat.

A 2013. évjárat konfidenciaintervallum adatait a 3. melléklet tartalmazza. A táblázat első oszlopában található a búzatétel kiinduló toxinszintje sávokra osztva, míg a második oszloptól a tisztítás után elérhető minimális és maximális DON-toxin koncentrációt találjuk meg az egyes évjáratokban. E táblázatból könnyen leolvashatóak az adatok mindenki számára és viszonylag egyszerűen optimalizálható a búzátételek felvásárlása, illetve a felvásárolt tételek egalizálása során a keverési arány egy adott évjáratban. A 2013. évben megtermesztett búzák esetén 0,30 ppm-ig a minimális érték negatív számot vett fel. Ez azonban csak matematikailag értelmezhető adat, és a kísérlet korrekt számadatainak közlése miatt tüntettem fel így a táblázatban. A malmi gyakorlatban azonban azt jelenti, hogy az optikai válogatás után a minimum toxinszint e tartományban nullának tekinthető és érdemes a szakemberek számára használt táblázatban ezt az értéket beírni. A malomipari gyakorlatban a felvásárlás és az egalizálás megtervezéséhez a konfidenciaintervallum adatait tartalmazó táblázatba elegendő a függvény értéktartományának felső határáig megadni az adatokat. Ez a kísérletben a DON-toxin jogszabályi határértékével egyezik meg a durumbúzára vonatkozóan. A dolgozatban azért adtam meg 2,05 ppm-ig az értékeket, mert igazolni akartam, hogy hogyan változik az intervallumszélesség, és ezzel egyetemben a várható érték meghatározásának a pontossága, ha távolabb kerülünk az átlagos toxinszinttől. Ezek a jogszabályi határérték feletti adatok csak a kísérlet szempontjából relevánsak, ezért a 3. mellékletben eltérő színnel jelöltem azokat.

A toxincsökkenés mértékét tekintve a regresszióanalízis eredményeként kissé eltérő adatot kaptunk, mint a leíró statisztikában, ahol csak a mintapárokra korlátozottan végeztünk elemzést. Most viszont a valószínűségszámítás sajátosságaiból adódóan a tisztítási folyamatra ható minden tényező figyelembevételével (beleértve a véletlen hatásokat is) lehet meghatározni a búzátételekben várható toxincsökkenést az adott körülmények között. A konfidenciasáv alapján láthatjuk, hogy 90%-os valószínűségi szinten a legkisebb a sáv szélessége az 1-1,5 ppm közötti toxinszinten. A 4.22. ábra azt is mutatja, hogy az adatok jól becsülhetők egészen a jogszabályi határértékig. A felett kezd el növekedni a hibahatár. Ez viszont nem jelent problémát, mert a malmok búzafelvásárlását ehhez a határértékhez kell igazítani, ezért ez adja meg a becslési értéktartományt.

A 4.22. ábrán látható, hogy az $x=1,00-1,50$ ppm értéktartományban vannak úgynevezett „kiugró” adatok, amelyek viszonylag távol esnek a regressziós egyenestől. A szakirodalom szerint lehetőség van ezeknek az értékeknek a statisztikai kezelésére, azaz figyelmen kívül hagyására. A DON-toxin kísérletben, szakmai megfontolások alapján ezeket a pontokat megtartottam az adatfeldolgozás során. Egyrészt azért, mert a kiugró értékek kiszűrési lehetőségét és következményeit a teljes kísérleti rendszerre kellene alkalmaznom. Minthogy a vizsgált tételekben a V_1 , V_2 , V_4 , V_5 mintavételi helyek mintapárjai nem függetlenek egymástól, hanem összetartoznak, ennek következtében bármely kezelés értékelésnél (pl.: optikai válogatás hatásossága) észlelt kiugró adatokat kiemelve a vizsgálati rendszerből, a többi kezelés értékelésénél (pl.: felülettisztítás hatásossága és teljes tisztítási folyamat hatásossága) sem vizsgálhatnám a kiemelt ponthoz tartozó mintapárok adatait. Végeztem próbakiértékelést e tekintetben, de nagyobb torzító hatást okozott a kiugró adatok kezelése, mint az adatok megtartása, ha a tisztítás egészét lekövettem. Másrészt a regressziós grafikonok tanúsága szerint a kiugró értékek többsége, pontosabban azok, amelyek nem szorosan illeszkednek a regressziós egyenesre, alacsony „y” tartományban találhatóak. Vagyis e mintapároknál az átlagosnál jobb volt a tisztítás hatásossága. Ebből következően szakmailag nem indokolt ezeknek az adatoknak a kiemelése az analízisből. A döntésnél nem hagytam figyelmen kívül „r” értékét sem. A korrelációs együttható értékei mindenhol azt mutatták, hogy a függő és független változók kapcsolata erős. Tehát ez sem indokolja a kiugró adatok kezelését.

A 2014. évjáratban a Sortex színválogató gép előtt és után megszedett minták adataiból képzett regressziós egyenest a 4.23. ábra mutatja. Minthogy a korrelációs együttható értéke 0,85, az adatok között ebben az évjáratban is szoros összefüggés áll fenn. A függvény egyenlete: $y=0,61x+0,11$, $D_f = [0; 1,75]$. A V_1 mintavételi hely mintáinak az eredményéből a DON-toxin szint becslése úgy történhet, hogy a kezdeti toxintartalom 61%-ához hozzáadunk 0,11 ppm-et. Elmondhatjuk, hogy ebben az esetben kifejezetten jelentős mértékű toxincsökkenés érhető el az optikai válogatással.

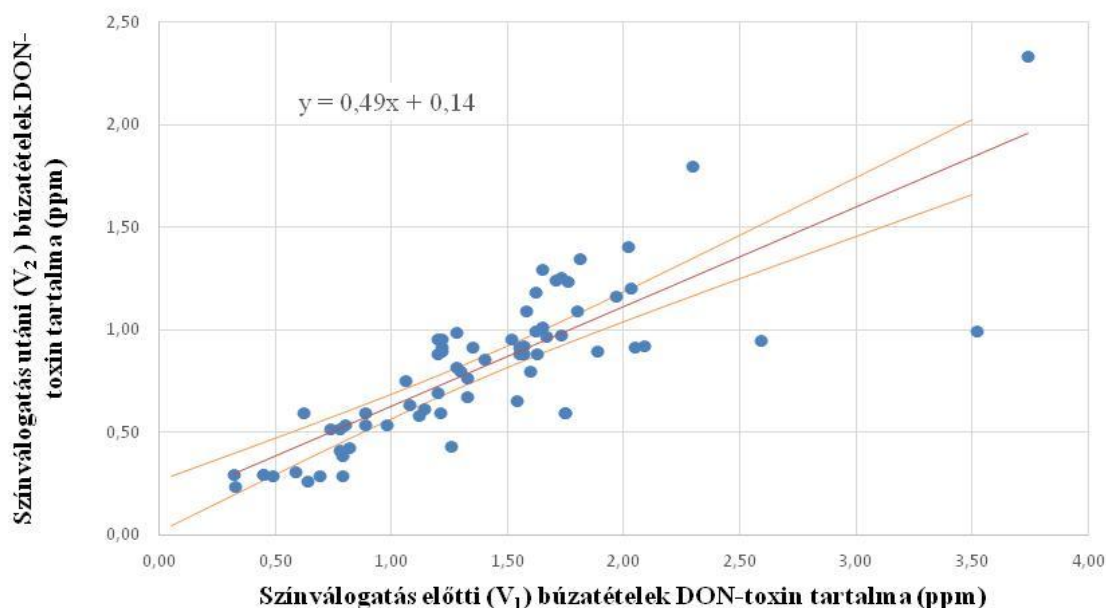


4.23. ábra A Sortex Z+ színválogatás előtt (V_1) és után (V_2) megszedett minták regressziós függvénye 2014. évjárat adatai alapján

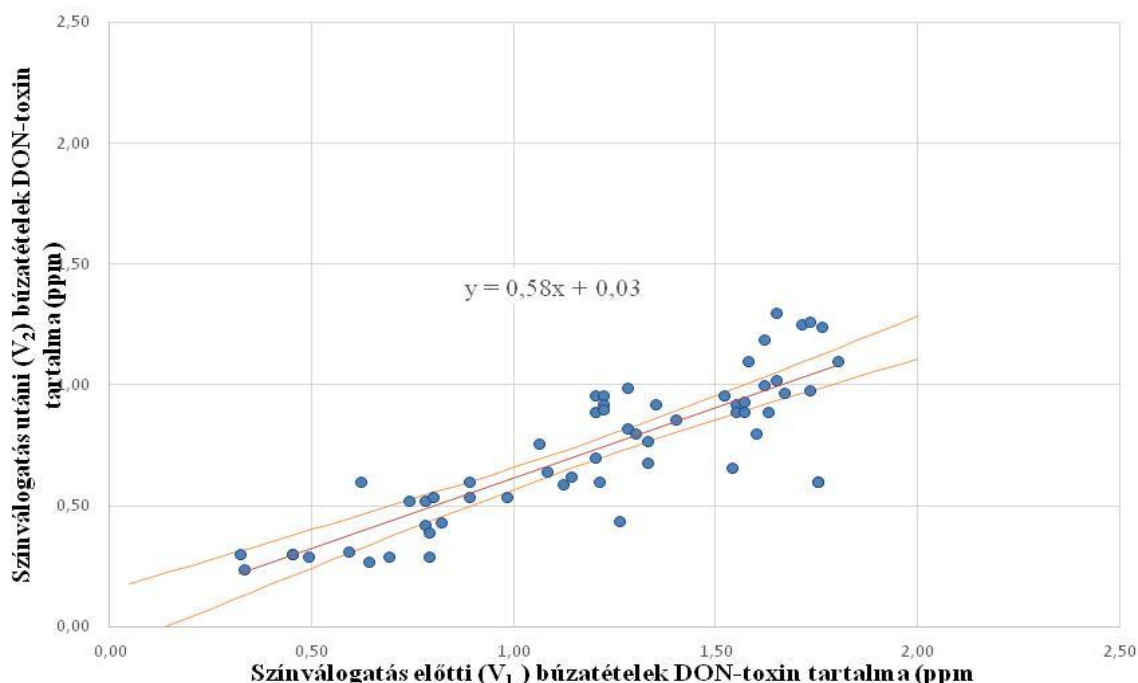
A gyakorlati számításokban egyszerűbben használható, a konfidenciasávot meghatározó adatokat a 3. melléklet tartalmazza. A hivatkozott mellékletben és a 4.23. ábrán látható konfidenciaintervallum tanúsága szerint a toxinszint változás előrejelzésénél a legkisebb becslési hibát ebben az évjáratban a 0,50-1,15 ppm-es tartományban érhetjük el. Ez az intervallum a tavalyi évinél alacsonyabb szinten van, ami a 2014. évi kisebb átlagos toxintartalommal magyarázható. A jogszabályi határértéken belül viszont ebben az évben betakarított búzák esetén is használhatóak a konfidenciasáv értékei a prognosztizálásra. A határérték felé közelítve már 0,20-0,25 ppm a sáv szélesség. Ha az optikai válogatás toxincsökkentő hatása alapján szeretnék megtervezni a szakemberek az őrléshez szükséges keverési arányt egy jogszabályi határértékhez közeli búzatétel esetén, akkor a 3. mellékletből leolvasható, hogy az optikai válogatás legjobb esetben 1,26 ppm-re, legrosszabb esetben 1,50 ppm-re tudja csökkenteni a toxintartalmat. Ezen adatokat ismerve a keverési arány számolásához használt konkrét érték a technológiai feltételeket figyelembe vevő szakmai döntés alapján hozható meg.

A 4.24. ábra mutatja a 2015. évjárat összes mintáinak (70 minta) adatai alapján képzett regressziós egyenest: $y = 0,49x + 0,14$. Értelmezési tartománya a kimagasló toxinszennyezettű búzatételek miatt eltér az eddig tárgyalt függvényekétől: $D_f = [0; 3,74]$. A változók ebben az esetben is erős kapcsolatban vannak, amit a korrelációs együttható értéke igazol ($r = 0,82$). A regressziós egyenlet alapján ebben az évjáratban a V_2 toxintartalma úgy becsülhető, hogy a V_1 toxinszint 49%-ból 0,14 ppm-et levonunk. A számítási mód mutatja, hogy az évjáratok összehasonlításában az eddigi legnagyobb mértékű toxinkoncentráció csökkenést

2015-ben a 70 darabos minták vizsgálata esetén érte el a színválogatás. Több, mint 50%-al csökkentek az értékek. Ebben az évjáratban a minták toxinszintje az előző kétévihez képest igen magas volt, sőt voltak kimagasló értékek is. Az eredményhez a magas kiinduló DON-toxin tartalom járult hozzá első sorban.



4.24 ábra A Sortex Z+ színválogatás előtt (V_1) és után (V_2) megszedett 70 mintából képzett regressziós függvénye 2015. évjárat adatai alapján



4.25. ábra A Sortex Z+ színválogatás előtt (V_1) és után (V_2) megszedett malmi búzaminták regressziós függvénye 2015. évjárat adatai alapján

A 2015. évi adatokból, ha csak a malomban feldolgozott 59 búzaminta adatait vizsgáljuk (4.25. ábra), akkor az látszik, hogy a változók közötti kapcsolat erőssége elenyésző mértékben, de javul ($r = 0,84$) a 4.24. ábra adataihoz képest. A korrelációs koefficiens 0,02-os javulása abból adódik,

hogy a kiemelkedő toxinkoncentrációval rendelkező minták adatai közül négy a regressziós egyenestől távolabb helyezkedik el, vagyis úgynevezett kiugró adatnak számít. Ezek az értékek a 4.25. ábra adataiból pedig automatikusan kikerültek.

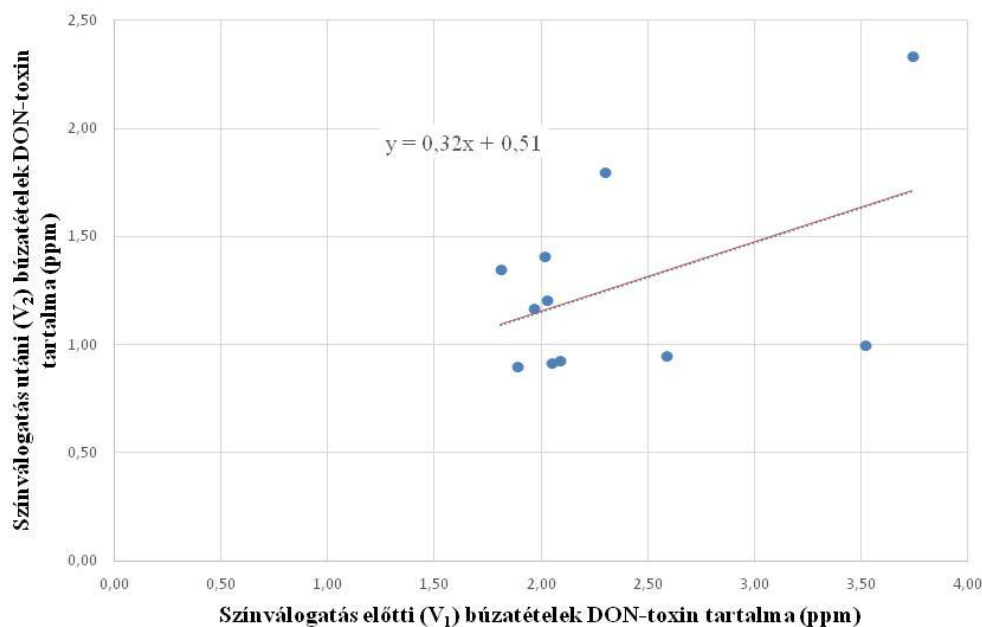
A regressziós egyenes egyenlete alapján ($y = 0,58 + 0,03x$; $D_f = [0; 1,8]$) megállapíthatjuk, hogy kisebb mértékű a toxincsökkenés az 59 mintát kiértékelő regresszióanalízisnél, mintha a 70 mintát együttesen vizsgáljuk. Hiszen x változó szorzószáma 0,58. Tehát a számítás első lépésében a kiinduló toxintartalom 58%-ával kell számolnunk a színválogatás után. A regresszióanalízis eredménye alapján arra következtethetünk, hogy a magasabb, határérték feletti toxintartalmú búzatételeknél nagyobb mértékű csökkenést okozott az optikai válogatás. Ez összecseng a leíró statisztikánál tapasztaltakkal is, és nem követi a 2013. és 2014. évi eredményeket. A helyes következtetéshez azt is le kell szögezni, hogy 2015-ben a mintapárok minden egyes vizsgálati csoportosításában nagyobb mértékű csökkenést produkált az optikai válogatás, mint az előző két évben. Tehát arra a következtetésre juthatunk, hogy az eredmény a fertőzés jellegével hozható összefüggésbe. Vagyis a búzatételekben nagyobb volt ebben az évben azoknak a szemeknek az aránya, amelyek színe, alakja eltért az egészséges szemekétől, és amelyeknél a toxintartalom a magbelsőben jelent meg nagyobb mértékben, nem pedig a héjrészben. A pontos következtetés levonásához össze kell majd vetni az adatokat a felülettisztítás eredményével.

A 2015-ös évi optikai válogatás eredményeit tovább vizsgálva a konfidenciasávot meghatározó adatok alapján az látszik, hogy a legkisebb becslési hibahatárt jelentő sáv helye a koordináta-rendszerben változik a 4.24. és a 4.25. ábrákon. A 4.24. ábrán „ x ” magasabb értékeinél, míg a 4.25. ábrán alacsonyabb értékeknél található. A 70 minta regressziós függvénye azt mutatja, hogy a jogszabályi határérték feletti minták esetén is viszonylag pontos előrejelzést adhatunk az optikai válogatás hatására, ha azokat a határérték alatti mintákkal együtt elemezzük.

A konfidenciasáv alakulásának előbb vázolt statisztikai törvényszerűsége kedvez a tisztítási folyamat toxincsökkentő hatásának előrejelzésében. Az eddigi adatok azt mutatják, hogy minél magasabb a kiinduló átlagos toxinszint, annál magasabb értéktartományban lehet a legpontosabb becslést végezni. Egy adott évjárat magas átlagos toxinszintje pedig azt feltételezi, hogy több olyan búzatétellel találkozhat a feldolgozási folyamatot megtervező szakember, ami közelít a jogszabályi határértékhez. Magas DON-kockázatú évjáratoknál épp ezeknek a mintáknak a tisztítást követő toxinkoncentrációját kell a legpontosabban megbecsülni a folyamat tervezéséhez, az élelmiszerbiztonsági feltételek biztosításához.

A jogszabályi határérték feletti tizenegy minta regressziós függvényét is elkészítettem (4.26. ábra). Bár a minták eddigi vizsgálati eredményei és a regressziós egyenes egyenlete ($y = 0,32x + 0,51$; $D_f = [0; 3,74]$), annak meredeksége alapján megállapítható, hogy az optikai válogatás után nagymértékben csökkent a kiinduló DON koncentráció. Viszont ha a korrelációs együtthatót vizsgáljuk ($r = 0,47$), az arra utal, hogy a változók közötti kapcsolat gyenge. Az eredmény alakulására a 4.24. ábra alapján számítani lehetett. Tehát a regressziós egyenes egyenletét használva a tizenegy adatra nem lehet pontosan prognosztizálni a toxinváltozást a kiugróan magas szennyezettségű búzatételeknél. Ennek okán már a konfidenciasávot sem volt érdemes ráilleszteni a tizenegy mintából álló grafikonra, hiszen látszik a pontok elhelyezkedéséből, hogy az sem adna használható információt. Az ábra azt mutatja, hogy ez a mintaszám nem elégséges ahhoz, hogy abból a statisztikai populációra vonatkozó következtetéseket vonjunk le. A kiugró értékeket tartalmazó minták olyan jellegű és számú analízisének, mint amit a malmi búza esetén végeztem nem volt, és az élelmiszerbiztonsági előírások miatt nem is lehetett célja e dolgozatnak. Viszont a kísérlet szempontjából egy különleges lehetőséget jelentett az említett tizenegy minta vizsgálata. Az 59+11, azaz a 70 minta együttes értékeléséből le tudtam vonni a kutatási céloknak megfelelő következtetést. Tehát a 11 minta további vizsgálatára vagy kiegészítésére nincs szükség. A leíró statisztikai vizsgálatok és a hetven minta együttes vizsgálati

eredményei azt mutatják, hogy olyan termelési környezetben, ahol nem élelmiszer feldolgozás folyik, vagyis az élelmiszerbiztonsági előírásokat nem kell betartani (pl.: ipari felhasználás esetén), nagyobb tételszámmal érdemes analizálni a magas toxinszennyezettű alapanyagokra az optikai válogatás hatását egy-egy évjáratban. Valószínűsíthető a magas tisztítási hatások, ezért új kutatási témához adott így kiinduló információt az eredmény.



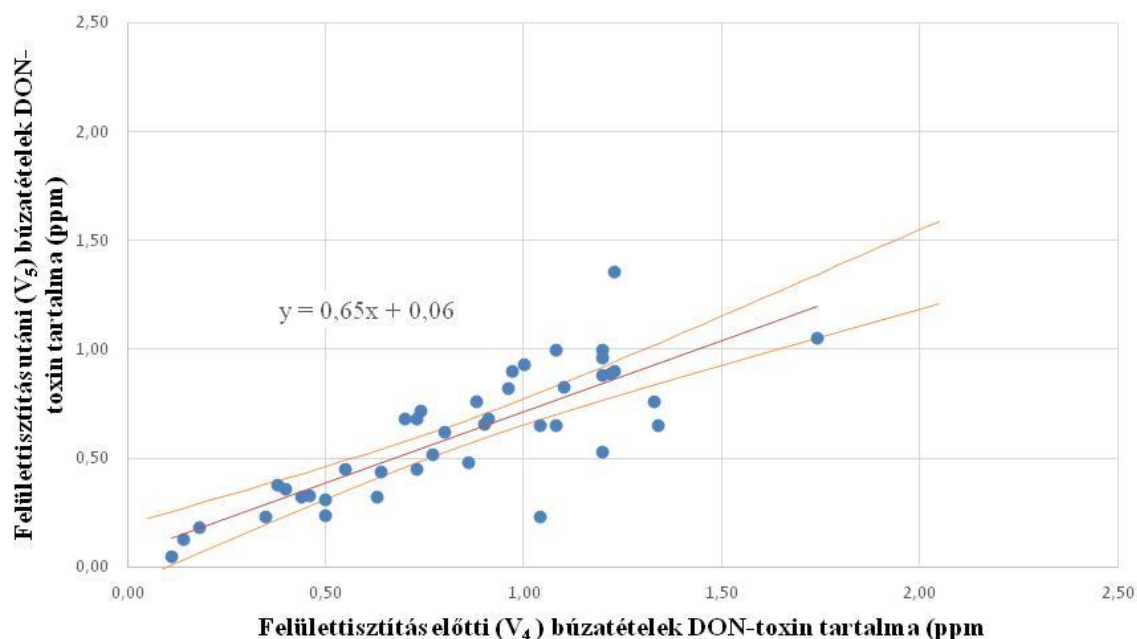
4.26. ábra A Sortex Z+ színválogatás előtt (V₁) és után (V₂) megszedett kimagasó DON-toxin tartalmú minták regressziós függvénye 2015. évjárat adatai alapján

Az optikai válogatáshoz hasonlóan a felülettisztítás DON-toxin tartalom változási adatait is feldolgoztam regresszióanalízissel, vagyis a V₄ és V₅ párokra is illeszttem regressziós egyenest mindhárom évjáratban (4.27-4.31. ábra).

A felülettisztítás eredményességét leíró függvények esetén az értelmezési tartományt a V₄ mintavételi helyek toxinértékei szerint lehet meghatározni. Ebben az esetben azonban a felső érték meghatározásánál nem a jogszabályi határértéket veszem alapul. Az indok, hogy a búzátételek már átestek egy optikai válogatáson, ami jelentős toxincsökkenést idézett elő a vizsgált évjáratokban. Az eddigi eredmények szerint a V₁ mintavételi hely adataihoz képest, a különböző években megszedett mintákban átlagosan 25-50%-os toxincsökkenésről indul a felülettisztítási folyamat. Tehát, ha az adatokat a hántolás utáni várható DON-toxin tartalom meghatározására akarjuk használni, akkor a becslés pontossága érdekében az értelmezési tartományt e jelenség figyelembevételével, vagyis a V₄ minták adatainak megfelelően kell megadni minden évben.

A 2013-ban betakarított búzánál az adatok között erős korreláció áll fenn ($r = 0,81$), amit a pontok elhelyezkedésével a 4.27. ábra is igazol. A regressziós egyenes egyenletét leíró adatok: $y = 0,65x + 0,06$; $D_f = [0; 1,74]$. Tehát itt a kiinduló toxinszint 65%-os értékéhez kell hozzáadnunk 0,06 ppm-et, hogy becsülni tudjuk V₅ értékét. Ha ugyanennek az évjáratnak az optikai válogatási eredményeivel összevetjük a hántolás utáni adatokat, az látszik, hogy a felülettisztítás jóval nagyobb toxincsökkentési arányt ért el (Sortex Z+ válogatógépnél az x szorzója 0,86 volt). A Schule Verticone VPC 480 felülettisztító gép oly módon tudott nagyobb mértékű DON-toxint kitisztítani a rendszerből, hogy előtte már egy válogatási folyamaton átestek az adott búzátételek. Az eredmény arra utal, hogy ebben az évjáratban a toxinkoncentráció főleg a búzaszemek

héjrészében halmozódott fel, és kevesebb volt azoknak a búzaszemeknek az aránya a halmazban, amelyek optikailag eltértek az egészséges szemektől.

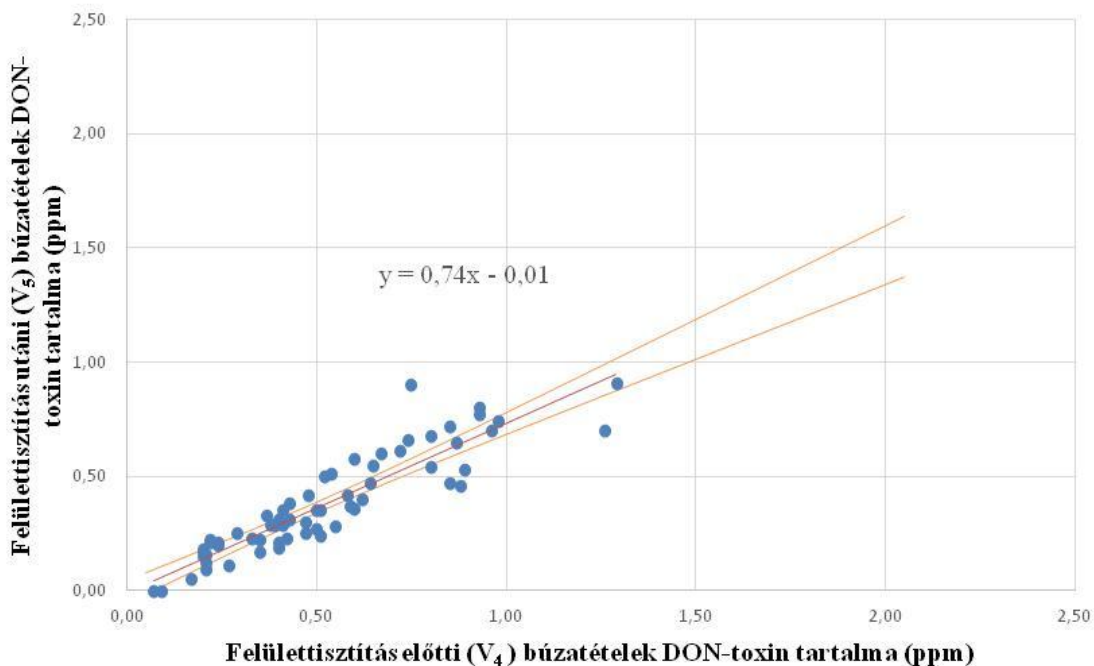


4.27. ábra Schule Verticone VPC 480 felületlisztítő gép előtt (V₄) és után (V₅) megszedett minták regressziós függvénye 2013. évjárat adatai alapján

A konfidenciaintervallum azt mutatja a 4.27. ábrán, hogy a legkisebb hibával a 0,66-1,05 ppm tartományban jelezhetjük előre a toxincsökkenést. A Schule Verticone VPC 480 felületlisztítő gép adatainak az elemzésénél a konfidenciaintervallum adatok alakulását a jogszabályi határértéknél nem érdemes vizsgálni, mivel a búzátételek már átestek az optikai válogatáson, ezzel egyetemben a toxinszintjük csökkent. A 2013. évben konkrétan 24%-os volt a csökkenés mértéke a halmaztisztítás során. Vagyis jó közelítéssel, maximum 1,50 ppm körüli értéknél lehetnek még számunkra érdekesek a konfidenciaintervallumot meghatározó értékek az előrejelzés szempontjából. A 4.27. ábra ezt az eszmefuttatást alá is támasztja. A konfidenciasáv adatai szerint az 1,50 ppm-es értéket a felületlisztítés ebben az évben legjobb esetben 0,93 ppm-re, legrosszabb esetben 1,15 ppm-re csökkenti (4. melléklet).

A 2014. évjáratnál a felületlisztítés mintapárjaihoz tartozó regressziós egyenletet $y = 0,74x + 0,01$ alakban írható fel, értelmezési tartománya $D_f = [0; 1,29]$ (4.28. ábra). Tehát a V₄ mintavételi helyen mérhető DON-toxin koncentrációnak 74%-ából kell kivonni 0,01 ppm-et ahhoz, hogy megkapjuk a sűrűlógépen áthaladt búzátételek toxinszintjét. Ez kisebb mértékű tisztítási hatást jelent, mint amit ugyanebben az évjáratban a Sortex Z+ optikai válogatónál tapasztaltunk (ott x szorzószáma 0,61). Vagyis ebben az évjáratban az optikai válogatásnak volt valamivel nagyobb szerepe a toxincsökkentésben. Ha a hántológép adatait vizsgáljuk meg évjáratonként, akkor 2013-ban a felületlisztítés több toxint tudott eltávolítani a búzátételekből (x szorzószáma 0,65), mint egy évvel később. Természetesen nem feledkezhetünk el arról, amit a leíró statisztikai vizsgálatokból láthattunk, hogy a 2014. évi minták kiinduló toxinszintje alacsonyabb volt, mint 2013-ban. Más oldalról megközelítve az eredményeket, ha az optikai válogatás hatásosságát is figyelembe vesszük, akkor arra kell következtetni, hogy ebben az évben a toxinfelhalmozódás jellemzően nem a búza héjrészében történt. Mivel „r” értéke 0,91, a változók közötti kapcsolat nagyon szorosnak mondható. Az erős kapcsolat a 4.28. ábrán is egyértelműen látszik. A mintapárok adatai szorosan a regressziós egyenes mentén helyezkednek el. Ebből adódóan a konfidenciasáv szélessége még a jogszabályi határérték körüli toxinkoncentrációk esetén is 0,20 ppm körül alakul, annak ellenére, hogy ez már távolabb esik a legkisebb becslési hibahatártól.

jelentő sávától (4. melléklet). Az optikai válogatás eredményességével számolva a felülettisztításnál az 1,06 ppm-es maximum érték a meghatározó. A 4.28. ábrán csak két mintapár adatai szerepelnek e fölött.

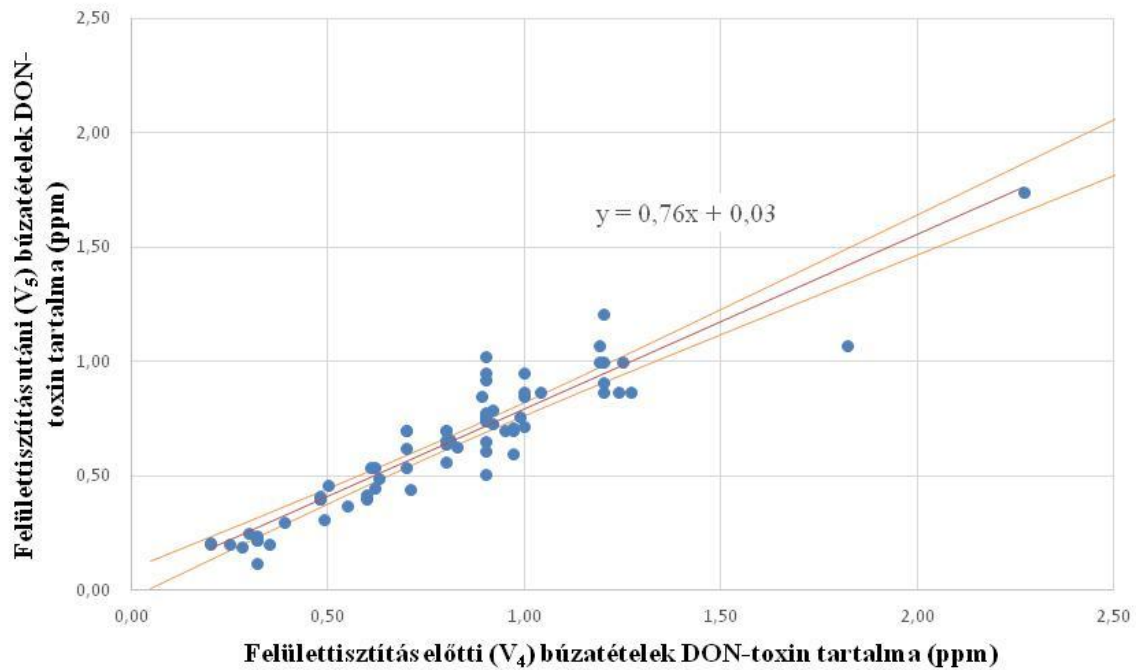


4.28. ábra Schule Verticone VPC 480 felülettisztító gép előtt (V_4) és után (V_5) megszedett minták regressziós függvénye 2014. évjárat adatai alapján

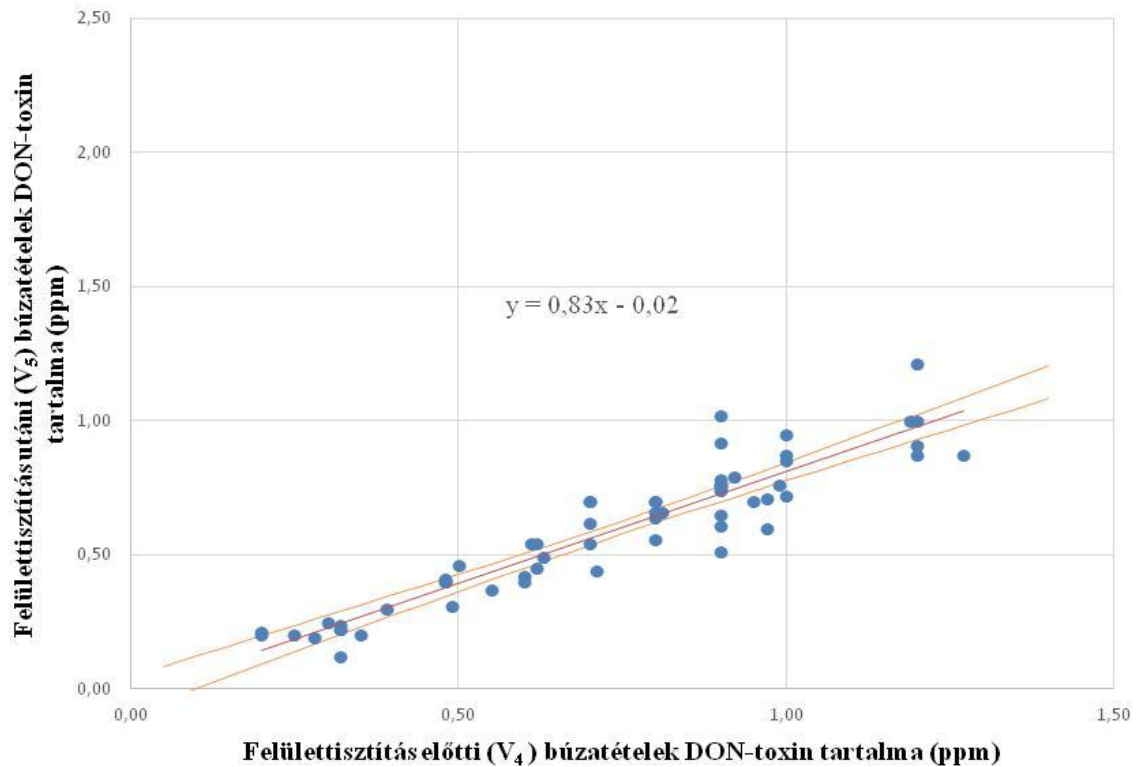
A 2015. évben betakarított búzák teljes 70 db-os (59+11 db-os) mintasorának felülettisztítási eredményeit vizsgálva, az előző évjáratához hasonlóan alakul a ponthalmaz elhelyezkedése az egyenes körül (4.29. ábra), a változók között igen erős kapcsolat áll fenn ($r=0,93$). Az ábrán két, a ponthalmaztól eltávolodó, mondhatni kiugró adatot látunk. A legnagyobb érték teljesen illeszkedik a regressziós egyeneshez, míg az ettől balra elhelyezkedő pont az egyenes alatt található, vagyis nagyon jó tisztítási hatásfokot jelez. Ebből következően ezeknek a kiugró értékeknek a statisztikai kezelése, azaz kiemelése, a függvény alakulására vagy nem lenne hatással, vagy szakmailag nem indokolt. A regressziós egyenlet alapján ($y = 0,76x + 0,03$; $D_f = [0; 2,27]$) a V_4 toxinértékek 76%-át véve, majd ahhoz 0,03 ppm-et hozzáadva kapható meg a búzátételek tisztítás utáni toxinkoncentrációja, ami az eddig vizsgált adatokhoz képest nem tűnik kimagaslónak. Ha összehasonlítjuk az elmúlt évek felülettisztítási adataival, akkor a 2013. évi adatnál kisebb mértékű, míg a 2014. év tisztítási hatásához közelinek mondható. Azt látjuk, hogy ennél a függvénynél a felülettisztításnál nem várt nagy számot kaptunk az értelmezési tartomány felső értékére. Ez a kimagasló toxintartalmú búzaminták miatt alakult így.

A konfidenciasáv azt mutatja, hogy az adatok alapján nagyon jól jelezhető előre a búzaszemek hántolása következtében várható toxincsökkenés a regressziós egyenes mentén, akár egészen a jogszabályi határértékig. Ez jóval túlmutat azon az intervallumon, amire a felülettisztítás fázisában szükségünk lehet a malmi búzák esetén.

A 2015. évjárat mintáiból kihagyva az őrlésre nem használható, magas toxintartalmú 11 mintát (4.30. ábra), azt látjuk, hogy a malmi búza esetén a felülettisztítás hatásossága visszaesett valamelyest. A regressziós egyenes egyenletében „x” szorzószáma emelkedett 0,83-ra ($y = 0,83x + 0,02$; $D_f = [0; 1,24]$). Ez jelzi, hogy ebben az évjáratban a toxincsökkentésben szintén nem a felülettisztítás játszott a fő szerepet a malmi búzában, hanem az optikai válogatás (a válogatásnál x szorzója 0,58).



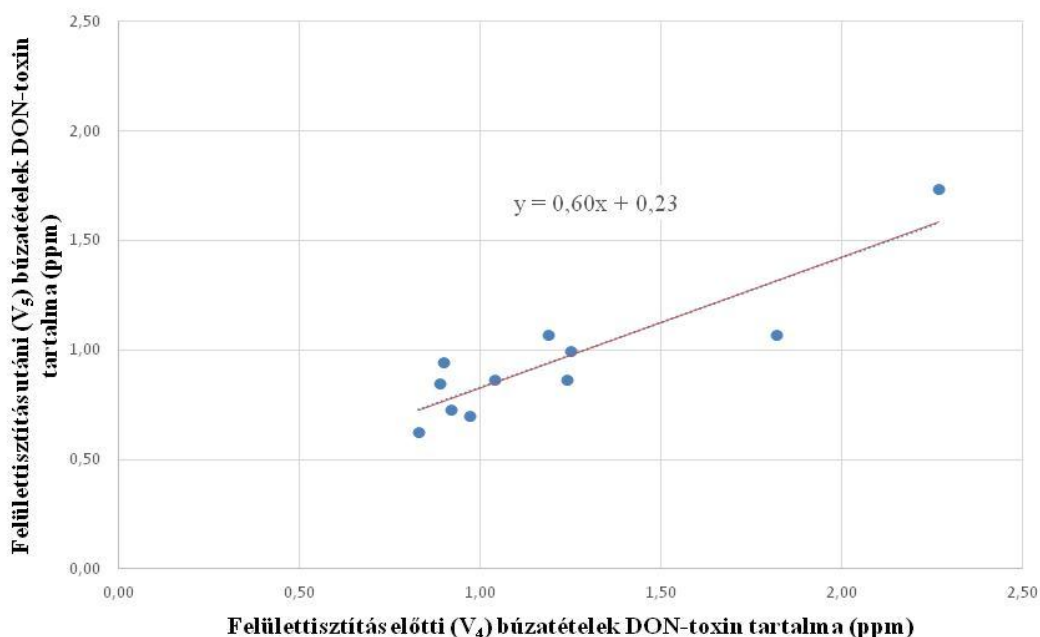
4.29. ábra Schule Verticone VPC 480 felületlisztító gép előtt (V₄) és után (V₅) megszedett 70 mintából képzett regressziós függvény 2015. évjárat adatai alapján



4.30. ábra Schule Verticone VPC 480 felületlisztító gép előtt (V₄) és után (V₅) megszedett malmi búza minták regressziós függvénye 2015. évjárat adatai alapján

Ha az 59 és a 70 minta eredményeit hasonlítjuk össze, arra a következtetésre juthatunk, hogy a malmi búzánál valamivel rosszabb hatásfokú volt a felülettisztítás, mint a magas toxinszennyezettű tételek esetén. A korrelációs koefficiens az 59 minta adatainál azt mutatja, hogy a változók között igen szoros kapcsolat van ($r=0,91$). A konfidenciasáv pedig nagyon szorosan illeszkedik a regressziós egyenesre, tehát a sávot meghatározó adatok a toxinszint várható értékének a meghatározására kiválóan használhatóak a malmi feldolgozásra szánt búzatételek esetén (4. melléklet).

Ha külön vizsgáljuk a tizenegy mintát, a regressziós függvény alapján messzemenő következtetéseket levonni nem érdemes. Viszont a 70 minta és az 59 minta regressziós egyenletének összevetése alapján megállapítható következtetések miatt, érdekességként és gondolatébresztőként ábrázoltam a kimagasló búzatételek mintapárjait egy koordináta-rendszerben (4.31. ábra). Az ábra azt mutatja, hogy a mintapárokból képzett pontok a regressziós egyeneshez szorosan illeszkedve helyezkednek el, $r=0,90$. Tehát vannak olyan évjáratok, amikor a korszerű felülettisztító géppel a kiemelkedő toxinszennyezettű búzatételek is jól kezelhetők. Azonban arra a kérdésre, hogy ez általánosan igaz-e vagy csak egy adott betakarítási évre vonatkozatható a megállapítás, több vizsgálatra lenne szükség. A különböző évjáratokban vizsgált tételek eredményeinek az összehasonlítása adhatja meg a tökéletes választ. Ez azonban már egy másik kutatás témája lehet. A vizsgálati eredményeim azt mutatják, hogy az optikai válogatás és a felülettisztítás hatásossága évjáratonként eltérő, ezért valószínűsíthető, hogy a kiemelkedően magas toxinszennyezettű búzánál is változó lehet a tisztítás eredményessége a különböző betakarítási években.



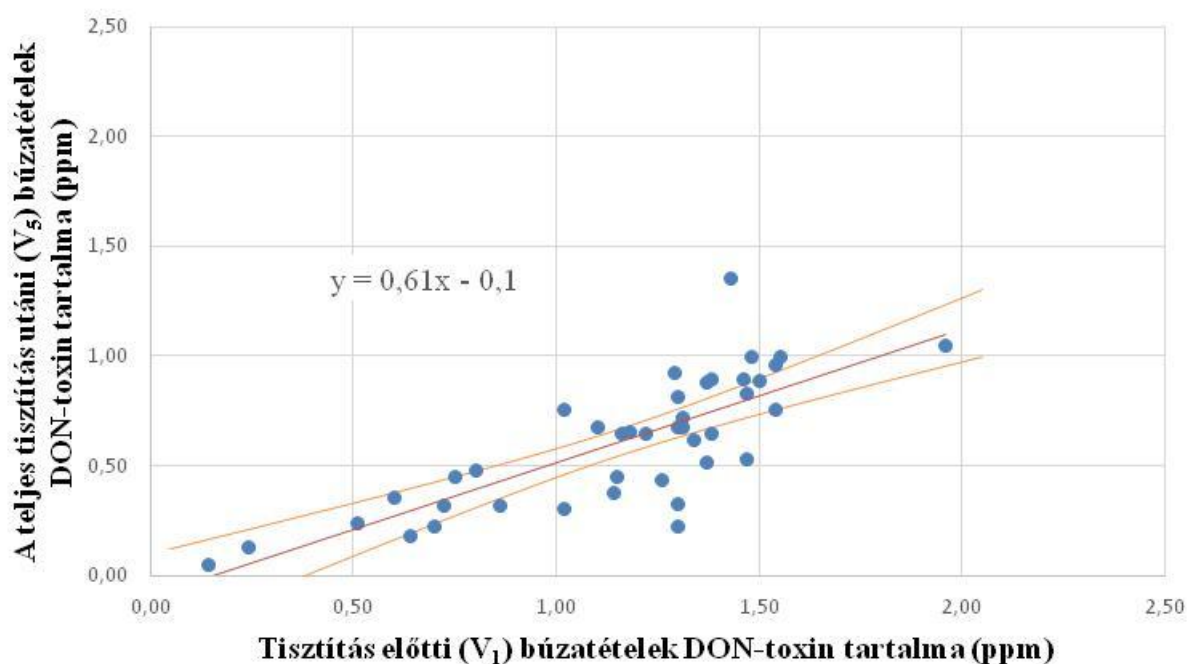
4.31. ábra Schule Verticone VPC 480 felülettisztító gép előtt (V₄) és után (V₅) megszedett kimagasló DON-toxin tartalmú minták regressziós függvénye 2015. évjárat adatai alapján

Végezetül azt vizsgálom meg, hogy a tisztítás egészének milyen volt a hatásfoka. A V₁ mintavételei hely mintáinak és a V₅ mintavételei hely mintáinak évjáratonkénti összevetésével kapunk erre a kérdésre választ (4.32-4.35. ábra).

A 2013. évi adatok azt mutatják (4.32. ábra), hogy a V₁ és V₅ mintavételi helyek mintáinak a DON-toxin tartalma között a kapcsolat erősnek mondható ($r = 0,78$). Tehát kijelenthetjük, hogy a

változók együttmozgása statisztikailag igazolható a tisztítás előtt és a folyamat végén megszedett minták esetén is. Vagyis a regresszióanalízis alkalmas a DON-toxin tisztítás utáni várható értékének a meghatározására. Ellenben a ponthalmazból az is látszik, hogy a mintapárok közül néhány az alsó konfidenciasávon kívül esik, amelyek a korrelációs koefficiens értékére csökkentő hatást gyakorolnak. Viszont ezek az adatok az átlagosnál jobb tisztítási hatásfokot mutatnak. Tehát a kísérleti cél szempontjából kedvező eredményt adnak. A konfidenciasáv fölött egy kiugró adat mutatkozik. Ezt azért nem kezeltem a statisztikai gyakorlatnak és metodikának megfelelően, mert akkor e pontokhoz tartozó mintapárokat a halmazzisztítás és a felületisztítás értékelésében sem használhattam volna fel, ami torzítólag hatott volna. Ellenben a számításaim szerint az 4.32. ábra regressziós függvényén lényegi változást nem okozna e pont kiemelése.

A függvény jelzi, hogy a teljes tisztítási folyamat eredményében már több egyéb tényező hatása is érvényesül, mint amit a két tisztító berendezésnél közvetlenül mért adatok vizsgálatánál tapasztalhattunk. A technológiai folyamatot ismerve ez természetes. Vegyük például azt az esetet, ha a fuzáriummal viszonylag korán fertőzött virágokból kisebb és könnyebb, esetleg kevésbé kemény magvak fejlődnek. Akkor azokat a technológia más tisztító berendezései is eltávolíthatják a rendszerből, bár véletlenszerűen. Erre vonatkozó vizsgálati eredményeket a 4.6. fejezet mutatja be.



4.32. ábra A malmi búzatételek kiinduló DON-toxin koncentrációjának (V_1) és a teljes tisztítási folyamatot követően (V_5) mért toxintartalom regressziós függvénye a 2013. évjárat adatai alapján

A regressziós egyenes szerint a kiinduló búzatételből a két tisztítási folyamat eredményeként bekövetkező toxinszint csökkenés ebben az esetben is az egyenes meredeksége alapján határozható meg ($y = 0,61x + 0,10$; $D_f = [0; 1,75]$). E szerint 61%-ra csökkent a teljes tisztítási folyamatban a toxinszennyeződés. Vagyis az adatok azt igazolják, hogy a 2013. évben a Sortex Z+ optikai válogató és a Schule Verticone VPC 480 felületisztító gépekkel együttesen csaknem 49%-al volt csökkenthető a DON-toxin koncentráció a búzatételekben. Megítélésem szerint ez igen komoly tisztítási hatásfokot jelent.

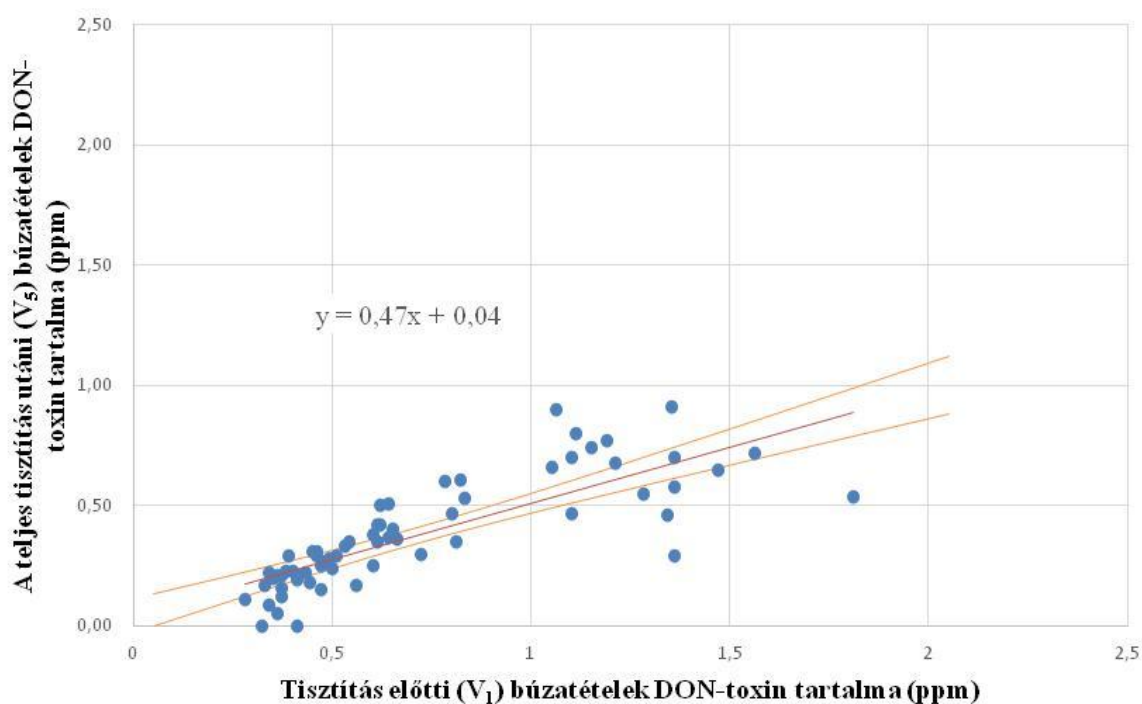
A regressziós egyenesek egyenleteinek összehasonlítása lehetővé teszi azt is, hogy az egyes

évjáratokban meghatározzuk, hogy a tisztítási folyamatban melyik gép csökkentette hatékonyabban a búzahalmaz toxinszintjét. Ebben az esetben is az x szorzóit, ami egyben az egyenesek meredeksége, azaz az „ a ” értékeket vetjük össze ($y=ax+b$). A meredekség minél kisebb értéket vesz fel, a tisztítás hatásfoka annál nagyobb mértékű. Mivel évjáratonként ugyanazoknak a tételeknek az összetartozó mintáit vizsgáltam a Sortex Z+ és a Schule Verticone gépeknél egyaránt, ezért az adatok összemérhetők.

A 2013. évi regressziós eredményeket összehasonlítva a Sortex Z+ optikai válogató (4.22. ábra) regressziós egyenesének meredekség értéke 0,86, míg a Schule Verticone VPC 480 felülettisztító gép esetén ez az érték 0,65 (4.27. ábra). Ebből látható, hogy ebben az évben a tisztításban jóval nagyobb szerepe volt a búzaszemek felületi hántolásának, mint az optikai válogatásának.

A malmi tisztítási folyamatot megtervező szakembereknek a teljes tisztítási folyamat hatásosságának a kalkulálásakor is érdemes a konfidenciasávot meghatározó egyenesek adataival dolgozniuk (5. melléklet). A 4.32. ábrából azt látjuk, hogy ezekkel az adatokkal a jogszabályi határértékg megfelelő pontossággal becsülhető a tisztítási hatásfok.

A 2014. évi adatokat a teljes tisztítási folyamatra vizsgálva az látszik (4.33. ábra), hogy a változók között ebben az esetben is szoros kapcsolat áll fenn ($r = 0,81$). A 2013. évhez hasonlítva az adatok jobban együttmozognak és a regressziós egyeneshez közelebb helyezkednek el.



4.33. ábra A malmi búzatételek kiinduló DON-toxin koncentrációjának (V_1) és a teljes tisztítási folyamatot követően (V_5) mért toxintartalom regressziós függvénye a 2014. évjárat adatai alapján

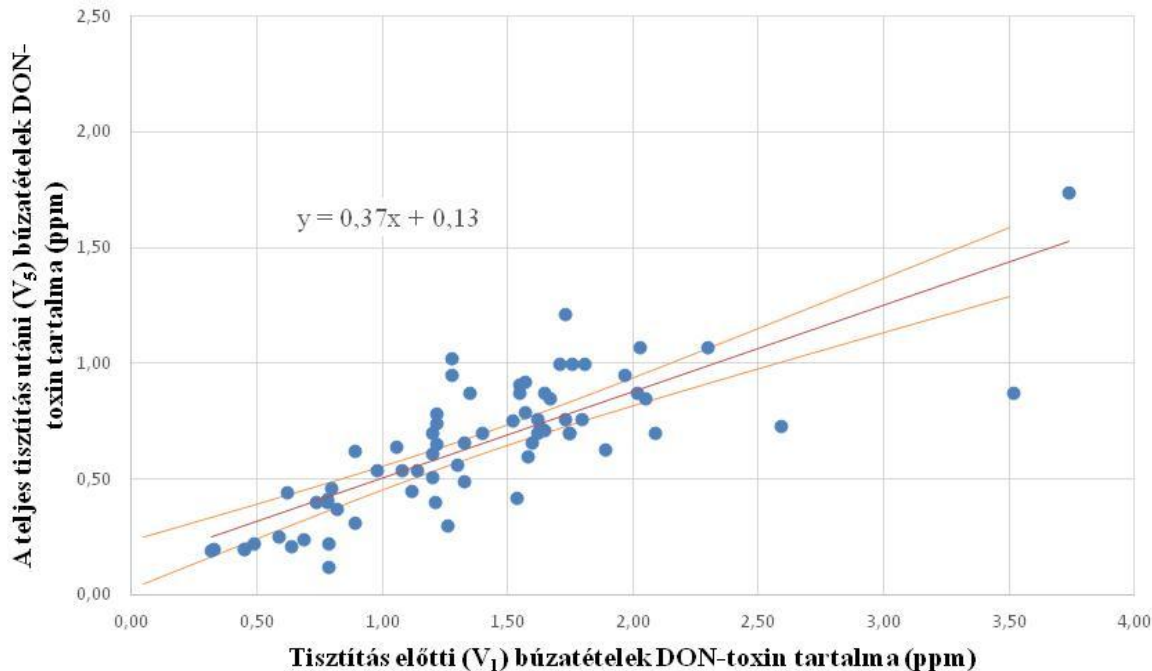
2014-ben a tisztítás után 0 ppm toxinszintet is mérhettünk. A regressziós egyenlet alapján úgy jelezhető előre a tisztított búzában várható toxintartalom, hogy a kiinduló toxinkoncentráció 47%-os értékéhez 0,04 ppm-et hozzáadunk ($y = 0,47x + 0,04$; $D_f = [0; 1,75]$). Ez azt mutatja, hogy az eddigi kísérleti eredményeket tekintve a legjobb hatásfokkal lehetett a tisztítási folyamat végére a toxinkoncentrációt levinni. A 2014. évi regressziós eredményeket áttekintve az optikai válogatás regressziós egyenesén a független változó (x) szorzószáma 0,61 (4.23. ábra), a

felülettisztítógép esetén pedig 0,74 (4.28. ábra). Tehát a 4.33. ábrán látható teljes tisztítási folyamat eredményességéhez elsősorban az optikaiválogatás járult hozzá nagyobb mértékben. De a két gép tisztítási hatásfoka között jóval kisebb a különbség, mint 2013-ban. Tehát 2014-ben a két tisztítógép valamivel kiegyenlítettebben működött.

A teljes tisztítás regressziós egyenesére illesztett konfidenciasáv azt mutatja, hogy a csökkenés mértékének a legpontosabb becslésére az 1,20 ppm-ig tartó kiinduló toxinszintnél van lehetőség. Ez a búzatételek alacsony toxinszennyezettségéből adódik. A jogszabályi határértékhez közelítő toxintartalommal rendelkező tételek esetén már nagyobb intervallum határok között mozoghat a kimeneti szennyezettség mértéke. Ebben az évjáratban a búzák malmi keverésénél ez azért nem jár nagy kockázattal, mert látjuk, hogy jóval kevesebb azon búzatételek aránya, amelyek meghaladják az előbb említett értéket, és sokkal nagyobb azoké, amelyek viszont nagyon alacsony toxintartalmúak lesznek a tisztítás következményeként. Tehát az őrlési folyamat tervezésénél lehetőség van arra, hogy szükség esetén a jogszabályi határértékhez közelítő toxinszennyezettségű alapanyagtételeket csak nagyon kicsi százalékban adagolják a búzakeverékbe, ami az összes toxinszintet nem növeli meghatározó mértékben.

A 2015. évjárat búzatételeit, a korábbi gyakorlatnak megfelelően ismét összetettebben vizsgálom (4.34-4.35. ábrák). Először mind a hetven minta adatai alapján következtetek az év búzatételeinek a tulajdonságaira.

Hasonlóan az előző év adataihoz, a 2015. évi regresszióanalízis azt mutatja (4.34. ábra), hogy a kiinduló toxinszennyezettség és a teljes tisztítási folyamatot követően mért toxin mennyiségének ppm értéke között szoros kapcsolat áll fenn. Tehát az optikai válogatás előtt és a felülettisztítás után megszedett mintapárok adatai bizonyíthatóan nem függetlenek egymástól ($r=0,80$).



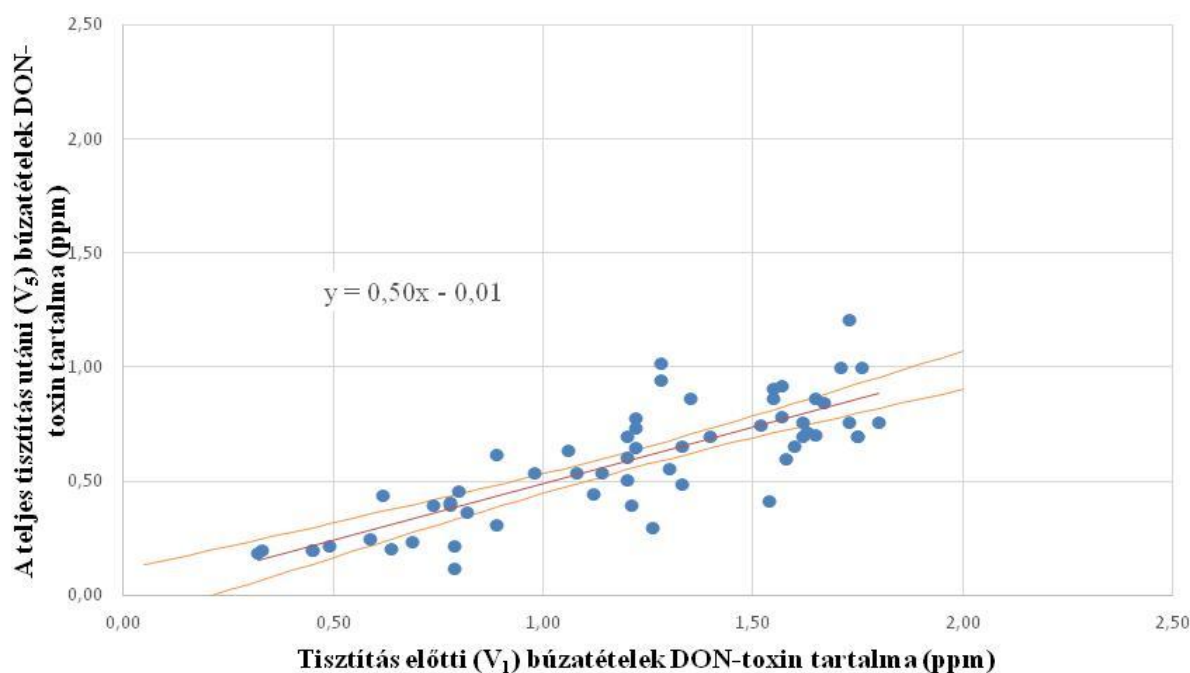
4.34. ábra A malmi búzatételek kiinduló DON-toxin koncentrációjának (V_1) és a teljes tisztítási folyamatot követően (V_5) mért toxintartalom regressziós függvénye 70 minta alapján (2015. évjárat)

A korrelációs koefficiens értéke azt igazolja, hogy meghatározható a kiinduló búzatételek DON-toxin tartalma alapján a végső tisztítás eredményessége ($y = 0,37x + 0,13$; $D_f = [0; 3,74]$). A V_1

minták értékeinek számoljuk a 37%-át, amihez 0,13 ppm-et adunk hozzá, így megkapjuk a V_5 mintavételi hely mintáinak a várható értékét.

Az előző évekhez viszonyítva 2015-ben megszedett hetven minta eredményei alapján állíthatjuk azt, hogy ebben a magas DON kockázatú évben a legnagyobb arányú a teljes tisztítási folyamat hatásossága. A 4.24. ábra tanúsága szerint ebből nagyarányban vette ki részét az optikai válogatás ($a=0,49$), míg 4.29. ábrán a regressziós egyenes egyenletéből leolvasható, hogy a felülettisztítás jóval kisebb mértékben ($a=0,76$) járult hozzá. Tehát elmondhatjuk, hogy a Sortex Z+ válogatógépeknek volt nagyobb szerepe a toxincsökkentésben a 2015. évben a 70 mintát vizsgálva.

Az 59 mintát jelentő malmi búza esetén 2015-ben a korrelációs együttható értéke 0,82, tehát a változók erős kapcsolata ebben az esetben is igazolható. A regressziós egyenes egyenlete: $y=0,50x-0,01$; $D_f = [0; 1,75]$ (4.35. ábra). A V_5 mintavételi helyen a toxintartalom meghatározásakor, első lépésben a V_1 minták értékeinek az 50%-át kell venni, ami igen nagyarányú csökkenést jelez. A konfidenciasáv azt mutatja, hogy az 5. melléklet adatainak a felhasználásával a jogszabályi határértékig megfelelő pontossággal becsülhető a tisztítás utáni toxintartalom. Az optikai válogatás és a hántolás részesedését vizsgálva a malmi búza teljes tisztításából ismét az látszik, hogy az optikai válogatás vette ki részét nagyobb mértékben a folyamatból, a kiinduló búzatételeknek 58%-ra vitte le a toxinszintjét (4.25. ábra). A Schule Verticone VPC 480 felülettisztító gép esetén ez az érték 83% (4.30. ábra).



4.35. ábra A malmi búzatételek kiinduló DON-toxin koncentrációjának (V_1) és a teljes tisztítási folyamatot követően (V_5) mért toxintartalom regressziós függvénye 59 minta alapján (2015. évjárat)

A gyakorlati szakember tehát előre tudja jelezni, hogy a kiinduló alapanyag toxinkoncentrációját várhatóan milyen mértékben tudja csökkenteni a tisztítási folyamat. Ehhez azonban egy megadott eljárásrendet követve kell meghatározni minden évjáratban azoknak a mintáknak az összetételét és a mintavételi helyét, amelyek reprezentálják az adott évben a toxinszennyezettség alakulását. E vizsgálati mintáknak a toxincsökkentését kell lekövetni a tisztítási folyamatban

3.2.3. pontban leírt rend szerint. Majd az adatokat regresszióanalízissel értékelve van lehetősége a szakembereknek annak a konfidenciasávnak a meghatározására, aminek az adatait táblázatba rendezve, egyéb szakmai szempontokat is figyelembe véve (pl.: búza minőségi paraméterei) tudják optimalizálni a búzatételek felvásárlását és az őrlés előtti egalizálást a megfelelő minőségű és biztonságú őrlemény előállításához a magas DON-kockázatú éveken is.

Első lépésben azoknak a mintáknak a kiválasztási módszerét kell jól meghatározni, amelyek reprezentálják egy adott betakarítási évben a DON-toxin szennyezettség mértékét és jellegét a búzatételekben, illetve amelyek alapján a regresszióanalízist végzi a malom. Ha a kiválasztott vizsgálati minták nem reprezentatívak, az többek között azzal a veszéllyel is járhat, hogy a függvény értelmezési tartománya nem a felvásárlásra szánt búzatételek toxintartalmához igazodik. Ez annak a kockázatát hordozza, hogy a tisztítás utáni DON-toxin tartalom várható értékének a meghatározása nem lesz megfelelő pontosságú.

A malmok a betakarítást követően először megmintázzák a potenciálisan felvásárlásra alkalmas búzatételeket. Az így begyűjtött, úgynevezett előminták minőségi paramétereit és toxinszennyezettségét is megméri. A jogszabályi határérték feletti búzatételeket a felvásárlásból azonnal kizárják. Ebben a fázisban a malmi szakemberek általában 2-4-szer annyi gabonátételt vizsgálnak be, mint amennyi a gyártáshoz szükséges. Ezek alapján az információk alapján választják ki azokat, amelyeket ütemezetten felvásárolnak, és amiből majd a feldolgozás folyik a betakarítástól betakarításig terjedő időszakban. A kiválasztott búzák előmintáinak toxinértékei azt a statisztikai populációt is definiálják, amelyekből a regresszióanalízishez vizsgálati mintákat kell gyűjteni.

Az előminták toxinszennyezettségi adatainak feldolgozása után lehet a vizsgálati minták összetételét, darabszámát meghatározni. Ez termesztési évenként eltérő lehet. A cél, hogy a statisztikai populáció minden egyes elemét azonosítsuk, és azok a mintánkba reprezentálhatóak legyenek. Ebben az esetben nem javasolható a minták véletlen kiválasztása, hanem a rétegzett mintavétel adhat megfelelő eredményt. Így a mintavételi hiba csökkenthető a homogenitás növelésével, illetve biztosítható, hogy a regresszióanalízis eredményeként meghatározott függvény értelmezési tartománya az adott évben kialakult DON-toxin fertőzésnek megfelelő legyen. A rétegzett mintavételezéssel tudjuk elérni azt, hogy a releváns változók mintabeli eloszlása megegyezzen a populációéval. Az előminták adatainak köszönhetően ismerjük az alapsokaság összetételét, így az alkalmazás feltétele adott. A gyakorlatban ez azt jelenti, hogy az előminták adatai alapján a felvásárlásra szánt tetteleket csoportosítjuk, kialakítva így a homogénebb részsokaságokat. Majd a csoportokból jelöljük ki azokat a búzatételeket, amelyek a vizsgálati mintákat adják úgy, hogy a mintabeli rétegek aránya megegyezzen az alapsokasági aránnyal. A módszer további előnye, hogy a legkevesebb minta vételét igényli, mivel rétegenként kisebb a variancia és kisebb lesz a becslési hiba. Vagyis kis elemű ($30 < n < 50$) mintaszám esetén is alkalmazható a módszer. A csoportosítás egyik lehetséges módja, ha gyakorisági diagramot készítünk hasonlóan a dolgozat 4.2., 4.4., és 4.8. ábráihoz. A feldolgozási folyamatot ismerő szakemberek határozzák meg, hogy milyen intervallumnagyságokat alakítanak ki a diagramban. Minél kisebb terjedelműek az intervallumok, annál kevesebb számú búzatétel kerül egy intervallumba, ami növeli a homogenitást, és annál pontosabb lesz a mintában a populáció toxinszennyezettségének lekövetése. Gondosan ügyelni kell arra, hogy minden egyes intervallumból arányosan kell meghatározni azoknak a búzatételeknek a számát, amelyeket a regressziószámításhoz használnak.

A kísérleti eredmények több szempontból jó támpontot, meggyőző eredményt jelentenek a gyakorlat számára. Igazolják, hogy korszerű berendezések alkalmazásával lehet úgy optimalizálni a malmi feldolgozás folyamatát, hogy az élelmiszerbiztonsági feltételeknek nagy biztonsággal megfeleljenek a végtermékek. A függvény ismeretében a búzatételek keverésével beállítható az a kiinduló toxinszint, ami még a legfertőzöttebb évjáratban is biztonságos

végtermék előállítását teszi lehetővé. Vagyis csapadékos évjáratban is az élelmiszerbiztonsági követelmények maximális figyelembevételével lehet az alapanyag felvásárlását és felhasználását optimalizálni és ezzel a veszteségeket minimalizálni.

A fenti adatok azt igazolják, hogy csak a két géppel együttesen lehet megbízhatóan lecsökkenteni a malmi búzában a toxintartalmat függetlenül a termesztési évben és a termőhelyeken kialakult hatásoktól. Az optikai válogatással és a korszerű felülettisztító gépekkel együtt a különböző tenyészidőben betakarított és az ország más-más területeiről származó búzák toxintartalma lecsökkenthető volt.

4.6. A színválogató és a hántoló gépek nélkül a tisztítás folyamata

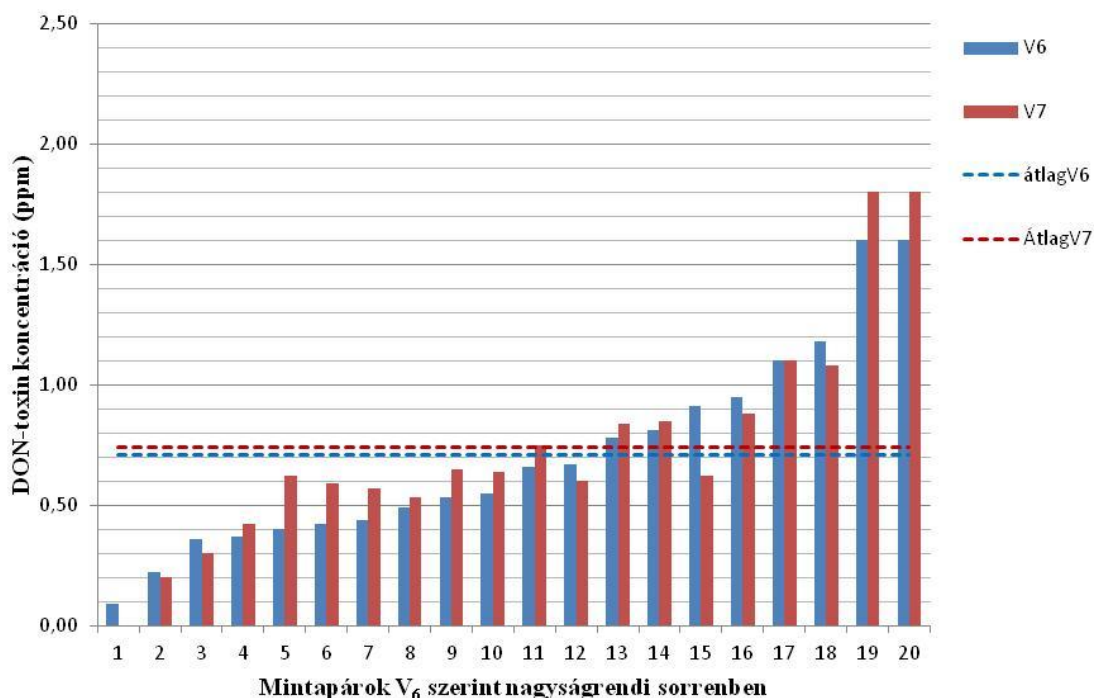
A 2013-ban betakarított búzaminták regresszióanalízisének az ismeretében felmerült a kérdés, hogy a Sortex Z+ és a Schule Verticone felülettisztító gépek nélkül vajon lehet-e eredményt elérni a toxinszennyeződés mértékének a csökkentésében a búzatételeknél. A korrelációs együttható értékeinek az alakulása vezetett a kérdésfeltevéshez. Az adatokat eddig három összefüggésben vizsgáltam: optikai válogató gép, felülettisztító gép és a két gép együttes tisztítási hatásosságát. Mindhárom esetben a korrelációs együttható azt mutatta, hogy a függő és a független változók szoros kapcsolatban vannak egymással, mégis ennek a számszerű értéke a teljes tisztítási folyamatban volt a legkisebb. Ez arra engedett következtetni, hogy a V_1 és a V_5 mintavételi helyek mintáinak eredményeiben egyéb technológiai tényezők hatása erőteljesebben érvényre jut, mint amikor a két gép adatait egyenként vizsgáljuk. A kérdés, hogy az egyéb tisztító berendezések milyen mértékben befolyásolhatják a búzatételek DON-toxin tartalmát. Ezért a 2014. és a 2015. években beállítottam egy újabb kísérletet. Olyan búzamintákat szedtem, amelyeket a Sortex Z+ színválogatóval és a Schule Verticone felülettisztítóval nem tisztítottunk. Ennek megvalósítása nem okozott különösebb nehézséget, hiszen a feldolgozási folyamatba utólag, a fejlesztéseknek köszönhetően építették be e két berendezést, így a Sortex Z+ színválogató és a Schule Verticone felülettisztító gépek „kikerülésével” is meg tudtam a mintáimat szedni. Az így kialakított folyamatra nem mondhatjuk azt, hogy egy hagyományos, általánosan alkalmazott malmi technológia eredményességét mutatja be, csupán arra ad választ, hogy a technológia egyéb elemei milyen mértékben vettek részt a teljes tisztítási folyamatban, és mennyire megbízhatóak a toxinsökkentésben.

Egy hagyományos malomban színválogatás helyett általában triórózást, míg a kondicionálás után egy hámozást vagy sík felépítésű géppel végzett súrolást találunk. Ezek a műveletek e kísérleti fázisból kimaradtak. Azt a szakirodalomból tudjuk, hogy a hagyományos hámozásnak, intenzív súrolásnak lehet pozitív hatása a toxinsökkentésben, de mint ahogy a kísérlet korábbi eredményeiből láttuk, nem minden évben a felülettisztítás volt a leghatékonyabb a toxinsökkentésben. Így mindenképp érdekesnek tűnik annak vizsgálata, hogy az egyéb tisztító gépek hogyan befolyásolhatják egy adott búzatétel toxinszintjét.

A mintavételi szisztéma ebben az esetben is megegyezett a 3.2.3. fejezetben leírt módszerrel, azaz itt is négy alminta átlagolásával számoltam ki a mintáim értékét. A minták jelölésénél a korábban alkalmazott számozási módszert használtam, folytatólagosan. Így a hagyományos technológiát jelképező mintavételi helyek a V_6 és a V_7 jelet kapták. Minden évjáratban a vizsgálati minták számát erősen meghatározta az a tény, hogy nagy körültekintéssel kellett eljárni ennél a kísérletnél az élelmiszerbiztonsági feltételek biztosítása érdekében. Hiszen feltételezésem szerint a tisztítás hatásfoka a két gép kiiktatásával csökken, viszont azt nem láthattam előre, hogy milyen mértékben.

A leíró statisztikai módszereknél a diagramok elkészítésénél az adatokat növekvő sorrendbe raktam a kiinduló toxinszintet alapul véve (V_6 mintavételi hely mintái). Így jobban követhetővé vált a tisztítás utáni toxinszint változás mértéke és annak iránya.

A 2014. évjáratú búzákból 20 mintát tisztítottunk a korszerű berendezések nélkül (4.36. ábra). Ebben az évben csak olyan búzatételeket vizsgáltam, amelyek biztonsággal a jogszabályi határérték alatti értéket mutatták. Az oszlopdiagram egyértelműen azt mutatja, hogy a tisztítási folyamat a toxinszint csökkentésére vonatkozóan teljességgel megbízhatatlan. Ebben az évjáratban a minták többségénél nemhogy csökken, mint inkább növekszik a DON-toxin tartalom. Ha a jogszabályi határértéket nem közelíti meg túlságosan a kiinduló búzatételek szennyezettségének a mértéke, akkor a folyamat végén a toxinszint még az élelmiszerbiztonsági előírások értékein belül marad a növekedés ellenére is. Ha azonban a határérték közelében alakul a bemeneti búza toxintartalma, akkor megvan az esélye annak is, hogy a jogszabály által előírtakat túllépő búzát örölnék azokban a malmokban, ahol hiányoznak a korszerű tisztítógépek. A kiinduló és a tisztítás utáni átlagos toxinkoncentráció is alátámasztja a fentebb leírtakat. A két érték nagyon közel áll egymáshoz, tehát minimális mértékben, de a tisztítási folyamatot követően magasabb számértéket mutat a V₇ mintavételi helyen megszedett búzáék átlaga (4.36. ábrán a vízszintes szaggatott vonalak).



4.36. ábra A búza DON-toxin koncentrációjának változása korszerű berendezések nélküli tisztítás során (2014. évi betakarítás)

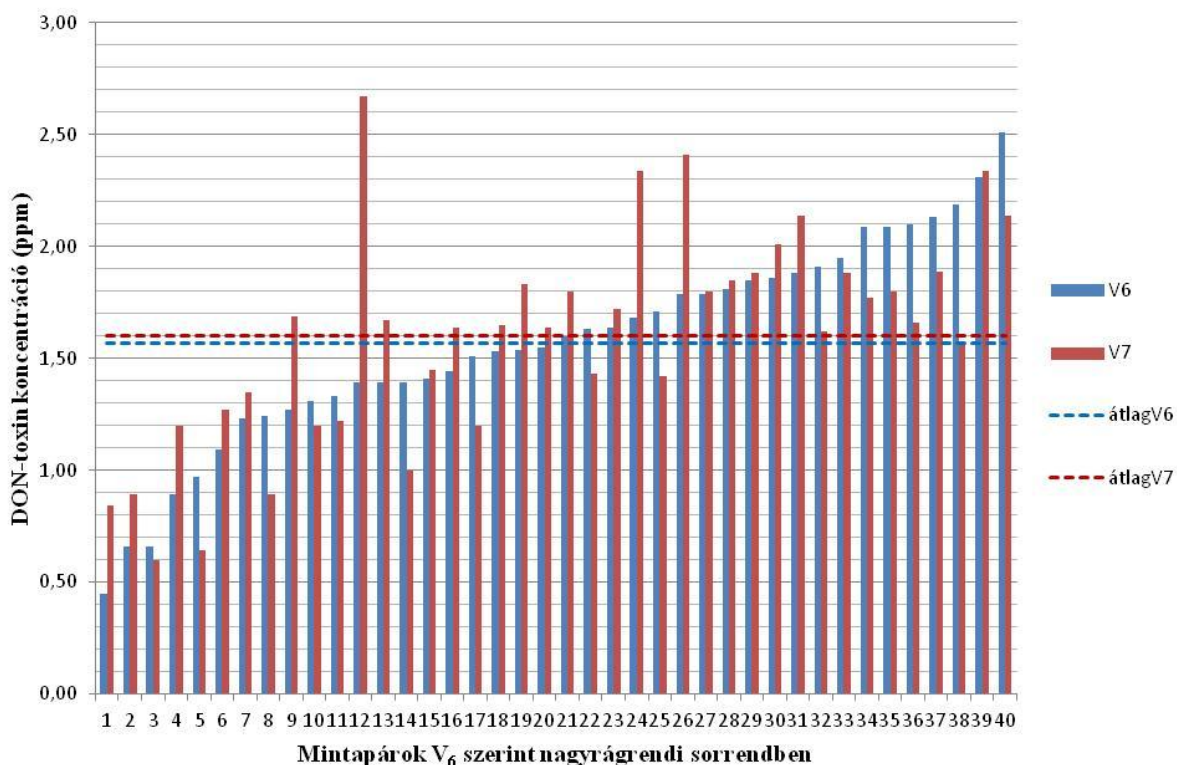
A korszerű berendezések nélküli tisztítási folyamatra vonatkozóan a 2015. évi betakarítású búza vizsgálatai megerősítették az előző évi tapasztalatokat (4.37. ábra). Kihaszználva azt, hogy a durummalom nem folyamatosan üzemelt, 15 olyan tételt is be tudtam válogatni a kísérleti anyagba, amelyeknek a toxinszennyezettsége meghaladta a jogszabályi határértéket. Fontos hangsúlyozni, hogy nagyon nagy körültekintéssel jártunk el ezekben az esetekben. Ezeket a búzatételek az őrlés előtt maradék nélkül eltávolítottuk a rendszerből. Viszont azt szerettem volna vizsgálni, hogy a magasabb toxinszennyezés eredményezhet-e nagyobb arányú csökkenést a tisztítás végére az optikai válogatás és a kúphenger alakú csiszoló kövekkel ellátott hántoló berendezés nélkül. A korábbi fejezetekben közölt vizsgálatok, azzaz a korszerű berendezésekkel végzett tisztítási folyamat mutatott erre vonatkozó pozitív eredményeket is.

A 2015. évben betakarított, az átlagosnál magasabb DON-toxin tartalmú búzatételek

eredményeinek részletes vizsgálata szerint nagyon változatos képet mutat az őrlés előtti előtisztítás akkor, ha korszerű berendezésekkel nem támogatjuk meg azt. Mindössze 17 mintapárnál látjuk, hogy a tisztítás végére csökkent a toxinszint, így a minták nagyobb részénél, azaz 23 mintánál növekedést tapasztalhatunk. Az egyes mintapárokban a csökkenés szemmel láthatóan kisebb arányú volt, mint a növekedés. Kiemelhetőek a 12-es, 24-es és 26-os minták, ahol a kiinduló, jogszabályi határérték alatti toxinszint a tisztítás után erőteljesen meghaladta a megengedett toxinkoncentrációt.

Ha a kiinduló és a tisztítás utáni átlagos toxinkoncentráció értékeit vizsgáljuk, akkor az látszik, hogy a két érték nagyon közel áll egymáshoz, mégis számszakilag a tisztítás utáni átlag a magasabb.

A 4.37. ábra oszlopdiagramja azt mutatja, hogy a kiemelkedően magas kiinduló toxinszintű mintapárok kisebb hányadában (26-31. és a 39. számú) nem csökkent a szennyezőanyag mennyisége, sőt a 26. mintában jelentősen, a 30. és a 31. mintában kis mértékben növekedett, ahogy arról már volt szó. A mintapárok nagyobb részében (32-40. és a 39. számú kivételével), változó mértékű csökkenés tapasztalható. Ez a csökkenés viszont nem tendenciózus, illetve nem olyan mértékű, hogy kellő biztonságot nyújtana a feldolgozás során.



4.37. ábra A búza DON-toxin koncentrációjának változása korszerű berendezések nélküli tisztítás során (2015. évi betakarítás)

Mindkét évben a toxinnövekedés abból adódhat, hogy az egyes mintákban, hogy néhány búzatételnél, ha a halmazból nem célzottan távolítjuk el a fertőzött szemeket, akkor előfordulhat, hogy az egyéb alkotók (tört, léha és nem megfelelő keménységű szemek, hulladékok stb.) kiválogatása után koncentrálnak a toxintartalom. Nyilván ez komoly élelmiszerbiztonsági kockázatot hordozó tényező.

Összességében megállapíthatjuk, hogy korszerű eszközök és berendezések nélkül a malmi feldolgozási folyamatban kiszámíthatatlan a toxinszint változása. Vagyis a kísérlettel

alátámasztható a szakirodalomnak az az észrevétele, hogy vannak olyan gabona feldolgozási technológiák, amelyekben nemhogy nem csökkenthető biztonságosan, de akár növekedhet a tisztítási folyamatban a toxintartalom. Erre eddig tudományos igazolást nem adtak az irodalmak, elméleti okfejtés alapján következtettek. Ezekben az esetekben valóban különösen nagy szerepet játszik az alapanyag beszerzése, a termesztéstechnológiai folyamatban alkalmazott preventív módszerek alkalmazása, illetve az, hogy a betárolt búzák olyan körülmények közé kerüljenek, hogy azoknak ne növekedhessen a toxintartalma.

Az adatok objektív összehasonlítása érdekében a fent leírt eredményeket alávetem induktív statisztikai próbáknak, hogy ne csak a minták értékeiről alkothassunk véleményt, hanem a búzatelemek tulajdonságaira, azaz a statisztikai populációra vonatkozóan is megfogalmazzassak állításokat.

Az adatok normális eloszlásának a vizsgálatokor két módszert alkalmaztam. A Wilk-Shapiro és a Kolmogorov-Szirnov tesztekkel végeztem hipotézisvizsgálatot (8. táblázat). A táblázati eredményekből látszik, hogy a Wilk-Shapiro teszt, a 2014. évi V_7 mintavételi hely mintáinál veti el a H_0 hipotézist, a többi adatot normális eloszlásúnak tartja, míg a Kolmogorov-Szirnov teszt esetén a normalitás feltételei minden minta esetén teljesülnek. Tulajdonképp ugyanaz a kiinduló helyzet, mint a V_1 - V_5 minták esetén, tehát a statisztikai vizsgálatok meghatározásánál is követnem kell az ott felállított metódust, kis módosítással. A DON-toxin változásának teljes körű elemzéséhez használt módszereket, vagyis a Friedman-próba, illetve a varianciaanalízis alkalmazásától el kell tekintenem, mivel ebben az esetben két összetartozó minta adatainak vizsgálatát tudom elvégezni mindkét évjáratban. Tehát a statisztikai vizsgálat a Wilcoxon tesztre és a t-próbára korlátozódik.

8. táblázat A korszerű berendezések nélküli tisztítási folyamat adatainak normalitásvizsgálati eredményei

Évjárat	Minták jelölése	Wilk-Shapiro teszt		Kolmogorov-Szirnov teszt	
		Tesztstatisztika	Kritikus érték	Tesztstatisztika	Kritikus érték
2014.	V_6	0,92	0,91	0,68	0,90
	V_7	0,87		0,84	
2015.	V_6	0,98	0,94	0,50	
	V_7	0,97		0,75	

Ahogy azt már korábban említettem, a Wilcoxon próba a normalitástól függetlenül alkalmazható módszer. A nullhipotézise az, hogy az eloszlások megegyeznek. Szimmetriát feltételez, amit a Pearson féle ferdeségi mutatóval határozzunk meg (9. táblázat). A táblázatban a ferdeségi mutató épp alatta marad egy abszolút értékének, ezért az eloszlás közel szimmetrikusnak tekinthető, vagyis a Wilcoxon előjeles rangpróba alkalmazható. Ha a tesztstatisztika értékét összevetjük a kritikus értékkel a 9. táblázatban, azt látjuk, hogy a számított érték kisebb a táblázati értéknél. Ez azt jelenti, hogy a H_0 hipotézist megtartjuk, vagyis a két eloszlás megegyezik. Ez igazolja, hogy a tisztítási folyamat az optikai válogató és a felülettisztító gépek nélkül nem jár a DON-toxin tartalom csökkenésével.

9. táblázat A korszerű berendezések nélküli tisztítási folyamatban a Wilcoxon próba eredménytáblázata és a ferdeségi mutató értéke (V_6 ; V_7 mintavételi helyek)

Betakarítás éve	Statisztikai adatok		
	Statisztikai érték	Kritikus érték	Ferdeségi mutató
2014.	1,31	1,64	-0,99
2015.	-0,11	1,64	-0,90

A rend kedvéért nézzük meg a páros t-próba eredményét is e tekintetben. E próbánál a H_0 hipotézis az, hogy a két mintából keletkezett különbségminta átlaga nulla. Az eredményeket a 10. táblázat tartalmazza. Az adatok azt mutatják, hogy nincs különbség az átlagokban, így a nullhipotézist megtartjuk. A páros t-próba megerősítette a Wilcoxon előjeles rangpróba eredményeit, nem következett be toxincsökkenés.

10. táblázat A korszerű berendezések nélküli tisztítási folyamatban a párosított t-próba eredményei

Minta-párok	2014.		2015.	
	Statisztikai érték	Kritikus érték	Statisztikai érték	Kritikus érték
V_6-V_7	-1,25	1,73	-0,54	1,68

Ezzel minden kétséget kizáróan igazolható, hogy a leíró statisztikában kialakított következtetésem helyes volt. Akár a normalitást feltételező, illetve azt nem feltételező induktív statisztikai módszerek igazolják azt, hogy a Sortex optikai válogató és a Schule felülettisztító gépek nélkül az őrlés előtti tisztítási szakasz nem tudja kedvezően befolyásolni a búzatételek DON-toxin tartalmát. Az eredmények alapján nincs értelme a regresszióanalízis elvégzésének sem, mert a toxinváltozás mértékét nem lehetne meghatározni (lásd 4.36. és 4.37. ábra), csupán az előző megállapításokat tudnánk megerősíteni az adatok koordináta-rendszerben történő ábrázolásával.

4.7. Új tudományos eredmények

Kutatómunkám során azt vizsgáltam, hogy a búzatételek tisztítási folyamatba beépített optikai válogató és kúpos elrendezésű csiszoló kövekkel működő, korszerű felülettisztító gépekkel van-e lehetőség a búza DON-toxin tartalmának a csökkentésére. A deskriptív és induktív statisztikai módszerekkel meghatározott eredmények alapján a következő téziseket állítottam fel:

1. A DON-toxin tartalom változása optikai válogatás és korszerű felülettisztítás együttes hatására

A deskriptív statisztikai vizsgálatokkal igazoltam, hogy eltérő mértékű DON-toxin szennyezettségű években, a búzamintákban a kiinduló átlagos DON-toxin koncentrációhoz képest a tisztítást követő átlagos toxinszint csökkent, ha a folyamatba optikai válogató gépet és kúpos elrendezésű csiszoló kövekkel működő, korszerű felülettisztító gépet építettek be. A mintapárok számadatai azt mutatták, hogy a csökkenés átlagos mértéke 47-51% között alakult.

A hipotézisvizsgálat során Friedman-próbával és varianciaanalízissel 95%-os valószínűségi szinten igazoltam, hogy a minták számértékeiben mutatkozó eltérések valóságosak, a teljes

statisztikai sokaságra érvényesek, valamint a kezelésnek, azaz az optikai válogató és az új generációs felülettisztító gépek együttes alkalmazásának köszönhetőek a tisztítási folyamatban. Ebből adódóan meghatároztam a búzatételekre vonatkozóan a toxincsökkenés mértékét lineáris regresszióval. A regressziós egyenes egyenletének meredeksége azt mutatta meg, hogy az egyes betakarítási években, milyen mértékű csökkenést idézett elő a két berendezés a tételekben. Ez alapján kijelenthető, hogy a kísérlet során 39-53% között lehetett csökkenteni a malmi búza toxinszennyezettségét a feldolgozást megelőzően. A korrelációs együtthatók azt igazolták ($r=0,78-0,82$), hogy a kiinduló és a tisztítás utáni toxinszintet meghatározó kvantitatív változók (V_1, V_3) között a lineáris kapcsolat erős.

Tehát a vizsgálati adataimmal igazoltam, hogy a malmi búza DON-toxin tartalma csökkenthető, ha a tisztítási folyamatba korszerű optikai válogató és felülettisztító gépeket alkalmaznak.

2. A DON-toxin tartalom változása az optikai válogató és korszerű felülettisztító gépek nélküli tisztítás során

2014-ben és 2015-ben megvizsgáltam, hogy az optikai válogató gép és a korszerű felülettisztító gép kihagyásával, hogyan alakul a búzatételek DON-toxin tartalma a tisztítás végére. Deskriptív statisztikai módszerekkel a mintapárokat egyedileg vizsgálva azt bizonyítottam, hogy a kiinduló toxinszennyezettség mértékétől függetlenül, mindkét évben, különböző mértékű toxinnövekedést és csökkenést is előidézett a tisztítási folyamat a mintapárokban. A toxinszint emelkedése a mintapárok egy részénél abból adódott, hogy a halmazból a fertőzött szemek eltávolítása kisebb arányú volt, mint az egyéb szennyező anyagok kiválogatása.

A minták átlagos toxinszintje számszakilag nézve minimális mértékben növekedett a tisztítás végére mindkét évben: 2014-ben 0,70 ppm-ről 0,74 ppm-re; 2015-ben 1,57-ről 1,60 ppm-re.

A Wilcoxon próba és a párosított t-próba hipotézisvizsgálata is azt igazolta, hogy az optikai válogató és a kúpos elrendezésű csiszoló kövekkel működő felülettisztító gépek nélkül az őrlés előtti tisztítási szakasz nem csökkentette a búzatételek DON-toxin tartalmát.

2014-ben és 2015-ben végzett kísérletekkel azt igazoltam, hogyha a malmi tisztítási folyamatban sem optikai válogató gépet, sem korszerű felülettisztító gépet nem alkalmaznak, akkor nem csökkenthető a búzatételek átlagos DON-toxin tartalma.

3. Az optikai válogatás DON-toxin csökkentő hatása

A deskriptív statisztikával igazoltam az optikai válogató előtt és után megszedett mintapárok átlagértéke alapján, hogy a tisztítás hatására toxincsökkenés következett be. A mintapárokban a csökkenés átlagos értéke 2013-ban 29 ppm, 2014-ben 17 ppm, 2015-ben 47 ppm volt.

A búzatételekben regresszióanalízissel határoztam meg az optikai válogatás hatására bekövetkezett toxincsökkenés mértékét. A regressziós egyenes egyenletének meredeksége megmutatta, hogy a három évben különböző volt az optikai válogatás tisztítási hatásossága: 2013-ban 86%-ra, 2014-ben 61%-ra, 2015-ben 58%-ra csökkent a toxintartalom a válogatás hatására.

A leíró statisztikával azt is igazoltam, hogy a mintákban nem a kiinduló toxinszennyezettség nagyságától (V_1) függött a toxinkoncentráció csökkenésének a mértéke, azaz a V_2 értéke. Ez azt bizonyítja, hogy az optikai válogatás hatásossága az egyes mintákban eltérően alakulhat, ezért a malmi tisztítási folyamatban ez a berendezés önmagában nem minden évben, illetve nem minden termőhelyről származó búzatétel esetén nyújt kellő hatásfokot a kémiai kockázat minimalizálásában.

A statisztikai vizsgálatokkal azt igazoltam, hogy az optikai válogatás önmagában képes a búzatételek átlagos toxinszintjének a csökkentésére, azonban a toxincsökkenés mértéke és a

búzatételek kiinduló toxintartalmának a nagysága között nincs korreláció. Ebből következően, ha csak az optikai válogatógép végzi a tisztítást, az a búzát ért ökológiai hatásoktól függően (termesztési év, termőhely függvényében) kismértékű toxincsökkenést eredményezhet, lecsökkentve a tisztítás megbízhatóságát, ami élelmiszerbiztonsági szempontból kedvezőtlen.

4. A felülettisztítás DON-toxin csökkentő hatása

A statisztikai vizsgálatokkal azt igazoltam, hogy a kúpos elrendezésű csiszoló kövekkel működő felülettisztító gép az optikai válogatást követően további DON-toxin csökkenést idézett elő. A deskriptív statisztika eredményei alapján megállapítottam, hogy a csökkenés mértéke a mintákban 2013-ban 23 ppm, 2014-ben 14 ppm, 2015-ben 14 ppm.

A felülettisztítás hatására a búzatételekben várható toxincsökkenés mértékét regresszióanalízissel határoztam meg. A regressziós egyenesek egyenletei alapján megállapítottam, hogy 2013-ban 65%-ra, 2014-ben 74%-ra, 2015-ben 83%-ra csökkent a toxinszint.

A felülettisztítás esetén is igazoltam a deskriptív statisztikai vizsgálatokkal azt, hogy a mintákban a toxincsökkenés nem a kiinduló DON-toxin tartalomtól függ, azaz a felülettisztítás hatásossága az egyes mintákban eltérően alakult. Tehát önmagában ez a berendezés sem minden évben, illetve nem minden termőhelyről származó búzatételnél hatásos kellő mértékben a kémiai kockázat minimalizálásában.

A statisztikai vizsgálatokkal azt igazoltam, hogy az új generációs felülettisztító gép az optikai válogatást követően képes további toxincsökkentést eredményezni a búzatételekben. A csökkenés mértéke és a búzatételek kiinduló toxintartalmának a nagysága között a felülettisztítás esetén sincs korreláció. Következésképpen a felülettisztítás attól függően, hogy a búza milyen ökológiai hatásoknak volt kitéve a termesztés során, a tisztítási folyamatban kismértékű toxincsökkenést eredményezhet, lecsökkentve ezzel a megbízhatóságot.

5. Az optikai válogatás és a felülettisztítás DON-toxin csökkentő hatásának sajátosságai

A vizsgálati eredményekkel azt bizonyítottam, hogy a két géppel együtt, termőhelytől és a termesztési évtől függetlenül biztonságosan csökkenthető a toxinszennyezettség mértéke. Egy adott éven belül a különbségmintákat ábrázolva azt bizonyítottam, hogy a DON-toxin csökkentésében a két gép a 2013-as búzaminták 80%-ánál, a 2014-es minták 77%-ánál és a 2015-ös minták 91%-ánál egymást kiegészítve csökkentette a toxintartalmat. Azokban a mintapárokban, amelyekben az optikai válogatás kevésbé volt hatásos, a felülettisztítás magasabb mértékben távolította el a DON-toxint és fordítva.

Évjáratonként vizsgálva a toxincsökkentés mértékét megállapítottam, hogy a két gép a különböző betakarítási években eltérő mértékben járult hozzá a kémiai szennyeződés csökkentéséhez. Ezt a regressziós egyenes egyenletével igazoltam, aminek meredeksége adta meg a csökkenés mértékét:

2013-ban 0,86 V_1 és 0,65 V_4 ; a felülettisztítás hatásosabb
2014-ben 0,61 V_1 és 0,74 V_4 ; az optikai válogatás a hatásosabb
2015-ben 0,58 V_1 és 0,83 V_4 ; az optikai válogatás hatásosabb

Tehát az eredmények azt igazolták, hogy a két gép egymást kiegészítve tudta a búzatételekben a legnagyobb mértékű és a legnagyobb biztonságot eredményező toxincsökkenést előidézni függetlenül a termőhelyi és a termesztési évre jellemző ökológiai tényezők fertőzés mértékére és jellegére gyakorolt hatásától.

6. A toxinváltozás várható értékének a meghatározása a gyártástervezéshez

Az általam kidolgozott mintavételi és mérési rendet alkalmazva, a gyártás tervezéséhez

meghatározható adott évjáratban a búzatételek esetén a DON-toxin tartalom csökkenésének a mértéke, ha a malmi feldolgozás előtti tisztítási szakaszban az optikai válogató gépet és a kúpos elrendezésű csiszoló kövekkel működő felülettisztító gépet beépítik. A várható érték meghatározási metodikájának az alkalmazása lehetővé teszi a toxintartalom minimalizálását amellet, hogy a végtermék minőségi paramétereit optimalizálni tudjuk az igényeknek és a jogszabályi követelményeknek megfelelően. A várható érték két módszerrel adható meg:

- a) A minták adatai alapján felírható regressziós egyenes egyenletéből számolható, ha ismerjük x -et, vagyis a búzatétel kiinduló toxinkoncentrációját. Durumbúza esetén az egyenlet általános alakja:

$$y=ax+b \quad D_f=[0;1,75]$$

Az egyenlet értéktartományát a jogszabályi határérték adja meg.

A DON-toxin tisztítás utáni várható értéke a regressziós egyenesre illesztett konfidenciasáv adataival is megadható. A sáv megmutatja a szakemberek által meghatározott valószínűségi szinten, hogy ha a független változó (x) adataiból megbecsüljük a függő változó (y) átlagértékét, vagyis a kiinduló toxinszintből a tisztítás utáni toxinszintet, akkor az a becslés milyen hibával terhelt. A sávot jellemző adatokat táblázatba rendezve, a szakemberek az egyéb szakmai szempontokat is figyelembe véve, egyszerűen határozhatják meg a toxincsökkenés várható értékét adott búzatétel esetén. Így például a kísérleti adataim alapján egy 1,35 ppm kiinduló toxintartalmú búzatételnek a tisztítást követően a várható toxinszintje az alábbi intervallumokon belül várható: 2013-ban 0,66-0,79 ppm, 2014-ben 0,61-0,74 ppm, 2015-ben 0,62-0,71 ppm. A termelésstervezéshez használt konkrét értéket a technológiai feltételek figyelembevételével, szakmai döntés alapján állapítják meg a malmi szakemberek.

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A kutatási munkám célja, annak vizsgálata, hogy a búza tisztítása során csökkenthető-e a DON-toxin mennyisége. Ennek megállapításához egy korszerű berendezésekkel végzett malomipari tisztítási folyamatot vizsgáltam. A vizsgálati eredményeim deskriptív és induktív statisztikai kiértékelése alapján arra a következtetésre jutottam, hogy amennyiben a halmaztisztításban a Sortex Z+ optikai válogató, majd ezt követően a felülettisztításban a Schule Verticone VPC 480 intenzív felülettisztító gépeket alkalmazzák, akkor a két gép hatására minden magas DON kockázatú évben csökkenthető a búzatételek toxin szennyezettsége az őrlési folyamat megelőzően. Az eredményeim azt jelzik, hogy a technológia korszerűsödésével jelentős élelmiszerbiztonsági kockázati tényezőt lehet kézben tartani egy olyan folyamatban, amelynek a végterméke a liszt, ami alapvető élelmiszerek alapanyaga. A vizsgálataim azt igazolják, hogy a korszerű technológiát alkalmazó malmok gyakorlata már meghaladta azt a megállapítást, amit a szakirodalomban olvashatunk, miszerint hatásosan csak a feldolgozást megelőzően csökkenthető az étkezési búza DON-toxin tartalma (Szeitzné, 2009; Brera et al, 2013; Lesnik et al., 2014).

A felülettisztításról már vannak modellkísérletekből származó szakirodalmi adatok, amelyek igazolták, hogy szerepe lehet a DON-toxin csökkentésében. (Kushiro, 2008; Sándor és mtsai, 2010; Frank, 2010; Véha és mtsai, 2011). Ezek a vizsgálatok két fontos tényezőben különböznek az én vizsgálataimtól: nem termelési környezetben zajlottak, valamint nem vizsgáltak és hasonlítottak össze különböző ökológiai hatásoknak kitett búzamintákat. A kutatási eredményeim induktív statisztikai módszerekkel történő kiértékelése azt igazolta, hogy az optikai válogatást követően is hatásos volt a DON-toxin csökkentésében az intenzív felülettisztítási eljárás minden évjáratban. A deskriptív statisztikai módszerekkel végzett adatfeldolgozás megmutatta, hogy a kísérleti mintákban átlagosan jelentős, de mintánként változó mértékű csökkenést lehetett elérni a Schule Verticone VPC 480 felülettisztító géppel.

Mindkét gép esetén mintánként vizsgálva az eredményeket látszott, hogy változó mértékű csökkenést idézett elő a tisztítási folyamat. Ebből az a következtetés vonható le, hogy egy adott évjáratban a búzatételekben különböző arányban fordulnak elő olyan szemek, amelyeknél a héjrészben, illetve a tápszövetben halmozódik fel a toxin. Ez az arány az országos időjárási adatok, pontosabban csapadékviszonyok ismeretében sem határozható meg kellő biztonsággal. Módosító tényezőként hat, hogy az egyes országrészekben a virágzás nem egyszerre zajlik, illetve a fertőzés erősségére és jellegére a mikroklimatikus viszonyok is erősen hatnak. A regresszióanalízis eredménye azt mutatta, hogy 2013-ban a felülettisztítás nagyobb arányban tudta toxinmentesíteni a búzatételeket, míg 2014-ben már kiegyenlítettebben alakult a két gép teljesítése, de kicsivel az optikai válogatás hatásossága bizonyult jobbnak, 2015-ben pedig egyértelműen az optikai válogatás volt a meghatározó a DON-toxin mennyiségének a kialakításában az őrlést megelőzően. Ebből egyértelműen az a következtetés vonható le, hogy a különböző évjárathatásnak kitett búzák esetén, hosszútávon csak a két gép együttes működésével lehet biztonságosan kézben tartani ezt az élelmiszerbiztonsági kockázatot egy malomban.

A regresszióanalízis annak a lehetőségét is megadja a malmi folyamatot megtervező szakemberek számára, hogy egy adott évjáratban az optikai válogatás és a felülettisztítás hatásosságának ismeretében a búzatételek keverési arányát, egalizálását számítással határozzák meg a DON-toxin tartalomra vonatkozóan. Az egalizálás elsődlegesen a búza minőségi paramétereinek megfelelő kialakítása miatt történik, de azokban az években, amikor a toxinszennyezés kockázata nagy, a kémiai kockázat megelőzésében is fontos szerepet játszik. A keverési arány meghatározása a jelenlegi gyakorlatban empirikus úton történik a magas DON kockázatú években is.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

DON-TOXIN KONCENTRÁCIÓ CSÖKKENTÉS LEHETŐSÉGEI A BÚZA TISZTÍTÁSÁBAN

Az értekezésben azt vizsgáltam, hogy a durumbúza feldolgozása során a tisztítási folyamatban van-e lehetőség a DON-toxin tartalom csökkentésére. Az elmúlt években igen nagy problémát okozott a fuzárium fertőzés és ennek következményeként megjelenő magas toxintartalom. A szakirodalmi adatok szerint a jelenség a világ minden pontján komoly gondot jelent a malomiparban dolgozó szakemberek számára.

Kutatómunkám célja két malomipari gép vizsgálata, amit a feldolgozás tisztítási fázisában használnak. Azt vizsgáltam, hogy a Sortex Z+ optikai válogató és a Schule Verticone VPC 480 felülettisztító gépek együttes alkalmazásával lehet-e a búza toxintartalmát csökkenteni és milyen mértékben.

A dolgozat első szakaszában a szakirodalmi adatok alapján foglaltam össze a búzában előforduló fuzariotoxinok, kiemelten a DON-toxin tulajdonságait és élelmiszerbiztonsági vonatkozásait, valamint a fuzárium fertőzés jellegét és következményeit. Kitértem arra, hogy a szakirodalmi szerzők szerint a hagyományos technológia nem nyújt megbízható lehetőséget a feldolgozási folyamat során a DON-toxin tartalom megbízható csökkentésére. Ezt követően ismertettem a malomipari feldolgozás fő lépéseit, részletezve az őrlés előtti tisztítási folyamatot és berendezéseit.

Bemutattam a dolgozatban a vizsgálatok helyszínét és feltételrendszerét, a termelési környezetet. Kiemelten fontosnak tartom, hogy olyan élelmiszerbiztonsági kockázatot jelentő tényező esetén, mint a DON-toxin, termelési környezetben lehessen igazolni, hogy annak mennyisége valóban csökkenthető korszerű berendezésekkel. Leírtam a vizsgálatok tárgyát képező Sortex Z+ optikai válogató és a Schule Verticone VPC 480 felülettisztító gépek jellemzőit, technológiai folyamatban a szerepüket. Részletesen bemutattam a mintavétel rendjét és a vizsgálatok, valamint az adatkiértékelés módszerét.

A mintavétel rendjét úgy alakítottam ki, hogy egy búzatétel toxinváltozását végig tudjam követni a tisztítási folyamatban. Négy helyen (V_1 ; V_2 ; V_4 ; V_5) mintáztam meg egy tételt és minden mintavételi helyen négy almintát gyűjtöttem be. Az alminták toxin mérési adatait az adatfeldolgozás során átlagoltam, és az átlagértékekkel számoltam. Így összesen 2013-ban 820 alminta alapján 41 minta, 2014-ben 1280 alminta alapján 64 minta, 2015-ben 1400 alminta alapján 70 minta vizsgálatát végeztem el.

Az adatokat deskriptív és induktív statisztikai módszerekkel értékeltem. A tisztítás előtti, azaz a V_1 mintavételi hely és a tisztítási folyamat végén, azaz a V_5 mintavételi hely búzamintáinak eredményei azt mutatták, hogy a Sortex Z+ és a Schule Verticone VPC 480 felülettisztító gépek együttesen, 2013-ban betakarított búzánál 61%-ra, a 2014-es 47%-ra, míg a 2015-ös évjárat esetén 50%-ra tudták a kiinduló toxintartalmat csökkenteni az őrlésre kerülő búzáknál. Különböző évjáratokban a két gép eltérő hatásfokkal vette ki részét a teljes tisztítási folyamatból. Az optikai válogatás 2014-ben és 2015-ben, míg a felülettisztítás 2013-ban volt hatásosabb. Arra is választ kaptam, hogy a két gép csak együttesen alkalmazva képes a toxinszintet megfelelő biztonsággal csökkenteni.

Adott évjáratban a minták adatai alapján meghatározott regressziós egyenes arra is lehetőséget nyújt a malmi szakemberek számára, hogy egy ismert DON-toxin tartalmú búzatétel toxincsökkentésének a várható értékét megállapíthassák a tisztítási folyamatban, és a búzatételek felvásárlását és keverési arányát ennek függvényében határozzák meg.

7. SUMMARY

REDUCTION POSSIBILITIES OF DON-TOXIN CONCENTRATION IN WHEAT PURIFICATION

In the dissertation I examined whether there is a possibility of reducing the DON-toxin content during milling industry processing of durum wheat. In recent years a major problem has been caused by fusarium infection and the consequent high level of toxin content. According to the literature, this phenomenon is a major concern for professionals in the mill industry all over the world.

My research aims to investigate two milling machines, which are used in the cleaning phase of the processing. I have investigated whether the joint application of the Sortex Z + optical sorter and the Schule Verticone VPC 480 surface cleaning machines can reduce the toxin content of wheat and to what extent?

In the first part of my dissertation I have summarized the characteristics and the food safety aspects of the fuzariotoxins, especially of DON-toxin occurring in wheat, as well as the nature and consequences of fusarium infection. I mentioned that, according to the authors in the literature, the conventional technology does not provide a reliable way of reducing DON-toxin content during processing. Subsequently, I described the main steps of milling process, detailing the cleaning process and its equipment before grinding.

I presented the location and condition of the investigations and the production environment. I find it of the utmost importance that, in the case of a food safety risk factor such as DON-toxin, it can be demonstrated in a production environment that its amount can really be reduced by modern equipment.

I described the characteristics of the Sortex Z + optical sorter and the Schule Verticone VPC 480 surface cleaner machines, that are being investigated, and their role in the technological process. I have detailed the sampling procedure and the methods of the tests and the data evaluation.

The order of sampling was designed so that I could follow the changes in the toxin of wheat lot throughout the entire cleaning process. I sampled a lot in five places (V_1 - V_5 fractions), and I collected four sub-samples at each sampling site, i.e. fraction. During data processing I averaged the toxin datas of sub-samples and I counted with mean values. Thus I examined in total 41 samples based on 820 sub-samples in 2013 and 64 samples based on 1280 sub-samples in 2014 and 70 samples based on 1400 sub-samples.

Data were evaluated by descriptive and inductive statistical methods. The results of wheat samples before cleaning (V_1 fraction) and at the end of the cleaning process (V_5 fraction) showed that the combined application of Sortex Z + and the Schule Verticone VPC 480 surface cleaning machines decreased the starting toxin content (V_1 fraction) in the case of wheat for milling to a percentage level 61% in 2013, to a percentage level 47% in 2014, and to a percentage level 50% in 2015. In different vintages the two machines differed in efficiency to the cleaning process. Optical sorting in 2014 and 2015, while in 2013 the surface cleaning was more effective. I also got the answer that only the combined use of the two machines can reduce the toxin level with adequate safety.

The regression line based on the data of a given vintage also allows mill experts to estimate the degree of toxin reduction of a known DON-toxin content in the cleaning process and depending on it to determine the mixing ratio of wheat.

8. MELLÉKLETEK

M1: Irodalomjegyzék

1. Ambrus Á., Szeitzné Sz. M. (2010): Gabona alapú termékek mikotoxin szennyezettségének élelmiszerbiztonsági értékelése. Élelmiszer, Tudomány, Technológia, LXIV. (1), 10-14. o.
2. Andersson, J. (2011): Whole grain wheat – effects of peeling and pearling on chemical composition, taste and colour. SLU, Swedish University of Agricultural Sciences Department of Food Science Master Thesis. p. 29.
3. Atanasoff, D. (1920): Fusarium-blight (scrab) of wheat and other cereals. Journal of Agricultural Research, 20., pp. 1-40.
4. Bedő Z., Láng L., Árendás T. (2017): A mennyiség és a minőség dilemmája a búzatermesztésben. Agrofórum Online. <http://agroforum.hu/szakcikkek/mennyisege-es-minoseg-dilemmaja-buzatermesztesben> (lekérdezés időpontja: 2017.09.16.)
5. Bee, S. (2002): Sorting it out: optical sorting of rice adds value to a millers end-product, and can quick offset installation cost. Word Grain, 4., pp. 64-69.
6. Bekele, G.T. (1985): Head scab screening methods used at CIMMYT. Proceedings of the International Symposium. September 24-28, CIMMYT, Mexico, pp. 169-173.
7. Biacs P., Szabó G., Szendrő P., Véha A. (2010): Élelmiszer-technológia mérnököknek. Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kar, 684. o.
8. Blount, W.P. (1960): A new turkey disease problem in England characterised by heavy mortality. British Oil & Cake Mills, Ltd. Quarterly Poultry Bulletin, 27., pp. 1–3.
9. Bratucu, G. (2009): Influenta automatizarii echipamentelor de conditionare a supra procesului de macinat graul. Inmatech Agricultural Engineering, 27., pp. 110-116.
10. Brera, C., Catalano, C., De Santis, B., Debegnah, F., De Giacomo, M., Pannunzi, E. (2006): Effect of industrial processing on the distribution of aflatoxins and zearalenone in corn milling fractions. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 54., pp. 5014-5019.
11. Brera, C., Peduto, A., Debegnach, F., Pannunzi, E., Prantera, E., Gregori, E., Giacomo, M., Santis, B. (2013): Study of the influence of the milling process on the distribution of deoxynivalenol content from the caryopsis to cooked pasta. Food Control, 32 (1), pp. 309-312. DOI: 10.1016/j.foodcont.2012.12.005
12. Bühler (2011): Optical Sorting. Brochure, <http://www.buhlergroup.com/global/en/products/sortex-z-optical-sorter.htm> (Lekérdezés időpontja: 2017.01.16.)
13. Cole, J.R. (1986): Etiology of Turkey “X” disease in retrospect: A case for the involvement of cyclopiazonic acid. Mycotoxin Research, 2., pp. 3-7.
14. Csizmadia, M.B. (2009): Kísérletek tervezése. Oktatási jegyzet. Gödöllő. Hozzáférhető a SZIE Gépészmérnöki Karán, 83. o.
15. Csizmazia, Z. (2011): Műszaki ismeretek. Debreceni Egyetem. http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0010_1A_Book_06_Muszaki_ismeretek/ch09s03.html. p. 94.
16. D’Agostino, R.B. (1971): An omnibus test of normality for moderate and large sample sizes. Biometrika, 58., pp. 341-348.

17. D'Agostino, R.B., Stephens, A.M. (1986): Goodnes-of-fit-techniques – Statistics: a Series of Textbooks and Monographs, vol. 68, Dekker, p. 576.
18. Deák T. (2006): Élelmiszer-mikrobiológia. Budapest: Mezőgazdasági Kiadó, 382. o. ISBN 9789632866345
19. D'Mello, J.P.F., Macdonald, A.M.C. (1997): Mycotoxins. Animal Feed Science Technology, 69., pp. 155-166.
20. Dowell, F.E., Boratynski, T.N., Ykema, R.E., Dowdy, A.K., Staten, R.T. (2002): Use of optical sorting to detect wheat kernels infected with *Tilletia indica*. Plant Disease, 86 (9), pp. 1011-1013.
21. Eugster, W. (2002): Reducing grain contamination in the cleaning section. Tecnica Molitoria International, 3., pp. 147-153.
22. FAOSTAT (2016): FAOSTAT adatbázis <http://fenix.fao.org/faostat/beta/en/#data/QC> Kereső program: Google. Kulcsszavak: wheat, area harvested, yield, production quantity. (Lekérdezés időpontja: 2016.08.31.)
23. FAPRI adatbázis (2012): Étkezési gabona statisztikai adatai <http://www.fapri.iastate.edu/outlook/2012/tables/1-Wheat.pdf>. Kereső program: Google Kulcsszavak: wheat. (Lekérdezés időpontja: 2016.08.31.)
24. Fidy J., Makara G. (2005): Biostatistika. Budapest: Informed 2000 Kft., 219. o.
25. Fowler, M. (2012): Innovations in wheat cleaning: News technology improves process efficiencies. Word-Grain, 3., pp. 74-78.
26. Fowler, M. (2014): The complexities of durum milling. Word-Grain. <http://www.world-grain.com/Departments/Milling-Operations/2014/7/The-complexities-of-durum-milling.aspx> (Lekérdezés időpontja: 2016.09.22.)
27. Frank P. (2010): Technológiai kísérletek a búza fuzárium toxin szennyezettségének csökkentésére. Élelmiszer Tudomány Technológia, LXIV. (2) különszám, 16-20. o.
28. Gordon, B., Willm, C (1993): Primary cereal processing: a comprehensive sourcebook. Wiley-VCH Verlag GmbH., p. 468.
29. Gőcze I. (2010): A tudományelmélet és kutatásmódszertan alapjai. A tudományos kutatás és publikálás. Tanulmány. Budapest: ZMNE, 108. o.
30. Grain Sorting Solution. Grain Optica Sorter. Bühler brochure. http://www.buhlergroup.com/global/en/downloads/Grain_Brochure_EN_WEB.pdf (Lekérdezés időpontja: 2016.09.10.)
31. Gromadzka, K., Waskiewicz, A., Chelkowski, J., Golinski, P. (2008): Zearalenone and its metabolites: occurrence, detection, toxicity and guidelines. World Mycotoxin Journal, 1(2), pp. 209-220.
32. Győri Z., Győriné Mille I. (2011): A búza és a kukorica minősége és feldolgozása. Budapest: Szaktudós Kiadóház, 185. o.
33. Hajtman B. (2012): Bevezetés a biostatistikába – nem csak orvosoknak. EDGE 2000 KFT. Budapest, 242. o.
34. Hertelendy P. (20017): Ritkább, pelyvás búzafajok ökológiai termesztésének növényvédelmi kockázatai. Biokultúra, 28(6), 31-36. o.
35. Bühler – Sortex A, <https://www.youtube.com/watch?v=7MKAWTtNhN8> (Lekérdezés időpontja: 2018.01.22.)

36. Hasel, C. M., Patel, S. (2004): Influences of processing on trichothecene levels. *Toxicology Letters* 153., pp. 51-59.
37. Hunyadi L. (2000): A determinációs együtthatóról. *Statisztikai Szemle*, 78(9), 753-765. o.
38. Hussein, H. S., Brasel, J. M. (2001): Toxicity, metabolism and impact of mycotoxins on human and animals. *Toxicology*, 167., pp. 101-134.
39. Inamdar, A. A., Suresh, D. S. (2014): Application of color sorter in wheat milling. *International Food Research Journal*, 21(6), pp. 2083-2089.
40. Jakóné Forgács J. (2006): Élelmiszeripari technológiák. SZTE, Szeged, 240. o. <http://food.atw.hu/technologia/elemit.pdf>
41. Jakucs E., Vajna I. (2003): Mikológia. Agroiinform Kiadó és Nyomda, 478. o.
42. Jouany, J.P. (2007): Methods for preventing, decontaminating and minimizing the toxicity of mycotoxins in feed. *Animal Feed Science and Technology*, 137, pp. 342-362.
43. Kecskés Nagy E., Korzenszky P., Sembery P. (2015): Reduction of toxin content of *Triticum durum* in the milling process. *Review on Agriculture and Rural Development*, 4(1), pp. 11-16.
44. Kecskésné N. E., Korzenszky P., Sembery P. (2016): The role of color sorting machine in reducing food safety risks. *Potravinarstvo*, 10(1), pp. 354-358.
45. Kecskésné N. E., Osztényiné K. É., Korzenszky P., Sembery, P. (2017): A búzátételek magas gazdasági kockázatot jelentő DON-toxin tartalmának csökkentési lehetőségei és statisztikai vizsgálata. *Mezőgazdasági Technika*, 58(4), 2-5.o.
46. Kecskés Nagy E., Sembery P. (2014): Hogyan lehet csökkenteni a kenyérgabona DON-toxin tartalmát a feldolgozási folyamatban? *GRADUS*, 1(2), 51-57. o.
47. Kecskés Nagy E., Sembery P. (2015/a): The effect of adequate technical conditions on level of DON toxin in milling process. *Annals of faculty engineering hunedoara / international journal of engineering*, 13(1), pp. 49-52.
48. Kecskés Nagy E., Sembery P. (2015/b): Color sorting of bread-making wheat and change of toxin content. *Annals of faculty engineering hunedoara international journal of engineering*, 13(1), pp. 171-174.
49. Kecskésné Nagy E., Szalai J. (2014): Egy malomipari feldolgozási folyamat műszaki feltételeinek a vizsgálata élelmiszerbiztonsági szempontból. *Gradus*, 1(2), 44-50. o.
50. Kiss I. (2011): Significance of wheat production in world economy and position of Hungary in it. *Applied Studies in Agribusiness and Commerce – Abstract*, 5(1-2), pp. 115-119.
51. Kiss Zs., Toldi J. (2013): Élelmiszertoxikológia. Jegyzet. Szegedi Tudományegyetem. 120. o.
52. Kolmogorov, A. (1933): Sulla determinazione empirica di una legge di distribuzione. *Giornale del Istituto Italiano degli Attuari*, 4, pp. 83-91.
53. Konopka, I., Rotkiewicz, D., TANSKA, M. (2005): Wheat endosperm hardness. Part II. Relationship to content and composition of flour lipids. *Eur. Food Res. Technol.* 220., pp. 20-24.
54. KSH (2014): Statisztikai tükör. 134. 2014. december 9. 4.o. https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/stattukor/jel_buza_kukorica.pdf.

55. KSH (2016): Táblák (STADAT) - Idősoros éves, területi adatok - Gazdasági ágazatok. 6.4.1.4. A búza termelése. Frissítve: 2016.08.15. http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_omn012b.html (Lekérdezés időpontja: 2016.09.06.)
56. KSH (2016): Statisztikai tükör – Fontosabb növények vetésterülete, 2016 június 1., 3. o. <https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/gyor/vet/vet1606.pdf> (Lekérdezés időpontja: 2016.09.06.)
57. Kushiro M. (2008): Effects of Milling and cooking processes on the deoxynivalenol content in wheat. *International Journal of Molecular Science*, 9., pp. 2127-2145.
58. Lakatos E. (2013): Élelmiszeripari technológiák I. Malom-, sütő- és édesipar. Palatina Nyomda és Kiadó Kft; 118. o. ISBN 978-963-139-0
59. Láng Z. (1999): A zöldség-, dísznövény és szaporítóanyag-termesztés berendezései és gépei. Mezőgazdasági Kiadó, 383. o.
60. Lešnik, M., Vajs, S., Kramberger, B., Žerjav, M., Zemljič, A., Simončič, A., Kolmanič, A. (2014) Fusarium infected grain removal efficacy in cleaning wheat grain prior to milling. *Zemdirbyste-Agriculture*, 101(3), pp. 285–294. ISSN 1392-3196 / e-ISSN 2335-8947. DOI 10.13080/z-a.2014.101.037
61. Lovra Szabolcsi I. (2011): Malomipari technológia. Magyar Nemzeti Tanács, Topolya, 73. o.
62. Macmasters, M.M., Bradbury, D., Hinton, J.J.C. (1964): Microscopic structure and composition of the wheat kernel. (Ed.). *Wheat: Chemistry and technology*, pp. 55–110.
63. Monda S., Mosonyi Á., Tóth J., (1990): Gabonaipari technológiák. Kertészeti és Élelmiszeripari Egyetem Élelmiszeripari Kar, Budapest, 423. o.
64. Mauchly, J.W. (1940): Significance Test for Sphericity of a Normal n-Variate Distribution. *Ann. Math. Statist*, 11 (2), pp. 204-209.
65. Mesterházy Á. (1995): Types and components of resistance to Fusarium head blight of wheat. *Plant Breeding*, 114, pp. 377-386.
66. Mesterházy Á. (1998): Gabonafélék rezisztenciára nemesítésének kórtani és módszertani alapjai fuzáriózissal szemben. *Akadémiai Doktori Értekezés*, Szeged, 126. o.
67. Mesterházy Á. (2002): Theory and practice of the breeding for Fusarium head blight resistance in wheat. *J Appl Genet*, 43A, pp. 289-302.
68. Mesterházy Á. (2007): Mikotoxinok a gabonatermesztésben: az élelmiszerbiztonsági kihívás. *Élelmiszervizsgálati közlemények*, LIII. kötet, (53 különszám), 38-48. o.
69. Moksony F. (1998): A determinációs együttható szerepe és használata a szociológiai kutatásban. *Szociológiai szemle*, 4, 1-15. o.
70. Nébih: Közös érdek a mikotoxin szennyezés megelőzése. Sajtóközlemény. <http://portal.nebih.gov.hu/-/kozos-erdek-a-mikotoxin-szennyezese> (Lekérdezés időpontja: 2018.07.11.)
71. Németh Gy. (2002): *Karthágó és a só*. Budapest: Korona Kiadó Kft. 216. o.
72. Osztényiné Krauzy É. (2015): Eloszláscsaládokhoz való illeszkedés vizsgálata. *GRADUS*, 2 (2), 52-62. o.
73. Osztényiné Krauzy É. (2016): Eloszláscsaládokhoz való illeszkedés vizsgálata. SZTE, Doktori disszertáció, 105. o.

74. Pasikatan, M. C., Dowell, F. E. (2003): Evaluation of a high-speed color sorter for segregation of red and white wheat. *Applied Engineering in Agriculture*, 19 (1), pp. 33-38. ISSN 0883-8542
75. Parry, D.W., Jenkinson, P., Mcleod, L. (1995): Fusarium earl blight (scrab) in small grain cereals – a review. *Plant Patol*, 47., pp. 207-238.
76. Pearson, E., D'Agostino, R., Bowman, K. (1977): Test for departure from normality: comparison of power. *Biometika*, 64., pp. 231-246.
77. Posner, S.E., Hibbs, N.A. (2005): Wheat cleaning and conditioning. *Wheat Flour Milling*, 2., pp. 141-183.
78. Posner, S.E., Hibbs, N.A. (2011): Wheat flour milling. AACC Intl. Press. p. 489. DOI: 10.1094/1891127403.004
79. Rajkó R. (2011): Élelmiszeripari műveletek I. Oktatási segédlet. SZTE Mérnöki Kar, Folyamatmérnöki Intézet, 56. o. <http://csuka.mk.u-szeged.hu/~rajko/jegyzetek/ELIMUV1.pdf>.
80. Rakszegi M., Némethné Kisgyörgy B., Láng L., Bedő Z. (2014): A búzakeményítő és az egészséges táplálkozás. *Élet és tudomány*, 26., 816-818. o
81. Reichart O. (2012): Kísérlettervezés és értékelés a biológiai mikrobiológiai gyakorlatban. ÁOTK, Budapest, 112. o. <https://vdocuments.site/download/kiserlettervezes-es-ertekeles-a-mikrobiologiai-gyakorlatban>
82. Reiczigel J., Harnos A., Solymosi N. (2014): Biostatisztika. Nem statisztikusoknak. Pars Kft. Nagykovácsi, 462. o.
83. Sándor M., Györi Z., Sípos P. (2010): Malomipari lehetőségek értékelése az őszi búza mikotoxin szennyezettségének csökkentésében. *Élelmiszer Tudomány Technológia*, LXIV. (2) 4-9. o.
84. Schule Vericone VPC 330/480 Brochure. Mühlenbau Gmb. https://www.schulefood.de/fileadmin/media/schule/files/Prospekte_englisch/FHS11-VertiSchleif-14e.pdf (Letöltve: 2017.01.22.)
85. Shapiro, S., Wilk, M. (1965): An Analysis of Variance Test for Cormality (Complete Samples). *Biometrika*, vol. 52. (3-4), pp. 591-611.
86. Sohár P-né. (2007): Mikotoxinok az élelmiszerláncban. *Élelmiszervizsgálati közlemények. Különszám. LIII. kötet, (53. különszám), 60-68. o.*
87. Stephens, M.A. (1974): EDF Statistics for Goodness of Fit and Some Comparisons. *Journal of the American Statistical Association*, 69., pp. 730-737.
88. Stoenescu, G., Ionescu, V., Vasilean, I., Aprodu, I., Banu, I. (2010): Technological effects of the wheat cleaning equipment of an industrial mill. *The Annals of the University Dunarea de Jos of Galati Fascicle VI – Food Technology*, 34(2), pp. 1-5.
89. Sugden, D., (1999): Tempering wheat. *Word Grain*, 5, pp. 32-35.
90. Sváb J. (1973): Biometriai módszerek a kutatásban. *Mezőgazdasági Kiadó*. 517. o.
91. Szalai J. (2000): *Biometria II. KF Kertészeti Főiskolai Kar jegyzet, Kecskemét*, 227. o.
92. Szabó-Hevér Á. (2013): A kalászfuzárium rezisztencia molekuláris hátterének vizsgálata frontana eredetű térképező búzapopulációkban, SZIE, Doktori értekezés, 141. o.

93. Szeitzné Szabó M. (szerk.) (2009): Gabonaalapú élelmiszerek fuzárium toxin szennyezettségének csökkentési lehetőségei. Magyar Élelmiszerbiztonsági Hivatal, Budapest, 33. o.
94. Szunics L., Vida Gy., Veisz O., Láng L., Bedő Z. (2002): A Maxi és a Makaróni. Új őszi típusú, jó minőségű durumbúza fajták. Martonvásár, az MTA Mezőgazdasági Kutató Intézetének közleményei, XIV(2), 9-11. o.
95. Tkachuk, R., Dexter, J.E., Tipples K.H., Nowicki, T.W. (1991): Removal by specific gravity table of tombstone kernels and associated tricothecene from wheat infected with Fusarium head blight. Cereal chemistry, 68., pp. 428-431.
96. Tóthné Parázsó L. (2011): A kutatómódszertan matematikai alapjai. TAMOP 4.2.5 Pályázat könyvei. Eszterházy Károly Főiskola. http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0005_31_kutatasmodszertan_scorm_05/534_a_lineris_korrelcis_egytthat.html
97. Varga J., Téren J., Tóth B., Kocsubé S., Rigó K. (2009): Gombák másodlagos anyagcseretermékei: mikotoxinok, gombamérgek. Szeged JATE Press, 114. o.
98. Véha A., Szabó P. B., Gyimes E (2011): Peritec technology to reduce fusarium toxin in the milling technology. Analecta Technica Szegediensia, pp. 131-136. ISSN 1788-6392,
99. Velten, K.A. (2007): Bühler Sortex Z+. Advanced Cleaning House Technology through Color Sorting. Internationak Association of Operative Millers MEA Conf., Oman, pp. 1-26.
100. Veres E., Borbély M. (2007): Az őszi búza felhasználhatósága a vizuális és mikrobiológiai Fusarium fertőzöttség-, valamint a toxin vizsgálatok alapján. Agrártudományi közlemények, (12), 26-34. o.
101. A Bizottság 2005/38/EK irányelve (2005. június 6.) az élelmiszerek Fusarium-toxin-tartalmának hatósági ellenőrzésére szolgáló mintavételi és vizsgálati módszerek megállapításáról
102. A Bizottság 2006/583/EK ajánlása (2006. augusztus 17.) a gabonákban és gabonakészítményekben a Fusarium-toxin-szennyezés megelőzéséről és csökkentéséről
103. A Bizottság 1881/2006/EK rendelete (2006. december 19.) az élelmiszerekben előforduló egyes szennyező anyagok felső határértékeinek meghatározásáról

M2: Az értekezés témaköréhez tartozó saját publikációk listája

Lektorált cikk világnyelven:

1. Tima H., Berkics A., Hannig Z., Ittész A., **Kecskésné N.E.**, Mohácsi-Farkas Cs., Kiskó G. (2018): Deoxynivalenol in wheat, maize, wheat flour and pasta: surveys in Hungary in 2008-2015. Food Additives and Contaminants Part B – Surveillance, 11(1), pp. 37-42. <https://doi.org/10.1080/19393210.2017.1397061> (IF: 2,407*)
2. Tima H., **Kecskésné Nagy E.**, Rácz A., Kiskó G. (2017): DON, F-2 and T-2 mycotoxin assay of plant-based feedstock raw materials using the ELISA method. Élelmiszervizsgálati Közlemények, 63(2), pp. 1558-1563.
3. **Kecskésné N. E.**, Korzenszky P., Sembery P. (2016): The role of color sorting machine in reducing food safety risks. Potravinarstvo, 10(1), pp. 354-358.
4. **Kecskésné N. E.**, Korzenszky P., Sembery P. (2015): Reduction of toxin content of Triticum durum in the milling process. Review on Agriculture and Rural Development, 4(1), pp. 11-16.
5. **Kecskésné N. E.**, Sembery P. (2015): The effect of adequate technical conditions on level of DON toxin in milling process. Annals of Faculty Engineering Hunedoara / International Journal of Engineering, 13(1), pp. 49-52.
6. **Kecskésné N. E.**, Sembery P. (2015): Color sorting of bread-making wheat and change of toxin content. Annals of Faculty Engineering Hunedoara / International Journal of Engineering, 13(1), pp. 171-174.

Lektorált cikk magyar nyelven:

7. **Kecskésné N. E.**, Osztényiné K. É., Korzenszky P., Sembery, P. (2017): A búzátételek magas gazdasági kockázatot jelentő DON-toxin tartalmának csökkentési lehetőségei és statisztikai vizsgálata. Mezőgazdasági Technika, 58(4), 2-5. o.
8. Tima H., **Kecskésné Nagy E.**, Rácz A., Kiskó G. (2017): Takarmányozásra használt növényi alapanyagok DON, F-2, T-2 mikotoxin vizsgálata validált ELISA módszerrel, adatok értékelése RStudio programmal. Élelmiszervizsgálati Közlemények, 63(2), 1548-1563. o.
9. **Kecskésné Nagy E.**, Nagy J., Nagy D., Korzenszky P., Osztényiné Krauczy É (2017): A malmi búza feldolgozásában alkalmazott manipuláló gépek és korszerű gépelemek szerepe a DON-toxin tartalom csökkentésében. Gradus, 4(2), 162-166. o.
10. **Kecskésné Nagy E.**, Nagy J., Nagy D., Korzenszky P., Osztényiné Krauczy É. (2017): A malmi búza tisztítási folyamatában alkalmazott gépek hatékonyságának vizsgálata a DON-toxin tartalom csökkentésében. Gradus, 4(2), 167-170. o.
11. **Kecskésné N. E.**, Tima, H., Korzenszky, P., Sembery, P. (2016): Színválogatás után keletkezett malmi melléktermék DON-toxin-tartalmának vizsgálata takarmányként való felhasználás szempontjából. Magyar Állatorvosok Lapja, 138(7), 421-430. o., (IF: 0,189)
12. **Kecskésné Nagy E.**, Korzenszky P., Sembery P. (2015): Malmi melléktermék toxintartalmának vizsgálata. Gradus, 2(2), 269-275. o.
13. **Kecskésné Nagy E.**, Sembery P. (2015): A Triticum durum toxintartalmának csökkentése a malomipari folyamatban. Gradus, 2(1), 185-190. o.
14. **Kecskésné Nagy E.**, Korzenszky P., Sembery P. (2015): Malmi melléktermék DON-toxintartalmának vizsgálata. Economica, 8(4/2), 271-278. o.

15. **Keckésné Nagy E.**, Szalai J. (2014): A búza DON-toxin tartalom változásának elemzése intervallumbecsléssel. *Gradus*, 1(2), 68-73. o
16. **Keckésné Nagy E.**, Sembery P. (2014): Hogyan lehet csökkenteni a kenyérgabona DON-toxin tartalmát a feldolgozási folyamatban? *Gradus*, 1(2), 51-57. o.
17. **Keckésné Nagy E.**, Sembery P. (2014): Egy malomipari feldolgozási folyamat műszaki feltételeinek a vizsgálata élelmiszerbiztonsági szempontból. *Gradus*, 1(2), 44-50. o.

Nemzetközi konferencia proceeding:

18. Korzenszky P., **Keckés-Nagy E.**, Sembery P. (2016): The optical sorter technology to reduce the content of DON-toxin in milling process. Ed. by: Dzugan, M., Pasternakiewicz, A., Wesolowska, M. *Environmental influence on the food quality and human health*. Rzeszów: Wydawnictwo Uniwersytetu Rzeszowskiego, pp. 87-97. (ISBN:978-83-7996-409-3)
19. **Keckés-Nagy E.**, Sembery P. (2014): Reduction of DON-toxin content in wheat. Ed. by: Major Á., Kovács L., Johanyák Cs.Zs., Pap-Szigeti R. (szerk.) *Proceedings of TEAM 2014: 6th International Scientific and Expert Conference of the International TEAM Society*. Kecskemét, HU, 2014.11.10-2014.11.11. Kecskemét University, pp. 74-77. (ISBN:978-615-5192-22-7)

Magyar nyelvű konferencia proceeding:

20. **Keckésné Nagy E.**, Sembery P. (2013): Az élelmiszerbiztonság szabályozási rendszere az alaptermékek előállításában. In: Ferencz Á. (szerk.) *Gazdálkodás és Menedzsment Tudományos Konferencia: Környezettudatos gazdálkodás és menedzsment*. Kecskemét, Magyarország, 2013.09.05 Kecskeméti Főiskola, 950-954. o. I-II. kötet. (ISBN:978-615-5192-19-7 Ö)
21. **Keckésné Nagy E.** (2012): Az élelmiszerbiztonsági előírások rendszere, valamint speciális alkalmazása. In: Kovácsné Gaál K. (szerk.) *A magyar mezőgazdaság - lehetőségek, források, új gondolatok*. 34. Óvári Tudományos Nap. Mosonmagyaróvár, Magyarország, 2012.10.05 Nyugat-magyarországi Egyetem Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar, 422-426. o. (ISBN:978 963 9883 93 2)
22. **Keckésné Nagy E.** (2011): Az élelmiszerbiztonság szabályozási rendszerének a vizsgálata és műszaki vonatkozásai. In: Ferencz Á., Borsné Pető J., Lipócziné Csabai S., Kovács L. (szerk.) *AGTEDU 2011: a Magyar Tudomány Ünnepe alkalmából rendezett 12. tudományos konferencia*. Kecskemét, Magyarország, 2011.11.10 Kecskeméti Főiskola, 53-58. o.

Nemzetközi konferencia absztract

23. Korzenszky P., **Keckésné Nagy E.** – Sembery, P. (2017): Summary of our DON-toxin studies in Hungary. Ed. by: Muchacka, R., Zyśk, B. (szerk.) *XVIII INTERNATIONAL CONFERENCE RISK FACTORS OF FOOD CHAIN: BOOK OF ABSTRACTS*. Kraków: Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Pedagogicznego, 2017.09.20-2017.09.22., p. 22. ISBN:978-83-8084-082-9
24. **Keckés-Nagy E.**, Sembery P., Korzenszky P. (2015): Reduction of DON-toxin content in wheat. Ed. by: Kováčik, A., Slanina, T., Čupka, P. (szerk.) *XVI Risk Factors of Food Chain, Book of abstracts*. Dudince, Szlovákia, 2015.10.19-2015.10.21. Nitra: Slovak University of Agriculture, p. 20. ISBN:978-80-552-1424-5

Magyar nyelvű konferencia absztract

25. Tima H., Berkics A., Hannig Z., Ittész A., **Kecskésné N.E.**, Mohácsi-Farkas Cs., Kiskó G. (2018): Deoxynivalenol mikotoxinszennyezettség elemzése búzában, kukoricában, búzalisztben és száraztésztaiban: felmérés Magyarországon, 2008-2015 között. In: Akadémiai beszámoló: Élelmiszerhigiéna: Állategészségügyi igazgatás. Budapest, MTA Állatorvostudományi Kutatóintézet. 2018.01.22-01.25.

M3: A V₂ minták DON-toxin koncentrációjának becslése a V₁ minták adatai alapján konfidenciaintervallum segítségével (2013-2015. évjárat)

V₁ mintavételi hely = kiinduló DON-toxin tartalom a Sortex Z+ optikai válogató gépnél; V₂ mintavételi hely = optikai válogatást követő DON-toxin tartalom

V ₁ mintavételi hely DON-toxin sávjai (ppm)	Konfidenciasáv értékei a V ₂ várható értékének meghatározásához (ppm)							
	2013. évjárat		2014. évjárat		2015. évjárat			
					összes minta (70 db)		malmi búza (59 db)	
	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.
0-0,50	-0,28	0,12	0,07	0,22	0,04	0,29	-0,06	0,18
0,05-0,10	-0,23	0,15	0,10	0,25	0,07	0,31	-0,03	0,20
0,11-0,15	-0,18	0,19	0,14	0,27	0,10	0,33	0,01	0,23
0,16-0,20	-0,13	0,22	0,17	0,30	0,13	0,35	0,04	0,25
0,21-0,25	-0,07	0,26	0,21	0,33	0,16	0,37	0,07	0,28
0,26-0,30	-0,02	0,29	0,24	0,35	0,18	0,39	0,11	0,30
0,31-0,35	0,03	0,33	0,28	0,38	0,21	0,41	0,14	0,33
0,36-0,40	0,08	0,36	0,31	0,41	0,24	0,43	0,18	0,35
0,41-0,45	0,13	0,40	0,34	0,43	0,27	0,45	0,21	0,38
0,46-0,50	0,18	0,44	0,38	0,46	0,30	0,48	0,24	0,40
0,51-0,55	0,23	0,47	0,41	0,49	0,32	0,50	0,28	0,43
0,56-0,60	0,28	0,51	0,44	0,52	0,35	0,52	0,31	0,45
0,61-0,65	0,33	0,54	0,47	0,55	0,38	0,54	0,34	0,48
0,66-0,70	0,38	0,58	0,51	0,58	0,41	0,56	0,37	0,50
0,71-0,75	0,43	0,62	0,54	0,61	0,43	0,58	0,41	0,53
0,76-0,80	0,48	0,65	0,57	0,64	0,46	0,60	0,44	0,55
0,81-0,85	0,53	0,69	0,59	0,67	0,49	0,62	0,47	0,58
0,86-0,90	0,57	0,73	0,62	0,71	0,51	0,65	0,50	0,61
0,91-0,95	0,62	0,77	0,65	0,74	0,54	0,67	0,54	0,63
0,96-1,00	0,67	0,81	0,68	0,77	0,57	0,69	0,57	0,66
1,01-1,05	0,71	0,85	0,71	0,81	0,59	0,71	0,60	0,69
1,06-1,10	0,76	0,89	0,73	0,84	0,62	0,73	0,63	0,71
1,11-1,15	0,80	0,93	0,76	0,87	0,65	0,76	0,66	0,74
1,16-1,20	0,84	0,97	0,79	0,91	0,67	0,78	0,69	0,77
1,21-1,25	0,89	1,02	0,81	0,94	0,70	0,80	0,72	0,80
1,26-1,30	0,93	1,06	0,84	0,98	0,72	0,83	0,75	0,83

V ₁ mintavételi hely DON-toxin sávjai (ppm)	Konfidenciasáv értékei a V ₂ várható értékének meghatározásához (ppm)							
	2013. évjárat		2014. évjárat		2015. évjárat			
					összes minta (70 db)		malmi búza (59 db)	
	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.
1,31-1,35	0,97	1,11	0,87	1,01	0,75	0,85	0,77	0,86
1,36-1,40	1,01	1,16	0,89	1,05	0,77	0,87	0,80	0,89
1,41-1,45	1,04	1,20	0,92	1,08	0,80	0,90	0,83	0,92
1,46-1,50	1,08	1,25	0,95	1,12	0,82	0,92	0,85	0,96
1,51-1,55	1,12	1,30	0,97	1,15	0,84	0,95	0,88	0,99
1,56-1,60	1,15	1,35	1,00	1,19	0,87	0,98	0,91	1,02
1,61-1,65	1,19	1,40	1,02	1,22	0,89	1,00	0,93	1,05
1,66-1,70	1,23	1,45	1,05	1,26	0,91	1,03	0,96	1,08
1,71-1,75	1,26	1,50	1,08	1,29	0,93	1,05	0,98	1,12
1,76-1,80	1,30	1,55	1,10	1,33	0,96	1,08	1,01	1,15
1,81-1,85	1,33	1,60	1,13	1,36	0,98	1,11	1,03	1,18
1,86-1,90	1,37	1,65	1,15	1,40	1,00	1,13	1,06	1,22
1,91-1,95	1,41	1,70	1,18	1,43	1,02	1,16	1,08	1,25
1,96-2,00	1,44	1,75	1,21	1,47	1,04	1,19	1,11	1,28
2,01-2,05	1,48	1,80	1,23	1,50	1,06	1,21	1,13	1,32

M4: A V₅ minták DON-toxin koncentrációjának becslése a V₄ minták adatai alapján konfidenciaintervallum segítségével (2013-2015. évjáratok)

V₁ mintavételi hely = kiinduló DON-toxin tartalom a Schule Verticone VPC 480 felülettisztító gépnél;

V₂ mintavételi hely = a felülettisztítást követő DON-toxin tartalom

V ₄ mintavételi hely DON-toxin sávjai (ppm)	Konfidenciasáv értékei a V ₅ várható értékének meghatározásához (ppm)							
	2013. évjárat		2014. évjárat		2015. évjárat			
					összes minta (70 db)		malmi búza (59 db)	
	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.
0-0,50	-0,04	0,22	-0,01	0,08	0,01	0,13	-0,04	0,08
0,05-0,10	0,00	0,25	0,03	0,11	0,05	0,16	0,00	0,12
0,11-0,15	0,04	0,27	0,07	0,14	0,09	0,20	0,05	0,16
0,16-0,20	0,08	0,30	0,11	0,18	0,13	0,23	0,09	0,20
0,21-0,25	0,12	0,33	0,15	0,21	0,17	0,27	0,14	0,24
0,26-0,30	0,16	0,35	0,19	0,25	0,21	0,30	0,18	0,27
0,31-0,35	0,20	0,38	0,23	0,28	0,26	0,34	0,23	0,31
0,36-0,40	0,24	0,41	0,26	0,31	0,30	0,37	0,27	0,35
0,41-0,45	0,27	0,43	0,30	0,35	0,34	0,41	0,32	0,39
0,46-0,50	0,31	0,46	0,34	0,39	0,38	0,44	0,36	0,43
0,51-0,55	0,35	0,49	0,38	0,42	0,42	0,48	0,41	0,47
0,56-0,60	0,39	0,52	0,41	0,46	0,46	0,52	0,45	0,51
0,61-0,65	0,42	0,55	0,45	0,50	0,50	0,55	0,49	0,55
0,66-0,70	0,46	0,58	0,48	0,54	0,54	0,59	0,54	0,59
0,71-0,75	0,49	0,61	0,52	0,58	0,58	0,63	0,58	0,63
0,76-0,80	0,53	0,64	0,55	0,62	0,61	0,67	0,62	0,67
0,81-0,85	0,56	0,67	0,59	0,66	0,65	0,70	0,66	0,71
0,86-0,90	0,59	0,70	0,62	0,70	0,69	0,74	0,70	0,76
0,91-0,95	0,62	0,74	0,65	0,74	0,73	0,78	0,74	0,80
0,96-1,00	0,65	0,77	0,69	0,78	0,76	0,82	0,78	0,84
1,01-1,05	0,68	0,81	0,72	0,82	0,80	0,86	0,82	0,89
1,06-1,10	0,71	0,85	0,75	0,86	0,84	0,90	0,85	0,93
1,11-1,15	0,74	0,88	0,78	0,90	0,87	0,94	0,89	0,98
1,16-1,20	0,77	0,92	0,82	0,94	0,91	0,98	0,93	1,02
1,21-1,25	0,79	0,96	0,85	0,98	0,94	1,02	0,97	1,07

V ₄ mintavételi hely DON-toxin sávjai (ppm)	Konfidenciasáv értékei a V ₅ várható értékének meghatározásához (ppm)							
	2013. évjárat		2014. évjárat		2015. évjárat			
					összes minta (70 db)		malmi búza (59 db)	
	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.
1,26-1,30	0,82	1,00	0,88	1,02	0,98	1,06	1,01	1,12
1,31-1,35	0,85	1,04	0,92	1,06	1,01	1,10	1,04	1,16
1,36-1,40	0,88	1,07	0,95	1,10	1,05	1,15	1,08	1,21
1,41-1,45	0,90	1,11	0,98	1,15	1,08	1,19	1,12	1,25
1,46-1,50	0,93	1,15	1,01	1,19	1,12	1,23	1,16	1,30
1,51-1,55	0,95	1,19	1,05	1,23	1,15	1,27	1,19	1,34
1,56-1,60	0,98	1,23	1,08	1,27	1,19	1,31	1,23	1,39
1,61-1,65	1,01	1,27	1,11	1,31	1,22	1,35	1,27	1,43
1,66-1,70	1,03	1,31	1,15	1,35	1,26	1,39	1,31	1,48
1,71-1,75	1,06	1,35	1,18	1,39	1,29	1,43	1,34	1,53
1,76-1,80	1,08	1,39	1,21	1,43	1,33	1,48	1,38	1,57
1,81-1,85	1,11	1,43	1,24	1,47	1,36	1,52	1,42	1,62
1,86-1,90	1,13	1,47	1,28	1,51	1,40	1,56	1,46	1,66
1,91-1,95	1,16	1,51	1,31	1,56	1,43	1,60	1,49	1,71
1,96-2,00	1,19	1,55	1,34	1,60	1,47	1,64	1,53	1,75
2,01-2,05	1,21	1,59	1,37	1,64	1,50	1,68	1,57	1,80

M5: A V_5 minták DON-toxin koncentrációjának becslése a V_1 minták adatai alapján a konfidenciaintervallum segítségével (2013-2015. évjárat)

V_1 mintavételi hely= kiinduló DON-toxin tartalom; V_5 mintavételi hely= a tisztítási folyamat végén mért DON-toxin tartalom

V_1 mintavételi hely DON-toxin sávjai (ppm)	Konfidenciasáv értékei a V_5 várható értékének meghatározásához (ppm)							
	2013. évjárat		2014. évjárat		2015. évjárat			
	min.	max.	min.	max.	összes minta (70 db)		malmi búza (59 db)	
					min.	max.	min.	max.
0-0,50	-0,25	0,12	0,00	0,13	0,05	0,25	-0,10	0,13
0,05-0,10	-0,21	0,14	0,03	0,15	0,07	0,26	-0,07	0,15
0,11-0,15	-0,18	0,16	0,06	0,17	0,09	0,28	-0,04	0,17
0,16-0,20	-0,14	0,19	0,08	0,19	0,11	0,29	-0,01	0,19
0,21-0,25	-0,10	0,21	0,11	0,21	0,14	0,31	0,02	0,21
0,26-0,30	-0,06	0,23	0,14	0,23	0,16	0,33	0,05	0,23
0,31-0,35	-0,02	0,26	0,16	0,25	0,18	0,34	0,08	0,26
0,36-0,40	0,01	0,28	0,19	0,27	0,20	0,36	0,11	0,28
0,41-0,45	0,05	0,30	0,21	0,30	0,22	0,37	0,14	0,30
0,46-0,50	0,09	0,33	0,24	0,32	0,24	0,39	0,17	0,32
0,51-0,55	0,13	0,35	0,27	0,34	0,26	0,41	0,19	0,34
0,56-0,60	0,16	0,37	0,29	0,36	0,29	0,42	0,22	0,36
0,61-0,65	0,20	0,40	0,31	0,38	0,31	0,44	0,25	0,38
0,66-0,70	0,24	0,42	0,34	0,40	0,33	0,45	0,28	0,40
0,71-0,75	0,27	0,45	0,36	0,43	0,35	0,47	0,31	0,42
0,76-0,80	0,31	0,47	0,38	0,45	0,37	0,49	0,34	0,44
0,81-0,85	0,34	0,50	0,41	0,48	0,39	0,50	0,36	0,47
0,86-0,90	0,38	0,52	0,43	0,50	0,41	0,52	0,39	0,49
0,91-0,95	0,41	0,55	0,45	0,53	0,43	0,54	0,42	0,51
0,96-1,00	0,45	0,58	0,47	0,55	0,45	0,55	0,45	0,53
1,01-1,05	0,48	0,60	0,49	0,58	0,47	0,57	0,47	0,56
1,06-1,10	0,51	0,63	0,51	0,61	0,49	0,59	0,50	0,58
1,11-1,15	0,54	0,66	0,53	0,63	0,51	0,60	0,53	0,60
1,16-1,20	0,57	0,69	0,55	0,66	0,53	0,62	0,55	0,63
1,21-1,25	0,60	0,72	0,57	0,69	0,55	0,64	0,58	0,65
1,26-1,30	0,63	0,76	0,59	0,71	0,57	0,66	0,60	0,68

V ₁ mintavételi hely DON-toxin sávjai (ppm)	Konfidenciasáv értékei a V ₅ várható értékének meghatározásához (ppm)							
	2013. évjárat		2014. évjárat		2015. évjárat			
					összes minta (70 db)		malmi búza (59 db)	
	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.
1,31-1,35	0,66	0,79	0,61	0,74	0,59	0,68	0,62	0,71
1,36-1,40	0,69	0,83	0,63	0,77	0,61	0,69	0,65	0,73
1,41-1,45	0,71	0,86	0,65	0,79	0,63	0,71	0,67	0,76
1,46-1,50	0,74	0,90	0,67	0,82	0,65	0,73	0,69	0,79
1,51-1,55	0,76	0,93	0,69	0,85	0,67	0,75	0,71	0,81
1,56-1,60	0,79	0,97	0,71	0,88	0,68	0,77	0,73	0,84
1,61-1,65	0,81	1,00	0,73	0,90	0,70	0,79	0,76	0,87
1,66-1,70	0,83	1,04	0,75	0,93	0,72	0,81	0,78	0,90
1,71-1,75	0,86	1,08	0,77	0,96	0,73	0,83	0,80	0,93
1,76-1,80	0,88	1,12	0,79	0,98	0,75	0,85	0,82	0,96
1,81-1,85	0,91	1,15	0,80	1,01	0,77	0,87	0,84	0,98
1,86-1,90	0,93	1,19	0,82	1,04	0,79	0,89	0,86	1,01
1,91-1,95	0,95	1,23	0,84	1,07	0,80	0,92	0,88	1,04
1,96-2,00	0,98	1,27	0,86	1,09	0,82	0,94	0,90	1,07
2,01-2,05	1,00	1,30	0,88	1,12	0,83	0,96	0,92	1,10

9. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönetet szeretnék mondani témavezetőimnek Dr. Sembery Péternek és Dr. Korzenszky Péternek a kutató munkám során és a disszertáció elkészítéséhez nyújtott hasznos tanácsokért.

Köszönöm Osztyényiné Dr. Krauczi Évának a statisztikai kiértékeléshez adott útmutatásait.

A kísérletek helyszínét adó malom minden munkatársának köszönettel tartozom, mert lehetőséget adtak a vizsgálatok elvégzéséhez, és együttműködésükkel biztosították a búzaminták szakszerű megszedését és bevizsgálását.