



ÉTKEZÉSI PAPRIKAFAJTÁK ÚJSZERŰ MINŐSÍTÉSE AUTOMATA KÉPFELDOLGOZÓ RENDSZERREL

Doktori (PhD) értekezés

Gergely Zoltán

Gödöllő
2016

**A doktori iskola
megnevezése:**

Műszaki Tudományi Doktori Iskola

tudományága:

Agrárműszaki tudományok

vezetője:

Prof. Dr. Farkas István
egyetemi tanár, DSc
Szent István Egyetem, Gépészmérnöki Kar

témavezető:

Prof. Dr. Beke János
egyetemi tanár, DSc
Szent István Egyetem, Gépészmérnöki Kar
Folyamatmérnöki Intézet
Témavezetés időtartama: 2008-2016

Dr. Judák Endre
egyetemi docens, CSc
Szent István Egyetem, Gépészmérnöki Kar
Folyamatmérnöki Intézet
Témavezetés időtartama: 2006-2008

társ-témavezető:

Dr. Petróczki Károly
egyetemi docens, PhD
Szent István Egyetem, Gépészmérnöki Kar
Folyamatmérnöki Intézet

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezető jóváhagyása

TARTALOMJEGYZÉK

| | |
|--|----|
| JELÖLÉS- ÉS RÖVIDÍTÉSJEGYZÉK | 5 |
| 1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉS | 7 |
| 1.1. A téma időszerűsége és jelentősége | 7 |
| 1.2. Célkítűzések | 7 |
| 2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS | 9 |
| 2.1. A paprika minőségi követelményei | 9 |
| 2.1.1. <i>Minőségi követelmények</i> | 10 |
| 2.1.2. <i>Méretelőírások</i> | 11 |
| 2.2. A válogatás gépei és berendezései | 12 |
| 2.2.1. <i>Mechanikus osztályozógépek</i> | 13 |
| 2.2.2. <i>Elektronikus osztályozógépek</i> | 16 |
| 2.3. Képfeldolgozás | 18 |
| 2.3.1. <i>Szegmentáció</i> | 18 |
| 2.3.2. <i>Kontúr és alak leírása, méret meghatározása</i> | 20 |
| 2.4. Kísérleti eljárások és módszerek | 20 |
| 2.5. Képzékelők | 21 |
| 2.5.1. <i>A CCD érzékelők működése</i> | 21 |
| 2.5.2. <i>CMOS képzékelők működése</i> | 23 |
| 2.6. Beágyazott rendszerek és mikrovezérlők | 24 |
| 2.6.1. <i>Beágyazott rendszerek</i> | 24 |
| 2.6.2. <i>Mikrovezérlők</i> | 25 |
| 2.7. A szakirodalmi áttekintés összefoglaló értékelése | 27 |
| 3. ANYAG ÉS MÓDSZER | 29 |
| 3.1. A vizsgált paprikafajták | 29 |
| 3.2. A mérőrendszer kialakítása | 29 |
| 3.3. A világítási rendszer kialakítása | 36 |
| 3.4. A megvalósított berendezés | 37 |
| 3.5. A képzékelés folyamata | 39 |
| 3.6. Képszegmentáció | 42 |
| 3.6.1. <i>Küszöbölés</i> | 42 |
| 3.6.2. <i>Objektumtulajdonságok keresése</i> | 46 |
| 3.6.3. <i>Élek keresése</i> | 46 |
| 3.7. A paprikageometria meghatározása | 50 |
| 3.7.1. <i>A jellemző méretek értelmezése</i> | 50 |
| 3.7.2. <i>A szár nélküli hossz meghatározása</i> | 51 |
| 3.7.3. <i>A termések deformációi</i> | 52 |
| 3.8. A paprika alakjellemezése | 54 |
| 3.8.1. <i>A jellemző méreteket kijelölő elméleti bázispontok felvétele</i> | 54 |
| 3.8.2. <i>A görbülség mértékének meghatározása</i> | 59 |
| 3.8.3. <i>Alakjellemező méretek és paraméterek meghatározása</i> | 61 |
| 3.9. A két kameránézet adatainak kiértékelése | 63 |
| 3.10. Az osztályba sorolás | 64 |
| 3.11. Kalibrálás | 65 |
| 3.12. Mérésadatgyűjtő és kiértékelő rendszer, diagnosztika | 67 |

| | |
|--|-----|
| 4. EREDMÉNYEK | 69 |
| 4.1. Szegmentációs eljárások vizsgálata | 69 |
| 4.2. A kidolgozott élkereső algoritmus vizsgálata | 72 |
| 4.3. A szegmentációs eljárások összehasonlítása | 73 |
| 4.4. A paprika geometriai jellemzőinek meghatározása | 75 |
| 4.5. Alakleírás vizsgálata, görbültség meghatározása | 77 |
| 4.6. A kézi és gépi válogatás vizsgálata | 77 |
| 4.7. A megvalósult kísérleti rendszer vizsgálata | 82 |
| 4.8. A kidolgozott módszer felhasználhatósága más termények osztályozására | 85 |
| 4.9. Új tudományos eredmények | 86 |
| 5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK | 87 |
| 6. ÖSSZEFOGLALÁS | 89 |
| 7. SUMMARY | 91 |
| 8. MELLÉKLETEK | 93 |
| M1. Irodalomjegyzék | 93 |
| M2. Az értekezés témaköréhez kapcsolódó publikációk | 98 |
| M3. Mérési adatok | 99 |
| <i>M3.1. A szegmentációs eljárások vizsgálata</i> | 99 |
| <i>M3.2. A kidolgozott élkereső eljárás vizsgálata</i> | 101 |
| <i>M3.3. A paprika geometriai jellemzőinek meghatározása</i> | 102 |
| <i>M3.4. Az alakleírás vizsgálata, a görbültség meghatározása</i> | 104 |
| <i>M3.5. A megvalósult kísérleti rendszer vizsgálata</i> | 105 |
| <i>M3.6. A kidolgozott módszer felhasználhatósága más termények osztályozására</i> | 106 |
| KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS | 107 |

JELÖLÉS- ÉS RÖVIDÍTÉSJEGYZÉK

Alkalmazott jelölések

| | | |
|-------------------|---|--------------------|
| γ | görbültségi viszonyyszögek | [°] |
| μ | középvérték | |
| σ | szórás | |
| φ | szakaszok abszolút hajlásszögei | [°] |
| $b_{1,2,\dots,n}$ | a kontúrhatárok keresésére használt segéd tömbök | |
| $b[n], b[j]$ | kijelölt tárgyat (objektumot) tartalmazó egydimenziós tömb | |
| $e[j]$ | küszöbszint feletti éleket tartalmazó egydimenziós tömb | |
| $es[j]$ | szűrt meredekségeket (gradienst) tartalmazó egydimenziós tömb | |
| $E_{1,2,\dots,n}$ | az élek keresésére használt segédváltozók | |
| EH | előre-hátra tényező | |
| $f(x)$ | képzékelő felületén megjelenő folytonos fényerősség eloszlás | |
| $f[n]$ | pixeleken megjelenő diszkrét fényerősség eloszlás | |
| g | görbültségi fok (tényező) | [-] |
| G | eredő görbültségi fok (tényező) | [-] |
| $g[n], g[j]$ | képszelet intenzitást tartalmazó egydimenziós tömb | |
| h | a paprika hosszúsága (szárral csökkentve) | [mm] |
| $h_{kköz}$ | a paprika közelítő középvonal hosszúsága | [mm] |
| h_t | a paprika teljes hosszúsága (szárral együtt) | [mm] |
| H | a paprika átlagos hosszúsága (szárral csökkentve) | [mm] |
| H_B | belépő határolóél pozíciója | |
| $H_{kköz}$ | a paprika eredő közelítő középvonal hosszúsága | [mm] |
| H_K | kilépő határolóél pozíciója | |
| H_t | a paprika teljes eredő hosszúsága (szárral együtt) | [mm] |
| I_p | a FAST detektorral vizsgált p jelű pont intenzitása | [-] |
| k | szórás súlyozására használt tényező | [-] |
| k_{EH} | a kontúr egyenetlenségeinek figyelembevételére használt korrekciós tényező | |
| KV_B | a belépő él kontúrváltozásait tartalmazó egydimenziós tömb | |
| KV_K | a kilépő él kontúrváltozásait tartalmazó egydimenziós tömb | |
| m | a kocsány vonalát kijelölő egyenes végpontjainak x tengely szerinti távolsága | |
| $M_{1,2}$ | paprika vállát kijelölő pontok | |
| P_1 | paprika hegyét kijelölő pont | |
| $P_{2,3}$ | paprika kocsányát kijelölő pontok | |
| P_4 | a paprika első hasznos kontúr pontja | |
| \overline{P}_4 | a paprika utolsó hasznos kontúr pontja | |
| $p[j]$ | élek pozícióját tartalmazó tömb | |
| s | mintavételi távolság | [mm] |
| S | a paprikaalakzat súlypontja | |
| S_p | a FAST detektorral besorolt p pont állapot tényezője | |
| SH | a szár feltételezett koordináta (mintavételi) pontja | |
| SZ | paprikaobjektum szélessége | [mm] |
| $SZ_{köz}$ | paprikaobjektum mértani közepe | [mm] |
| t | mintavétel időpontja | [s] |
| $T, T_{1,2}$ | komparálási határ (küszöbérték) | |
| T_P | paprikaalakzat területe | [mm ²] |
| T_{PA} | paprikaalakzat átlagterülete | [mm ²] |

| | | |
|-----------|---|--------------------|
| v | vállszélesség (vállátmérő) | [mm] |
| \hat{v} | módosított vállszélesség (vállátmérő) iterációs tényezője | [mm ²] |
| V | átlagos vállszélesség (vállátmérő) | [mm] |
| V_{max} | legnagyobb vállszélesség (vállátmérő) | [mm] |

A jelöléseket követő, szögletes zárójelben megadott változók és értékek mindenhol az egydimenziós tömb (mátrix) elemeire való hivatkozást jelentik.

Alkalmazott rövidítések

| | |
|------------------|---|
| ADC | Analog to Digital Converter (analóg-digitális átalakító) |
| ALU | Arithmetic Logic Unit (aritmetikai-logikai egység) |
| CAN | Controller Area Network (mikrokontroller elérésű hálózat) |
| CCD | Charge Coupled Device (töltéscsatolt eszköz) |
| CCT | Correlated color temperature (korrelált színhőmérséklet) |
| CMOS | Complementary Metal-Oxide Semiconductor (komplementer fém-oxid félvezető) |
| CPU | Central Processing Unit (központi feldolgozó egység) |
| CRI | Color Rendering Index (színvisszaadási tényező) |
| CT | Computed Tomography (komputertomográfia) |
| DAC | Digital to Analog Converter (digitális-analóg átalakító) |
| ET | Electron Tomography (elektrontomográfia) |
| FAST | Features from Accelerated Segment Test (sarokkereső algoritmus) |
| ID3 | Iterative Dichotomiser 3 (döntési fákon alapuló algoritmus) |
| I ² C | Inter-Integrated Circuit bus (integrált áramkörök közötti busz) |
| LCD | Liquid-Crystal Display (folyadékkristályos kijelző) |
| LED | Light Emitting Diode (fénykibocsátó dióda) |
| MCU | Microcontroller Unit (mikrovezérlő egység) |
| MRI | Magnetic Resonance Imaging (mágneses magrezonancia képalkotás) |
| NIR | Near infrared (közeli infravörös) |
| PC | Personal Computer (személyi számítógép) |
| PLC | Programmable Logic Controller (programozható logikai vezérlő) |
| PWM | Pulse Width Modulation (impulzusszélesség moduláció) |
| RISC | Reduced Instruction Set Computing (csökkentett utasításkészletű számítástechnika) |
| SBC | Single Board Computer (egykártyás mikrogép) |
| SoC | System on a Chip (rendszer egy chipben) |
| SPI | Serial Peripheral Interface (soros periféria interfész) |
| SUSAN | Smallest Univalued Segment Assimilating Nucleus (sarokkereső algoritmus) |
| UART | Universal Asynchronous Receiver/Transmitter (univerzális aszinkron adóvevő) |
| UV | Ultraviolet (ultraibolya) |
| USB | Universal Serial Bus (univerzális soros busz) |

1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉS

1.1. A téma időszerűsége és jelentősége

A piaci kívánalmak és az új jogszabályok miatt erős igény jelent meg a különböző mezőgazdasági termények osztályozására. Az osztályozás gépesítése azonban új eljárásokat és módszereket igényel. Ezeknek a feladatoknak a tudományos kidolgozása elengedhetetlenül szükséges ahhoz, hogy automatizált folyamatokat hozzunk létre.

Magyarországon az egyik legnagyobb igény az étkezési paprika (*Capsicum annuum L. var. grossum*) válogatására jelent meg. Ennek oka, hogy mintegy 200 ezer tonna átlagos évi összterméssel hazánk (Balázs et al., 2004; FruitVeB, 2009; FruitVeB, 2011) a világ tíz legnagyobb paprikatermelője közé tartozik, intenzív termesztése a hazai zöldség-hajtatás mintegy 50%-át jelenti, melynek nagysága megközelíti a 2000 hektárt. Ennek következménye, hogy az étkezési fehérpaprika az exportált zöldségfélék között is jelentős termék, így alapvető gazdasági érdek a termékek osztályozása. A magyar étkezési paprika hungarikum (Zatykó et al., 2010), amely Európában és Ázsiában egyaránt keresett (Mártonffy et al., 1999; Lantos, 2011), ezt segíti, hogy az EU szakilletékesei a szentesi paprikát oltalom alatt álló földrajzi jelzés kategóriába sorolták (DélKerTÉSZ, 2012), mely az egyik legfontosabb kategória az unió élelmiszer-minőségjelző rendszerében.

A világ legtöbb pontján a kaliforniai paprikát (úgynevezett blocky típusok – bell pepper) ismerik paprikaként, ennek a válogatására már régóta léteznek gépi megoldások. Az elterjedt osztályozási eljárások zöme a kerekded zöldségek és gyümölcsök (paradicsom, burgonya, kaliforniai paprika, alma, kajszli, sárgadinnye, citrom, narancs, stb.) válogatására alkalmasak tömegmeghatározás elven. A fehér, kúpos alakú paprikára azonban ezek az eljárások nem alkalmazhatók, vagyis nem létezik olyan módszer, amivel a kúp és hegyes formájú paprika gépi osztályozása megoldható és az a hatályos előírásokat maradéktalanul kielégíti. Mivel az előre csomagolt formában értékesített étkezési paprika iránti kereslet megnőtt (elsősorban az áruházláncok következtében), ezért a gépi osztályozásnak egyre nagyobb szerepe van.

Bár a technológiai színvonal fejlődése (főként az elektronika, automatizálás és az informatika) lehetővé teszi, azonban a nagy sebességű alakfelismerés és a zajszűrés, illetve a döntési folyamatok kidolgozásának hiánya miatt a kúpos alakkörbe tartozó paprikák osztályozása kézzel történik mind a nagy, mind a kis üzemekben is. Ennek hatására a paprika általában a termelőre jellemző sajátos osztályozási méretekkel jelenik meg a piacon, ami nem minden esetben felel meg az előírásoknak, illetve a piac követelményeinek. A paprika válogatása megfelelő képességgel, rutinnal rendelkező személyt igényel, így a munka szervezése legtöbbször problémákba ütközik, ezért elsődleges fontosságú az automatikus válogatás eljárásainak tudományos alapjainak kidolgozása.

1.2. Célkitűzések

A piaci helyzet, a jogszabályi háttér és a technológiai színvonal alapján valós és kielégíthető igény a kúpos és hegyes alakkörbe tartozó étkezési paprika automatizált gépi válogatása.

A kutatási témám célja, hogy egy olyan megoldást adjon a kúpos és hegyes alakkörbe tartozó étkezési paprika válogatására, ami segítségével a válogatási művelet gyorsan, pontosan és az előírásoknak megfelelően elvégezhető. További cél, hogy az automatizált válogatás elméleti alapjainak kidolgozása után egy megépített, valós válogatóberendezés segítségével a szükséges modell- és folyamatidentifikációt el lehessen végezni.

A válogatógépektől megkövetelt nagy megbízhatóságot korszerű, beágyazott mérő- és feldolgozórendszer kialakításával kívánom megoldani, ami segítségével a valós idejű osztályozási folyamat alacsony költségek mellett megvalósítható.

A munkám során a következő részfeladatokat jelölöm ki, melyeket megvalósítva kialakítható az automatizált válogatási folyamat:

- Képszegmentációra alkalmas eljárások áttekintése, adaptálása beágyazott rendszerekhez, szükség esetén saját algoritmus készítése.
- Beágyazott technológiát alkalmazó mérőrendszer megépítése a vizsgálatok megkezdéséhez, algoritmusok integrálása.
- A kúpos és hegyes alakkörbe tartozó paprikák alakleírására használható módszer kidolgozása, továbbá a minősítő algoritmus kifejlesztése.
- A kamera- és a világítási rendszer vizsgálata, szegmentációs algoritmus pontosságának ellenőrzése.
- Valós automatizált osztályozás létrehozása, működésének vizsgálata, a jelenleg használatos kézi és a létrehozott gépi osztályozás analízise, a folyamatok identifikálása az elkészült rendszer alapján.
- A kidolgozott eljárás általánosíthatóságára vonatkozó kísérletek elvégzése.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

A szakirodalmi áttekintésben ismertetem azokat a hazai és nemzetközi irodalomban fellelhető eredményeket, melyek a paprika osztályozásával, a létező válogatóberendezésekkel foglalkoznak, vagy a válogatási módszer elméleti és technológiai hátterét ismertetik.

2.1. A paprika minőségi követelményei

A sokoldalúan összefonódott nemzetközi zöldség-, gyümölcskereskedelem általános érvényű, jogszabályokban rögzített minőségi előírások szerint működik. A szabványokba foglalt minőségi előírásokat az előkészítéstől és osztályozástól kezdve a szállításon és a kiskereskedelmi forgalmazáson át egészen a fogyasztó asztaláig be kell tartani. Az áruforgalom csak így bonyolítható le könnyen, és válik a szükséges mértékben áttekinthetővé, fejleszthetővé. Az előírások betartása azt is szavatolja, hogy a fogyasztó minőségileg ugyanolyan értékes terméket kap, mint amelyet a termelő a piacnak felkínál.

Hazánkban a 90-es évekig az élelmiszerekre vonatkozó, kötelező érvényű termékszabványok működtek. Mivel az élelmiszer termékszabványosítás az európai országokban ismeretlen volt, a nemzetközi gazdasági körülmények megkövetelték az európai szabályozások átvételét. Ennek során, a termékszabványok kiváltására létrehozták a Magyar Élelmiszerkönyvet.

A könyv paprikára vonatkozó előírásait (1-4-79/88/2 számon) először a 40/1995 (XI. 16.) FM rendelet tartalmazta, 1996. január 1-től kötelező hazai alkalmazási hatállyal. Ebben szerepel mind a 30, összehangolt, friss gyümölcsre és zöldségre vonatkozó szabvány is, amely az Európai Gazdasági Közösségben addig is kötelező volt.

Az EU Brüsszeli Bizottsága 1995-ben elfogadta a Fehér Könyvet, melynek célja, hogy útmutatót adjon a társulás előtt álló közép- és kelet-európai országoknak az EU belső piaci követelményeire történő felkészüléshez. Több más intézkedés mellett az EU-val közel azonos minőségi szabványok (osztályozás, csomagolás, jelölés) bevezetését jelöli meg a Fehér Könyv a kertészeti ágazatra.

A gyümölcs- és zöldség-szabványokról szóló EU rendelet kimondja, hogy azok a termékek, amelyekre az EU-előírások érvényesek, csak abban az esetben bocsáthatók áruba, kínálhatók fel, adhatók el, szállíthatók vagy hozhatók egyéb módon forgalomba, ha megfelelnek az előírásoknak. Ezek alkalmazása tehát minden esetben kötelező. Ezek a szabványok ugyancsak érvényesek valamennyi országból való kivitelre és valamennyi országba történő behozatalra.

A paprikára vonatkozó következőnek alkalmazandó szabályozás a Magyar Élelmiszerkönyv 1-4-1455/1999 számú előírása volt, ami 1455/1999/EK rendelet átvételével készült. Az Európai Unió Bizottságának előírása, kisebb módosításokkal (2706/2000/EK és 2147/2002/EK számon) a 1221/2008/EK rendelet elfogadásáig volt hatályban, amit később a felmerült igények alapján átdolgozott 543/2011/EU rendelet váltott fel.

Hazánkban jelenleg zöldség vonatkozásában az étkezési paprika mellett a következőkre van az EU-szabványokkal egyező kötelező előírás: alma, citrusfélék, csemegeszőlő, fejes saláta, fodros és széleslevelű endívia saláta, kivi, körte, őszibarack, nektarin, paradicsom, szamóca. A forgalmazási minőségiszabványok alapfeltétele, hogy a minimális követelményeknek minden termék feleljen meg.

Az Európai Unió Bizottságának 543/2011/EU számú előírásához tartozó I/8. jelű melléklet az étkezési paprikával kapcsolatos jelenleg hatályos részletes forgalmazási előírásokat tartalmazza. Ennek a rendeletnek a korábbiakhoz képest legfontosabb változása, hogy az étkezési paprikára vonatkozó, korábban előírt minimum méretek kikerültek, valamint az eddigi két osztályozási kategóriát az „extra” kategóriával bővítették. Ezen előírás a fogyasztónak friss állapotban szállítandó étkezési paprika (*Capsicum annuum L.*) termesztett fajtáira vonatkozik. Nem tárgya az előírásnak az ipari felhasználásra szánt paprika.

Az alakjuk alapján a paprikatípusokat négy kereskedelmi csoportba sorolhatjuk:

- hosszúkás, hegyes paprikák,
- szögletes, tompa végű paprikák (pl. kaliforniai paprika),
- szögletes, kúpos paprikák (ék alakúak),
- lapított alakú paprikák (pl. paradicsompaprika).

2.1.1. Minőségi követelmények

Az 543/2011/EU számú előírás célja az értékesítésre előkészített és csomagolt paprika minőségi követelményeinek meghatározása. Az adott minőségi osztályra vonatkozó külön követelmények és megengedett eltérések mellett a paprika minden minőségi osztályban legyen:

- ép,
- egészséges (nem lehet romlóhiba vagy más minőségcsökkenés miatt fogyasztásra alkalmatlan),
- tiszta, minden látható idegen anyagtól gyakorlatilag mentes,
- szemmel láthatóan friss,
- kemény,
- kártevőktől gyakorlatilag mentes,
- kártevők által okozott, a paprika húsát érintő károktól mentes,
- alacsony hőmérséklet vagy fagy okozta károktól mentes,
- kocsányos; a kocsányt egyenes metszéssel kell elvágni, és a csészeleveleknek épeknek kell lenniük,
- nem természetes felületi nedvességtől mentes,
- idegen szagtól és/vagy íztől mentes.

A paprika fejlettsége és állapota olyan legyen, hogy:

- kibírja a szállítást és az árukezelést,
- megfelelő állapotban érkezen a rendeltetési helyére.

Az étkezési paprika a következők szerint meghatározott három osztályba sorolható:

„Extra” osztály

Az ebbe az osztályba tartozó étkezési paprikának kiváló minőségűnek kell lennie. Rendelkeznie kell a fajta és/vagy a kereskedelmi típus jellemzőivel. Az étkezési paprikának hibáktól mentesnek kell lennie, kivéve a nagyon csekély felületi hibákat, amennyiben azok nem befolyásolják a termék általános megjelenését, minőségét, eltarthatóságát és csomagolásban nyújtott látványát.

I. osztály

Ebben az osztályban a paprika jó minőségű legyen. Rendelkezzen a fajtára vagy a kereskedelmi típusra az érettségi fok szerinti jellemző fejlettséggel, alakkal és színnel. Továbbá legyen kemény, gyakorlatilag foltoktól mentes. A kocsány lehet enyhén sérült vagy levágott, de a csészének épeknek kell maradnia. Az alábbi kisebb hibák ugyanakkor megengedettek, feltéve, hogy ezek nem befolyásolják a termék általános megjelenését, minőségét, eltarthatóságát és csomagolásban nyújtott látványát:

- enyhe alakhiba,
- tripszek által okozott enyhe ezüstös foltok vagy károk a teljes felület legfeljebb 1/3-án,
- csekély héjhibák, például: bemélyedések, karcolások, napégés, nyomásfoltok, hosszanti hibák esetében legfeljebb 2 cm hosszúságig, egyéb hibák esetében pedig legfeljebb 1 cm² összterületig; vagy száraz felületi repedések a teljes felület legfeljebb 1/8-án,
- csekély mértékben sérült kocsány.

II. osztály

Ebbe az osztályba sorolandó az a paprika, amely nem felel meg az I. osztály előírásainak, de kielégíti az előzőekben meghatározott minimumkövetelményeket.

Az alábbi hibák megengedhetők, ha a paprika megtartja alapvető minőségi, eltarthatósági és külső megjelenési tulajdonságait:

- alak- és fejlődési hibák,
- tripszek által okozott ezüstös foltok vagy károk a teljes felület legfeljebb 2/3-án,
- héjhibák, például: bemélyedések, karcolások, napégés, nyomásfoltok és begyógyult sérülések, hosszanti hibák esetében legfeljebb 4 cm hosszúságig, egyéb hibák esetében pedig legfeljebb 2,5 cm² összterületig; vagy száraz felületi repedések a teljes felület legfeljebb 1/4-én,
- csúcsrothadás, legfeljebb 1 cm² összterületig,
- a teljes felület legfeljebb 1/3-át érintő fonnyadás,
- sérült kocsány és csészelevelek, feltéve, hogy a sérülés körül a paprika húsa ép marad.

Ebben az osztályban a paprika lehet kevésbé kemény, de nem lehet teljes felületén fonnyadt. A kocsány lehet levágott is.

2.1.2. Méretelőírások

A minőségi követelményeken túl fontos paramétere a hatályos előírásnak (543/2011/EU rendelet) a termékek mérete is. A paprika méretét a vállátmérővel (vállszélességgel) határozzuk meg. Lapos, pl. paradicsompaprikák esetében „szélesség” alatt a hossz tengelyre merőlegesen mért legnagyobb átmérőt értjük. Méret szerint válogatott paprika esetében ugyanabban a csomagolási egységben a legnagyobb és legkisebb paprika átmérője közötti különbség legfeljebb 20 mm lehet. Fontos különbség, hogy a hosszúkas étkezési paprikáknak hosszúság tekintetében megfelelően egységesnek kell lenniük.

A II. osztályú paprika méret szerinti válogatása nem kötelező, de a legkisebb előírt méreteket be kell tartani. A II. osztály esetében nem kötelező a méretbeli egyöntetűség sem.

A megadott osztályra vonatkozó minőségi és méretkövetelményektől minden csomagolási egységben a termék következő eltérései engedhetők meg:

Az étkezési paprika darabszámban vagy tömegben számított 5 %-a lehet olyan, ami nem felel meg az „extra” osztály előírásainak, de kielégíti az I. osztályra vonatkozó követelményeket. E megengedett eltéréseken belül a termék legfeljebb 0,5 %-a lehet olyan, amely a II. osztályra vonatkozó követelményeknek felel meg.

A paprika darabszámának vagy tömegének 10 %-a lehet olyan, ami nem felel meg az I. osztály előírásainak, de kielégíti a II. osztály követelményeit, kivételes esetben beleértve a II. osztály megengedett eltéréseit is. E megengedett eltéréseken belül a termék legfeljebb 1 %-a lehet olyan, amely sem a II. osztályra vonatkozó követelményeknek, sem a minimumkövetelményeknek nem felel meg, illetve amely rothadásnak indult.

A paprika darabszámának vagy tömegének 10 %-a lehet olyan, ami sem a II. osztály előírásainak, sem a minimumkövetelményeknek nem felel meg; nem lehet azonban romló-hibás vagy más okból olyan mértékben minőségcsökkent, hogy emiatt a termékfogyasztásra alkalmatlan. E túréshatáron belül a rothadásnak indult étkezési paprika aránya legfeljebb 2 % lehet.

A paprikák darabszámának vagy tömegének 10 %-a térhet el legfeljebb ± 5 mm-rel a csomagoláson megjelölt mérettől, ezen belül legfeljebb 5% lehet a mérethatár alatti bogyók aránya.

Méret szerint válogatott paprika esetében: a bogyók darabszámának vagy tömegének 10 %-a térhet el legfeljebb ± 5 mm-rel a csomagoláson megjelölt mérettől, ezen belül legfeljebb a paprika 5 %-a lehet mérethatár alatti.

Méret szerint nem válogatott paprikák esetében: a bogyók darabszámának vagy tömegének 5%-a lehet legfeljebb 5 mm-rel kisebb a minimális méretnél.

Az osztályok előírásain túl fontos az egyöntetűség, ezért minden csomagolási egység tartalma legyen egyöntetű, és csak azonos eredetű, azonos fajtájú, illetve kereskedelmi típusú, azonos minőségű és azonos méretű (ha méretre válogatták) paprikát tartalmazhat. Az „extra” és az I. osztályok esetében az érettségnek és a színezettségnek is megközelítőleg egyöntetűnek kell lennie.

Mindazonáltal különböző kereskedelmi típusokhoz tartozó és/vagy különböző színű étkezési paprikák csomagolhatók vegyesen egyazon csomagba, amennyiben azonos minőségűek, valamint minden érintett kereskedelmi típus és/vagy szín esetében azonos eredetűek.

A legfeljebb 1 kg paprikát tartalmazó kis csomagolási egységek esetében csak a származásra és a minőségre vonatkozik az egyöntetűség követelménye. Ahol különböző színű paprikát értékesítenek így, a származás egyöntetűsége nem követelmény. A méret szerint válogatott paprika legyen hosszra is megközelítően egyöntetű. A csomagolási egységek látható részének a teljes tartalomra nézve reprezentatívnak kell lennie.

2.2. A válogatás gépei és berendezései

Válogatáson a terménytömeg minőségi jellemzők szerinti szétválasztását értjük. Ilyen minőségi jellemző az érettség, szín, alak, sérültség, felületi foltosság, stb. A nagy pontosságú gépi szétválasztás csak elektronika alkalmazásával valósítható meg (pl. számítógépes képfeldolgozás útján). A kézi válogatás feszített figyelmet igényel, mivel a heterogén terménytömeg egy vagy több kiválogatandó frakciót is tartalmazhat. Tapasztalat szerint háromnál több frakcióra való kézi válogatás nem célszerű, a frakciók számának növelésével ugyanis rohamosan romlik a munkások válogatási kapacitása (Láng, 1999). A munkát úgy érdemes szervezni, hogy a lehető legkisebb számú terményt kelljen kézbe venni. A szétválogatandó frakciók értékétől függetlenül mindig a kisebb számban jelen levő frakciót célszerű kiemelni az anyagáramból. Ha ez éppen a legértékesebb frakció, ráválogatásról, ha az értéktelenebb, leválogatásról beszélünk (Gyaraky, 1977).

Kézi válogatás esetén olyan berendezéseket, eszközöket alkalmaznak, amelyek a terményt a válogató személy előtt szétterítve szállítják, ezáltal csak a kiválogatandó egyedeket kell kézbe venni. Ilyen a sima felületű szállítószalag (2.1. ábra).



2.1. ábra Hazánkban a paprika válogatása zömében kézzel történik

Tovább könnyítik a munkát az olyan eszközök, amelyek a terményt szállítás mellett forgatják is. Közülük leggyakrabban alkalmazottak a hengerosos és szállítószíjas változatok. A hengerosos válogatóasztalt végtelenített pályán haladó, forgó mozgást végző műanyag, esetleg gumi bevonattal ellátott hengerek alkotják (2.2. ábra).

A szállítószíjas berendezés válogatófelületét párhuzamos szíjak alkotják, amelyek közül minden második azonos sebességgel mozog. A szomszédos szíjak közötti sebességkülönbség tartja forgásban a szállított terményt. A szíjak anyaga gumi, műanyag vagy acélsodrony lehet.



2.2. ábra Görgős (hengerosos) válogató asztal

2.2.1. Mechanikus osztályozógépek

Osztályozáson a terménytömeg egyedeinek külső jellemzőik (pl. méretük, színük) vagy tömegük szerint történő szétválasztását értjük.

Méret szerinti osztályozógépek

E gépeket két csoportra oszthatjuk aszerint, hogy a terménynek hány geometriai mérete alapján történik a szétválasztás. A réses osztályozók egyetlen geometriai méret alapján alkotnak osztályokat. Nevüknek megfelelően a terményáram különböző jellemző méretű rések fölé kerül. Az egyes résméreteknél áteső egyedek egy-egy méretfrakciót alkotnak. Amennyiben az osztályozandó termény közel gömbszimmetrikus, e gépek megfelelő pontossággal dolgoznak (Láng, 1999).

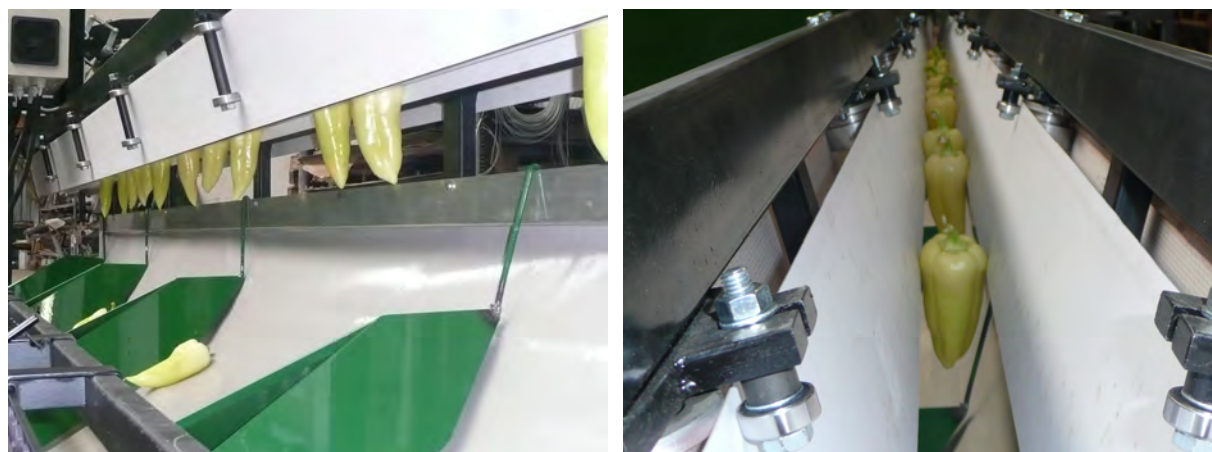
Amennyiben a termény alakja többé-kevésbé eltér az ideális gömb alaktól, pontosabb szétválasztást eredményeznek az úgynevezett lyuksoros osztályozók. Közös jellemzőjük, hogy a termények egynél több geometriai mérete alapján képeznek csoportokat.

Aszerint, hogy az osztályozandó termény az osztályozóelemhez képest nyugalomban van vagy mozog (forog), mind a réses, mind a lyuksoros osztályozók statikus és dinamikus csoportba sorolhatók (2.3. ábra). Belátható, hogy a lyuksoros osztályozók pontosabban osztályoznak, mint a résesek, továbbá a dinamikus gépek a statikusaknál. Következésképpen legpontosabb munka a dinamikus lyuksoros osztályozógépektől várható (Láng, 1999). A paprikára azonban a lyuksoros gépek a fokozott beakadásveszély miatt nem használhatók.

Uborkák átmérő szerinti osztályozására használják az úgynevezett kitérő szíjpáros berendezést. A rést két azonos sebességű, egymástól távolodó szíjpár alkotja. Az egyes méretfrakciók értékhatára az alatta elhelyezett felfogótálcák osztóléceinek helyzetével szabályozható.



2.3. ábra Dinamikus réses válogatógép (GREEFA, 2012)



2.4. ábra Paprikaválogatásra alkalmas, kitérő szíjpáros osztályozó berendezés; A működési elv miatt a hossz figyelembevételére, továbbá a diszkrét osztályok kialakítására nincs lehetőség

Az elvet néhány éve megpróbálták paprikára is adaptálni (2.4. ábra), a módszer azonban kizárólag ott használható, ahol a válogatás alapja csak a vállátmérő. Az így válogatott áru sok esetben az egyöntetűsége vonatkozó hatályos előírások szerint csak II. osztályba kerülhet, mivel a válogatás a hossz és a görbültség figyelembevétele nélkül történik. A módszer további, talán az egyik legnagyobb hátránya, hogy diszkrét osztályok kialakítására egyáltalán nem alkalmas a működési elv miatt. Problémát okozhat az a jelenség is, hogy az eltérő tömegű termékek azonos vállátmérő esetén is más-más csoportba kerülnek.

Tömeg szerinti osztályozógépek

Elsősorban nagyobb értékű gömbölyded termények (zeller, paradicsom, kaliforniai paprika stb.) szétválasztására alkalmas berendezések. A szétválasztásra az ad lehetőséget, hogy az egyedek fejlettsége, geometriai mérete és tömege között egyenes arányosság áll fenn (2.5. és 2.6. ábra).

A tömegmérés elvén dolgozó osztályozógépek teljesítménytől függő darabszámban egymás mellett futó, végtelenített szalaggá alakított tálcasorból és a sorokhoz tartozó mérlegekből állnak. A mérendő egyedek a tálcákban utaznak, amelyeket vezetősín és – különböző terhelések hatására kitérő – mérlegkarok tartanak vízszintes helyzetben. A tálcák a rajtuk lévő terménnyel mérlegkarról mérlegkarra csúsznak, és ott csapódnak le, ahol súlyuk képes lenyomni valamelyiket. A működési elvből következően először a legnagyobb súlyú egyedek esnek ki a lecsapódott tálcából,



2.5. ábra Tömeg szerinti válogatásra alkalmas, terméscsészés rendszer (HORTIMAT, 2012a)



2.6. ábra A csészék a termés kibillenésének veszélye miatt lassan mozgathatók, a megfelelő teljesítmény elérése miatt szükséges a többsoros kialakítás (HORTIMAT, 2012b)

a könnyebbek továbbutaznak. A kívánt súlyfrakciók számánál eggyel kevesebb mérleg elhelyezése szükséges a tálcasor alatt.

A módszer kúpos és hegyes alakkörbe tartozó paprika esetén nem használható, ugyanis az egyedek fejlettsége, alakja, geometriai mérete és a tömege között nincs egyértelműen meghatározható összefüggés.

2.2.2. Elektronikus osztályozógépek

Az első elektronikus osztályozórendszerek alapjait az ötvenes években kifejlesztett mechanikus rendszerek adták. Ezen rendszerek megalkotásánál, a technika korlátozottsága miatt először csak a problémás mechanikus elemek villamos kiváltására törekedtek a tervezők és a gyártók.

Az elektronikai, informatikai és az automatizálási rendszerek fejlődésével azonban megnyílt a lehetőség az összetettebb, nagyobb pontosságot biztosító rendszerek felé. Megvalósíthatóvá vált a termések színének mérése, a termés tömegének elektronikus meghatározása, és a gömbölyded termések esetén a méret becslése is lehetővé vált.

A kamerás rendszerek elterjedését az alacsony számítási teljesítmény, bonyolult elektronika és az analóg kamerák kedvezőtlen tulajdonságai sokáig korlátozták, de az első elektronikus mérés-, és irányítástechnikával felszerelt osztályozórendszerek fejlesztése már a 70-es évek folyamán elindult. Beckmann et al. (1978) paradicsom válogatására alkalmas módszert dolgozott ki, megoldása a szín és a méret meghatározását is lehetővé tette. Ebben az időben készült rendszerek az esetek többségében nem analóg kamerát, hanem diszkrét fotodióda sorból kialakított fénysorompót használtak a méret meghatározására, viszonylag alacsony pontosság mellett.

Noordam et al. (2000) kísérleti mérőrendszere bár nagyon drága és érzékeny összetevőket tartalmazott, azonban rávilágított arra, hogy a szükséges technológia már elérhető és megfelelő a digitális kamerás, valós idejű osztályozórendszerek alapjaihoz. A rendszer különlegessége, hogy a megszokottól eltérően, nem tálcasort, hanem szállítószalagot használt a kamerák alatti anyagtovábbításához.

A válogatóberendezések többségét azonban jelenleg is a nagy gazdasági értékű és igen nagy tömegben termelt, kerekded termésű zöldségfélék és gyümölcsök kezelésére készítik fel. A legtöbb kereskedelmi rendszer a mai napig megtartotta a mechanikus rendszerektől örökölt, a termések külön történő utaztatásának elvét, és a mérendő egyedek külön-külön történő kezelését. A kúpos és hegyes étkezési paprika osztályozására – a korábban említetteknek megfelelően – a piacon lévő megoldások egyáltalán nem, vagy igen korlátozottan alkalmasak.

Az elektronikus osztályozórendszerekkel kapcsolatosan sokszor nem veszik figyelembe, hogy az üzemeltetéshez már szakismerettel rendelkező kezelőszemélyzet szükséges. Az üzemeltetőnek nagy a felelőssége a munka szervezése és a karbantartások során, hiszen ezek a rendszerek sokkal érzékenyebb alkatrészeket, berendezéseket tartalmaznak, így jelentős kár keletkezhet nem szakszerű munkavégzés következtében.

Az elektronikus rendszereket két fő csoportra oszthatjuk, attól függően, hogy a termésjellemzőket milyen elven határozzák meg:

Elektromechanikus osztályozógépek

Az elektromechanikus rendszerek néhány paramétert (pl. szín) elektronikusan, más paramétert (pl. tömeg) pedig mechanikusan határozzák meg (2.7. ábra).

Ezek a rendszerek leginkább a gömbölyded termések osztályozására használhatóak (pl. paradicsom, kaliforniai paprika, alma, narancs, citrom, kivi, stb.). Az ilyen berendezések, melynek bekerülési költségei alacsonyak, igen elterjedtek, hazánkban főleg paradicsom és kaliforniai paprika osztályozására használják.

A szín mérésének leginkább a paradicsom és kaliforniai paprika esetén van nagy jelentősége, ugyanis a termések érettség (termésszín) szerinti szétválogatása is gyakori.



2.7. ábra Aweta elektromechanikus osztályozógép, a szín mérése elektronikusan, a tömeg mérése mérlegkarokkal történik (HORTIMAT 2012c)

Elektronikus osztályozórendszerek

Pontosabb mérést tesznek lehetővé a tisztán elektronikus rendszerek. Ebben az esetben a fontos termésjellemzők elektronikus úton kerülnek meghatározásra és feldolgozásra. A termésparaméterek mérése elektronikus úton (pl. kamera segítségével), a tömeg mérése pedig úgynevezett dinamikus mérlegcellák segítségével valósul meg. Az osztályozórendszerek bizonyos típusai már alkalmasak hosszúkás termékek osztályozására is (pl. kigyóuborka, cukkini, tojásgyümölcs, spárga, stb.), ennek lényeges alapfeltétele, hogy ne legyenek nagy mértékben deformáltak, ugyanis ez anyagmozgatási problémákhoz vezethet. Mivel a rendszerek üzembiztonsága nagyon fontos tényező, ezért a beakadási, beszorulási veszélyt jelentő termékeket nem szabad a gépsorra engedni. A megfelelő válogatási teljesítmény biztosításához – a mechanikus rendszerekhez hasonlóan –, gyakori az szelektálópályák többszörözése, nem ritkán 6-10 pályán folyik párhuzamosan az osztályozás. Az elektronikus felépítés előnye, hogy létrehozhatóak univerzális rendszerek is, így többféle, azonos alakkörbe tartozó zöldség és gyümölcs is válogatására is lehetőség van ugyanazzal a géppel, ez jelentősen növelheti egy adott osztályozósor gazdaságosságát. Ezt tovább segíti, hogy ma a gépsorok modulszerűen kerülnek felépítésre, és a különböző funkciók elkülönítetten kerülnek megvalósításra, ezzel elsősorban a könnyű bővíthetőséget, nagyfokú rugalmasságot és a kombinálhatóságot teszik lehetővé az üzemeltető számára (2.8. és 2.9. ábra).



2.8. ábra GREEFA CombiSort elektronikus osztályozórendszer (GREEFA, 2011)



2.9. ábra Aweta Apple Line elektronikus osztályozórendszer (AWETA, 2012)

Manapság azonban nemcsak a tömeg és geometriai méret lehet a válogatás alapja. Kamerákat a külső jellemzők, az MRI valamint az ultrahang (Mizrach et al., 2008; Ignát et al., 2010) és a CT, ET technológiát (Kleven, 2004; Kondo, 2010) a beltartalmi jellemzők gyors meghatározására lehet használni. További minőségi paraméterek meghatározására alkalmas a hiperspektrális képfeldolgozás is (Kovács et al., 2002; Borsa, 2007; Firtha, 2006, 2008; Mendoza et al., 2014; Schmilovitch et al., 2014). Vannak olyan berendezések is, ahol a termény fényáteresztő képessége alapján történik az adott termény roncsolásmentes jellemzése. Néhány esetben lényeges lehet a kertészeti termény nedvességtartalmának meghatározása is (pl. gabonák esetében), ezt jellemzően kapacitív úton valósítják meg (Judák, 1997).

Ezen eljárásokkal (esetleg kombinációjukkal) mérhető és becsülhető a termés húskeménysége, a cukor-, savtartalom, a belső hús barnulás, ellenőrizhető különböző tárolhatóságot rontó mikroorganizmusok jelenléte, így ezek segítségével meghatározható a várható minőségmegőrzés (pulton tarthatóság) ideje is. A beltartalmi jellemzők mérésének a hosszú tárolási idejű termények (alma, körte, burgonya, stb.) esetén, továbbá a konzervipari termékek gyártása során lehet nagy jelentősége. Az ilyen rendszerek elterjedtsége hazánkban alacsony, ennek oka elsősorban a magas beszerzési és üzemeltetési költség, alkalmazásuk csak magas jövedelemtermelő képességű termény esetén gazdaságos (Láng, 1999).

2.3. Képfeldolgozás

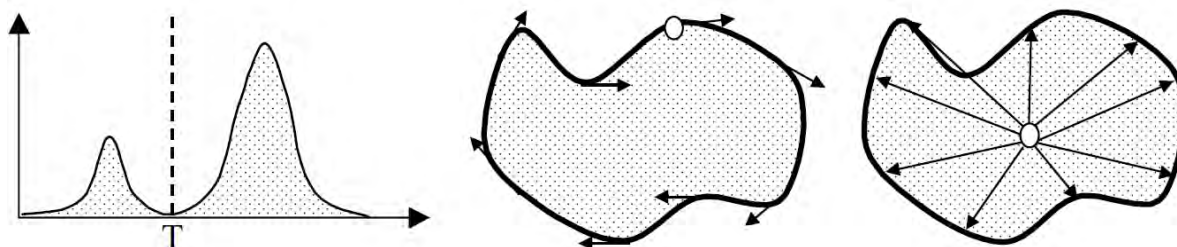
A roncsolásmentes mérési módszereknek állandóan nő a szerepük a termények minőségi jellemzőinek a becslésében, ez különösen fontos ez a méretosztály, érettség, deformáció meghatározásában, vagy előrejelzésében. Az optikai eljárások széles választéka új lehetőségeket ígér a termény minőségének gyors meghatározására, vagy legalább becslésére.

2.3.1. Szegmentáció

A digitális képfeldolgozás alapproblémája a szegmentáció. A folyamat során a számukra érdekes részletek megkülönböztetésre kerülnek a háttértől úgy, hogy az azonos tulajdonságú képpontokat homogén régiókba szervezzük. Vannak olyan helyzetek, amikor nem a szegmentálandó terület (a kijelölt régiók), hanem a határvonalak megkeresése a feladat. A megkülönböztetés szemre könnyűnek tűnhet, de a tárgy megbízható gépi kiválasztása nem mindig triviális. A képek

automatikus gépi szegmentációjára alkalmas algoritmusok Kató (2006) és Firtha (2008) szerint alapvetően az alábbiak szerint csoportosíthatók (2.10. ábra):

- Globális eljárások
 - *Küszöbölés (thresholding, hisztogram alapján):*
Amennyiben a képpontok intenzitáshisztogramját normál (Gauss-féle) eloszlások összegének tekintjük, a küszöbérték felvételével lehetséges a szegmentáció elvégzése. A küszöbérték meghatározására számos eljárás használható (Álló et al., 1985, 1993; Gonzalez és Woods, 2002; Sonka et al., 2008). Megállapítható, hogy egyes módszerek közvetlenül a küszöbérték alapján, mások egyéb eljárásokkal kombinálva végzik a szegmentálást.
- Lokális eljárások
 - *Gradiens módszer, a határvonalak keresése:*
Éleket kiemelő, zajt simító operátorok használata után heurisztikus élkereső algoritmusokkal próbálják fogyasztani a téves vonalakat, folytatni a gyengébben látható, vagy fedettség miatt teljesen hiányzó vonalakat. A módszer alkalmazása azonban korlátozott, mivel a legtöbb képben a teljes határvonalak nehezen (néha egyáltalán nem) mutathatók ki.
 - *Homogén régiók keresése:*
Ennél a lokális módszernél, a homogén régiók detektálása statisztikai módszerek alapján történik. A lokálisan alkalmazott klaszterezés is ide sorolható. Ezek az algoritmusok képesek különböző képsajátságokat közvetlenül és egyidejűleg felhasználni a végső határhelyzet meghatározásához.



2.10. ábra A leggyakrabban alkalmazott szegmentációs eljárások. Küszöbölés (balra), határvonalak- (középen) és homogén régiók (jobbra) detektálása (Brosnan-Sun, 2003)

A fenti csoportosítás azonban nem tekinthető teljesnek, ugyanis a szegmentációs technológiák, hasonlóan a képfeldolgozás többi területéhez, jelentős fejlődésen mennek át napjainkban is. Ígéretes technológia a deformálható határokon, az úgynevezett evolúciós kontúrokon alapuló, „aktív kontúr” (Kovács et al., 2012; Clement et al., 2013) módszer, bár az algoritmus magas számításigénye valós idejű osztályozási feladatokra korlátozottan teszi alkalmassá. Egyre jelentősebb kutatási terület továbbá a Fuzzy alapokon nyugvó szegmentáció is (Herman és Carvalho, 2001; Palágyi, 2011), de egyelőre kevés helyen kerül alkalmazásra.

Ezen kívül megkülönböztethetünk továbbá univerzális, valamint „cél” szegmentáló eljárásokat is. Az univerzális algoritmusok alkalmazhatósága sok esetben korlátozott, ennek leginkább az az oka, hogy a szegmentáció elvégzésére nincs általános eljárás, mindig az adott körülményekre kell a módszert adaptálni. Más megközelítés szükséges például laborkörülmények között működő, és más egy ipari környezetben alkalmazott algoritmus kialakítása, kidolgozása során. Sok esetben a különböző technikákat a jobb eredmények elérése érdekében kombinálják is, esetleg további szűrő, simító algoritmusokat iktatnak be a feldolgozási lépések közé.

A szegmentálás elvégzését követően a kapott eredményt ellenőrizni kell, a hibásan kijelölt területek kiküszöbölését el kell végezni. Morfológiai operátort a körvonal konvex illetve konkáv részleteinek elhanyagolására lehet használni (Álló et al., 1989; Firtha, 2008; Parker, 2011). Ez az eljárás paprikák alakjának vizsgálatánál, a kocsány kiküszöbölése esetén lehet hasznos.

2.3.2. *Kontúr és alak leírása, méret meghatározása*

A szegmentálás után már olyan jól kivethető tartományok állnak rendelkezésre, melyek további feldolgozása elsősorban a lényegkiemelés dolga. A lényegkiemelés során már nagyon fontos a képről tudott előzetes információ felhasználása, hiszen ez alapján lehet a megfelelő módszer kiválasztani. A lényegkiemelés egyik fontos része az alakokat leíró algoritmusok. Az alakleíró algoritmusok két nagy csoportba oszthatók, az egyik csoport a régiók leírásával, míg a másik csoport a kontúrok leírásával foglalkozik (Székely, 2002).

Egy szegmentált – elemekre bontott – tárgy általában külső vagy belső jellegei alapján ábrázolható. A tárgyak leírásához sok jellemvonás használható, amely összehasonlítható ismert tárgyakra vonatkozó információkkal, egy objektum valamelyik kategóriába sorolása céljából. Legalkalmasabbak azok a jellegek, amelyek a legegyszerűbben mérhetők és lényegesen hozzájárulnak az osztályozáshoz. A termények minőségvizsgálata céljából végezhető mérések négy csoportba sorolhatók (méret, alak, szín, textúra). Minden csoport esetében számos, különböző, specifikus mérés végezhető és számos, eltérő módszer van a műveletek elvégzéséhez (Szepes, 2004).

Egy tárgy méretének meghatározásához négy, – leginkább használt – jelleg választható: felület, kerület, hosszúság, szélesség. Ezek közül legmegfelelőbb a felület, amely képelemek (pixelek) számát tartalmazza, közvetlenül számolással meghatározva. Egy tárgy kerülete különösen hasznos az egyszerű és bonyolult alakú tárgyak megkülönböztetéséhez. A felületi és kerületi mérések könnyen elvégezhetőek valamely tárgy szegmentált képből való előállítás folyamán. Szimmetrikus alakzatok esetén a módszerek kielégítő pontossággal használhatók, de nem minden esetben. Uborka esetén, bár ellipszissel jól közelíthető az alak (Clement et al., 2013), de ez a gyakorlatban nem minden esetben ad megfelelő eredményt.

Kertészeti termények ellenőrzésének, összehasonlításának céljára az alak vizsgálata a leggyakrabban alkalmazott mérési módszer. Az alak a többi jelleghez viszonyítva könnyebben mérhető képfeldolgozási módszerekkel. Gyakran egy-egy csoportba tartozó tárgyak megkülönböztethetők a többitől alakjuk alapján, olyan fizikai, térbeli jellemző mérése útján, amely meghatározó a tárgy megjelenésében. Az alaki jellegek mérhetők függetlenül vagy a méretvizsgálatok kombinálásával (Pálfi, 2005).

A méretvizsgálatoktól független alakleíráshoz különböző módszereket használnak ellenőrzés céljára. A legtöbb alkalmazás a Fourier-féle leíró tényezőkön és változatlan tényezőkön alapul. A változatlan tényezők nagysága tükrözi a tárgy alakját, és felhasználható különböző objektumok megkülönböztetésére (Firtha, 2008).

2.4. **Kísérleti eljárások és módszerek**

Mivel a hagyományos, kúp és hegyes alakkörbe tartozó étkezési paprikát Magyarországon és a Kárpát-medencén kívül kevés helyen termelik, ezért a paprikára vonatkozó alakfelismerési és leíró eljárások zömében kidolgozatlanok. Más kertészeti terményekre vonatkozó irodalom igen gazdag, mind a hazai (Fekete et al., 1995; Felföldi et al., 1994; Baranyai, 2001; Pálfi, 2005) és külföldi kutatók (Tao et al., 1995; Gall, 1998; Blasco et al., 2003; Leemans és Destain, 2004; Liming és Yanchao, 2010; Unay et al., 2011; Xiamfeng és Weixing, 2011) számos módszert és technológiát publikáltak a témakörben. Jelentős irodalma van a kaliforniai paprikára kidolgozott módszereknek is (Gillay és Fenyvesi, 2007a; Ignát et al., 2010; Schmilovitch et al., 2014), esetemben azonban az alapelvek kivételével nem használhatók fel. A következőkben röviden áttekintem az értekezés témaköréhez leginkább kapcsolódó és lényeges kísérleti eljárásokat, illetve a hazai és nemzetközi irodalomban fellelhető, az étkezési paprika szempontjából fontos megoldásokat.

Hazánkban először a Kertészeti Egyetem Fizika-Automatika Tanszékén egyszerű geometriai megfontolások alapján foglalkoztak alapvetően forgásszimmetrikusnak tekinthető zöldecskék és gyümölcsök felszínének fényképekre alapozott becslésével (Felföldi és Lénárd, 1988; Felföldi et al., 1994). Azt találták, hogy a számítógépes képfeldolgozás irányában kereshetik a továbbfejleszt-

tés lehetőségét, amelytől remélhető a zöldségek és gyümölcsök felületének egyszerű, megfelelő pontosságú és gyors meghatározása (Fekete et al., 1997; Martinovich és Felföldi, 1998; Felföldi et al., 2005, 2009). A Fizika-Automatika Tanszéken működő kutatócsoport később olyan módszert dolgozott ki, amellyel lehetséges a paprika felületének becslése és háromdimenziós rekonstrukciója (Gillay és Borsa, 2007b). Az algoritmust optimalizálták, hogy a lehető legpontosabb eredményt kapják, de kellően gyors is maradjon. A 3D rekonstrukció után meghatározták a paprikák felületét és térfogatát, de ennek ellenére a mérési elv és a szoftveres algoritmusok sebessége, csak laboratóriumi vizsgálatokra (pl. minőségellenőrzés) volt elégséges.

Ahhoz, hogy egy algoritmus automatizálási rendszerbe beépíthető legyen, alapvető feltétele, hogy a valós idejű kiértékelést lehetővé tegye. Ezt sokáig az analóg kamerák kedvezőtlen tulajdonságai is gátolták. A kamerák továbbfejlesztésének eredményeit kihasználva, Heinemann et al. (1996) és Zhou et al. (1998) vizsgálták a nagy sebességű kamerák alkalmazásának lehetőségét termények osztályozására. Noordam et al. (2000, 2002) a nagy sebességű kamerákat burgonya vizsgálatára alkalmas rendszerbe integrálta, ami segítségével valós idejű kiértékelésre lett lehetőség. Számos módszer létezik a mezőgazdasági termények külső jellemzőinek roncsolásmentes meghatározására, mérésére, Moreda et al. (2009) átfogó tanulmányában vizsgálta a gyakorlatban használt különböző kontúrfelvételi megoldások előnyeit, illetve tapasztalt hátrányait, illetve áttekintette az általánosan használt méretmeghatározási eljárásokat citrusfélékre, almára, körtére, csonthéjasokra, paradicsomra, a hosszúkás (uborka, cukkini), szabálytalan (karfiol, brokkoli, saláták), valamint a nagy tömegű (dinnye) termésekre alkalmazott módszereket. Kutatásának eredményeképpen megállapította: ahol technológiailag lehetséges a megfelelő pontosság elérése, ott a geometriai méretek meghatározását részesítik előnyben a tömeg szerinti válogatáshoz képest, még akkor is, ha az előírások nem követelik meg az alkalmazását.

Ahhoz, hogy egy adott terményről minél pontosabb képi adatokat nyerjünk, ahhoz forgathatjuk a kamera alatt, illetve előtt (Blasco et al., 2003; Gillay és Borsa, 2007b), használhatunk több kamerát (Leemans et al., 2004), akár alkalmazhatunk olyan sztereó képeket felhasználó megoldásokat is (Baranyai, 2006, 2007), ahol tükrökkel, illetve kamera rögzített forgástengely körüli mozgásával készíthetők el a képek. Sajnos elmondható az, hogy univerzális megoldás a képfelvételek készítése során sincsen, mindig az adott helyzethez kell a képfelvételek elkészítését végző eszközt, technológiát illeszteni.

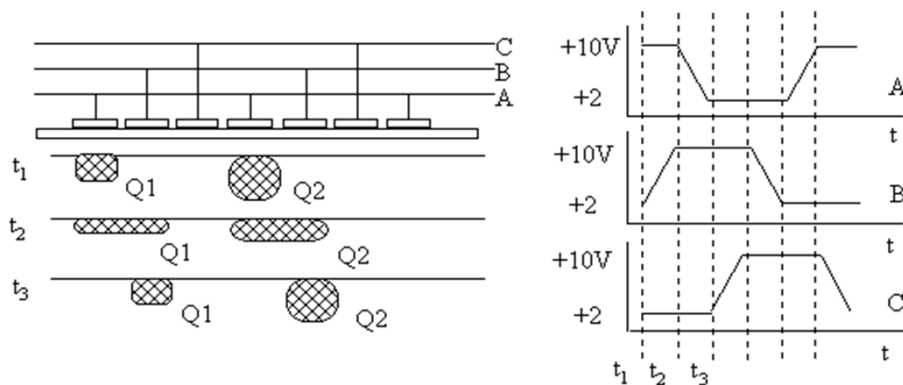
2.5. Képzékelők

Az elmúlt néhány év technológiai fejlesztéseinek eredményeképpen a CCD és CMOS képzékelők világszerte elterjedtek, és könnyen hozzáférhetővé váltak. A nagy felbontás és az alacsony ár miatt érdemes a látórendszerek alapjainak választani őket a hagyományos érzékelők helyett. A következő néhány oldalban röviden szeretném bemutatni a CCD és CMOS érzékelőket, mint a legtöbb korszerű látórendszer alapelemeit.

2.5.1. A CCD érzékelők működése

A CCD detektorokat az 1960-as évek végén fejlesztették ki, eredetileg töltéstárolási és töltéstovábbítási célokra. Az eszköz tulajdonképpen egy analóg shift-regiszterként működik, innen ered a félvezetőfajta elnevezése. A fenti tulajdonságot a félvezetők fotoelektromos képességével ötvözve fejlesztették ki a manapság elterjedt CCD detektorokat. Ezek az érzékelők vonal vagy felület kialakításúak lehetnek, mint például a szkennerek vagy a digitális fényképezőgépek.

Az érzékelő lelke egy képpontokból álló sor, melyben több félvezetőréteg és megfelelő feszültségre kapcsolt elektródasorozat segítségével elérhető, hogy a bejövő fotonok elektronokat váltsanak ki, melyek az elektródák közötti potenciálvölgyben megülnek. A fénygyűjtés után a töltések – az elektródák feszültségének periodikus változtatásával – mozgathatók lesznek, így rájuttathatók a kivezetőelemre csatolt kondenzátorra, melyen így a töltéssel arányos jelfeszültség jelenik meg. Ez a feszültség erősítés után kerül az érzékelő kimenetére.



2.11. ábra A töltéscsomagok mozgása egy háromfázisú eszközben, és az egyes fázisok feszültség-idő grafikonja (Fűrész, 2006a)

A kép kiolvasásakor a 2.11. ábra szerint történik az összegyűlt töltések léptetése. Ez valójában olyan speciális sor, melyben oldalirányban lehet mozgatni a töltéseket a kiolvasó egységig. Ez a CCD működésének legfontosabb mozzanata, maga a töltéscsatolás, amelyről nevét is kapta. A megvilágítás ideje alatt „A” és „C” jelű elektródák képezik a szigetelést, melyekre negatívabb feszültséget kell kapcsolni, mint a „B” jelű elektródára (Fűrész, 2006a). A csatolás veszteséggel jár, ez a mai technológiai színvonalon nem jelentős tényező, hiszen a csatolás hatásfoka 99,999% felett van (Nagy, 2009).

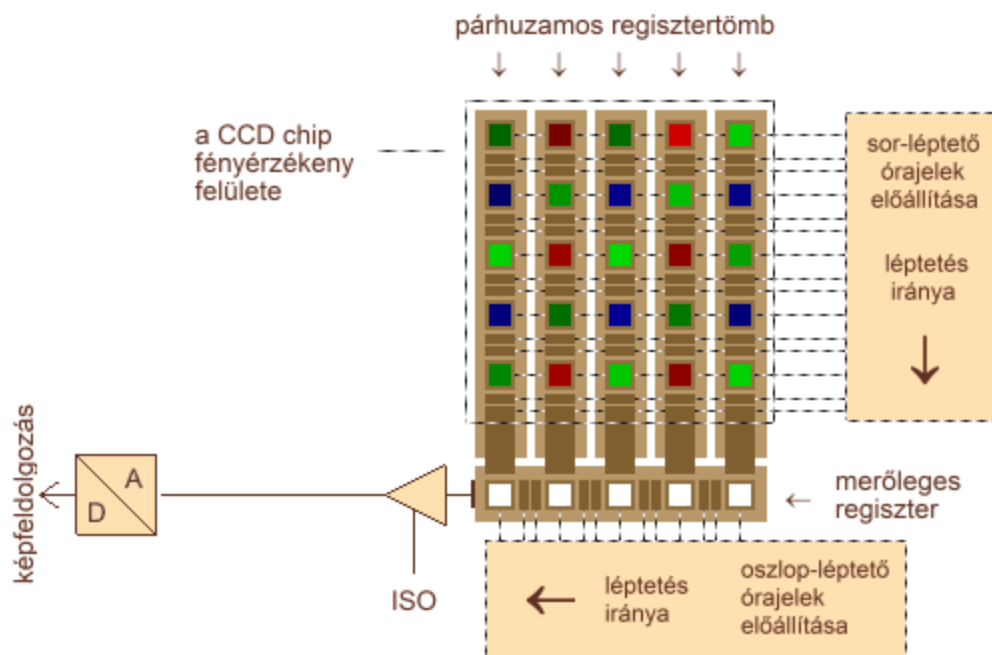
A léptetés módszerét tekintve számos eljárás alakult ki, így kétfázisú, háromfázisú, négyfázisú és virtuális fázisú órajellel is megvalósítható (Fűrész, 2006a). Kétfázisú léptetés esetén a csatolás hatásfoka rosszabb, de egyszerűbb elektronikai megvalósítást tesz lehetővé, négyfázisú kialakítás esetén a léptetési frekvencia jelentősen növelhető, így a képi információk gyorsabban kinyerhetők. Amennyiben a fényérzékeny elemek egy sorban helyezkednek el, akkor az az eszköz a vonal CCD (linear array CCD). Ezeket a szenzorokat leggyakrabban szkennerek, fax és vonalkódolvasó készülékekben használják, ahol a tárgy vagy az érzékelő mozgásával érik el, hogy kétdimenziós képet kapjunk eredményül.

Ha a tárolóegységekből egymás mellé egy síkra több darabot helyezünk, és négyzet vagy téglalap alakba rendezzük, illetve ellátjuk megfelelő kiolvasó áramkörrel, akkor a kiolvasás során közvetlenül kétdimenziós képet kapunk (2.12. ábra). Az ilyen szervezésű CCD érzékelőket Full-Frame Transfer (FFT CCD) érzékelőknek nevezik.

Az egymás melletti oszlopok közötti töltésvándorlást SiO_2 rétegből készült szigeteléssel akadályozzák meg, de az oszlopon belüli elemek közötti elválasztást elektromos tér segítségével valósítják meg az oszlopon belüli töltésléptetés biztosítása érdekében. A kiolvasás úgy történik, hogy minden oszlop egy sorral lejjebb kerül, a legalul lévő sor pedig belép a kiolvasó regiszterbe, a kiolvasó regiszteren belül pedig oldalirányban léptethetőek a töltések a kiolvasó egységig (2.12. ábra).

Ha a kiolvasó regiszter tartalma kiürült, következik az újabb sorléptetés. E közben a még ki nem olvasott sorok továbbra is fényt kapnak, de már nem azon a helyen, ahol az integráció alatt (Fűrész, 2006b). Emiatt az ilyen felépítésű CCD-k esetén a megvilágítás időtartamát külső eszközzel kell beállítani, továbbá bizonyos helyzetekben probléma lehet az a tulajdonság is, hogy nem lehetséges a képinformációt tetszőleges sorrendben kiolvasni, valamint új kép rögzítése csak a teljes kiolvasás befejezése után valósulhat meg (Nagy, 2009).

Ezt a problémát az úgynevezett Interline CCD technika kifejlesztésének segítségével sikerült megszüntetni, ugyanis vannak olyan helyzetek, amikor nincs lehetőség mechanikus zárszerkezet alkalmazására. Ennél a megoldásnál szétválasztásra kerül a fény érzékelésének és a kiolvasásának funkciója. A fényérzékeny pixelek sorai közé ékelik az alumínium árnyékoló maszkal ellátott, fényre érzéketlen CCD regisztereket. Az Interline CCD-k előállításuk bonyolultabb, és hátrányuk,



2.12. ábra A Full-Frame transfer típusú CCD képérzékelő (Nagy, 2009)

hogy a pixelek hatásos felülete 50% alá esik a pixel teljes felületéhez képest, de ez a probléma a korszerű mikrolencse rendszerek alkalmazásával jelentősen csökkenthető (Nagy, 2009).

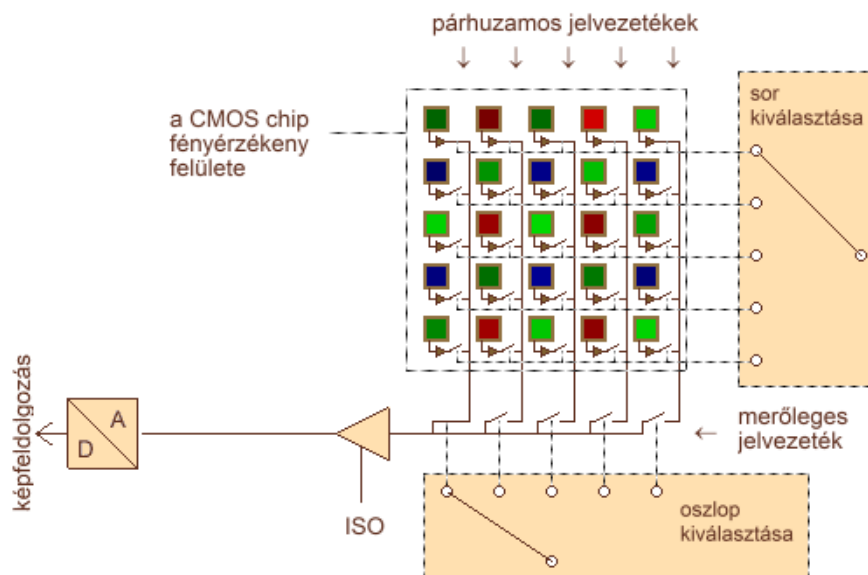
A CCD-k működésével kapcsolatban gyakran tapasztalt jelenség a töltések átfolyása, az úgynevezett „blooming” (Fűrész, 1996b; Cooke, 2005). Ez akkor alakul ki, ha egy elektróda körül nagyon sok elektron halmozódik fel, akkor egyes elektronok közelebb kerülhetnek a szomszédos elektródákhoz, amelyek által létrehozott elektromos tér szintén vonzza őket. Emiatt a töltések „átfolynak” a szomszédos képpontokra. A töltések átfolyása ellen az elektródák között kialakított úgynevezett „antiblooming” csatornákkal védekeznek (Nagy, 2009).

Vannak olyan helyzetek, amikor nagy dinamikájú kép előállítása a feladat és ennek érdekében feláldozzák a kép felbontását. A CCD technológia erre egy hardveres, sőt elemi-részecske szintű lehetőséget is kínál (Nagy, 2009). Ha a regiszter kiolvasó elektródája és az utolsó léptető-elektroda közé egy összegző elektródát helyeznek el, amelyre a léptető-órajeleknél kisebb frekvenciájú jelet kapcsolnak (tehát legalább két töltéscsomag beérkezése közben folyamatosan pozitív feszültségen van), akkor ez az elektróda összegzi több pixel töltését. Az elektronok nem lépnek tovább, egyszerűen felhalmozódnak az összegző elektródánál.

2.5.2. CMOS képérzékelők működése

A CMOS technológiával ellátott képérzékelő jelentősen eltér a CCD-től (2.13. ábra). A fény érzékelése ebben az esetben is a fotoelektromos effektusnak köszönhető, de a hasonlóság itt véget is ér. A felhalmozott elektronok mennyiségének megállapításához nem kell a töltéseket egy kiolvasási pont felé mozgatni, nincs szükség töltéscsatolásra. Minden egyes pixel mellett egy erősítő található, amely előállítja a töltéssel arányos feszültséget. Ezeket nevezik töltés/feszültség konvertereknek is. Az adott pixel erősítőjének kimenete egy vezeték és kapcsolóhálózaton keresztül bármilyen sorrendben összekapcsolható a chip további erősítő-fokozataival. Ezért a kép egy részlete vagy alacsonyabb felbontású kép is nagyon könnyen kinyerhető (Nagy, 2009). A CMOS képérzékelőket a pixelenkénti erősítés miatt aktív-pixeles érzékelőnek is nevezik.

Igen nagy előnye abból adódik a CMOS képérzékelőnek, hogy tetszőleges áramkörök integrálhatók a szenzorfelületre. A CMOS érzékelők emiatt integrálva tartalmazhatják az összes szükséges erősítőt, analóg-digitális átalakítókat, sőt akár a képek előzetes feldolgozását, szűrését végző áramköri részek is elhelyezhetők. Így a teljes rendszert tekintve a költségek jelentősen csökkenthetők. A CCD-hez hasonlóan, a kiolvasó csatornák többszörözésével a CMOS képfrissítési



2.13. ábra A CMOS típusú képérzékelő (Nagy, 2009)

sebessége is növelhető, azonban az integráció mára olyan szintet ért el, hogy oszloponkénti ADC-t tartalmazó CMOS érzékelőt is gyártanak. Az ilyen típus előnye, hogy az ADC jelentősen kisebb frekvencián üzemeltethető, mint egyéb esetekben, amely kedvező hatással van a konverzió minőségére, valamint csökkenti az interferenciát is (Nagy, 2009).

2.6. Beágyazott rendszerek és mikrovezérlők

A kamerákból érkező adatok kiolvasásához, valamint a képi adatok feldolgozásához olyan programozható eszközre van szükségünk, ami a válogatási folyamat során biztosítja az adatok megfelelő, valószerű kiértékelését, valamint lehetővé teszi a kapott eredmények alapján a szükséges beavatkozó jelek előállítását is. Az ilyen, nehéz ipari körülmények mellett működő rendszerek szempontjából további fontos követelmény, hogy ezeket a feladatokat nagy megbízhatóság mellett végezze. Kezdetben főleg hagyományos számítógépeket használtak erre a célra, de ezeknek a megoldásoknak az előnyeik mellett sok kedvezőtlen tulajdonságuk is volt (például alacsony üzembiztonság), ezért a kutatók más megoldásokat kerestek: ennek eredményeképp alakultak ki a ma ismert, nagy rugalmasságú beágyazott irányítási rendszerek.

2.6.1. Beágyazott rendszerek

A beágyazott számítógépes rendszerek olyan hardver- és szoftvermegoldások, amelyeket kifejezetten egy adott feladatra, feladatcsoportra optimalizáltak. Az ilyen berendezések általában célberendezésekben kerülnek alkalmazásra, és azok működését, üzemeltetését támogatják. Manapság alig találni olyan elektronikus eszközt, amiben ne találnánk valamilyen beágyazott megoldást, mint például gépkocsik, ipari berendezések, fényképezőgépek, háztartási- és barkácsberendezések, stb. Megkülönböztetünk operációs rendszer nélkül, illetve operációs rendszert futtató technikákat. Az operációs rendszer nélkül megvalósított rendszerek előnye, hogy csak a célfeladathoz szükséges programkód kerül futtatásra, így igen nagy megbízhatóságot és sebességet érnek el vele, továbbá teljes hozzáférést lehet megvalósítani a hardverhez. Hátránya, hogy a szoftverfejlesztés, hibakeresés és tesztelés lényegesen bonyolultabb, ugyanis az összes szükséges rendszerspecifikus funkciót le kell programozni.

Az operációs rendszert futtató technikák esetén a hardverrel való kapcsolattartás, az általános funkciók, kész rendszerhívások segítségével valósulnak meg, így jelentős programozási munkát takaríthat meg, ami a fejlesztési idő lerövidítését teszi lehetővé. Hátránya, hogy az eszköz felett nincs teljes befolyásunk, így nagy mértékben az operációs rendszer fejlesztőire vagyunk utalva.

Az iparban előforduló beágyazott rendszereknek folyamatosan kapcsolatban kell lenni a környezetükkel, a méréseket különböző fizikai/kémiai/biológiai elven működő szenzorokon és érzékelőkön keresztül tudják a berendezések megvalósítani. Ha ezek a rendszerek a monitorozáson kívül még valamilyen szabályozási/vezérlési funkciót is ellátnak, akkor a technológiai folyamatba be is kell avatkozniuk, ha a fontosabb kívánalmakat figyelembe vesszük, akkor Fodor és Vörösházi (2011) szerint kettő fő követelmény lehet a beágyazott rendszereknél:

- Idő: Egy bekövetkező esemény lereagálását a rendszer egy meghatározott időn belül kezdje el.
- Biztonság: A rendszer feladata egy olyan rendszer vezérlése, amely hibás működés esetén egészségkárosodás vagy komoly anyagi kár következne be.

E filozófia mentén lehetséges definiálni a beágyazott rendszerek kettő fő alcsoportját:

- Valós idejű rendszer, melynél az időkövetelmények betartása a legfontosabb szempont.
- Biztonságkritikus rendszer, melynél a biztonsági funkciók sokkal fontosabbak, mint az időkövetelmények betartása.

A csoportosítás a gyakorlatban nem ilyen egyszerű, ugyanis lehetnek a megvalósított rendszerek között olyanok is, amelyek a biztonságkritikus és a valós idejű megoldások tulajdonságaival is rendelkeznek. A gazdasági megfontolások sok esetben a követelmények enyhítésével járnak együtt, így szigorú szabvány- és törvényi előírások szabályozzák azt, hogy mely esetekben szükséges biztonságkritikus rendszert alkalmazni.

A valós idejű rendszerek tárgyalásánál fontos definiálni azt, hogy egy rendszert mikor nevezhetjük valós idejű rendszernek. Egy rendszer akkor valós idejű, ha a rendszer interaktivitása elég egy bizonyos feladat azonnali elvégzéséhez. Ebből a definícióból már sejthető a valós idejű rendszerek fő követelménye, viszont értelmeznünk kell azt, hogy mit értünk „azonnali elvégzésen”, ezt minden esetben meghatározott formában rögzíteni kell.

Egy adott rendszer tehát akkor tekinthető valós idejűnek, ha egy valós időskálához kötött idő(zítési) követelményeket támasztunk (Fodor és Vörösházi, 2011).

2.6.2. Mikrovezérlők

A mikroszámítógépek fejlődésére a méretek jelentős csökkenése jellemző. Kezdetben az egyes funkcionális egységeket, a mikroprocesszort, a memóriát és a perifériavezérlőt különálló kártyákon alakították ki. Később az integrálási technika fejlődése lehetővé tette az összes különálló integrált áramköri egység egy áramköri kártyára történő elhelyezését. Az ilyen felépítésű rendszereket egykártyás mikrogépeknek vagy SBC-nek hívjuk (a mikroszámítógép vagy mikrogép egy olyan integrált áramkörből felépített rendszer, amely programok végrehajtására alkalmas). Az integráció fokozásával megvalósíthatóvá vált, hogy egy mikroszámítógép minden egyes részegységét egy lapkára integrálják, ezek az egytokos mikroszámítógépek vagy más néven mikrovezérlők (Kónya, 2003). A beágyazott rendszerek emiatt mikroprocesszorok helyett, ma már leggyakrabban mikrovezérlőkre épülnek, ahol zömében valós idejű vezérlési feladatokat látnak el.

A mikrovezérlő tehát (MCU) egy olyan speciális mikroprocesszor, ami egy tokba integrálva tartalmazza a processzort és működéshez szükséges összes összetevőt (minimálisan a következő részegységekre van szükség a működéshez: a program végrehajtásáért felelős mikroprocesszor mag, programmemória (adatmemória) és a külvilággal való kommunikációt megvalósító perifériák). Előnye, hogy segítségével nem szükséges járulékos kiegészítő áramköröket beépíteni, így nagy funkcióűrűség biztosítható kis helyen, alacsony fogyasztás mellett. Manapság alig lehet olyan elektronikus eszközt találni, ami ne tartalmazna mikrovezérlőt(őket) célfeladatok megvalósítására, segítségére. Azért, hogy a különféle feladatoknak meg tudjon felelni egy mikrovezérlő, ezek legtöbbjét családely alapján különböző kialakításban gyártják (családely: CPU azonos, az adat és a programmemória mérete, valamint a perifériák típusa és száma tér el) (Kónya, 2003).

A mikrovezérlőket ennek a szabályrendszernek megfelelően, két módon csoportosíthatjuk (Kónya és Kopják, 2009):

- Az egyik szempont a mikrovezérlő utasításainak a bitekben mért szélessége: ez kezdetben 12 bit szélességű volt, majd 14, 16, 24, illetve 32 bit szélességűre változott. Az utasításszélesség meghatározza az utasítások bonyolultságát, a közvetlenül kezelhető adat- és programmemória nagyságát.
- Másik osztályozási lehetőség az adatok szélessége: ez 8, 16 és 32 bit lehet. Ez – mivel az egy utasítással kezelhető adatbitek számát határozza meg –, alapvetően befolyásolja a számítási teljesítményt, az órajelen felül.

A működtető programot jellemzően ún. flash memóriában tárolja a mikrovezérlő, amely a bekapcsolási folyamat során innen kerül betöltésre. Ez a nem felejtő memória könnyedén törölhető és újraprogramozható, így jelentősen könnyíti a programok fejlesztését és a hibakeresést.

A kivezetések funkcióját bizonyos típusoknál gyárilag meghatározzák, de terjedőben van a teljesen szabad konfiguráció biztosítása is. Ezen belül megkülönböztethetünk digitális, valamint analóg ki és bemeneteket. A digitális ki és bemenetek kétállapotú jelekkel történő kommunikációt tesznek lehetővé, míg az analóg bemenetek a pillanatnyi feszültség szint mérését, feldolgozását teszik lehetővé a processzor számára.

A hagyományos soros és párhuzamos ki és bemeneti perifériákon túl, sok mikrovezérlő további integrált perifériával is rendelkezik:

- Időzítők és számlálók,
- Watchdog számláló,
- Kommunikációs perifériák, pl. UART, SPI, I²C, CAN, USB, Ethernet, stb.,
- Analóg-digitális konverter (ADC egység),
- PWM modul,
- Dedikált memóriakártya vezérlő,
- Folyadékkristályos kijelző (LCD) meghajtó,
- Egyéb, speciális perifériák.

A perifériákról megállapítható, hogy használatuk jelentősen csökkentheti a processzor terhelését, mivel ezek megvalósítása szinte minden esetben hardveres.

A mikrovezérlők tápfeszültség tartománya szélesnek mondható, típustól függően általában 1,8 V; 3,3 V; 5 V feszültségről üzemelnek, de sok gyártónál elérhetők nagyobb feszültségről működő, úgynevezett sönt stabilizátoros kivitelek is. Az alacsonyabb megengedett tápfeszültség szintek elsősorban a telepes, akkumulátoros eszközök esetén előnyösek, amit további számos beépített energiatakarékos funkció támogat (pl. alvó üzemmód). A magasabb tápfeszültség tűrés pedig ott lehet hasznos, ahol kevés alkatrész elhelyezésére van lehetőség (pl. helyhiány miatt), így a további kiegészítő áramköri elemek megspórolhatók.

Órajelük a néhány kHz-es tartománytól akár több GHz-es tartományig is terjedhet, így akár a nagyobb számítási kapacitást igénylő feladatokra is alkalmasak lehetnek. A szoftverfejlesztés egyszerűsítése érdekében, bizonyos gyártók a magas szintű programírást könnyítő utasításokat (általában C nyelvhez optimalizálva) építenek be a processzormagba, így gyorsítva a fejlesztést. A mikrovezérlők utasításkészlete ma zömében RISC felépítést követ, a memória szervezése általában Harvard-elv szerint valósul meg. Programozásuk kezdetben assembly nyelven valósult meg, de ma már szinte minden elterjedtebb magas szintű nyelven lehetséges (C, C++, Pascal, BASIC, stb.) fordítóprogramok segítségével.

Összességében megállapítható, hogy a mikrovezérlők célfeladatokra kiválóan megfelelnek, legyen az vezérlés, mérés vagy akár szabályzás. A korszerű kommunikációs protokollok lehetővé teszik a nagyobb kiterjedésű, egymással kapcsolatban lévő egységek létrehozását is.

Manapság igen sok gyártó készít és fejleszt mikrovezérlőt, vagy mikrovezérlőnek megfelelő processzormagot, kezdve az alacsonytól az igen magas számítási teljesítménnyel rendelkező változatokig. Ezek a néhány kivezetést tartalmazó tokoktól az igen magas teljesítményt és nagy mennyiségű programmemóriát és adatmemóriát tartalmazó akár sok száz kivezetéssel rendelkező igen összetett SoC eszközökig terjedhetnek. Általánosságban elmondható, hogy szinte nincs olyan célfeladat, aminek a megoldására ne találhatnánk a piacon megfelelő mikrovezérlőt.

2.7. A szakirodalmi áttekintés összefoglaló értékelése

A kúpos alakkörbe tartozó étkezési paprikára vonatkozó jogszabályi előírások pontosan meghatározzák az osztályozás peremfeltételeit, amelyek kijelölik azokat a paramétereket, ami az előírásoknak megfelelő osztályozáshoz szükségesek.

Az általam fellelt szakirodalomban a kúpos alakkörbe tartozó étkezési paprikára közvetlenül vagy átalakítás után alkalmazható algoritmusoknak zöme csak laboratóriumi felhasználást tesz lehetővé, így alkalmatlanok arra, hogy valós idejű automatizálási rendszerbe integráljuk. További feltárt probléma, hogy a vizsgált algoritmusok egyike sincs felkészítve a görbe paprikák és termékek elemzésére, így a deformáció mérésére, meghatározására és összehasonlításra alkalmas eljárás kidolgozása szükséges.

A geometria jellemzésére és leírására általános módszerek ismertek és a szakirodalomban elérhetőek, azonban a paprikageometria egyszerű és egyértelmű jellemzésére a változatos alak miatt további vizsgálatokat igényel. Sajnos az étkezési paprika osztályozására vonatkozóan csak kevés kutatás eredménye érhető el, így elsősorban más termények osztályozására használt módszer használható kiindulási alapként, azonban a publikált eljárások zöme nem alkalmas arra, hogy automatizálási rendszerbe integráljuk. Ezt egyfelől a publikált mérési módszerek, másfelől az algoritmusok kedvezőtlen tulajdonságai (futási sebesség, összetettség) akadályozzák. A publikált eredmények összehasonlítása nehéz, hiszen a kidolgozott eljárások szinte mindegyike az adott célfeladatra és mérési elvre, ezzel együtt egyedi vizsgálati környezetre épülnek.

A korszerű képfeldolgozó rendszerek az étkezési paprika osztályozáshoz megfelelő, elfogadható feldolgozási sebességű üzemeltetésének lehetősége technológiai oldalról adott. A digitális képfeldolgozás módszereinek fejlődése napjainkban már lehetővé teszi az igen összetett vizsgálatok elvégzését, akár valós időben is. A valós idejű vizsgálatokhoz kiválóan megfelelnek a mikrovezérlőre épülő beágyazott rendszerek, melyek teljesítménye megfelelő optimalizációs lépések elvégzése után elegendő a kifejlesztett algoritmus valós, ipari rendszerben történő vizsgálatához is.

Magyarországon, a kereskedelmi és értékesítési rendszer sajátosságai miatt, elsősorban a termelőkötől várják el a zöldség vagy gyümölcs osztályozását. A kis- és közepes méretű gazdaságok nem tudnak kigazdálkodni és a nagy bekerülési költséggel járó berendezéseket, így az igen összetett rendszerek nem, vagy csak igen hosszú idő alatt térülnek meg. Az összetett rendszerek üzemeltetése nagy szakértelmet igényel, aminek biztosítása további problémákat és költségeket jelent. Ez a kidolgozott algoritmusok és eljárások szempontjából alapfeltételként jelenik meg, így a kutatás során olyan megoldást kell keresni, ami segítségével az osztályozási feladat alacsony költségek mellett nagy üzembiztonsággal megoldható a válogatási pontosság csökkenése nélkül.

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

Ebben a fejezetben bemutatom azokat a paramétereket és peremfeltételeket, melyek meghatározzák a tudományos munkám területét. A fejezetben kitérek a vizsgálandó paprikák fajtáira és az osztályozásnál alkalmazott módszerek és technológiák bemutatására is.

3.1. A vizsgált paprikafajták

A piaci igények szerint, nagy mennyiségben termelt kúpos és hegyes alakkörbe tartozó paprikafajták közül a következőket vizsgáltam:

- Kúpos, tölteni való fajták (jellemzően fehér termésszínű),
- Hegyes típusok (többnyire csípős),
- Különleges kúpos és hegyes fajták: kápia, „dolce italiano” és „corno di toro” típusok.

Mivel a különleges kúpos és hegyes típusok (úgynevezett választékbővítő fajták) piaci térnyerése folyamatos, ezért a vizsgálataim során kiemelten foglalkozok az ebbe az alakkörbe tartozó fajták analízisével is. Azonban nem tárgya a vizsgálatoknak a kaliforniai és a paradicsompaprika alakkörébe tartozó paprika, ugyanis azok gépi válogatása a szabályos, gömbölyded alak folytán a tömeg szerinti osztályozásra alkalmas válogatógépekkel már megoldott.

A vizsgált paprikák köre igen változatos, melyeket más és más állapotban szokták betakarítani. A fehér termésszínű és a hegyes típusú fajtákat általában a gazdasági érettség (teljesen kifejlett, kemény bogyó, fényes felület) állapotában, a különleges fajtákat pedig vegyesen, de inkább a biológiai érettség (teljesen beérett állapot, a fajtára jellemző piros vagy sárga szín elérése) állapotában szedik, így a termés színe a kamerarendszer kialakítása szempontjából igen lényeges paraméter volt.

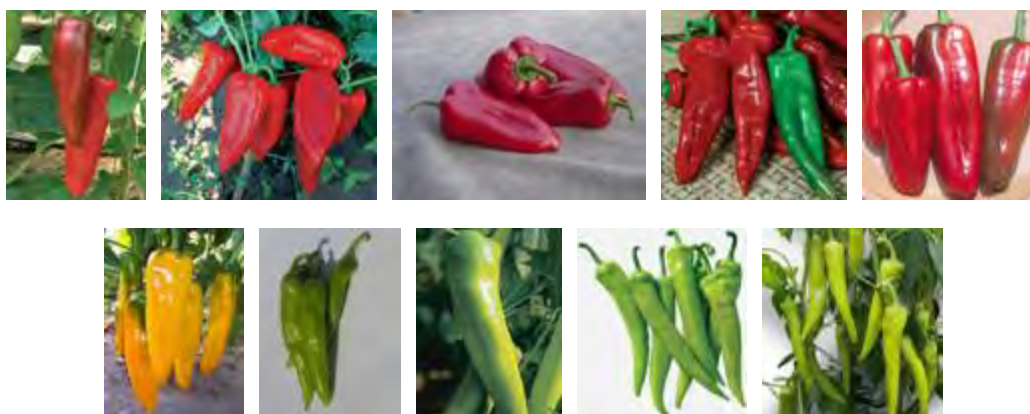
A mintákban megtalálható volt a gazdasági, illetve biológiai érettségnek megfelelő állapotú termés is. Kísérleteim során a 3.1. és a 3.2. ábrákon látható, különböző jellemzőkkel (alak és termésszín) bíró kúpos és hegyes alakkörbe tartozó paprikafajtával végeztem vizsgálatokat. A felvételeken látható, hogy a kúpos és hegyes paprikafajták, színüket és alakjukat tekintve is igen változatosak, ezeket a tulajdonságokat a kamerarendszer, a képfeldolgozó és az osztályozó algoritmus kifejlesztése és tervezése során fokozottan figyelembe kellett venni.

3.2. A mérőrendszer kialakítása

Az alakfelismerő és kiértékelő rendszert a tényleges paprikaválogatási folyamatba kellett illeszteni, anélkül, hogy a válogatási folyamat lassítása, valamint hátrányos befolyásolása, valamint a termés mechanikai sérülése bekövetkezne. Ennek első lépése a teljes paprikaválogatási folyamat



3.1. ábra Fehérből, zöldesfehérből pirosba érő, tölteni való paprikafajták (balról jobbra);
HRF F₁, Hó F₁, Cecil F₁, Hajdú F₁, Creta F₁,
Julianus F₁, Galga F₁, Flexum F₁, Emese F₁, Jász F₁ (Fotók: Fajtafenntartók)



3.2. ábra Zöldből, pirosba/sárgába érő, különleges paprikafajták (balról jobbra);
Karamida F₁, Kárpia F₁, Mágus F₁, Canal F₁, Red Marconi,
Golden Marconi, Uranus F₁, Titán F₁, Rapires F₁, Kard F₁ (Fotók: Fajtafenntartók)

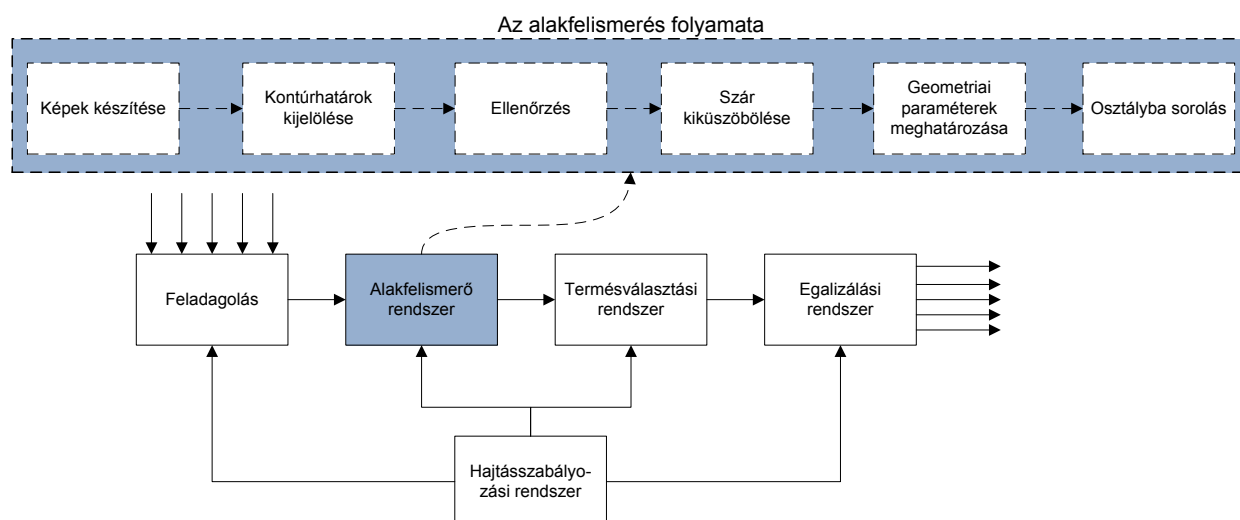
áttekintése volt, melyet a 3.3. ábrán mutatok be. Az alakfelismerő rendszerrel egy időben kezdődött meg a többi rendszer elem tervezése is, azonban ezek tárgyalása nem része a doktori értekezésnek.

A mérőrendszer főbb részei a következők:

- A feladagolási és termésrendezési rendszer.
- Az alakfelismerő látórendszer:
 - CCD,
 - CCD feldolgozó egység,
 - optikai rendszer,
 - fényforrások,
 - adatfeldolgozó és kiértékelő (osztályozó) modul.
- A hajtásszabályozási rendszer.
- A termésválasztási rendszer.
- Az egalizálási rendszer (tömeg szerint).

A válogatási munkák jellegzetessége, hogy a gépek a termények érésének ütemében, időszakosan üzemelnek, ekkor viszont igen nagy megbízhatósággal kell ellátniuk a feladatukat, hiszen a kiesésből származó károk jelentősek lehetnek.

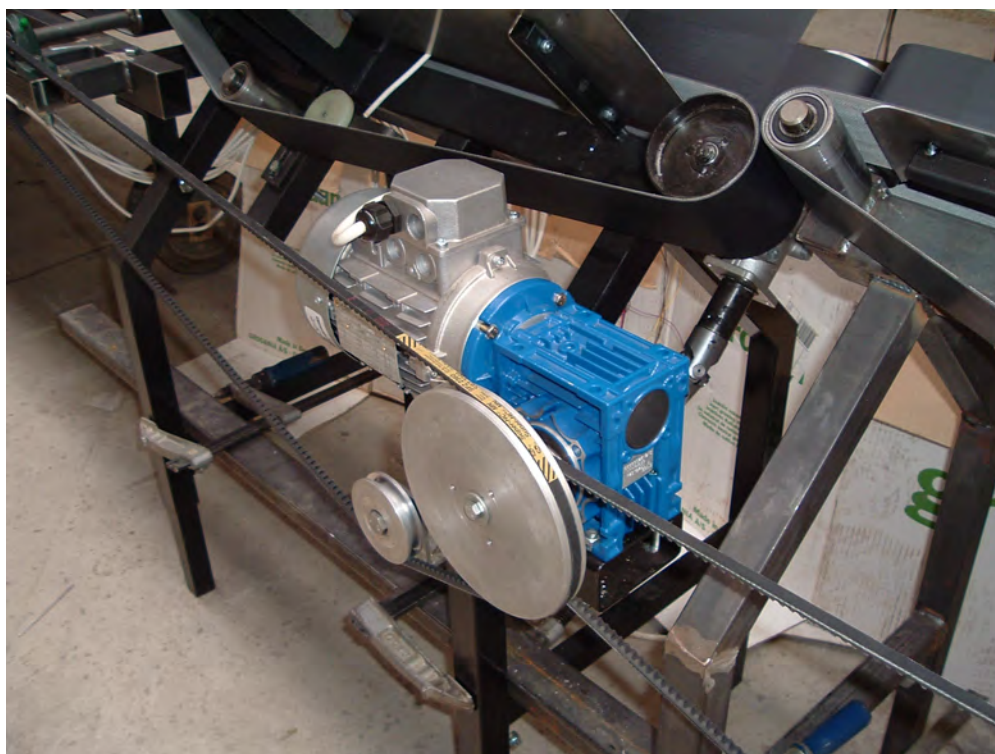
Mint korábban az irodalomfeldolgozásnál bemutattam, a válogatási folyamat alapjait meglévő technológia adja, ezért a dolgozatban csak az alakfelismeréshez közvetlenül kapcsolódó és azt be-



3.3. ábra Az alakfelismerés folyamatának elhelyezkedése a gépi paprikaválogatás során

folyásoló részelemek kerülnek ismertetésre. A konstrukció szempontjából fontos alapkövetelmény volt, hogy a gép ne foglaljon el nagy alapterületet. Ez a válogatás szempontjából olyan műszaki korlátozást jelentett, hogy a geometria mérését biztosító részegység és a termékek szelektálását végző termésválasztó rendszer első eleme közötti távolság nem lehetett 1,5 méternél nagyobb. A feldolgozásra tehát annyi idő áll rendelkezésre, amíg a paprika eljut a mérőegységtől az első kapuig. Ebbe a teljes alakfelismerési folyamat bele kell tartozzon, a méréstől az adatfeldolgozáson át, a termésválasztó rendszer beavatkozó jelének kiadásáig. Ez azzal a kedvezőtlen hatással jár, hogy a válogatási teljesítmény (sebesség) növelése a rendelkezésre álló feldolgozási időt csökkenti. Mivel a termécsészéket alkalmazó rendszerek a kúpos és hegyes paprikára nem, vagy igen korlátozottan használhatók a fokozott beakadásveszély miatt, továbbá helyigényük nagy és kialakításuk drága, ezért olyan anyagmozgatási lehetőséget kerestem, mely egyaránt megfelel a kamerarendszer és megvilágítás követelményeinek. A vizsgálatok eredménye alapján, szállítószalag rendszer kialakítása mellett döntöttem. Itt kell megemlítenem, hogy a szalag kiválasztáskor csak olyan típus jöhetett szóba, ami a megfelelő élelmiszeripari minősítéssel rendelkezik, ami jelentősen szűkítette az alkalmazható gyártmányok körét.

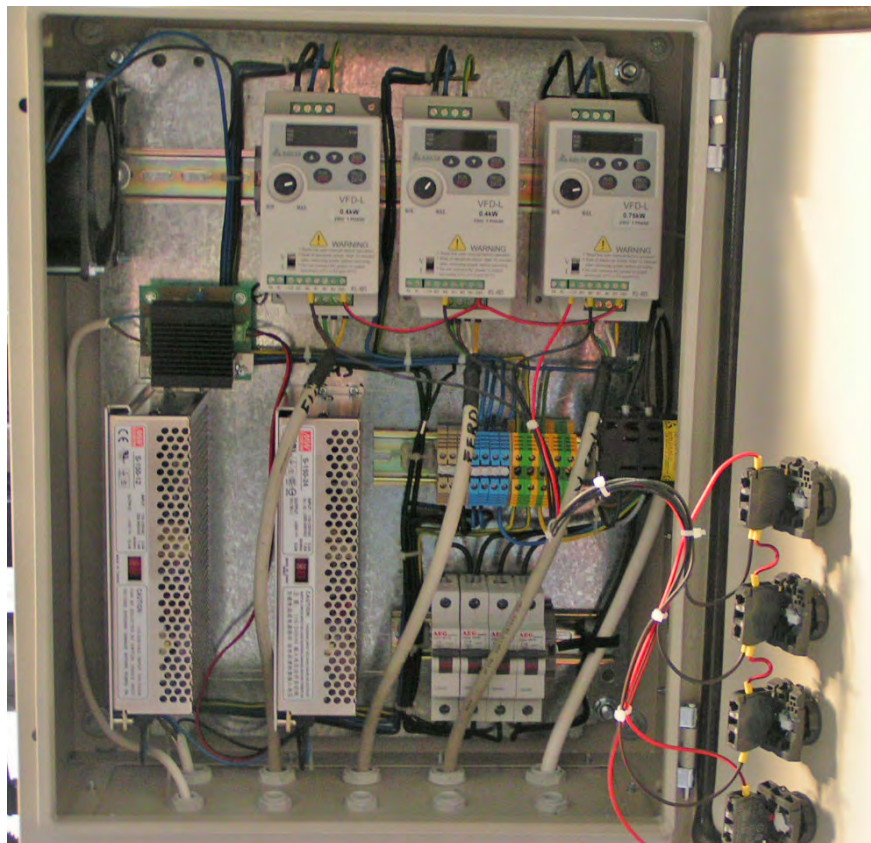
A hajtásszabályzási rendszer feladata a termékek egyenletes sebességű továbbítása a mérőérzékelő előtt a kialakított anyagmozgató rendszer segítségével. Az anyagmozgatás sebességének adott tartományon belüli tetszőleges változtathatóságának érdekében a háromfázisú aszinkron motorokat (3.4. ábra) frekvenciaváltók (3.5. ábra) vezérlik.



3.4. ábra A szállítószalagok mozgatása hajtóműves, háromfázisú aszinkron motorokkal történik

Mivel a teljes, autonóm rendszer működtetése összetett és bonyolult mérés-, és irányítástechnikai feladat, céлом a rendszer elemek rugalmas és moduláris kialakítása volt. Az irányítástechnikai probléma megoldásához megvizsgáltam a folyamatirányító PLC-k (Programmable Logic Controller – programozható logikájú vezérlő), a korszerű, beágyazott rendszerek, továbbá az ipari számítógépek alkalmazhatóságának lehetőségét is.

A kísérletek folyamán kiderült, a folyamatirányító PLC-k korlátozott tulajdonságaik miatt nem teszik lehetővé az alkalmazásukat. A korszerű, nagy teljesítményű beágyazott rendszerekkel szerzett kedvező tapasztalatok alapján a teljes rendszer működtetését diszkrét számítógépek helyett végül mikrovezérlőkkel valósítottam meg. Így a nehéz és mostoha körülmények között



3.5. ábra Az aszinkron motorok meghajtása frekvenciaváltókkal valósult meg, ami lehetővé teszi a szalag sebességének fokozatmentes állítását

működtethető, és jelentős költségráfordítást és karbantartást igénylő ipari számítógépeket teljes mértékben ki lehetett váltani. Hagyományos számítógépeket csak a tervezéshez, fejlesztéshez, kiértékelési munkákhoz, valamint a diagnosztikai feladatok elvégzéséhez használtam, a rendszer működtetéséhez nincs szükség rájuk.

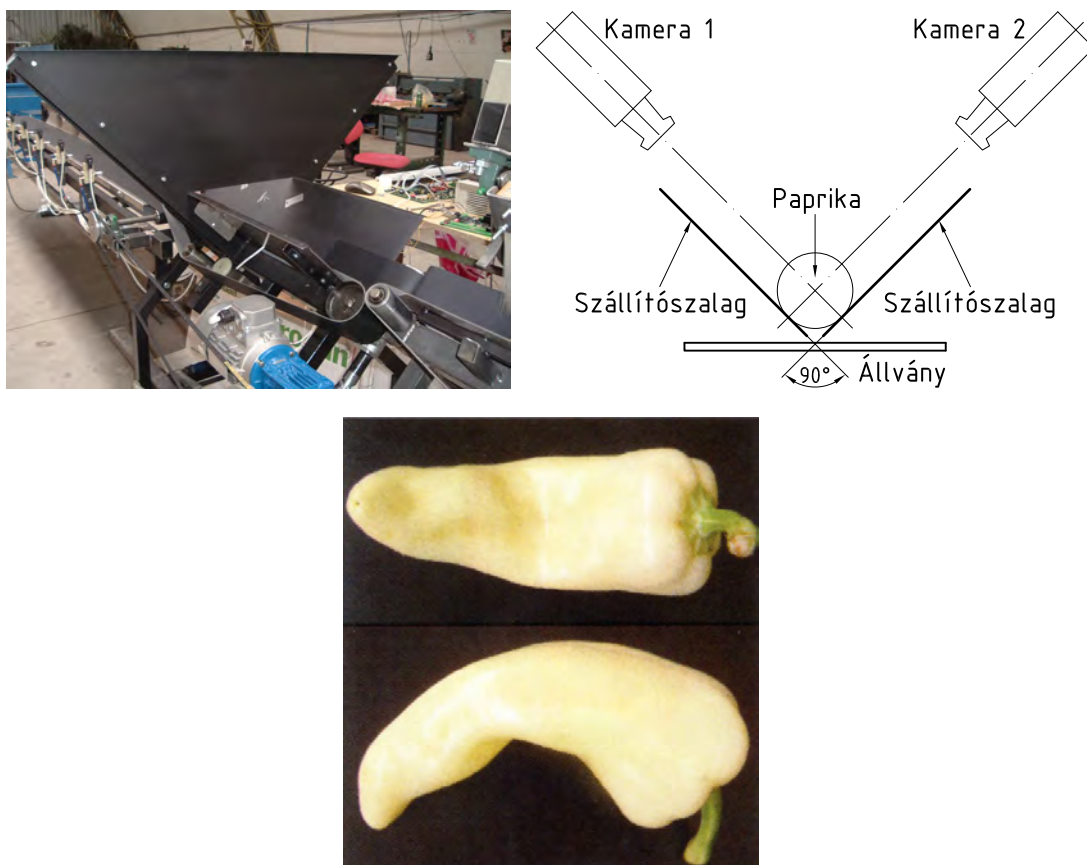
A saját fejlesztésű beágyazott rendszer alkalmazása lehetővé tette a feladatok tetszőleges szétosztását és párhuzamos elvégzését, továbbá a kommunikációs interfészek megválasztásában is teljes rugalmasságot adott.

A paprika geometriai adatainak felvételéhez több megoldás is alkalmas: kísérleteket végeztem kamerás, irányított ultrahangos, valamint lézeres letapogatással is. A kamerás és a lézeres letapogatás nagyon ígéretes megoldásnak tűnt – a megfelelő kiolvasási sebesség és pontosság biztosítható volt –, azonban a lézeres megoldás alkalmazása az igen magas beszerzési költségek miatt elvetésre került.

A megfelelő, és versenyképes válogatási teljesítmény eléréséhez másodpercenként legalább 3-4 darab paprika teljes felismerését kell lehetővé tenni. Ez igen nagy sebességű feldolgozó rendszert követel meg.

A korábbi kísérleteim kedvező tapasztalatai alapján saját fejlesztésű kamera alkalmazása mellett döntöttem, elsősorban azért, mert a piacon nem találtam a feladatra alkalmas, üzembiztos, elfogadható ár/érték aránnyal rendelkező berendezést.

A tervezés során nagyon fontos kiindulási feltétel volt, hogy a paprika rögzített adatainak szoftveres reprodukálásához, legalább két, egymással szöget bezáró irányból kell az adatfelvételt megvalósítani. A továbbiakban vizsgálatokat végeztem több kamera, különböző szögben és pozícióban történő elhelyezésével, valamint sztereó képek tükrök segítségével történő készítésével; a kísérletek alapján a legjobb eredményt két egymásra merőlegesen elhelyezett kamera adta (3.6. ábra).



3.6. ábra A leképzés két, egymással szög bezáró irányból történik (felül), a görbe paprikának is van olyan vetülete, amin szabályosnak látszik, ezért kell legalább két irányból vizsgálni (alul) (Tömpe, 2007)

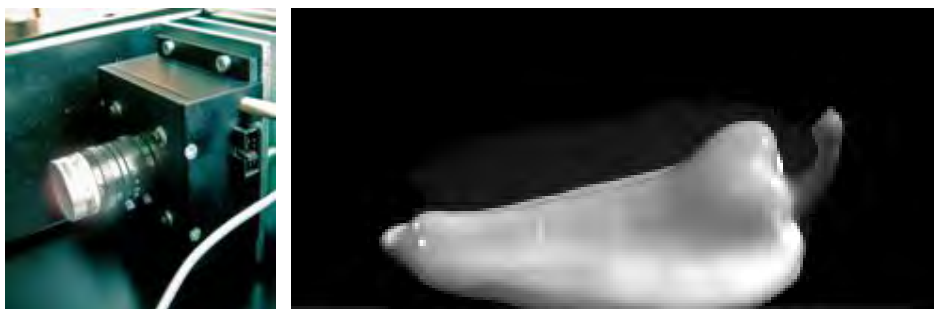
Kettőnél több kamera beépítése esetén a pontosság jelentősen nem növekedett, ezzel szemben a bonyolult vezérlés és a szinkronizációs igény, illetve a megnövekedett adatmennyiség következtében tapasztalt problémák miatt a megoldást elvettem.

A következőkben olyan képalkotó érzékelőt kerestem a paprika képének felvételére, amellyel biztosítható, a másodpercenkénti 3-4 darab paprika teljes felismerése. Ez ideális töltöttség mellett óránként 10800-14400 db, 120 g átlagtömegű termékek esetén, körülbelül 1,3 t/h válogatási kapacitást jelent, 1 m/s haladási sebességet feltételezve. Vizsgálataim során kiderült, hogy az előírt követelményeknek leginkább a vonal CCD érzékelők felelnek meg.

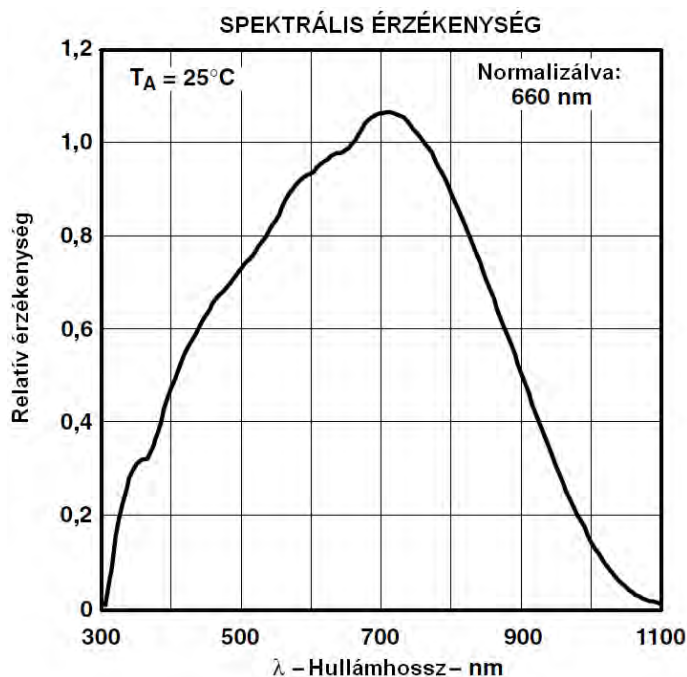
A kamera elkészítése során Texas Advanced Optoelectronics Solutions (ma: ams AG) gyártmányú, magas érzékenységű, digitális kimenetű TSL3301/2 típusú monokróm (szürkeárnyalatos) vonal CCD érzékelőket használtam (TAOS, 2001), a CCD meghajtó és kiolvasó áramkör saját fejlesztés.

Az elérhető legnagyobb felbontás üzemmódtól függően 1x102 vagy 1x204 pixel, ami 102 mm-es maximális tárgymezőt feltételezve 1 mm, vagy 0,5 mm felbontást tesz lehetővé. Mindkét érték az osztályzásra vonatkozó előírásoknak tökéletesen megfelel, azonban a minél gyorsabb képkiolvasás miatt a kamera 1x102 pixeles konfigurációban épült meg, ez a gyakorlatban a fent említett feltételek mellett 1 mm-es felbontást tesz lehetővé.

A CCD kimenetén közvetlenül digitális információk jelennek meg, így a kapott képinformáció különálló egység által történő digitalizálására nincs szükség, ami komoly időmegtakarítást eredményezett. A képérzékelő beépített A/D konvertere 8 bites felbontással rendelkezik, ami azt jelenti, hogy a képpont fényerősségét a méréstartományon belül $2^8 - 1$ lépcsőben tudja meghatározni. A CCD chip vezérlése is digitálisan valósul meg, így több olyan paraméter is beállítható (erősítés, feketeszint), amelyek analóg rendszer esetén valós időben nehezen, vagy egyáltalán nem oldhatók meg (3.7. ábra).



3.7. ábra A tokozott kamera (balra) (Tömpe, 2007), valamint a kamera által készített kép (jobbra)



3.8. ábra Az alkalmazott CCD spektrális érzékenysége (TAOS, 2001)

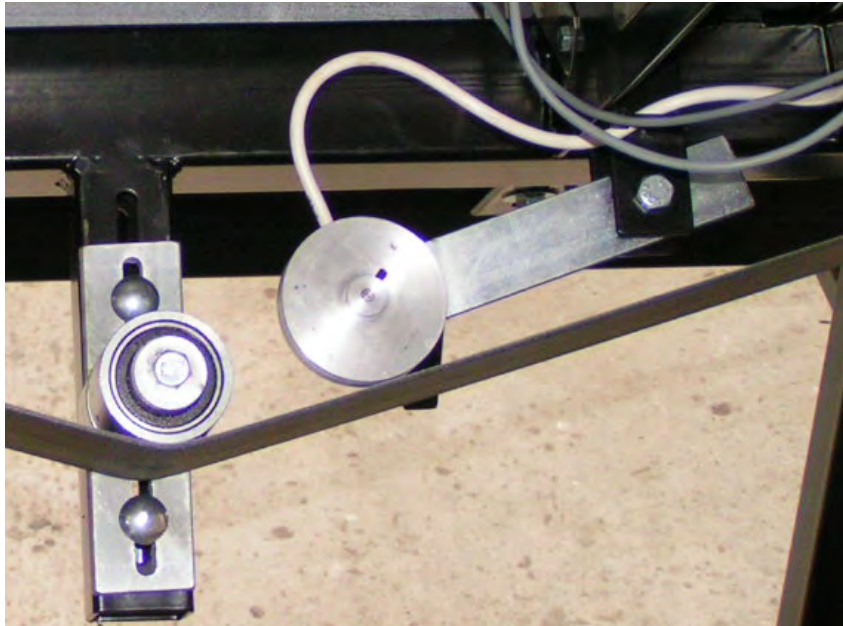
A választott CCD spektrális érzékenysége a műanyag tokozás miatt szokványostól nagyobb tartományt fed le, így a UV-A, illetve a közeli infravörös (NIR) tartomány egy részében is 30% feletti relatív érzékenységet mutat, ami a későbbiekben lehetővé teszi akár a látható tartományon kívüli vizsgálatok elvégzését is (3.8. ábra).

A kép kiolvasása egy közönséges síkágvas lapolvasó működéséhez hasonlóan történik, azonban itt nem a kamera, hanem az objektum (a paprika) mozog a kamera előtt.

Mivel a tárgy (a termés) mozog a kamera előtt, ezért nagyon fontos, hogy a felvételek készítése mindig a termés haladási sebességével arányosan, mindig az adott távolság megtétele után történjen. A jelenség kompenzálására a szállítószalag által megtett utat mérő ütemadót (útdót) használtam. Az útdó elhelyezkedése a 3.9. ábrán látható.

Az útdó 1,8 m/s elméleti sebességig képes a kamera szinkronizációját megvalósítani, nagyobb sebességen a megfelelő intenzitású kép készítéséhez szükséges minimális integrálási idő (záridő) nem biztosítható a kialakított világítási megoldás mellett. A gyakorlatban alkalmazható legnagyobb sebesség azonban 1-1,2 m/s körül van, nagyobb sebesség alkalmazása esetén a paprikák ütődésektől kialakult sérülései számottevően megnövekedtek (mérési eredmények a 4. fejezetben található). Ezért műszakilag kielégítőnek tekinthető az érzékelő feldolgozási sebessége.

A kamerához (a kutatás kezdetén először elkészült PC alapú adatgyűjtő és vezérlőrendszer helyett), autonóm, beágyazott adatgyűjtő rendszert alakítottam ki, ahol a CCD pixeladatait és az útdó jeleit egy nagysebességű mikrovezérlő fogadja, ami a CCD chip mellett kapott helyet (3.10. ábra).



3.9. ábra Az útdó elhelyezkedése



3.10. ábra A saját fejlesztésű, a vonal CCD képadatainak fogadását végző áramkör



3.11. ábra A kísérletek során alkalmazott, polárszűrővel kiegészített objektív

Mivel a vonal CCD érzékelő hasznos érzékelőfelülete igen kicsi ($8\text{ mm} \times 70\ \mu\text{m}$), ezért egy lencse-rendszer alkalmazása elkerülhetetlen. A kamerához választott C-mount (CINE) szabványmenettel rendelkező objektív 35 mm fix gyújtótávolsággal rendelkezik, $F1,6$ fényerő mellett. A kiválasztás folyamán mindenféleképp figyelni kellett arra, hogy az alkalmazott objektív felbontóképessége a CCD-hez illeszkedjen, ellenkező esetben az érzékelő felbontása nem használható ki (Czúni és Tanács, 2011). A csillogások, becsillanások csökkentése érdekében cirkuláris polárszűrőt használtam (3.11. ábra). A vizsgálatok során a tárgytávolság 650 mm volt.

3.3. A világítási rendszer kialakítása

A rendszer működése szempontjából alapvető jelentőségű a megvilágítás. A legnagyobb problémát elsősorban paprika felületén lévő geometriai torzulások és inhomogenitások jelentik. Emiatt a látómezőben jelentős fényerőkülönbségek alakulhatnak ki, ami nagyban befolyásolja a felismerés pontosságát és sikerességét (a fényerőkülönbségek jól érzékelhetőek a 3.7. ábrán). Ezekkel a hatásokkal már több kutató számtalan esetben foglalkozott, munkásságuk csak speciális, adott esetekben hozott csak eredményt.

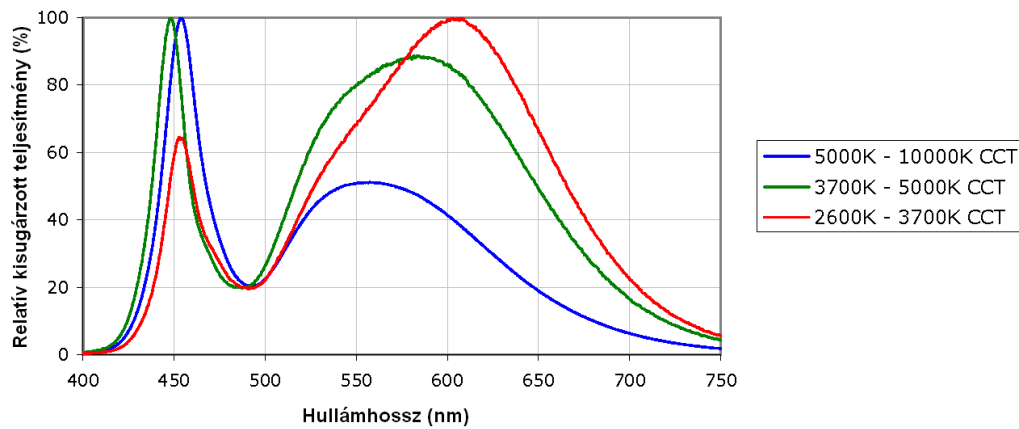
A prototípus rendszer tárgykítakarásos megoldását az ipari rendszerben el kellett hagyni, ugyanis a szállítószalagok közötti részbe helyezett fényforrás igen hamar elszennyeződött, emiatt igen jelentős fényerőcsökkenés és inhomogenitás alakult ki. A kedvező kísérleti eredmények alapján, direkt megvilágítás kialakítása mellett döntöttem, teljesítmény LED-es (Light Emitting Diode = fénykibocsájtó dióda) fényforrások alkalmazása mellett. A teljesítmény LED-ek ma már valós alternatívái a hagyományos fényforrásoknak, ugyanis a legnagyobb hibájuk, az alacsony színvisszaadási index (Yadaw et al., 2013; Yang et al., 2013), az úgynevezett melegfehér változatok kifejlesztésével jelentősen javult ($\text{CRI} > 80$). Vizsgáltam a kevert fényt adó típusokat: hidegfehér ($\text{CCT} = 6500\text{ K}$), természetes fehér ($\text{CCT} = 4500\text{ K}$), melegfehér ($\text{CCT} = 3200\text{ K}$), valamint az RGB, a diszkrét vörös, borostyán és zöld megvilágítások hatásait is. A LED-ek legfőbb előnyei: kis méret, már igen nagy fényteljesítmény ($100\text{-}160\text{ lm/W}$), alacsony fogyasztás, rezgésekre és ütésekre való érzéketlenség, igen hosszú élettartam mellett.

Indirekt megvilágítás – ami közel egyenletes megvilágítást hozna létre – a vizsgált esetben nem alkalmazható, ugyanis a termés és a szalag közötti szűkülő részben nem tud kielégítő megvilágítottságot és kontrasztot létrehozni.

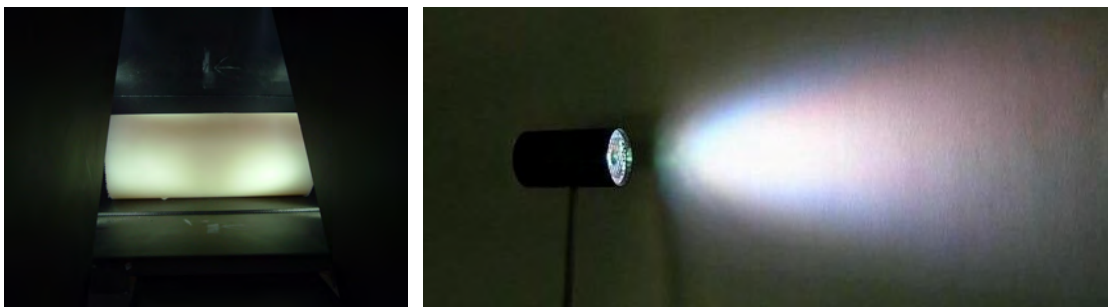
A megvilágításra 6 darab Luxeon K2 (LXK2-PWN14-U00) típusú, természetes fehér LED-et használtam (Luxeon, 2008), oldalról és felülről kettő-kettő-kettő darab került elhelyezésre (3.12., 3.13. ábra), a meghajtásuk áramgenerátorról történt, az 1000 mA -es maximális áram beállítása mellett. Ezen az áramon a névleges fényáram a gyári adatlap alapján LED-enként 100 lm , amit a méréseim is igazoltak. A LED-ek a termés fényvisszaverő tulajdonságainak megfelelően, három fényerőfokozaton működtethetőek: 500 mA , 700 mA és 1000 mA áram mellett. A kielégítő hőleadást a burkolat jó hővezetéssel rendelkező alapanyaga és kialakítása biztosítja. Nagyon kritikus volt a fényforrások megfelelő beállítása, ugyanis rossz beállítás hibás, pontatlan működéshez vezethet. Az oldalsó fényforrások elhelyezkedése a 3.14. ábrán látható.

A háttér megválasztásánál, vizsgálati szempontból kedvezőtlen módon, nagy mozgástér nincsen, ugyanis az élelmiszeripari besorolású szállítószalagok szín- és felületválasztéka korlátozott. A különböző természíni paprikákhoz univerzális háttérre volt szükség, mivel a szalag cseréje időigényes lenne. A megfelelő szalag kiválasztásához gyári mintacsíkokat használtam. A jól megválasztott háttér elősegíti a szegmentációs algoritmus működését, továbbá, döntően befolyásolhatja a tárgy pontos érzékelését is. A választás a fekete felületi színű szalagra esett, ugyanis a változatos színű paprikák esetén a megfelelő kontrasztarány biztosításához leginkább ez felelt meg.

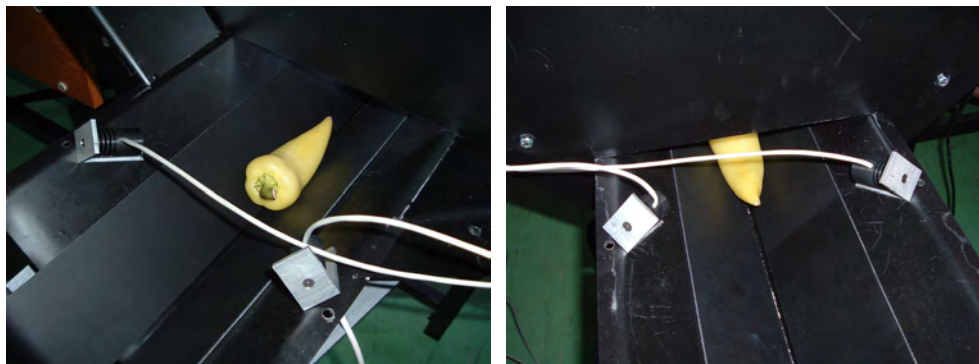
A mérések során további gondot okoz a háttér (szállítószalag) üzemszerű szennyeződése és fényvisszaverő képességének megváltozása, a paprika felületéről szóródó fény, illetve a túlvilágítás, amely a háttér zavaró hatásait tovább erősíti, akár a kontraszt jelentős csökkenése mellett. A szalag



3.12. ábra Kevert, fehér fényt adó LED fényforrások spektrumai, különböző színhőmérsékletek esetén



3.13. ábra A kísérleti rendszer sötétkamrája és egy próbatest megvilágítva (balra); a kísérletek során használt LED-es megvilágító tokozva (jobbra)



3.14. ábra Az oldalsó fényforrások elhelyezkedése

szennyeződését a paprika felületéről ottmaradó vékony viaszos réteg növeli. Kézenfekvő lenne a szállítószalag folyamatos gépi tisztítása, azonban az odajuttatott tisztítóanyagok mechanikai hatás nélkül nem képesek jelentős tisztítóhatást elérni, a nedves felület pedig tovább segíti a por és az egyéb szennyeződések megtapadását.

A megvilágítást tehát a korábban említett zavaró tényezők és okok miatt minél több, teljesen különálló pontból kellett megvalósítani, törekedve arra, hogy a becsillanások és a visszatükröződések ne rontsák a mérés pontosságát.

3.4. A megvalósított berendezés

A válogatáshoz szükséges, de különálló rendszer elemeket a teljes osztályozási folyamatot megvalósító berendezésbe kellett illeszteni.

A képfeldolgozási rendszer megbízható működése szempontjából nagyon fontos a feladagolási rendszer, ugyanis ez biztosítja a megfelelő, egyenletes tömegáramot a kamerák alatti szalagon. A felhordó elem az irányba rendeződött paprikákat kezelő személyzet felügyeli, feladatuk az olyan hibás termékek eltávolítása, amik a berendezés elszennyeződését vagy hibás működését

okozhatják. A görgős felhordó a paprikákat a felfelé történő mozgítás mellett forgatja is, így ez megkönnyíti az előválogatási munkát, mivel a terméseket nem szükséges kézbe venni az ellenőrzés megtételéhez. Arra az esetre, ha egyszerre nagyon sok hibás termés érkezne, a kezelő rendelkezésére áll egy, a ferde felhordó sebességét csökkentő pedál, ami ebben az esetben is lehetővé teszi a kezelő számára a termések megfelelő átvizsgálását, valamint a hibás egyedek eltávolítását.

A paprikák külön osztályokba történő különválasztását sűrített levegővel működő rendszer teszi lehetővé. Amikor a paprika a megfelelő kapuhoz ér, egy villamos úton vezérelhető szelep segítségével a fúvóka körülbelül 6 bar nyomással a paprikát az osztályozószalagról lefújja a gyűjtőrekeszbe. A paprika a kertészetekben leggyakrabban alkalmazott szabványos M30-as rekeszekbe érkezik. A ládák egyenletes töltöttségét ferde pályán mozgó rugó előfeszítésű kocsik teszik lehetővé. A kocsik mérlegcellákkal vannak ellátva, ami lehetővé teszi a rekeszek tömeg szerinti egalizálását. A 3.15. és a 3.16. ábrán az elkészült kísérleti rendszerről látható néhány fénykép. A megvalósult rendszer főbb műszaki adatai pedig a 3.1. táblázatban kerültek feltüntetésre.



3.15. ábra A termésrendezési rendszer (balra), a sűrített levegős termésválasztás (középen és jobbra) (Tömpe, 2007)



3.16. ábra A prototípus rendszer, működés közben (Tömpe, 2007)

3.1. táblázat A megvalósult rendszer főbb műszaki adatai

| Technikai adatok | | |
|--|-----------------------------------|----------------|
| Mérés módja | vonal CCD kamera | |
| Érzékelő jellege | monokróm | |
| Kamerák száma | 2 | |
| Mért paraméterek | vállátmérő, hosszúság, görbültség | |
| Mérési pontosság | hosszúság | ± 2 mm |
| | mintavételi távolság | 2 mm |
| | szélesség (átmérő) | ± 1 mm |
| Mérési határértékek | hosszúság | maximum 350 mm |
| | szélesség (átmérő) | maximum 85 mm |
| Megvilágító LED-ek száma | 6 | |
| Fényerő fokozatok száma | 3 | |
| Termékek névleges áthaladási sebessége | 1 m/s | |
| Névleges osztályozási kapacitás | 1,3 t/h | |
| Osztályozási kapuk száma | 6, 8 vagy 10 | |
| Berendezés alapterülete | L alakban, 6 x 6 m (6 kapu) | |
| Független szállítószalagok száma | 3 | |
| Villanymotorok száma | 3 | |
| Osztályozási szabályok száma | alapkiépítésben 10 | |
| Termékek fogadása | M30 rekeszben | |
| Kezelőszemélyzet száma | minimum 3 fő | |
| Névleges feszültség | 3x400 V | |
| Villamos csatlakozás | 3x16 A | |
| Villamos teljesítményfelvétel, kompresszorral (max.) | 4,5 kW | |
| Névleges légműködési nyomás | 6 bar (150 g bogoyótömegig) | |
| Névleges légfogyasztás | 180 l/perc (6 bar) | |

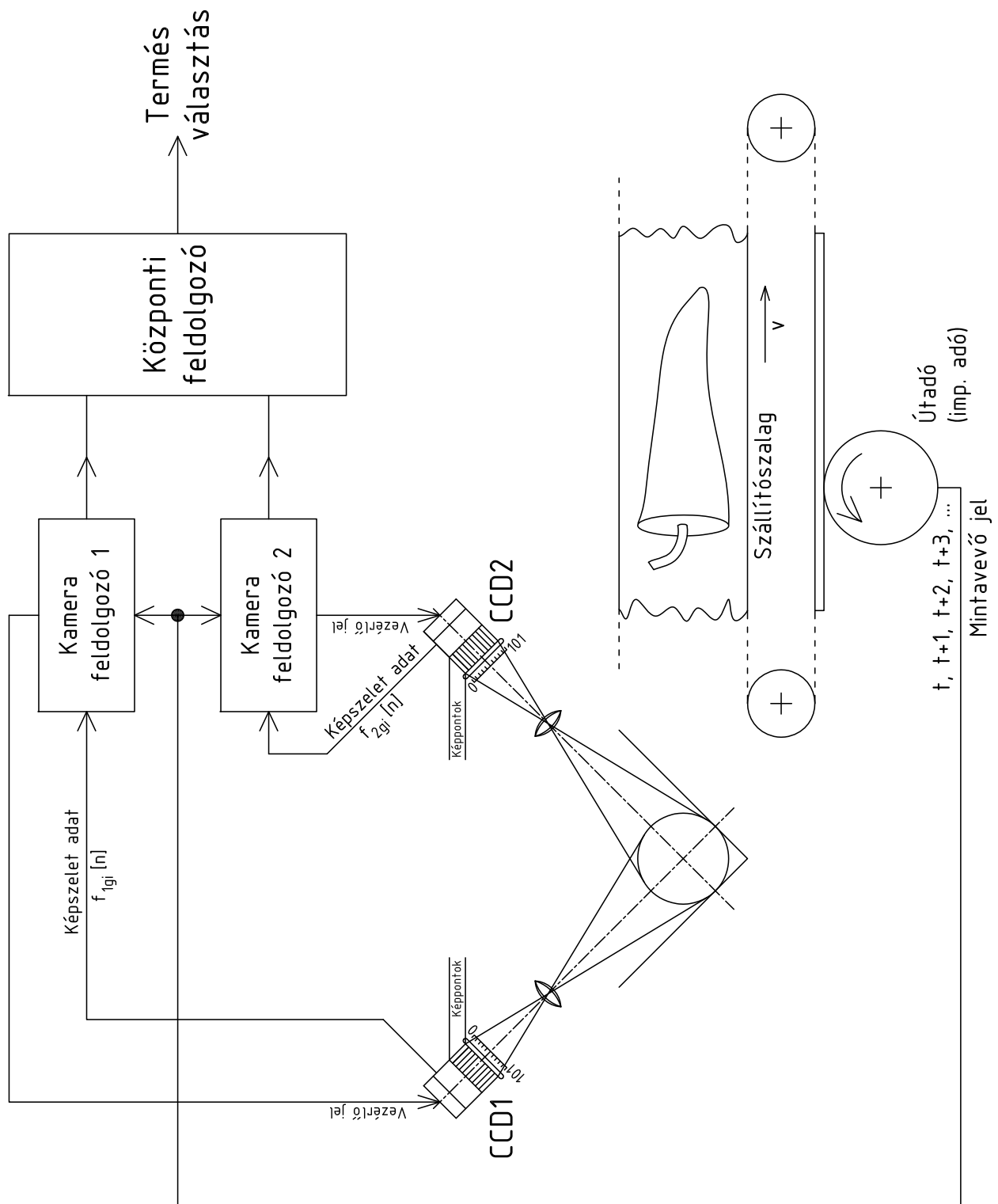
3.5. A képérzékelés folyamata

A teljes megvalósított képérzékelési folyamat blokkdiagramja a 3.17. ábrán látható. A rendszer egyszerűsített működése a következő: az útdó a szalag sebességének megfelelő ütemben jelet küld a kameráknak a paprikák haladási irányára merőleges képszelet megfelelő időpillanatban történő elkészítése céljából (mintavétel). Ezután az adatok átküldésre kerülnek a központi feldolgozó egységbe, aminek a feladata a képszeletek adatainak kiértékelése, majd az előzetes szabályrendszer alapján az osztályba sorolás elvégzése és a beavatkozó jel előállítás a termékek kiválasztásáért felelős modulnak.

A képérzékelési folyamatot matematikailag a következők szerint írhatjuk le:

A CCD felületén megjelenő folytonos fényerősség eloszlás adott t_i mintavételi időpontban s_i mintavételi helyen:

$$f_i(x_t), \text{ ahol } i: \text{ egész szám.} \quad (3.1)$$



3.17. ábra A képzékelés sematikus ábrája (a megvilágítás feltüntetése nélkül)

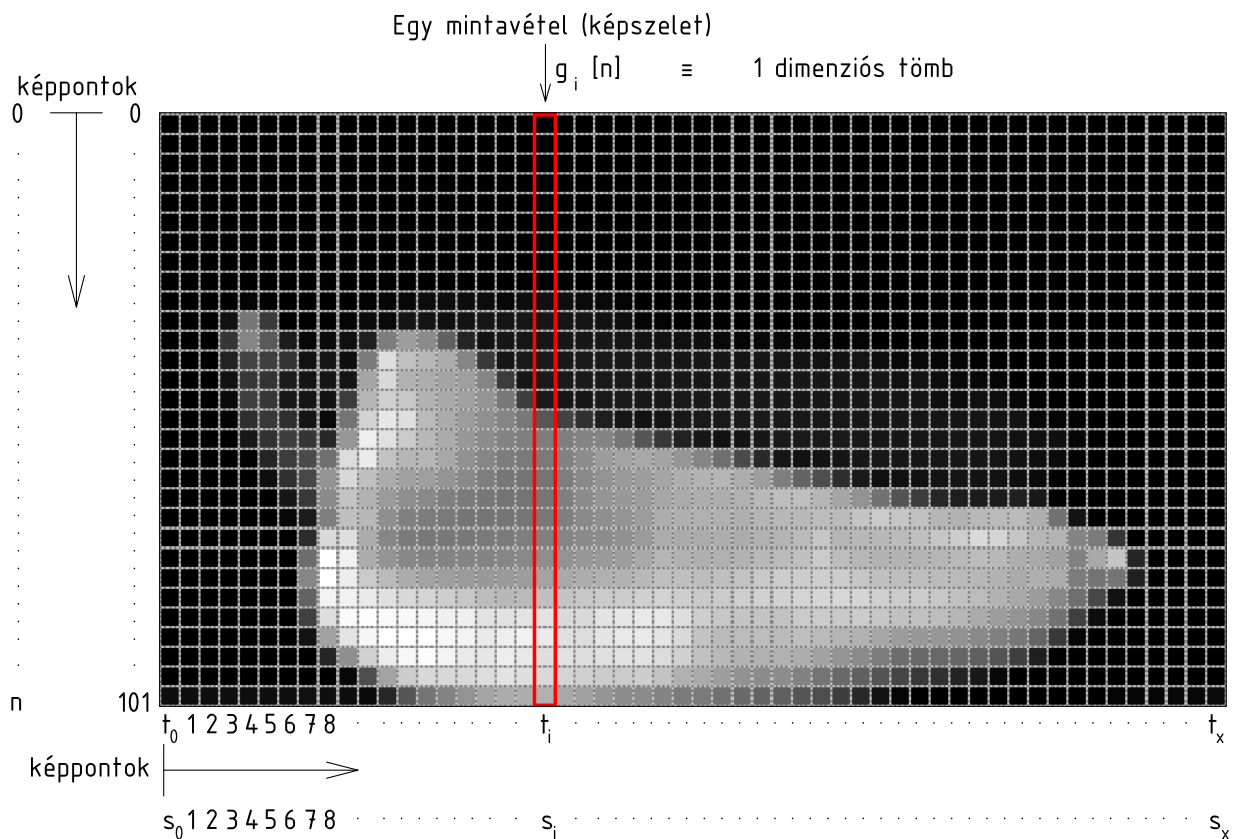
A véges n pixelszám miatt a pixeleken megjelenő fényerősség eloszlás diszkrét esetekben, adott t_i mintavételi időpontban:

$$f_i[n_t], \text{ ahol } i, n: \text{ egész szám } (n = 0 \dots 101). \quad (3.2)$$

A képpontok fényerősség eloszlásának kvantálásával a beépített 8 bites A/D konverter a diszkrét képpontok fényerősség értékeit tartalmazó egydimenziós tömböt tölt fel (képszelet):

$$g_i[n], \text{ ahol } g = 0 \dots 255, n = 0 \dots 101, i = 0, 1, 2 \dots \infty. \quad (3.3)$$

A különálló $g_i[n]$ képszelet adatok kétdimenziós képpé (tömbbé) történő összeállítási folyamata a 3.18. ábrán látható. Fontos megjegyezni, hogy a mintavételi időpillanatokhoz tartozó s_i mintavételi távolságok hozzárendelése mindenképp szükséges a tényleges hosszúság meghatározásához.

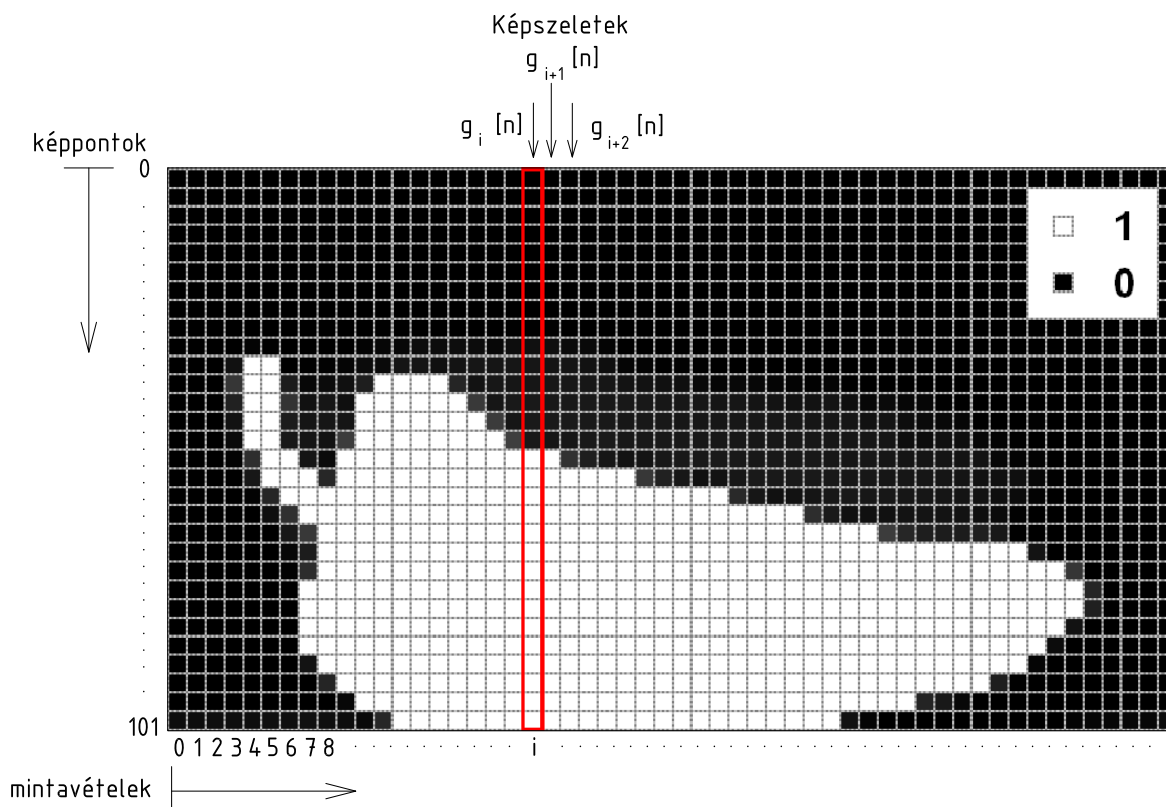


$$\begin{aligned}
 t_i &\supseteq s_i && \supseteq i \\
 t_0 &\supseteq s_0 && \supseteq i = 0 \\
 t_1 &\supseteq s_1 && \supseteq i = 1 \\
 &&& \vdots \\
 t_n &\supseteq s_n && \supseteq i = n
 \end{aligned}$$

3.18. ábra Az alkalmazott képdigitalizálási eljárás

3.6. Képszegmentáció

A válogatási folyamat szempontjából igen fontos, hogy a képszeleteken lévő paprikát a háttér szennyezettségétől függetlenül elkülönítsük. Ezt a feladatot esetemben a szegmentációs algoritmus végzi, aminek nagy megbízhatósággal kell kijelölnie a felvett képszeleteken a termést. A folyamat eredményeként, a szürkeárnyaltos képszelet alapján létrehozásra kerül egy olyan réteg, ami a megtalált objektumot 1, a háttérrel 0 értékkel jelöli ki (3.19. ábra). Ennek felhasználásával a paprika kontúrja is meghatározhatóvá válik, ami a további számítási műveletek bemeneti paramétereit adja meg.



3.19. ábra A szegmentáció folyamata

A szegmentációhoz olyan algoritmust kell választani vagy kidolgozni, amely illeszkedik a mikrovezérlős hardver jellemzőihez és emellett kielégíti a válogatás követelményeit is. A szegmentációt, azaz a paprika és a környezetének elhatárolását a kísérleti rendszer esetén a kamera feldolgozó egység végzi képszeletenként (3.19. ábra), a számítási művelet mindkét kamerán párhuzamosan folyik. Az algoritmus végrehajtására adatátvitellel együtt képenként annyi idő van összesen, mint ami két mintavétel között rendelkezésre áll: ez az idő 1 m/s névleges szalagsebesség és 2 mm mintavételi távolság mellett, legfeljebb 2 ms (a maximális 1,8 m/s mellett már csak 1,1 ms).

3.6.1. Küszöbölés

Az elsőként vizsgált eljárás a küszöbölés vagy hisztogram módszer. A kép intenzitástartományok alapján történő szétbontását küszöbölésnek nevezzük, ekkor egy T küszöböt rögzítünk (ezt hívjuk komparálási határnak, idegen szóval: threshold) és a képpontokat aszerint soroljuk két osztályba, hogy az intenzitásuk T alá vagy fölé esik-e (3.20. és 3.21. ábra). Bár szemre a művelet egyszerűnek tűnik, a megfelelő küszöbérték meghatározása nem mindig triviális (Fazekas és Hajdu, 2004; Mizushima és Lu, 2013) és a művelet közben előfordulhat információvesztés (Szakál, 2010). A küszöbérték kiválasztása lehet kézi vagy automatikus, hatóköre lehet globális vagy lokális (Leedham et al., 2003).

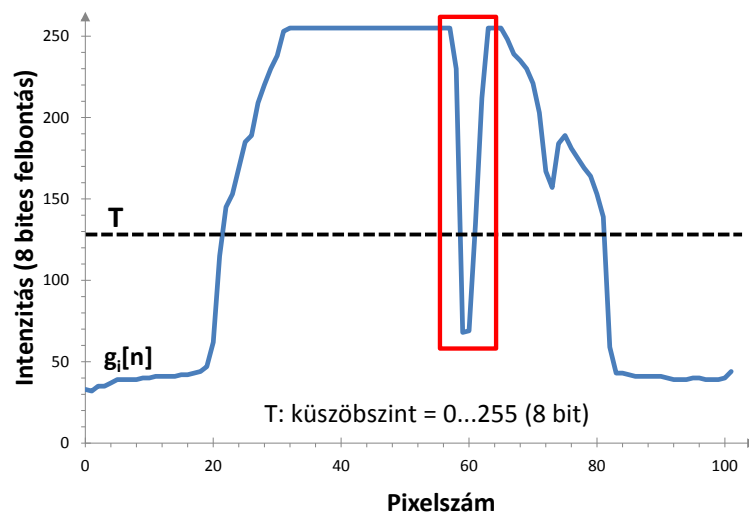
Az egyszintű küszöbölésnél a $g_i[n]$ diszkrét „szürke” 1 dimenziós tömböt átalakítjuk bináris (0 és 1 elemeket tartalmazó) $b_i[n]$ tömbbé attól függően, hogy az értékük T küszöbszint alatt, vagy felett

található, a következő szabály szerint:

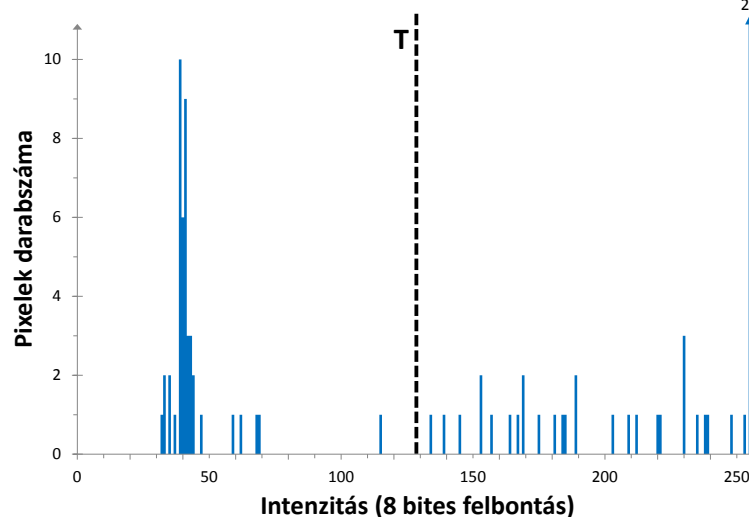
$$b_i[n] = \begin{cases} 1, & \text{ha } g_i[n] \geq T; \\ 0, & \text{ha } g_i[n] < T. \end{cases} \quad (3.4)$$

A kísérletek során azt tapasztaltam, hogy az ipari folyamatoknál általánosan használt kézzel rögzített küszöbszint nem biztosította az elvárt pontosságot és robusztusságot. A probléma alapja, hogy a hasznos információ nem minden esetben különíthető el egyértelműen a háttértől, vagy a kialakult zavaró hatásoktól. Egy ilyen problémára láthatunk példát a 3.20. ábra bekeretezett részén. A hirtelen bekövetkező intenzitásváltozás oka a következő: a termékek deformáltsága miatt nem lehetséges a paprika teljesen egyenletes, tökéletes megvilágítása, így nem kívánt árnyékok keletkezhetnek, ami hibás eredményekhez vezethet.

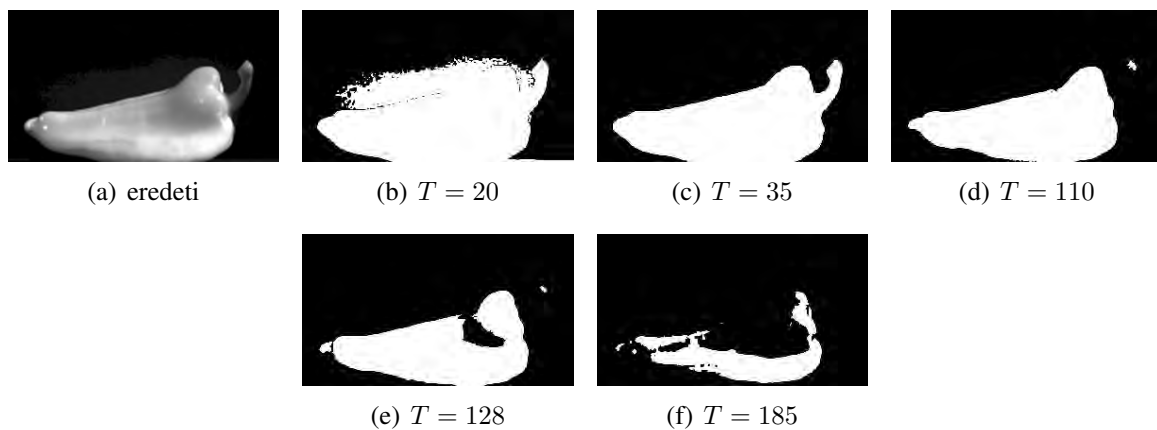
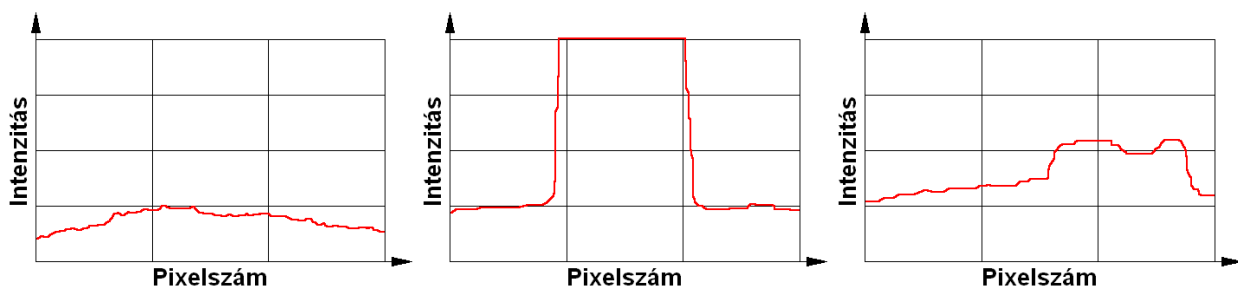
A küszöbszint változtatásának hatásait láthatjuk a 3.22. ábrán. Ha a küszöbszint túlságosan alacsony, akkor már a háttér elemei is kiválasztódnak. Fordított helyzetben, ha a szint túlságosan magas, ekkor az objektum elemei a háttér elemeihez kerülhetnek. A küszöbszintet ennek megfelelően úgy kell meghatározni, hogy lehetőleg ne következzen be információvesztés. Ilyenkor bekövetkezhet a tárgy vékonyodása, a finom részletek, valamint a gyengébben megvilágított területek eltűnése is.



3.20. ábra A küszöbölési eljárás egy képszeleten; A szaggatott vonal a globális $T = 128$ küszöbértéket jelöli (a bekeretezett rész kialakulásának oka a nem egyenletes megvilágítás)



3.21. ábra A fenti képszelet histogramja (a szaggatott vonal a globális $T = 128$ küszöbértéket jelöli)

3.22. ábra A T küszöbszint változtatásának hatásai

3.23. ábra Néhány képszelet azonos megvilágítási körülmények mellett: az üres szalag (balra); egy fehér paprika (középen); egy zöld paprika (jobbra)

A megvilágítástól függetlenül változó kontrasztra láthatunk példát a 3.23. ábrán. Belátható, hogy ilyen esetekben a kézi úton rögzített küszöbértékű szintrevágás nem mindig adhat egyértelmű és megfelelő eredményt. Ennek kimeneteleként a nem egyenletes megvilágítás miatti sötétebb foltok és a változó kontraszt következtében csak alacsony megbízhatósággal határozható meg a paprika alakzat kontúrja és pontos mérete (a vizsgálati eredmények a 4. fejezetben található).

A kézzel megadott küszöbszint helyett sok eljárás létezik a teljes képre vonatkoztatott küszöbszint automatikus meghatározására. Az ipari környezetben leggyakrabban alkalmazott eljárások a globális hisztogramból klaszterezéssel számítják az optimális küszöbértéket (Ridler és Calvard, 1978; Otsu, 1979; Yanni és Horne, 1994). Az Otsu algoritmus a küszöbértéket úgy határozza meg, hogy a tárgy és a háttér között számított variancia a legnagyobb legyen. A Ridler-Calvard és a Yanni algoritmus pedig a küszöböt az előtér és a háttér középpértékének meghatározásával, majd iterálással adja meg. Automatikus küszöbszint esetén problémát jelent az objektumot nem tartalmazó, üres szalag. Ez az állapot úgy érzékelhető, hogy ebben az esetben a hisztogram középpértéke eltoldódik az alacsonyabb értékek irányába (3.24. ábra).

Megállapítható, hogy itt is jelen van a korábban említettek alapján az eljárások globális volta miatt, hogy a megvilágításból származó inhomogenitásokat és a változó kontrasztot igen rosszul tűrik, mind az objektum, mind a háttér vonatkozásában (Parker, 2011).

A probléma kezelésére első lépésként néhány, szélesebb körben használt, lokális adaptív küszöbölési eljárást próbáltam ki. A küszöbérték helyi, dinamikus meghatározásától azt vártam, hogy a szegmentációt bizonytalanná tevő zavaró hatásokra kevésbé lesz érzékeny. Az ilyen eljárások a korábban említettek szerint, a tárgy kijelölését biztosító küszöbértéket nem globálisan, hanem a képi tartalom alapján, lokálisan határozzák meg, így bizonyos határokon belül követni tudják az intenzitáskülönbségeket, valamint részleges zajelnyomó képességük is van.

Az ilyen módszerek hátránya, hogy a módszertől függően, a küszöbérték meghatározásához szükséges jelentős közbenső számítások miatt lassabb eljárások. Ebben az esetben két lépcsőben

történik meg a szegmentáció: első lépésben a komparáláshoz szükséges lokális küszöbszint meghatározása, a második lépésben a komparálás történik meg.

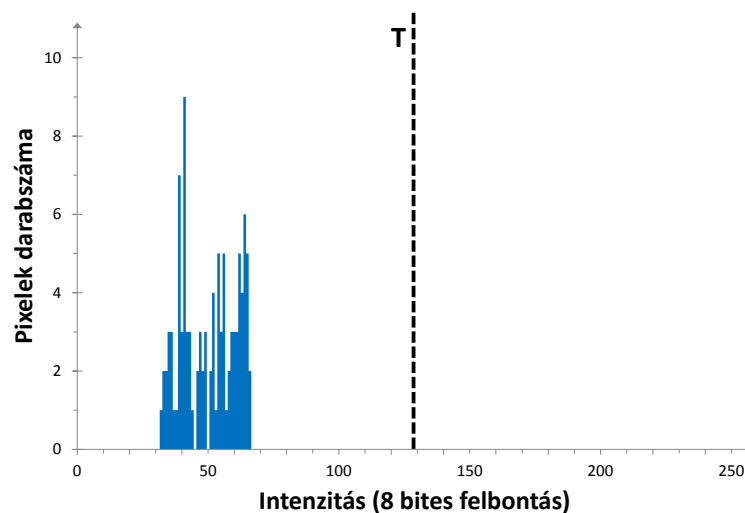
A szürkeárnyaltos képeken a küszöbérték dinamikusan meghatározására az iparban gyakran használt megoldás a Niblack módszer (Niblack, 1986) alkalmazása (3.25. ábra):

$$b_i[n]_{Niblack} = \begin{cases} 1, & \text{ha } g_i[n] \geq \mu_i[m:n] + k \cdot \sigma_i[m:n]; \\ 0, & \text{ha } g_i[n] < \mu_i[m:n] + k \cdot \sigma_i[m:n]. \end{cases} \quad (3.5)$$

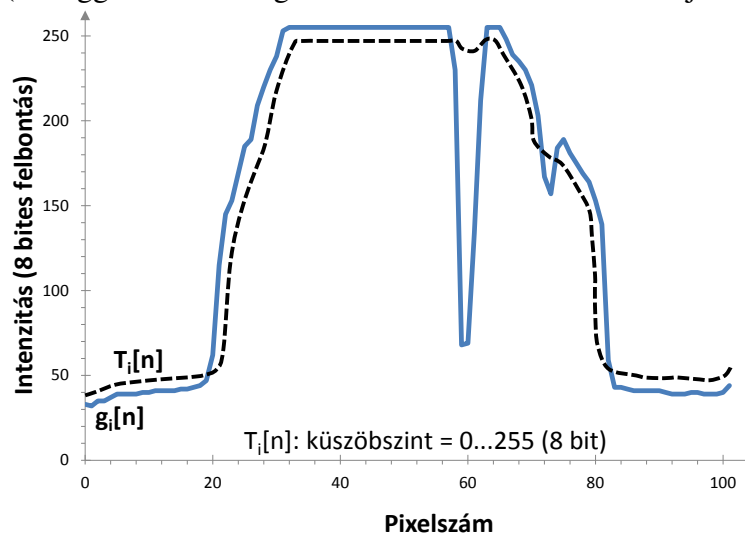
A μ a középérték, a σ a szórás értéke a vizsgált $m : n$ képpontok között (ablak szélessége), a k tényező a szórás értékének súlyozására szolgál. Fontos jellemző, hogy az ablak szélességének növelése az intenzitás változására adott választ késlelteti, így rontja az eljárás dinamikusan képességeit.

Vizsgálataim során magam is tapasztaltam, hogy a Niblack eljárásnak a magas számításigény mellett számos hibája és gyengesége van. Természetesen ezek kiküszöbölésére számos módszer született, mindegyik más és más szempontok figyelembevételével próbálja korrigálni, valamint kezelni az algoritmus gyengeségeit (Sauvola et al., 1997; Wolf et al., 2003; Feng-Tan, 2004; Khurshid et al., 2009), azonban a számítási igényük jellemzően nem csökkent.

Kezdetben a Niblack, később a NICK elnevezésű eljárás (Khurshid et al., 2009) alkalmazásával végeztem a kísérleteket. Az eljárások a mérési környezethez történő átalakítása és finomhangolása



3.24. ábra Egy üres szalag képszeletének hisztogramja (a szaggatott vonal a globális $T = 128$ küszöbértéket jelöli)



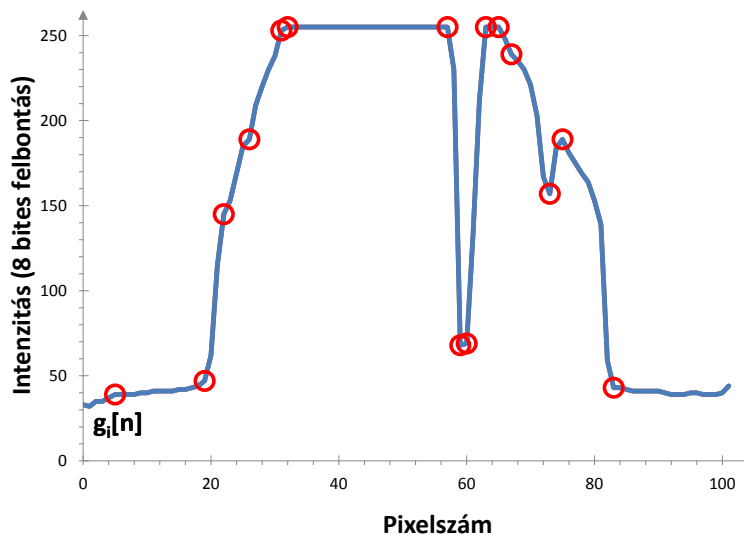
3.25. ábra Folyamatosan számított küszöbszintű, dinamikus küszöbölési eljárás (a szaggatott vonal a számított $T_i[n]$ küszöbértéket jelöli a képszeleten)

után, az összehasonlító kísérletek során megállapítható volt, hogy a dinamikus küszöböléssel sem volt lehetséges az árnyékok és az alacsony kontraszt miatt időről-időre kialakuló mérési hibákat teljesen kiküszöbölni (a vizsgálati eredmények a 4. fejezetben találhatók).

3.6.2. Objektumtulajdonságok keresése

Tovább lépésként a képfeldolgozásban általánosan használt sarokkereső (sarokpont detektor) eljárások alkalmazhatóságát vizsgáltam. A sarokpontok a vizsgált objektum speciális kulcspontjai (3.26. ábra), fontos követelmény, hogy a hasonló képeken azok egymásnak megfeleltethetők legyenek. Erre a célra számos, ma már széles körben alkalmazott módszer elérhető (Moravec, 1980; Harris és Stephens, 1988; Shi és Tomasi, 1994; Smith és Brady, 1997; Mikolajczyk és Schmid, 2002; Lowe, 2004; Rosten et al., 2005, 2006, 2010). A módszerek vizsgálatakor elsődleges szempont volt az egyszerű implementálhatóság a meglévő beágyazott környezetre, valamint az algoritmus sebessége és pontossága.

Ennek figyelembevételével három eljárást vizsgáltam: a Harris-Stephens (Harris és Stephens, 1988), SUSAN (Smith és Brady, 1997) és a FAST (Rosten et al., 2005, 2006, 2010) detektort. A kísérletek eredményeképp kiderült, hogy a leggyorsabbnak bizonyult FAST eljárás az alacsony pixelszám ellenére sem volt alkalmas arra, hogy képszeletenként, a két mintavétel között rendelkezésre álló időben megtegye a kiértékelést. Legnagyobb problémát az okozta, hogy a folyamat során kapott eredmények minősítése és pontozása jelentős időt igényelt.



3.26. ábra Egy képszelet FAST eljárással kijelölt sarokpontjai

3.6.3. Élek keresése

Gyorsabb eljárást kapunk akkor, ha a pixelek értékének a változását vizsgáljuk numerikus differenciálással (gradiens módszer). A folyamat során az élek elhelyezkedésére, valamint azok meredekségére kaphatunk információkat (a 3.27. ábrán látható kontúrban belül az A és D közötti rész a paprika). Jelen helyzetben azonban nem szükséges a különösen számításigényes Lagrange, vagy a Newton-féle interpoláció alkalmazása, mivel kielégítő pontosságot ad az derivált értékére a differencia hányadossal való közelítés. A számítás első lépéseként az intenzitást tartalmazó $g_i[n]$ tömböt átírjuk a tömb elemeinek segítségével az alábbi módon:

$$g_i[n] \equiv g_i[j], \text{ ahol } j = 0 \dots (n-1). \quad (3.6)$$

Általános esetben felírható:

$$g_i[j]' \cong \frac{g_i[j+h] - g_i[j]}{h}. \quad (3.7)$$

Mivel a g_i képszelet függvény diszkrét elemekből áll, valamint véges számú pixelt tartalmaz, ebben az esetben a h lépésköz értéke 1 (pixel), így a deriváltak a szomszédos pixelek segítségével a

következőképpen számíthatók:

$$g_i[j]'_y = g_i[j + 1] - g_i[j]; \quad (3.8)$$

$$g_i[j]''_y = g_i[j + 1]' - g_i[j]' = g_i[j] + g_i[j + 2] - 2 \cdot g_i[j + 1]. \quad (3.9)$$

Az első és a második derivált függvény értékeinek elemzésével a lehetséges élek kijelölése lehetővé válik (3.27. és 3.28. ábra). Az eredményül kapott $g_i[n]'$ és $g_i[n]''$ függvény tartalmazza az összes apró él adatait is, ami zavaró tényezőként jelenik meg, ezért a következő művelet során a kis meredekségű éleket küszöböléssel eltávolítjuk:

$$e_i[j] = \begin{cases} g_i[j]'', & \text{ha } g_i[j]'' \geq T_1 \text{ vagy } g_i[j]'' < -T_2; \\ 0, & \text{ha } g_i[j]'' \geq -T_2 \text{ és } g_i[j]'' < T_1. \end{cases} \quad (3.10)$$

A vizsgálataim során a T_1 és a T_2 küszöbszint értékének számszerű meghatározása a kontrasztarány mérések alapján, empirikus módon történt. Az $e_i[n]$ függvény (3.29. ábra) szűrésével a külső kontúrhatárok meghatározhatóvá válnak (A és D pontok):

$$p_i[j] = \begin{cases} 1, & \text{ha } e_i[j] \geq T_1 \text{ vagy } e_i[j] < -T_2; \\ 0, & \text{ha } e_i[j] \geq -T_2 \text{ és } e_i[j] < T_1. \end{cases} \quad (3.11)$$

A belépő él (A pont) pozíciójának közvetlen megkeresése ($E_1 = 0$ kiindulási érték mellett):

$$b_{1i}[0 \rightarrow j_{max}] = \begin{cases} E_1 := 1; H_{B(i)} := j, & \text{ha } p_i[j] = 0 \text{ és } p_i[j + 1] = 1 \text{ és } E_1 = 0; \\ 1, & \text{ha } E_1 = 1; \\ 0, & \text{ha } E_1 = 0. \end{cases} \quad (3.12)$$

A kilépő él (D pont) pozíciójának közvetlen megkeresése ($E_2 = 0$ kiindulási érték mellett):

$$b_{2i}[j_{max} \rightarrow 0] = \begin{cases} E_2 := 1; H_{K(i)} := j, & \text{ha } p_i[j] = 0 \text{ és } p_i[j - 1] = 1 \text{ és } E_2 = 0; \\ 1, & \text{ha } E_2 = 1; \\ 0, & \text{ha } E_2 = 0. \end{cases} \quad (3.13)$$

A belső élek (B és C jelű pontok) pozíciójának meghatározása is a fenti eljáráshoz hasonlóan valósul meg, a folyamat során az él(ek) kezdetének és végének pozíciója kerül rögzítésre.

Az objektumot tartalmazó tömb meghatározása (3.30. ábra):

$$b_i[j] = b_{1i}[j] \cdot b_{2i}[j]. \quad (3.14)$$

A belépő és kilépő élek szűrt meredekségei:

$$es_i[j] = e_i[j] \cdot b_i[j]. \quad (3.15)$$

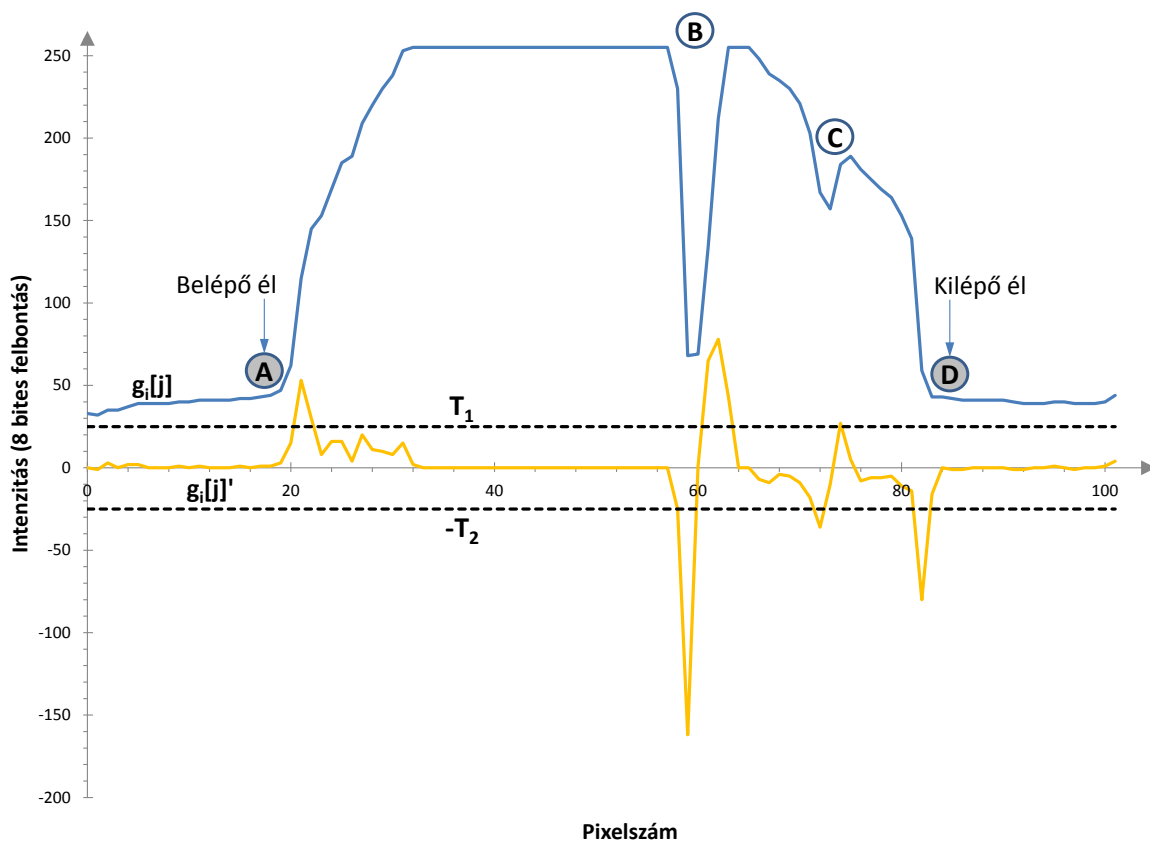
A paprikaobjektum szélessége:

$$SZ_i = H_{K(i)} - H_{B(i)}. \quad (3.16)$$

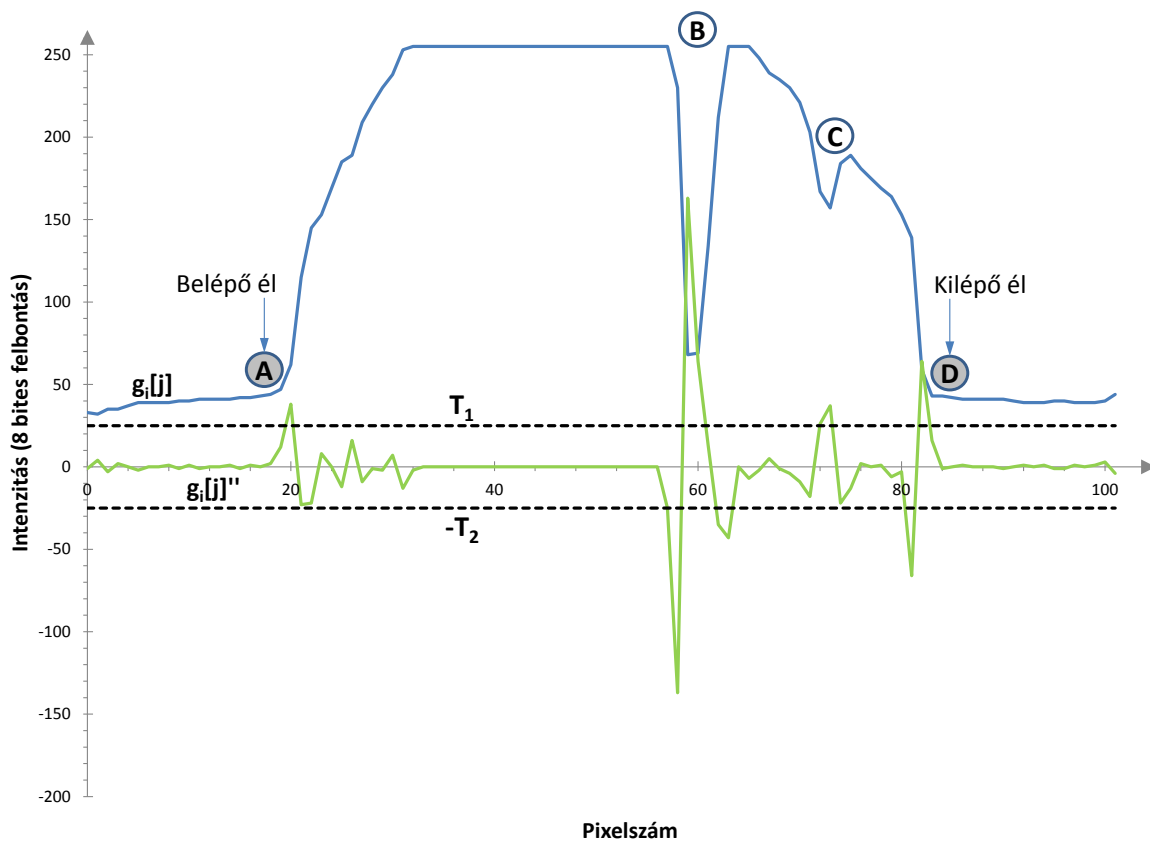
A paprikaobjektum mértani közepe:

$$SZ_{köz(i)} = \frac{H_{K(i)} + H_{B(i)}}{2}. \quad (3.17)$$

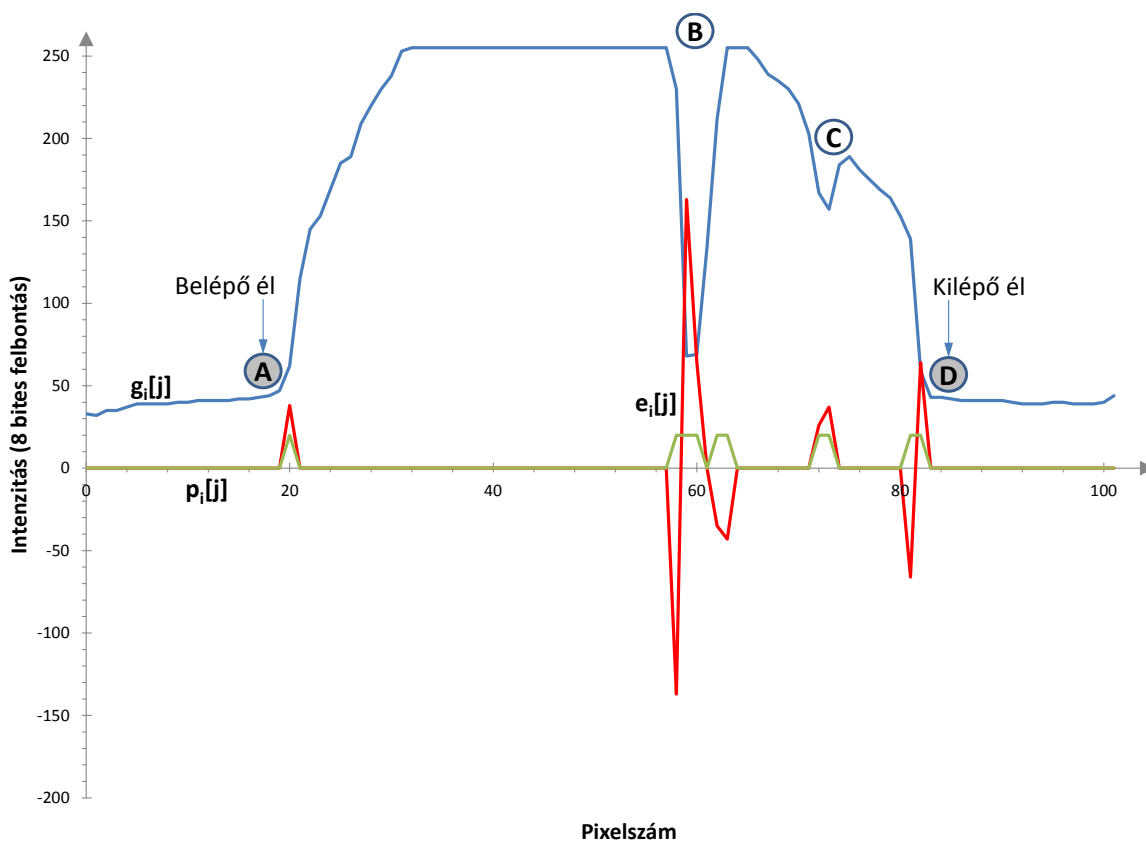
Fontos kiemelni, hogy a kontúrhatárok keresése mindkét nézeten, időben egymással párhuzamosan történik. A folyamat befejeztével a szegmentáció utolsó lépése a belépő és a kilépő élek adataiból a külső kontúr kialakítása (3.31. ábra) lesz.



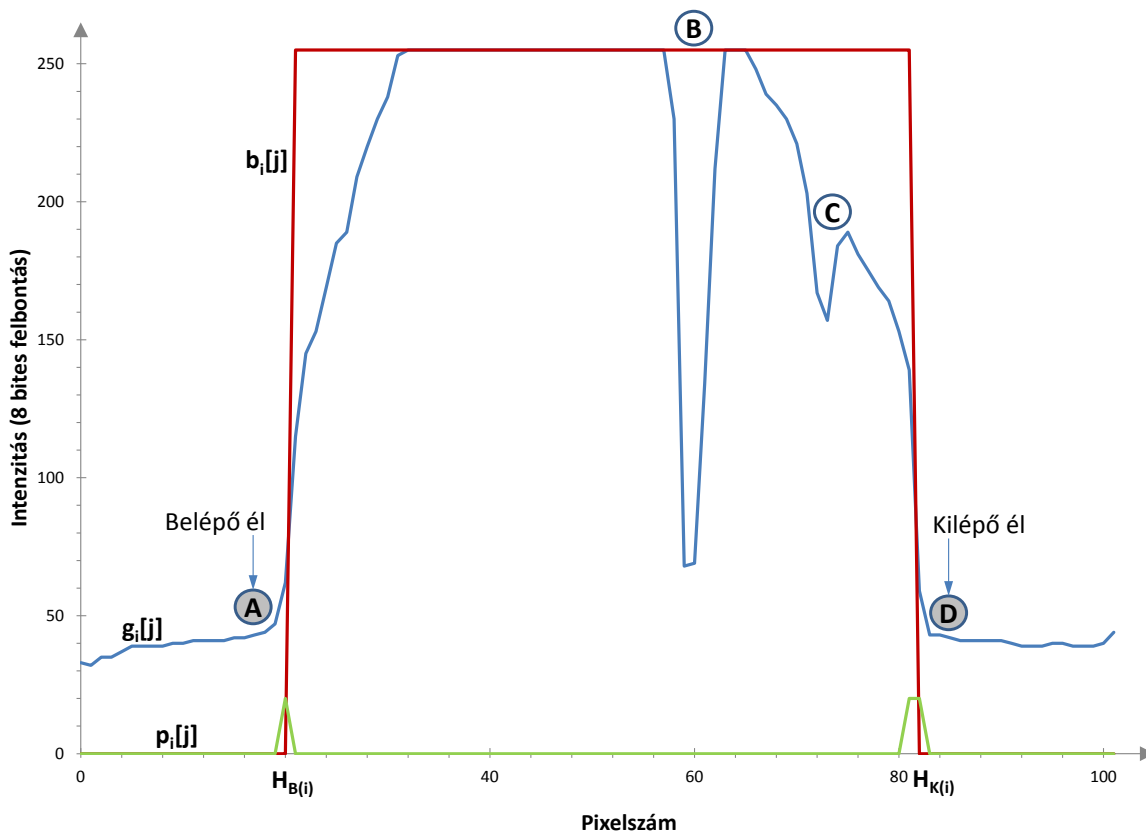
3.27. ábra A lehetséges élek kijelölése az első derivált és az élek szűrését biztosító T_1, T_2 küszöbök feltüntetésével



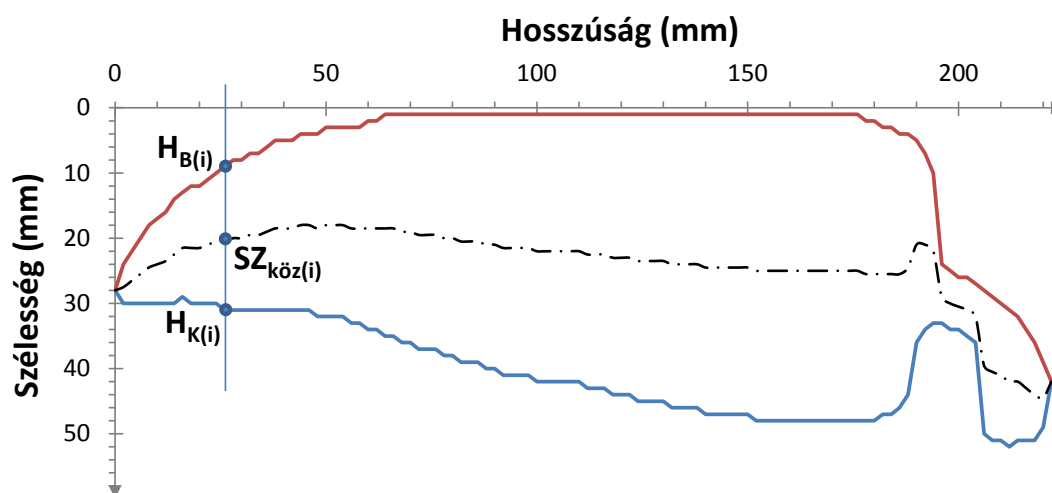
3.28. ábra A lehetséges élek kijelölése a második derivált és az élek szűrését biztosító T_1, T_2 küszöbök feltüntetésével



3.29. ábra A lehetséges élek kijelölése (csak szűrt élek); a könnyebb értelmezés érdekében a $p_i[j] = 1$ érték $p_i[j] = 20$ értéként került ábrázolásra



3.30. ábra Az elemzés eredménye: az élek kijelölésre kerültek; a könnyebb értelmezés érdekében a $p_i[j] = 1$ érték $p_i[j] = 20$ értéként, a $b_i[j] = 1$ érték pedig $b_i[j] = 255$ értéként került ábrázolásra



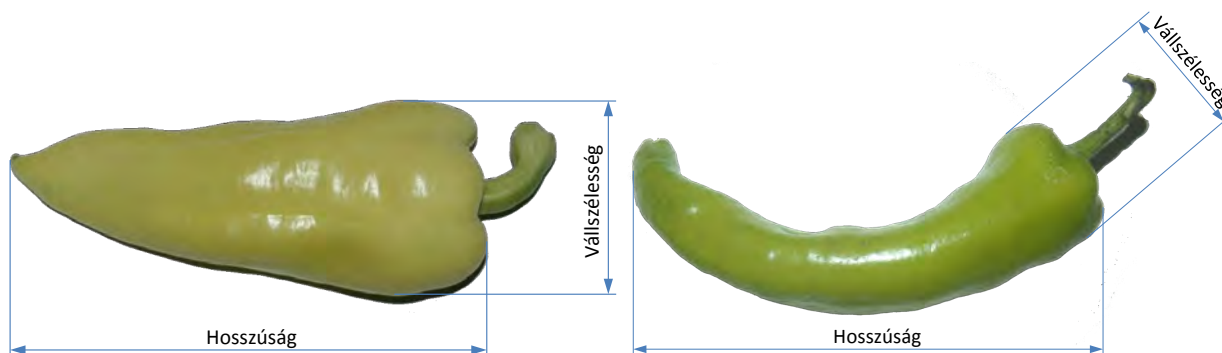
3.31. ábra A képszeletekből összeállított kontúr (piros görbe: belépő él, kék görbe: kilépő él)

3.7. A paprikageometria meghatározása

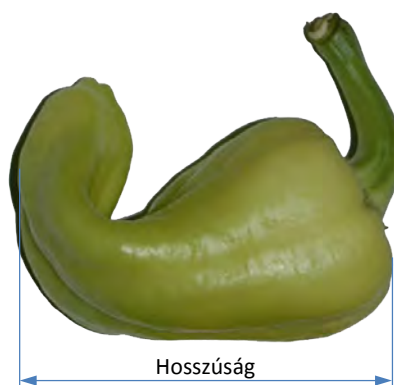
Miután a paprika kontúrja már rendelkezésre áll, így fontos definiálni azt, hogy a megfelelő osztályozáshoz mely méretek, valamint paraméterek meghatározására van szükség.

3.7.1. A jellemző méretek értelmezése

Az előírások alapján a vállszélesség (vállátmérő) a fő osztályozási tényező. Ez tulajdonképpen a maximális paprikaátmérőt jelenti. Ezt a paramétert kiegészíti a hossz mérés, ami az egyöntetűség biztosítását teszi lehetővé. A hosszúság értelmezését mutatja be egy egyenes, és egy kis mértékben deformálódott termésem a 3.32. ábra. Fontos kiemelni, hogy nem a képzeletbeli középvonalhossz, hanem a termés tényleges hosszúsága a mérés alapja, mivel így biztosítható a csomagolt termékek a csomagolási egységekre kiterjedő egyöntetűsége. A jelentősen deformált termékek méret szerinti osztályozása nem előírás, így a vállátmérő tényleges meghatározása szükségtelen, a különválasztást igény szerint csak a hosszúság információ alapján szokták megvalósítani (3.33. ábra).



3.32. ábra A jellemző méretek értelmezése egy-egy paprikatermésem



3.33. ábra Erősen deformált termékek esetén csak a termés hosszúságát kell meghatározni

3.7.2. A szár nélküli hossz meghatározása

Az osztályozási folyamat szempontjából a kocsány zavaró jellemzőként viselkedik, ezért a szár helyének becslése a következő szükséges lépés. A kocsányrész meghatározására differenciáltérképes azonosító eljárást alakítottam ki, ahol a szélsőértékek vizsgálatával a szár feltételezett pozíciójára vonatkozóan kaphatunk információkat. A kiértékelés eredményeképpen a paprika szár nélküli hossza kiszámíthatóvá válik (3.34. ábra). A megoldás előnye, hogy teljesen érzéketlen arra, hogy a termés szárral előre, avagy szárral hátra érkezik a kamera elé.

A differenciáltérkép készítéséhez ismerünk kell a képszelet szélességeket. A szélesség értéke az i mintavételi helyen a következőképp írható fel:

$$SZ_i = H_{K(i)} - H_{B(i)}. \quad (3.18)$$

A differenciál numerikus meghatározása a szélesség ismeretében a következőképpen történik:

$$SZ'_i \cong \frac{SZ_{i+h} - SZ_i}{h}. \quad (3.19)$$

Ebben az esetben a h értéke 1, így a derivált a következőképpen számítható:

$$SZ'_i = SZ_{i+1} - SZ_i. \quad (3.20)$$

A továbblépéshez szükségünk van arra az információra, hogy a paprika szárral előre vagy hátra áll a felvételen. Ehhez az adathoz a SZ_i monotonitását kell szakaszokra bontva megvizsgálni. A szakaszok meghatározása a kezdeti és végpontok között talált lokális szélsőértékek alapján történik. A paprika állását jellemző előre-hátra tényező a globális monotonitás alapján, a leghosszabb szakasz figyelembevételével kerül meghatározásra:

$$EH = \begin{cases} 1, & \text{ha minden pontra igaz: } SZ_i - k_{EH} \leq SZ_{i+1} \quad (\text{monoton nő}); \\ 0, & \text{ha minden pontra igaz: } SZ_i + k_{EH} \geq SZ_{i+1} \quad (\text{monoton csökken}). \end{cases} \quad i: m \dots n \quad (3.21)$$

A digitális feldolgozás jellegzetességei miatt a monotonitásvizsgálatkor a k_{EH} korrekciós tényező segítségével lehet a kontúr finom egyenetlenségeit figyelembe venni, az alapértelmezett értéke $k_{EH} = 1$.

Ha SZ_i monoton nő (paprika szárral előre halad), akkor differenciál minimuma kijelöli a szár feltételezett mintavételi pontját:

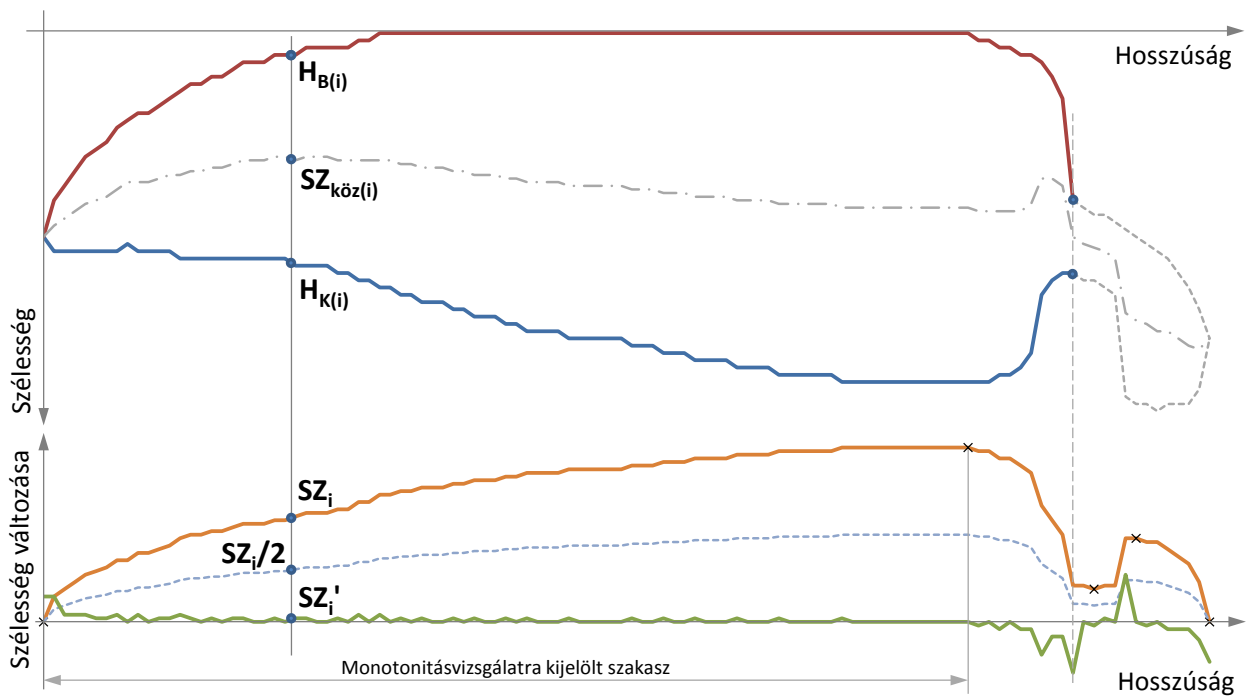
$$\text{Min}(SZ'_i) \rightarrow SH = i, \quad \text{ha } EH = 1 \quad (\text{paprika szárral előre áll}). \quad i: m \dots n \quad (3.22)$$

Ha SZ_i monoton csökken (paprika hegygel előre halad), akkor differenciál maximuma kijelöli a szár feltételezett mintavételi pontját:

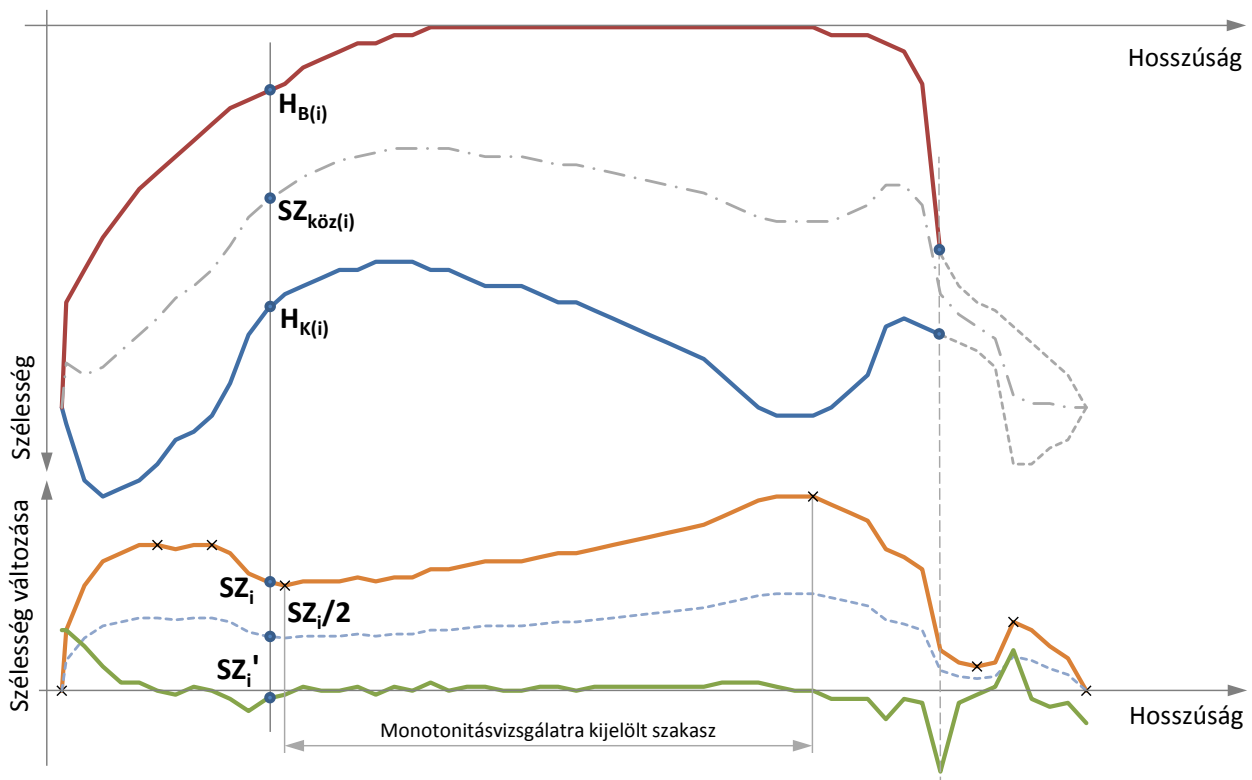
$$\text{Max}(SZ'_i) \rightarrow SH = i, \quad \text{ha } EH = 0 \quad (\text{paprika hegygel előre áll}). \quad i: m \dots n \quad (3.23)$$

Előfordulhat, hogy a kontúrszeletek deriváltját tartalmazó SZ'_i tömb több, a paprika állásából adódóan jelentősen kiugró lokális minimumot vagy maximumot mutat (egy ilyen állapot látható a 3.35. ábrán). Mivel a paprika állását ismerjük, ezért a lokális maximum, vagy minimumkeresést szűkíthetjük az első, vagy az utolsó pozícióhoz tartozó találatokra.

Természetesen minden szélsőséges helyzetre nem lehet és nem is szükséges felkészülni, de bizonyos helyzetekben elképzelhető, hogy a paprika olyan helyzetben érkezik a kamerákhoz, ami nem tervezett. Ilyenek lehetnek például az összeakadt szárú, vagy egymásra került termések. Az eljárások tervezése során alapelv volt, ha a teljes képfeldolgozási folyamat során valamelyik részművelet nem ad az elvártaknak megfelelő eredményt, akkor az érintett paprikát nem szabad osztályba sorolni. Az ilyen egyedek a szállítószalag végére helyezett ládába gyűlnek.



3.34. ábra A szár helyének érzékelése differenciáltérképes megoldással történik



3.35. ábra A szár helyének érzékelése differenciáltérképes megoldással történik

3.7.3. A termékek deformációi

A hatályos előírások alapján a deformált paprikák az „extra” osztályba egyáltalán nem, az első osztályú kategóriába pedig csak az enyhe alakhiba esetén kerülhetnek, így az ilyen tulajdonságokkal bíró termékek kiválogatását a folyamat során mindenképp lehetővé kell tenni. Ennek biztosításához áttekintettem az alakhibák kialakulásának okait, valamint a főbb deformációk jellegét is.

A paprikatermékek deformációjának számtalan oka lehet, ami következtében kialakulhat fejlődési vagy felületi hiba, mint például: tápanyagellátási zavarok, rovarkártétel, különböző fiziológiai jelenségek, valamint külső mechanikai hatások jelenléte miatt. Ezen felül fontos megjegyezni, hogy

a paprikatermések alakja, deformitási hajlama nagymértékben függ az adott fajtáról is (a hosszabb termékek szinte minden fajta esetén fokozottan ki vannak téve a deformáció veszélyének). A paprikatermések alakhibái a fenti, összetett hatások miatt igen változatosak lehetnek, az általam csoportba rendezett gyakoribb paprikadeformációk a 3.36. ábrán láthatóak. Szélsőséges esetben a felsorolt deformációk közül több is kialakulhat egyidejűleg a termésen.



(a) hajlott



(b) visszahajlott



(c) csavarodott



(d) ék alakú



(e) horpadt



(f) gyűrődött hegyű



(g) lapult

3.36. ábra A paprikadeformációk főbb típusai

3.8. A paprika alakjellemezése

A vizsgálatokhoz szükséges volt egy olyan, a paprika alakját jellemző módszer kidolgozása, mellyel a paprikatermés fő jellemzői megadhatók. A termékek alakjának elemzésére, leírására és az adatok redukálására bár számtalan eljárás elérhető és használható (Firtha, 2008), de a vizsgálataim során hamar kiderült, hogy a paprikaobjektum jellemzésére egyedi adatredukációs módszer kialakítására van szükség. A redukációs algoritmus lényege, hogy kevés paraméter rögzítésével az adott paprika legfontosabb paramétereit meg lehessen határozni, valamint a mért értékek gyors összehasonlítását el lehessen végezni. A kidolgozott eljárás a paprikatermés nevezetes pontjainak a kijelölésén, majd a görbültséget leíró paraméter meghatározásán alapul.

3.8.1. A jellemző méreteket kijelölő elméleti bázispontok felvétele

A paprikageometria osztályozáshoz szükséges jellemzéséhez – a korábban említettek alapján – a következő alapinformációk szükségesek:

- Hosszúság (szárral csökkentve),
- vállátmérő,
- görbültség mértéke.

A jellemző méretek kielégítő meghatározásához minimálisan a következő pontok felvétele kell megtörténjen a kapott bemeneti kontúrinformációk alapján (3.37. ábra):

- A paprika hegyét leíró P_1 pont,
- a kocsány pozícióját kijelölő P_2 és P_3 pontok,
- a paprika első és utolsó hasznos kontúrpontra, a P_4 és \bar{P}_4 pontok,
- a legnagyobb átmérőt megadó M_1 és M_2 pontok.

A vállátmérő pontos felvételéhez a paprikatermés hajlástól független, tényleges morfológiai középvonalára volna szükség (nem a már rendelkezésre álló, képszeletek mértani közepét összekötő vonalra), de ennek meghatározása rendkívül nehézkes és bizonytalan. Mivel a legtöbb paprika esetén a kocsánytól nem nagy távolságra található a vállszélességhez tartozó pont, ezért egyszerűsítésként az $\overline{M_1M_2}$ pontok közötti szakasz a $\overline{P_2P_3}$ szakasszal párhuzamosan kerül kijelölésre (a folyamat során azonos meredekséggel kerül felvételre). Ez a lépés nem egyenes terméseknél befolyásolhatja a pontosságot, de az ellenőrző mérések során, beavatkozást igénylő mérési hibát nem tapasztaltam (a mérési eredmények a 4. fejezetben találhatók).



3.37. ábra A paprikatermés jellemzésére alkalmas pontok elhelyezkedése ($\overline{P_2P_3} \parallel \overline{M_1M_2}$).

Mivel nem találtam olyan eljárást, ami segítségével a kocsány vonalának megbízható és gyors kijelölését megtehettem volna, így ebben az esetben is saját eljárás kidolgozása mellett döntöttem. Az algoritmus alapját ebben az esetben is az a feltételezés adja, hogy a paprika átmérője a szár környezetében lecsökken. A szár nélküli hossz meghatározásánál a képszeletek változását vizsgáltam, és az ott alkalmazott módszer helyett nem a teljes képszelet változásait, hanem a be- és kilépő élek változásait vizsgálok külön-külön (3.38. és 3.39. ábra):

$$H'_{B(i)} \cong \frac{H_{B(i+h)} - H_{B(i)}}{h}; \quad (3.24)$$

$$H'_{K(i)} \cong \frac{H_{K(i+h)} - H_{K(i)}}{h}. \quad (3.25)$$

Ha $h = 1$, akkor a deriváltak a következőképpen közelíthetők:

$$H'_{B(i)} = KV_{B(i)} = H_{B(i+1)} - H_{B(i)}; \quad (3.26)$$

$$H'_{K(i)} = KV_{K(i)} = H_{K(i+1)} - H_{K(i)}. \quad (3.27)$$

Kis vállú termékek esetén bekövetkezhet, hogy a kocsány környékén lévő kontúrváltozás két mintavétel között túl alacsony, így a kijelölés meghiúsulhat. Ha a fenti két egyenletet átalakítjuk úgy, hogy n számú mintavételt kihagyva képezzük a fenti különbséget, akkor a kijelölés nehezebb körülmények között is sikeres lehet (3.40. ábra):

$$KV_{B(i)n^*} = H_{B(i+n)} - H_{B(i)}; \quad (3.28)$$

$$KV_{K(i)n^*} = H_{K(i+n)} - H_{K(i)}. \quad (3.29)$$

A P_2 pont koordinátái:

$$\text{Max}(KV_{B(i)}) \rightarrow P_2[i, H_{B(i)}]. \quad (3.30)$$

A P_3 pont koordinátái:

$$\text{Min}(KV_{K(i)}) \rightarrow P_3[i, H_{K(i)}]. \quad (3.31)$$

Deformált termék esetén előfordulhat, hogy a maximális és a minimális kontúrváltozás helye nem a kocsány vonalában van. Ennek kiküszöbölésére a szélsőértékkeresést csak az SH mintavételi pont környezetében végezzük.

A P_1 pont meghatározása akkor tekinthető egyszerűnek, ha a paprika hegye pozíciótól függően, a legelső, vagy a legutolsó objektumot tartalmazó mintavételi ponton helyezkedik el. Ez a feltétel az esetek többségében teljesül, kivételt csak a deformálódott termékek esetén találunk. Ennek megfelelően a legtöbb esetben az első P_4 pont és a vele ellentétes P_4 pont koordinátái a következőképpen számíthatók (a P_4 ilyenkor megegyezik a paprika csúcsát kijelölő P_1 ponttal):

$$P_4[x, y] \leftarrow \begin{cases} [i+1, H_{B(i+1)}], & \text{ha } SZ_{i+1} > 0 \text{ és } SZ_i = 0 \text{ és } SZ_i \rightarrow \text{globálisan nő;} \\ [i, H_{B(i)}], & \text{ha } SZ_{i+1} = 0 \text{ és } SZ_i > 0 \text{ és } SZ_i \rightarrow \text{globálisan csökken.} \end{cases} \quad (3.32)$$

A paprika az első ponttal ellentétes utolsó pontja:

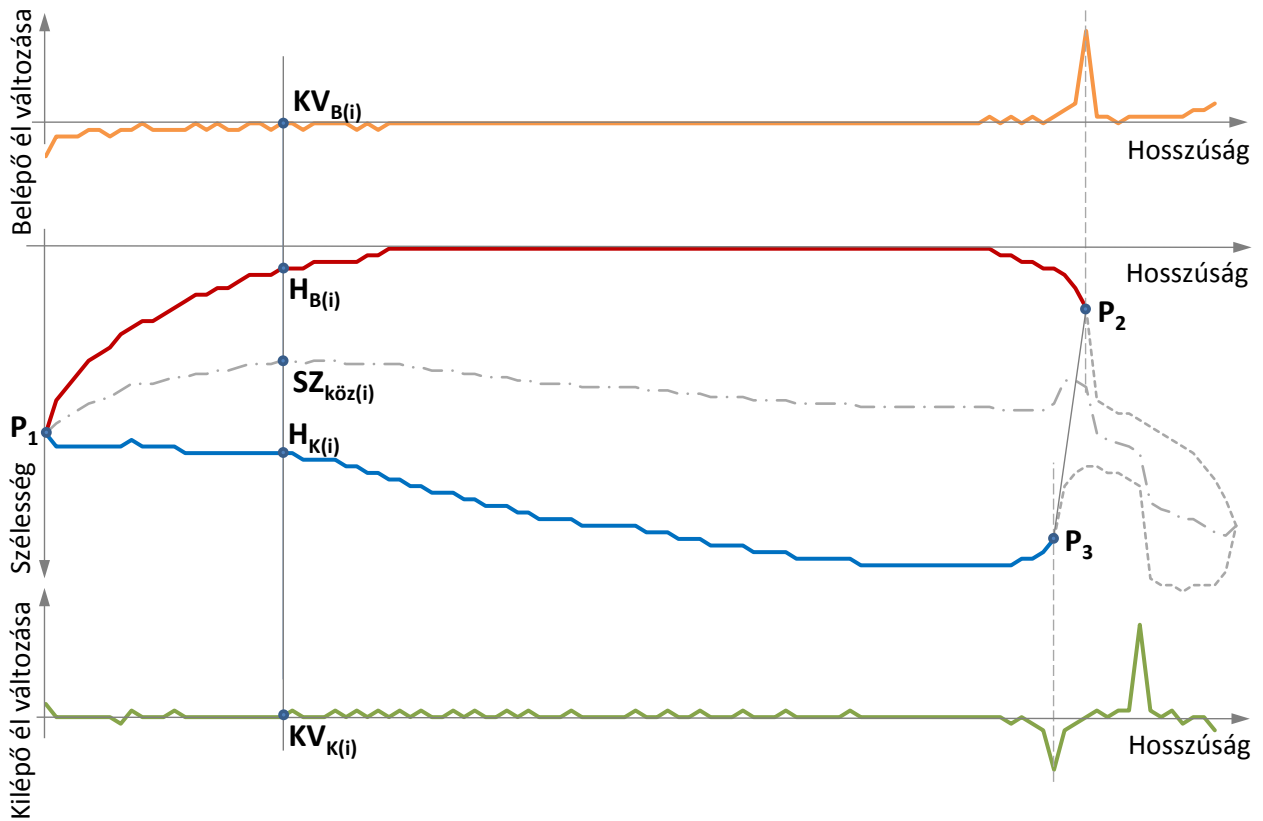
$$\overline{P_4[x, y]} \leftarrow \begin{cases} [i+1, H_{B(i+1)}], & \text{ha } SZ_{i+1} > 0 \text{ és } SZ_i = 0 \text{ és } SZ_i \rightarrow \text{globálisan csökken;} \\ [i, H_{B(i)}], & \text{ha } SZ_{i+1} = 0 \text{ és } SZ_i > 0 \text{ és } SZ_i \rightarrow \text{globálisan nő.} \end{cases} \quad (3.33)$$

Ha a kontúrváltozásokat tartalmazó KV függvénynek a paprikatermésen belül több, kiugróan magas lokális szélsőértéke van azonos polaritás mellett, akkor valószínűsíthető, hogy a P_1 és a P_4 pontok nem fedik egymást (3.41. ábra). Fontos kiemelni, hogy a tényleges hegyet jelentő P_1 pont meghatározása a hossz számítása miatt nem szükséges, így mérlegelni kellett a számítási kapacitás limitációjából adódó kötöttségek alapján a lehetőségeket:

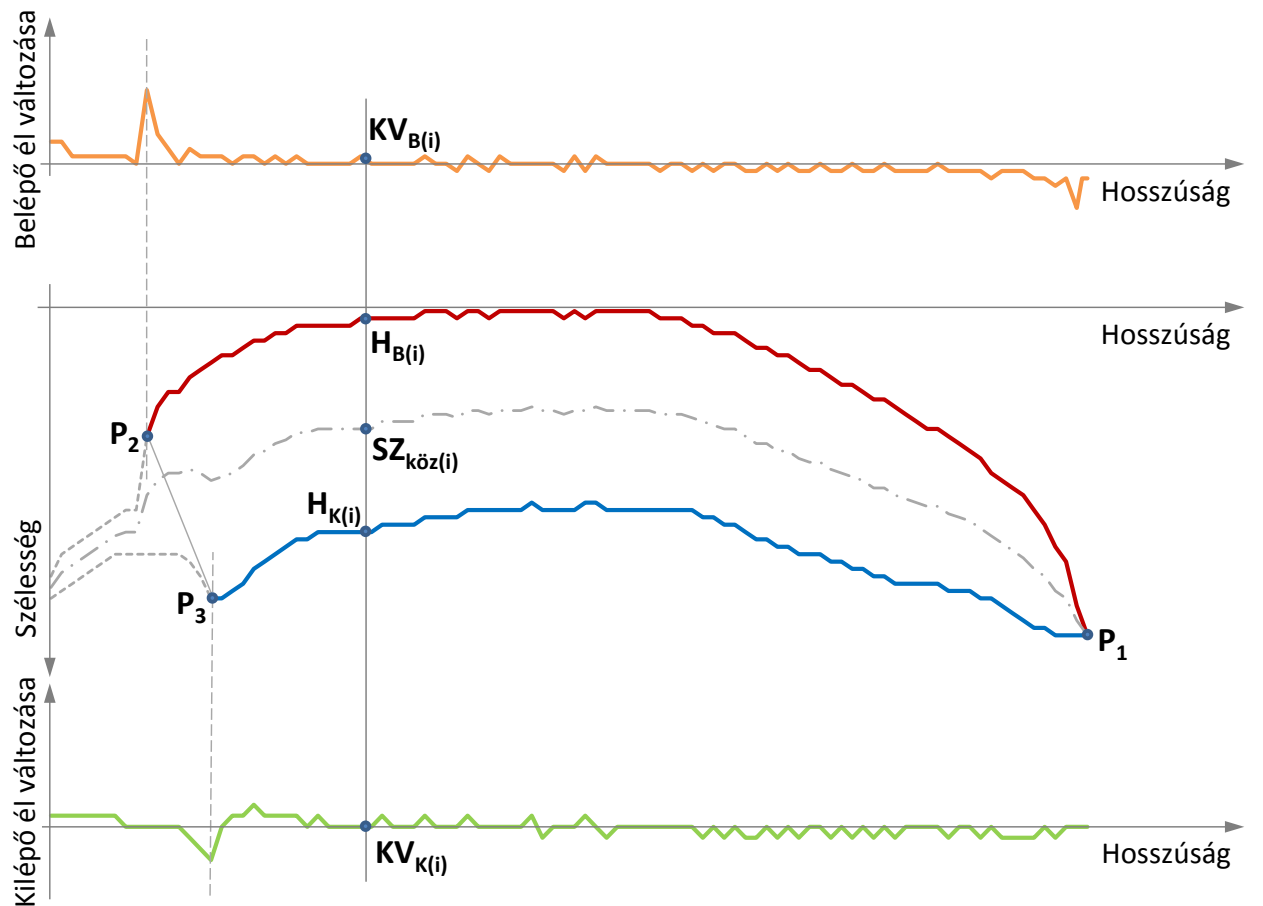
1. A hibát tudomásul veszem, és számolok a görbült egyedek esetén a pontosság változásával,
2. más eljárással kísérletet teszek a pont meghatározására.

Mivel rendelkezésre állt a korábbi vizsgálatok során implementált FAST élkereső algoritmus (Rosten et al., 2006), így próbát tettem az P_1 pont keresésére.

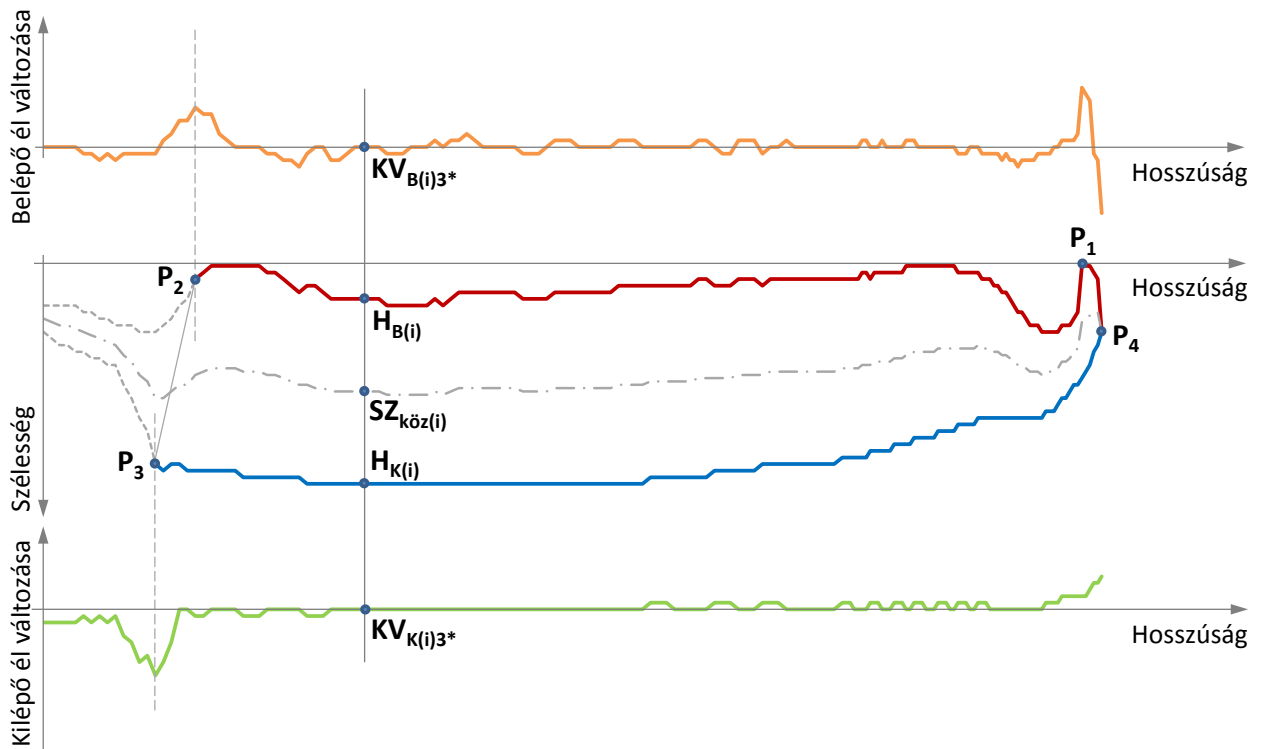
Az algoritmus működése röviden a következő: a módszer alapja, hogy a kiválasztott p jelű pont körül, csak egy adott sugár mentén vizsgálódik, és az intenzitás eltéréseit vizsgálja és osztályozza, ha az egy határértéket meghalad, akkor az sarokpontként kerül megjelölésre (3.42. ábra). Ekkor a



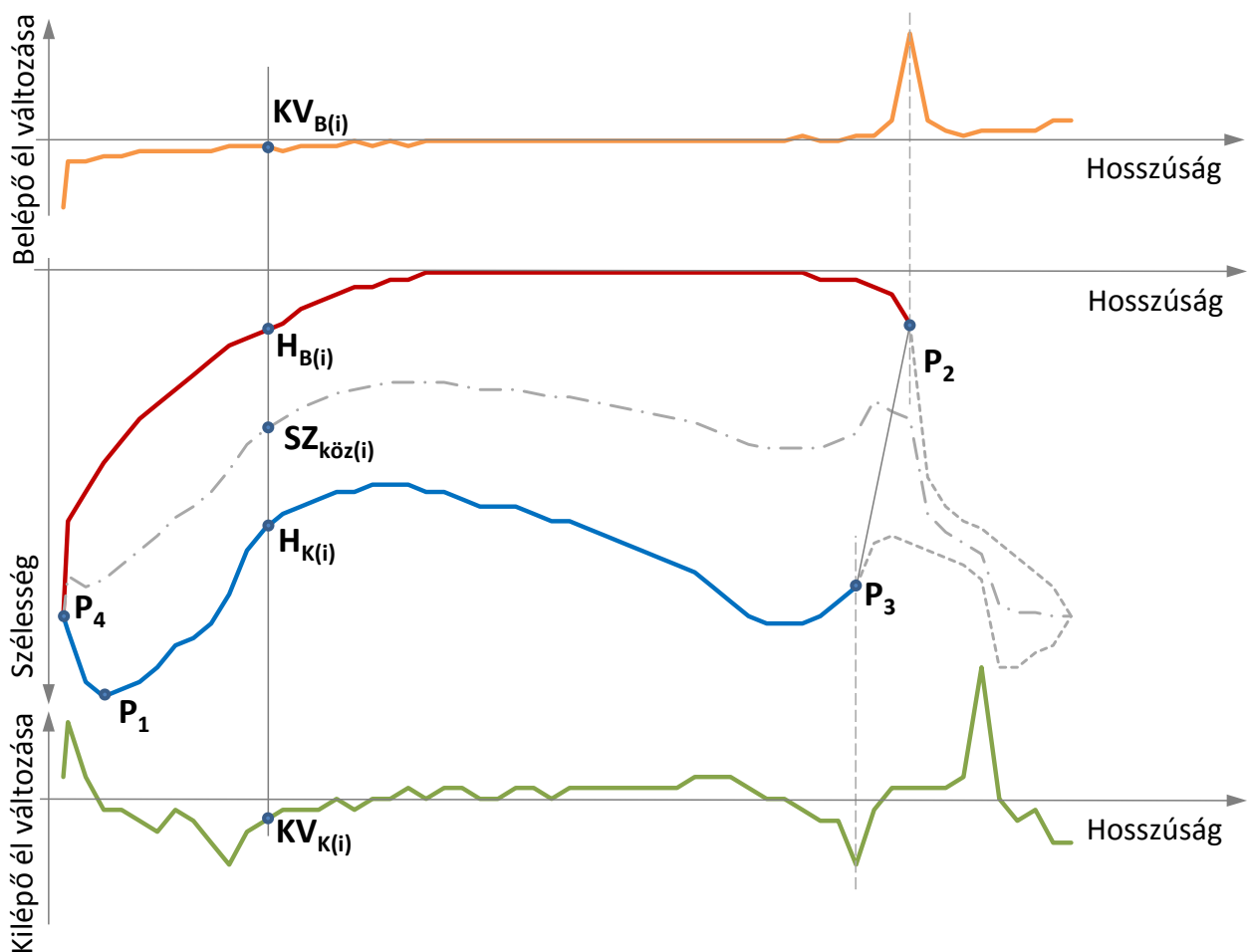
3.38. ábra A differenciaterképes pontkeresés egy egyenes paprika esetén



3.39. ábra A differenciaterképes pontkeresés egy hajlott paprika esetén



3.40. ábra A differenciátérképes pontkeresés egy gyűrt hegyű paprika esetén

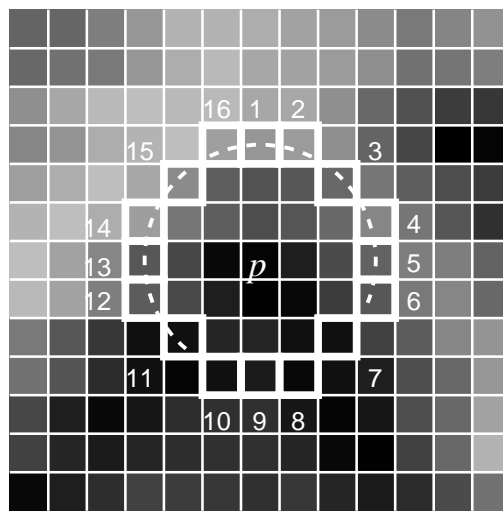


3.41. ábra A differenciátérképes pontkeresés egy erősen hajlott paprika esetén

p pixel körül felvett körvonal egymást követő x elemeinek vizsgálata esetén a T küszöböt felvéve, három állapotot különböztethetünk meg:

$$S_{p \rightarrow x} = \begin{cases} d, & I_{p \rightarrow x} \leq I_p - T & \text{(sötétebb);} \\ s, & I_p - T < I_{p \rightarrow x} < I_p + T & \text{(hasonló);} \\ b, & I_p + T \leq I_{p \rightarrow x} & \text{(világosabb).} \end{cases} \quad (3.34)$$

A fenti eljárás a teljes képre vetítve lassú algoritmust eredményez, ezért első lépésben csak a 3.42. ábrán látható kör 1, 5, 9, 13 számú képpontjainak vizsgálatával a számunkra érdekes pontok gyors kiválasztása történik meg. Ezzel a technikával a kör elemeinek teljes vizsgálatra csak a tényleg érdekes pontoknál van szükség, így az egész képre vonatkoztatott sarokkeresés igen gyorsan megtörténhet. Esetemben fontos különbség és előny, hogy nem kell egy kép elemzéséhez hasonlóan az összes képpontot megvizsgálni, csak a kontúrvonalak egy adott szakaszán kell végighaladni.



3.42. ábra A vizsgálandó pontok kijelölése, $r = 3$ sugár mellett (Rosten et al., 2006)

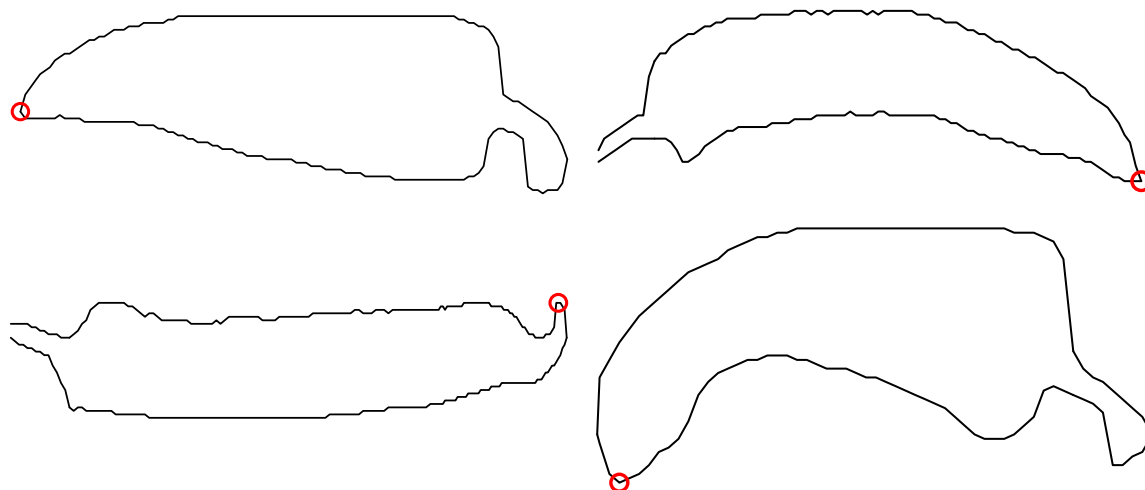
A kijelölt érdekes pontok kategorizálására a FAST eljárás az ID3 algoritmust (Quinlan, 1986) használja. A módszer lényege, hogy döntési fákat hoz létre a számára megadott kiindulási feltételek alapján. Ez ebben az esetben azt jelenti, hogy az összes élnek tekinthető lehetőséget előzetesen definiálni kell. Az algoritmus ezt követően a megfelelően paraméterezett, egymásba ágyazott döntési lépések végrehajtása során az előzetesen definiált értékeket összehasonlítja az aktuális képpont értékeivel.

A FAST algoritmust a beágyazott rendszerbe való implementálás után parametrizáltam, optimalizáltam és illesztettem a meglévő képfeldolgozási folyamathoz. Ennek során fokozott figyelmet fordítottam a gyors működés megtartására, ahol lehetőség volt rá, a sebesség fokozására.

Ennek keretében a sarokkereső algoritmus a korábban említetteknek megfelelően, csökkentett tartományra kerül lefuttatásra. Ennek két, jelentős hozadéka is van: a sebesség ezáltal növekszik, valamint a téves találatok valószínűsége is csökken. A tényleges tartomány az előző lépések során meghatározott EH tényező értéke alapján kerül kiválasztásra.

A sarokkereső a szűkített adattartományra az előzetes becsléseknek megfelelően, nagy pontossággal működött, alacsony hibahatár mellett. Ezen felül meg kell említenem, hogy a futtatáshoz és az eredmény kiértékeléséhez szükséges idő sem lépte túl a rendelkezésre álló keretet (a vonatkozó mérési adatok a 4. fejezetben találhatóak). A 3.43. ábrán az eljárás által megtalált, kijelölt csúcspontok láthatók néhány paprikán.

Az élkeresés során kapott eredmény a P_1 jelű, a csúcsot kijelölő pont koordinátájaként kerül rögzítésre, hasonlóan a korábbi lépések folyamán már meghatározott P_2 és P_3 ponthoz.



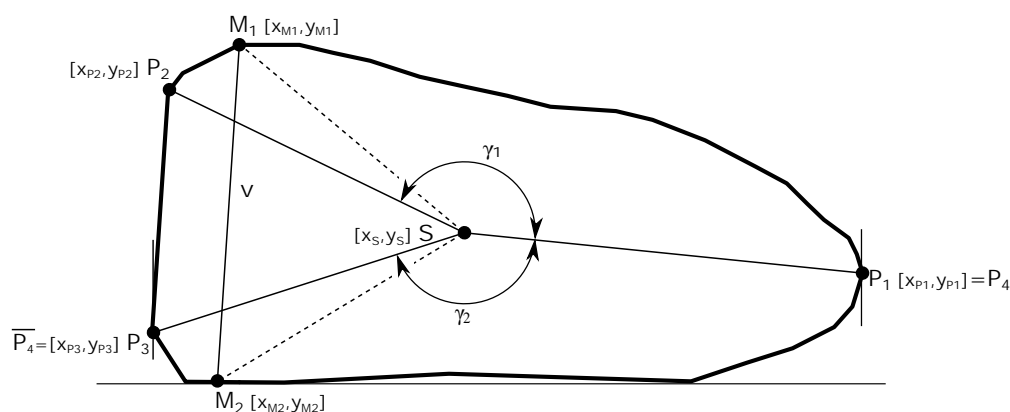
3.43. ábra A FAST detektor által kijelölt sarokpont, a paprika hegye

A vizsgálati eredmények kiértékelése során az is bizonyítást nyert, hogy ez a módszer kizárólag a paprika csúcsát jelentő pont keresésére használható eredményesen, a kocsány pozíciójára nem tud megfelelő pontosságú találatot adni.

3.8.2. A görbültség mértékének meghatározása

A méret szerint válogatott paprikák közül az alakhibásakat fel kell ismerni, a deformált paprika csak a méret szerint nem válogatott vagy külön kategóriába kerülhet („lecsó”). A görbültség mértéke azonban meghatározandó, ugyanis vannak olyan paprikafajták, amik esetében a deformáció fajtajelleg. A hossz figyelembevétel mellett különbséget kell tenni hajlott, illetve deformálódott termékek között, így a görbültség egzakt mérése igen fontos.

A korábbi lépések során meghatározásra került a paprika öt fő bázispontja ($P_1[x_{P1}, y_{P1}]$, $P_2[x_{P2}, y_{P2}]$, $P_3[x_{P3}, y_{P3}]$, $P_4[x_{P4}, y_{P4}]$, $\overline{P_4}[x_{\overline{P4}}, y_{\overline{P4}}]$). Az általam kidolgozott megoldás ezen pontok és a súlypont $S[x_S, y_S]$ viszonyából következtet a görbültség mértékére. Ha a 3.44-3.49. ábrákon berajzolt $\overline{P_1S}$ és $\overline{P_2S}$ szakaszok közötti γ_1 , valamint a $\overline{P_1S}$ és $\overline{P_3S}$ közötti γ_2 szöveget kiszámoljuk, a viszonyuk a termés általános görbültségre vonatkozó mérőszámot ad, ami ezen felül lehetőséget ad a deformáció irányának meghatározására is.



3.44. ábra A felvett nevezetes pontok és szakaszok egy egyenes paprika esetén ($\overline{P_2P_3} \parallel \overline{M_1M_2}$)

Mivel inentől kezdve kilépünk az egész számokkal leírható mennyiségek közül, a megfelelő pontosság elérése érdekében tört számokkal kell összetett műveleteket végezni, így törekedni kell a fajlagosan leggyorsabban kiszámolható megoldásokra. Ahol lehetséges volt, ott a mikrovezérlő gyártója által optimalizált eljárásokat használtam, ahol nem állt rendelkezésre ilyen, ott saját módszerrel végeztem a számításokat. Arra is figyelniem kellett, hogy az egyszer már kiszámolt, de máshol is szükséges értékek kiszámítása csak egy alkalommal történjen meg.

A γ_1 és γ_2 szögek kiszámításához a súlypont helyének meghatározása szükséges. Amíg néhány egyszerű alakzat esetén egzakt összefüggések ismertek, azonban bonyolult, nem szimmetrikus alakzatok esetén általában csak integrálszámítás jelent megoldást. A súlypont helye általános esetben a következő módon számítható ki:

$$x_S = \frac{\int x \, dm}{\int dm}; \quad y_S = \frac{\int y \, dm}{\int dm}; \quad (\text{folytonos esetre}) \quad (3.35)$$

$$x_S = \frac{\sum x_i m_i}{\sum m_i}; \quad y_S = \frac{\sum y_i m_i}{\sum m_i}. \quad (\text{diszkrét esetre}) \quad (3.36)$$

Esetemben a súlypont meghatározása a paprikaalakzat felvett képpontjainak diszkrét elemeknek való megfeleltetésével történhet, és a tömegelemeket egységesen 1-nek véve a nevező az alakzat területével lesz egyenlő.

A paprikaalakzat területe a következőképpen közelíthető:

$$T_P \cong \begin{cases} \sum_{i=x_{P1}}^{x_{P2}} SZ_i \cdot n + \frac{SZ_{P2}}{2} \cdot (x_{P2} - x_{P3}), & \text{ha } x_{P2} > x_{P3}; \\ \sum_{i=x_{P1}}^{x_{P3}} SZ_i \cdot n + \frac{SZ_{P3}}{2} \cdot (x_{P3} - x_{P2}), & \text{ha } x_{P2} < x_{P3}. \end{cases} \quad n : \text{mintavételi távolság} \quad (3.37)$$

A paprikaalakzat súlypontjának koordinátái:

$$x_S = \frac{\sum x_i m_i}{T}; \quad y_S = \frac{\sum y_i m_i}{T}. \quad (3.38)$$

Kiszámítjuk a $\overline{P_1S}$, $\overline{P_2S}$ és $\overline{P_3S}$ szakaszok hosszát:

$$\overline{P_1S} = \sqrt{(x_S - x_{P1})^2 + (y_S - y_{P1})^2}; \quad (3.39)$$

$$\overline{P_2S} = \sqrt{(x_S - x_{P2})^2 + (y_S - y_{P2})^2}; \quad (3.40)$$

$$\overline{P_3S} = \sqrt{(x_S - x_{P3})^2 + (y_S - y_{P3})^2}. \quad (3.41)$$

A görbültség meghatározásához első lépésben kiszámítjuk a $\overline{P_1S}$, $\overline{P_2S}$ és $\overline{P_3S}$ szakaszok hajlásszögeit:

$$\varphi_{\overline{P_1S}} = \begin{cases} \pi - \arccos \frac{x_S - x_{P1}}{\overline{P_1S}}, & \text{ha } y_{P1} > y_S; \\ \pi + \arccos \frac{x_S - x_{P1}}{\overline{P_1S}}, & \text{ha } y_{P1} < y_S; \end{cases} \quad (3.42)$$

$$\varphi_{\overline{P_2S}} = \begin{cases} \pi - \arccos \frac{x_S - x_{P2}}{\overline{P_2S}}, & \text{ha } y_{P2} > y_S; \\ \pi + \arccos \frac{x_S - x_{P2}}{\overline{P_2S}}, & \text{ha } y_{P2} < y_S; \end{cases} \quad (3.43)$$

$$\varphi_{\overline{P_3S}} = \begin{cases} \pi - \arccos \frac{x_S - x_{P3}}{\overline{P_3S}}, & \text{ha } y_{P3} > y_S; \\ \pi + \arccos \frac{x_S - x_{P3}}{\overline{P_3S}}, & \text{ha } y_{P3} < y_S. \end{cases} \quad (3.44)$$

A γ_1 és γ_2 szögek számítása:

$$\gamma_1 = \varphi_{\overline{P_2S}} - \varphi_{\overline{P_1S}}; \quad (3.45)$$

$$\gamma_2 = \varphi_{\overline{P_3S}} - \varphi_{\overline{P_1S}}. \quad (3.46)$$

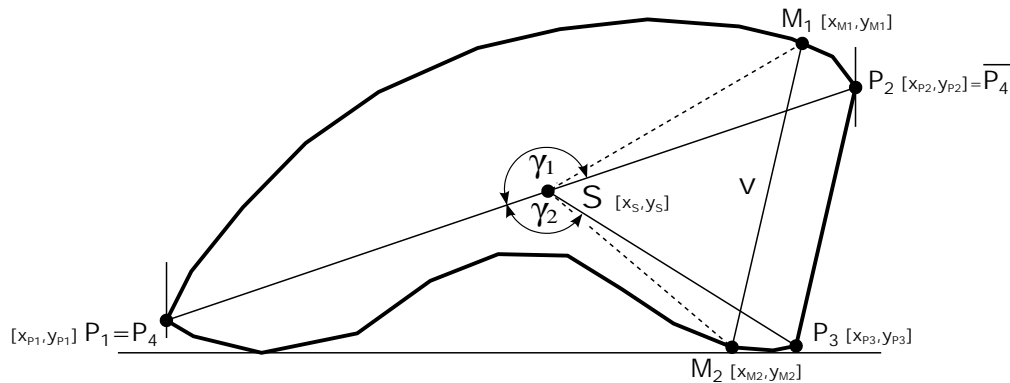
A γ_1 és γ_2 szögek kiegészítő szögének meghatározása:

$$\gamma_{(12)k} = 2\pi - |\varphi_{\overline{P_3S}}| - |\varphi_{\overline{P_1S}}|. \quad (3.47)$$

Végül kiszámítható a γ_1 és γ_2 szögek meghatározása után a görbültség mértékét leíró tényező:

$$g = \begin{cases} \left| \frac{\gamma_1}{\gamma_2} \right|, & \text{ha } |\gamma_1| \geq |\gamma_2|; \\ \left| \frac{\gamma_2}{\gamma_1} \right|, & \text{ha } |\gamma_1| < |\gamma_2|. \end{cases} \quad (3.48)$$

Szabályos termés esetén a mértékegység nélküli arányszám a g , „görbültségi fok” értéke 1, a hajlás mértékének növekedésével arányosan növekszik az értéke. A magas számításigény miatt a jelenleg megvalósult mérőrendszer miatt nem, de későbbi számítógépes kiértékelés esetén a deformáció mértékének további meghatározására a P_1 , P_2 , P_3 pontokra illesztett kör lehetőségét biztosíthat, ha a paprikaalakzat alatti és feletti területek arányát vizsgáljuk. Szükség esetén akár a két eljárás kombinálható, és a kiértékelés megbízhatósága tovább növelhető.



3.45. ábra Kis mértékben deformálódott termés és nevezetes pontjainak és szakaszainak kijelölése
($\overline{P_2P_3} \parallel \overline{M_1M_2}$)

3.8.3. Alakjellemező méretek és paraméterek meghatározása

A görbültség mértékének meghatározását követően megtörténhet az alábbi paraméterek meghatározása a korábban rögzített adatokból:

1. A paprika hosszúsága (szárral csökkentve):

$$h = \text{Max}(|x_{P_2} - x_{P_4}|; |x_{P_3} - x_{P_4}|). \quad (3.49)$$

Hosszúság alatt értjük a P_2 és P_4 vagy a P_3 és P_4 pontok x koordináta szerinti távolságát. A paprika szárlevágott hosszát a nagyobb távolság jelenti.

2. A paprika teljes hossza (szárral együtt):

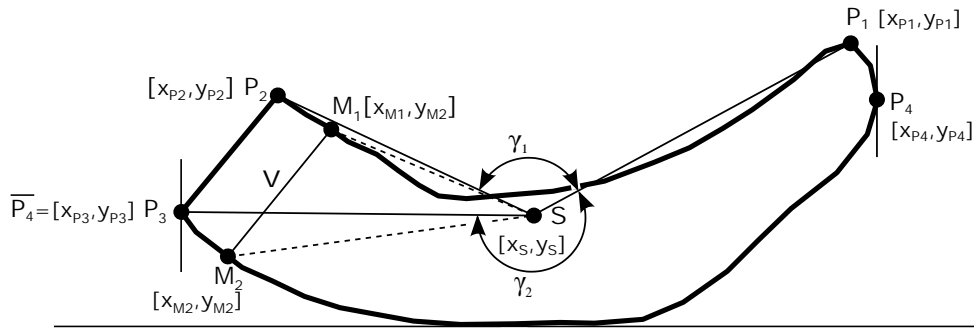
$$h_t = |x_{P_4} - \overline{x_{P_4}}|. \quad (3.50)$$

A paprika teljes hosszát jelenti az első és az utolsó hasznos adatot tartalmazó P_4 $\overline{P_4}$ pontok x koordináta szerinti távolsága.

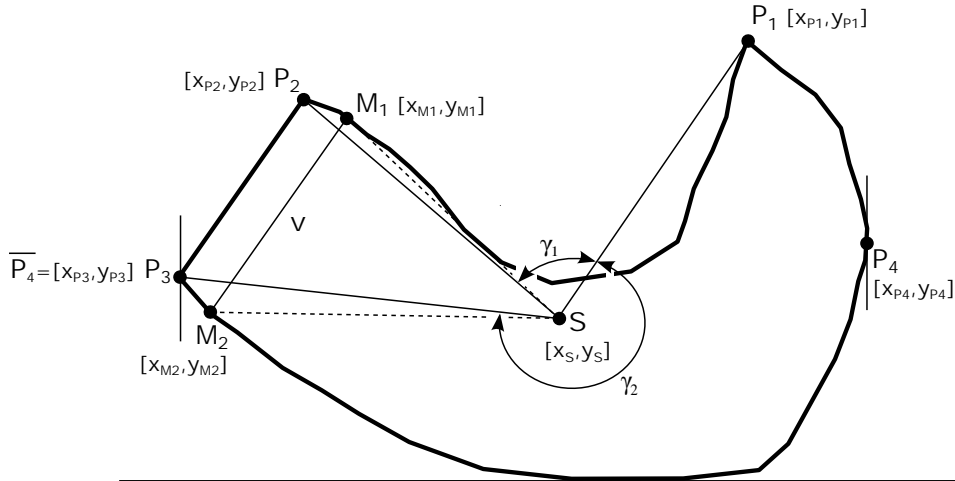
3. A kocsány vonalát kijelölő $\overline{P_2P_3}$ pontok közötti egyenes végpontjainak x tengely szerinti távolsága:

$$m = x_{P_2} - x_{P_3}. \quad (3.51)$$

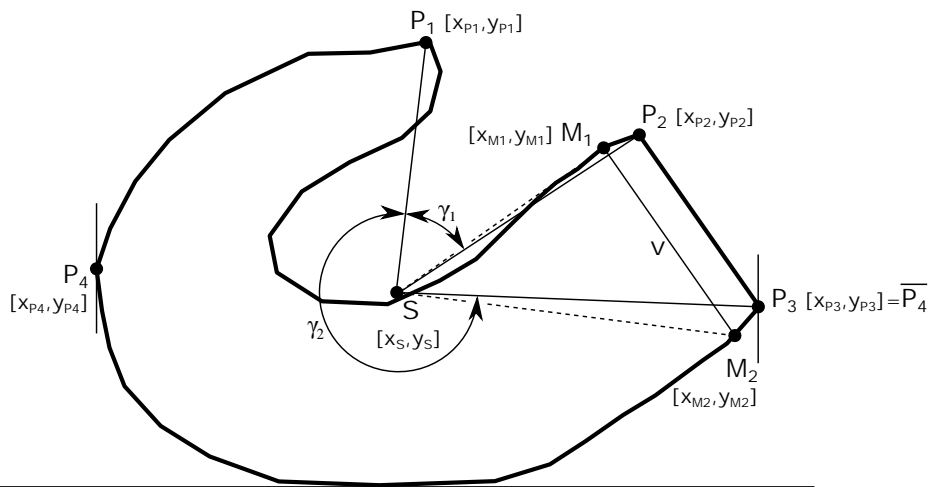
Az érték meghatározásának az a jelentősége, hogy a következő lépésben a most meghatározott távolság segítségével kerül kijelölésre az M_1 és az M_2 pont helye.



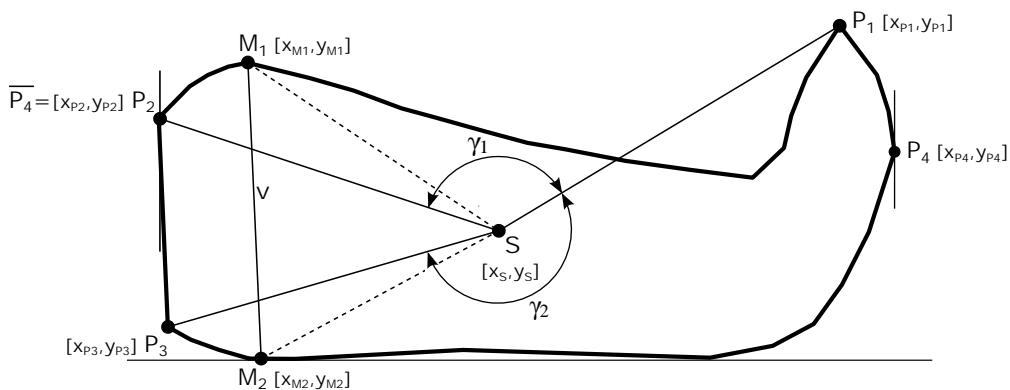
3.46. ábra Enyhén hajlott természetű pontjainak és szakaszainak kijelölése ($\overline{P_2P_3} \parallel \overline{M_1M_2}$)



3.47. ábra Hajlott természetű pontjainak és szakaszainak kijelölése ($\overline{P_2P_3} \parallel \overline{M_1M_2}$)



3.48. ábra Visszahajlott természetű pontjainak és szakaszainak kijelölése ($\overline{P_2P_3} \parallel \overline{M_1M_2}$)



3.49. ábra Gyűrődött természetű pontjainak és szakaszainak kijelölése ($\overline{P_2P_3} \parallel \overline{M_1M_2}$)

4. Az $\overline{M_1 M_2}$ szakasz hossza, azaz a vállátmérő, mely iterációval, az m távolság ismeretében számítható:

$$v = \text{Max} \left[\sqrt{m^2 + (H_{K(i+m)} - H_{B(i)})^2} \right]. \quad (i: \text{csak az } x_{P_2} : x_{P_3} \text{ környezetében}) \quad (3.52)$$

A maximumkeresés csak a korábbi folyamatoknál már meghatározott kocsány helyének közvetlen környezetében történik ($x_{P_2} : x_{P_3}$), a keresés irányát az előre-hátra tényező (EH) adja meg. A számítási igény csökkentése érdekében a maximumkeresés közben a négyzetgyök számítása kihagyható, hiszen a minősítéshez a \hat{v} módosított vállátmérő is jellemző adat marad:

$$\hat{v} = \text{Max} \left[m^2 + (H_{K(i+m)} - H_{B(i)})^2 \right]. \quad (i: \text{csak az } x_{P_2} : x_{P_3} \text{ környezetében}) \quad (3.53)$$

Ebben az esetben a maximumkeresés befejeztével csak egyszer, az iteráció során megtalált maximális értékre szükséges lefuttatni a négyzetgyököt tartalmazó összefüggést, így jelentős futásidő takarítható meg:

$$v = \sqrt{\hat{v}}. \quad (3.54)$$

5. A közelítő középvonalhossz:

$$h_{kköz} = \text{Max} \left[(\overline{P_1 S} + \overline{P_2 S}); (\overline{P_1 S} + \overline{P_3 S}) \right]. \quad (3.55)$$

A közelítő középvonalhossz alatt értjük a $\overline{P_1 S}$ és $\overline{P_2 S}$ vagy a $\overline{P_1 S}$ és $\overline{P_3 S}$ szakasz összegét. Kiszámításával a kapott eredmények helyességére tudunk következtetni.

Nem volt célom, azonban a PC-s diagnosztikai rendszeren keresztül megvalósítható lenne a teljes 2D, esetleg a két nézetből számított 3D-s rekonstrukció elvégzése is, ebben az esetben a kontúr leírásához további paraméterek felvétele és új eljárások bevezetése is szükséges lehet.

3.9. A két kameranézet adatainak kiértékelése

A fenti paraméterek meghatározását követően az eddig külön-külön folyó számítási műveletek eredményeit a központi feldolgozóegység összeveti és ellenőrzi, majd a termést az osztályozási paraméterek szerinti kategóriába besorolja. A művelet során történik meg a dimenziók hozzárendelése. Ez az információ lesz a termésválasztó rendszer bemeneti adatsora.

A folyamat során meghatározásra kerülnek a következő paraméterek (a két kameráról érkező információ a következőkben mindenhol az $_1$ és $_2$ indexek segítségével kerül megkülönböztetésre):

1. Legnagyobb átmérő (legnagyobb vállszélesség):

$$V_{max} = \text{Max}(v_1; v_2). \quad (3.56)$$

2. Átlagos átmérő (átlagos vállszélesség):

$$V = \frac{v_1 + v_2}{2}. \quad (3.57)$$

3. Átlagos szárlevágott hossz:

$$H = \frac{h_1 + h_2}{2}. \quad (3.58)$$

4. Teljes hossz:

$$H_t = \text{Max}(h_{t1}; h_{t2}). \quad (3.59)$$

5. Közelítő középvonalhossz:

$$H_{kköz} = \text{Max}(h_{kköz1}; h_{kköz2}). \quad (3.60)$$

6. Eredő görbülségi tényező:

$$G = g_1 + g_2. \quad (3.61)$$

7. Átlagos terület:

$$T_{PA} = \frac{T_{P1} + T_{P2}}{2}. \quad (3.62)$$

A görbültségi fok értékének finom vizsgálatára a hajlásra fokozottan hajlamos, hosszú, hegyes típusoknál van leginkább szükség, a hajlott, illetve deformálódott termés különválasztásának igénye miatt.

3.10. Az osztályba sorolás

A 2.1. fejezetben tárgyaltak szerint az étkezési paprikára vonatkozó előírás jelenleg hatályos változata sem definiálja a méret szerint válogatott étkezési paprikára vonatkozó konkrét méretosztályokat, ennek elsődleges oka a fajták változatossága. Fontos változás, hogy a paprikára vonatkozó, aktuális EU szabályozás a korábbiakkal ellentétben már nem tartalmazza a minimum méretekre vonatkozó értékeket alakkörök szerint külön-külön lebontva, csak a méreteltérések legnagyobb mértékét definiálja.

Hazánkban az Élelmiszerkönyv 1995-ös létrehozását megelőzően a válogatási szabályok alapja a kúpos, fehér termésszínű fajtákra a vonatkozó élelmiszer-termékszabványban előírásra került a kötelezően alkalmazandó méretosztály besorolás (3.2. táblázat) volt. A termelők közül sokan még napjainkban is ezt használják, természetesen a felvásárlói, értékesítési követelményeknek megfelelően, kisebb-nagyobb változtatások mellett, annak ellenére, hogy az előírások már nem teszik kötelezővé az alkalmazását.

3.2. táblázat A hazánkban fehér termésszínű kúpos paprikára leggyakrabban alkalmazott méretosztályok

| Méretosztály | Min. vállátmérő (mm) | Min. hosszúság (mm) |
|--------------|----------------------|---------------------|
| Kicsi | 40 | 70 |
| Közepes | 50 | 80 |
| Nagy | 60 | 100 |
| Extra nagy | 70 | 140 |

Az adott méretosztályba bekerüléshez a 3.2. táblázat vállátmérő és a hosszúság értékének meg kell felelni, amennyiben valamelyik minimális méret nem kerül elérésre, akkor a terméseket vissza kell sorolni.

Méretosztály besorolás feltételei:

$$V_{max} \geq (\text{kategóriához tartozó minimális vállátmérő})$$

$$H \geq (\text{kategóriához tartozó minimális hossz})$$

$$G \leq (\text{megengedett maximális görbültség})$$

Azok a paprikák, amelyek nem teljesítik a legkisebb osztályhoz tartozó méreteket, azok az „osztály alatti” kategóriába kerülnek. Fontos kiemelni, hogy az egyöntetűség biztosítása érdekében (így „mutatósbab” az egységcsomag) a nagyobb kategóriába tartozó termések a jogszabályban szereplő megengedett eltérések betartásával visszesorolhatók. Az „osztály alatti” termések további besorolása termelőtől és felvásárlótól függ. Vannak helyek, ahol a deformált, görbe paprikákkal együtt, másodosztályú, méret szerint nem válogatott („lecsó”) paprikaként kerül értékesítésre. Máshol az osztály külön kezelése megmarad, és olyan helyekre kerül értékesítésre, ahol kifejezetten az apró méret a keresett, például konzerv és savanyúság készítése esetén.

Azt mindenképp ki kell emelnem, hogy kézi válogatás esetén a hossz figyelembevétele nagyon bizonytalan, emiatt sok helyen a kézi válogatás csak vállátmérő alapján történik. Ez sajnos kihat a válogatott paprikák egyöntetűségére, ami az értékesítés szempontjából kedvezőtlen helyzetet okoz. Míg a fehér termésszínű kúpos paprikákra létezik általánosan elterjedt méretosztály besorolás, úgy a hegyes erős, valamint a kápia jellegű paprikákra ilyen nincsen. Ennek oka, hogy a válogatási

szempontokat ezeknél a típusoknál még inkább befolyásolja a fajta jellege, emiatt nehezebb általánosan használható, univerzális vállátmérő és hossz társításokat létrehozni.

A kísérletek elvégzéséhez így saját méretosztályokat kellett létrehozni mind a kápia (3.3. táblázat), mind a hegyes erős fajtákhoz (3.4. táblázat). Az osztályok kialakítása mindkét esetben az adott paprikafajta méreteinek meghatározásával kezdődött, majd többszöri próbaválogatás következett, ahol kézi úton és méréssel ellenőrzésre került az egyöntetűség és az osztályok megfelelő elkülönülése is.

3.3. táblázat A definiált, kápia paprika méretosztályok

| Méretosztály | Min. vállátmérő (mm) | Min. hosszúság (mm) |
|--------------|----------------------|---------------------|
| Kicsi | 44 | 90 |
| Közepes | 47 | 130 |
| Nagy | 57 | 140 |
| Extra nagy | 67 | 150 |

3.4. táblázat A definiált, hegyes erős paprika méretosztályok

| Méretosztály | Min. vállátmérő (mm) | Min. hosszúság (mm) |
|--------------|----------------------|---------------------|
| Kicsi | 24 | 120 |
| Közepes | 29 | 150 |
| Nagy | 34 | 170 |
| Extra nagy | 34 | 190 |

Fontos kiemelni, hogy a megvalósított rendszerben az alap méreteken felül, lehetőség van az adott osztályhoz tartozóan, további méreteket és paramétereket definiálni, segítségükkel a válogatott termékek egyöntetűsége fokozható. Alapesetben minden méretkategóriához 5 hossz és vállátmérő, valamint több egyéb paraméter, mint például: görbültségi fok, közelítő középvonalhossz, terület, stb. adható meg. Az osztályozás paraméterek kategóriánként egy-egy tömb segítségével kerülnek definiálásra:

```

    Átmérő | Hossz
alsó|felső|alsó|felső
( 57,  59, 140,  511)    //
( 59,  67, 100,  511)    //
( 67,  70, 100,  511)    // Kapu definíció
( 70, 511, 100,  511)    //
(  0,  0,  0,  0)       //

Glob. görb. fok | Lecsó
rövid|hosszú|határ| kateg.
(212, 212, 120,  1)    // Egyéb beállítások

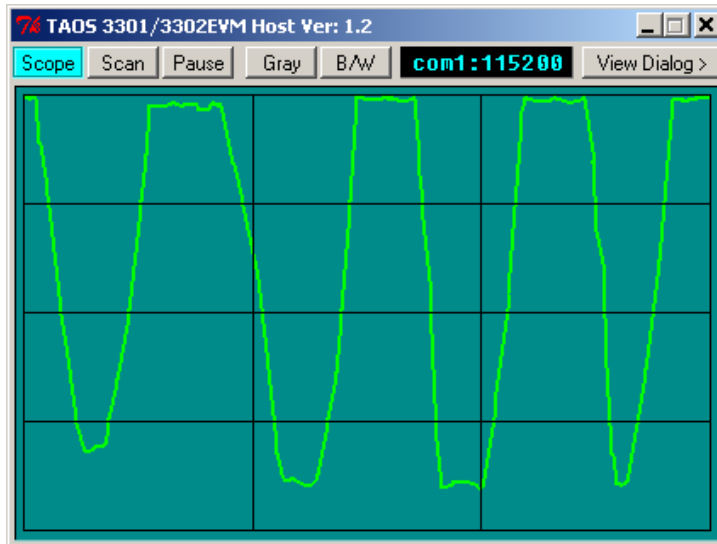
```

Az elektronikus rendszer további igen nagy előnye, hogy több válogatási program is kialakítható és a programok közötti váltás a rendszer kezelőfelületén könnyedén megvalósítható, így mindig a kívánt és a termés szempontjából optimális szabályok szerint valósítható meg a válogatás.

3.11. Kalibrálás

A kamerarendszer megfelelő beállítása és kalibrálása a pontos működéshez elengedhetetlen, hiszen ez alapozza meg a mérés jóságát. Az osztályozási hiba mértéke jogszabályilag rögzített, az esetek többségében azonnali reklamációhoz vezet a pontatlan működés. Mind a kamerák, a vázszerkezet és a kameratartó állvány úgy lett kialakítva, hogy a beállítást megkönnyítse, illetve a nem kívánt elállítódást megakadályozza.

A beállítás folyamán fokozottan kell figyelni a kamerák függőleges pozicionálására, hiszen ez a felvételek készítése során további pontatlansághoz vezethet (leginkább a nagy átmérőjű termékek esetén). Mivel a legtöbb ellenőrző lépés a szállítószalag álló helyzetében is elvégezhető, ezért a kalibrációhoz több speciális sablon készült, ami a kamera tárgymezejébe helyezve lehetővé teszi a pontos beállítást.



3.50. ábra Az élesség beállításakor arra kell törekedni, hogy a völgyek minél mélyebbek, oldaluk pedig minél meredekebb legyen

Nagyon fontos a kamerák megfelelő optikai beállítása is, számomra itt két paraméter lényeges: a mélységélesség és a fókusz. Az élesség beállítását úgy kell elvégezni, hogy kapott görbéken a völgyek a legmélyebbek legyenek (3.50. ábra), olyan mélységélesség beállítás mellett, ami a teljes mérési tartományt lefedi. Ezután a polárszűrő előírt orientációjának beállítása és ellenőrzése következik.

Az átmérő és a hossz kalibrálására hengeres sablonsorozat készült (3.51. ábra), így a teljes átméretartományon belüli optikai ellenőrzés is elvégezhető, továbbá az alkalmazott optika geometriai torzításainak értékére is következtetni lehet, így a kamera működtető szoftverébe a korrekciós állandók felvitelre kerülhetnek.

A hosszmérés alapja a gépre elhelyezett ütemadó, mely a szállítószalag haladási sebességét méri. A pontos hossz meghatározása érdekében ennek is elengedhetetlen a kalibrálása, amit szintén az erre a célra készült hengeres sablonsorozattal lehet elvégezni (a hosszmérés kalibrálása természetesen csak a szállítószalag üzeme közben végezhető el).



3.51. ábra A kamerák beállításához készült kalibrációs sablonsor

Nemcsak a kamera egyedi beállítása fontos, hanem az is, hogy a két kamera egymáshoz képest ne legyen elmozdulva vagy elállítva. Mivel a két kamera mintavétele szinkronizáltan működik, ezért az azonos vonalra történő beállítás elvégzése elengedhetetlen a pontos működéshez.

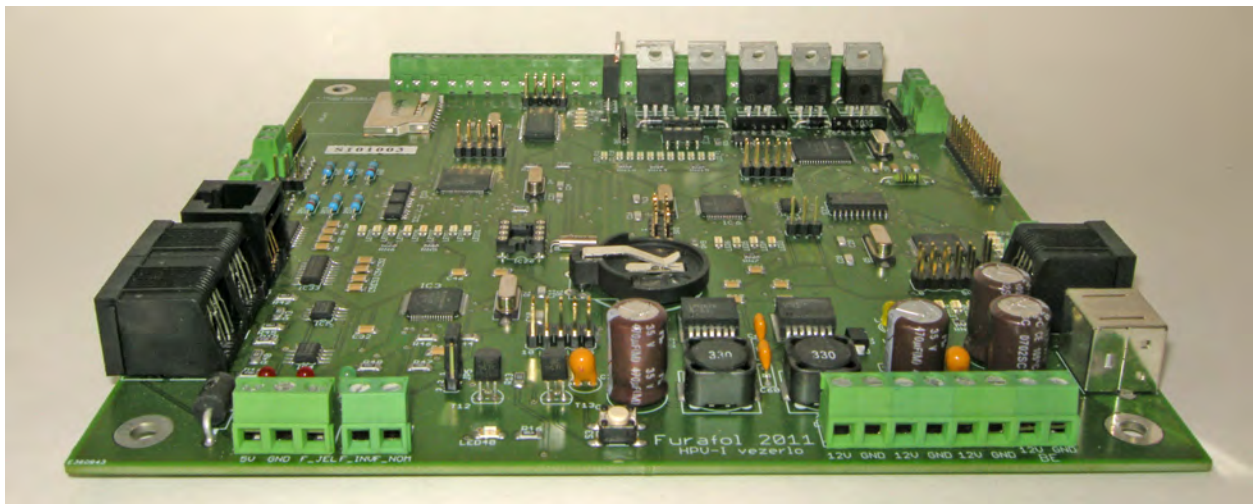
A kalibrációs folyamat legutolsó lépése a kamerák szinkronizált üzemének ellenőrzése, ennek során a legalacsonyabb és a legmagasabb szalagsebességen is ellenőrzésre kerül az adatfelvétel pontossága.

A fenti lépések elvégzése után a munka megkezdhető a kamerákkal. A kamera működtető szoftvere úgy lett kialakítva, hogy az üzemszerű használat további kalibrációt és beállítást nem igényel. Tapasztalataim azt mutatják, hogy az ellenőrző kalibrációt elegendő évente egyszer, célszerűen a szezon kezdete előtt, az általános karbantartás részeként elvégezni.

Amennyiben a kamera alatti szállítószalag vagy a kamera cserére szorul (esetleg a kameraszekrény megbontásra kerül), akkor a kalibrációs értékek megváltozhatnak. A pontatlan működés megakadályozása érdekében a kamerák megfelelő beállítását ilyenkor mindenféleképp újra ellenőrizni kell.

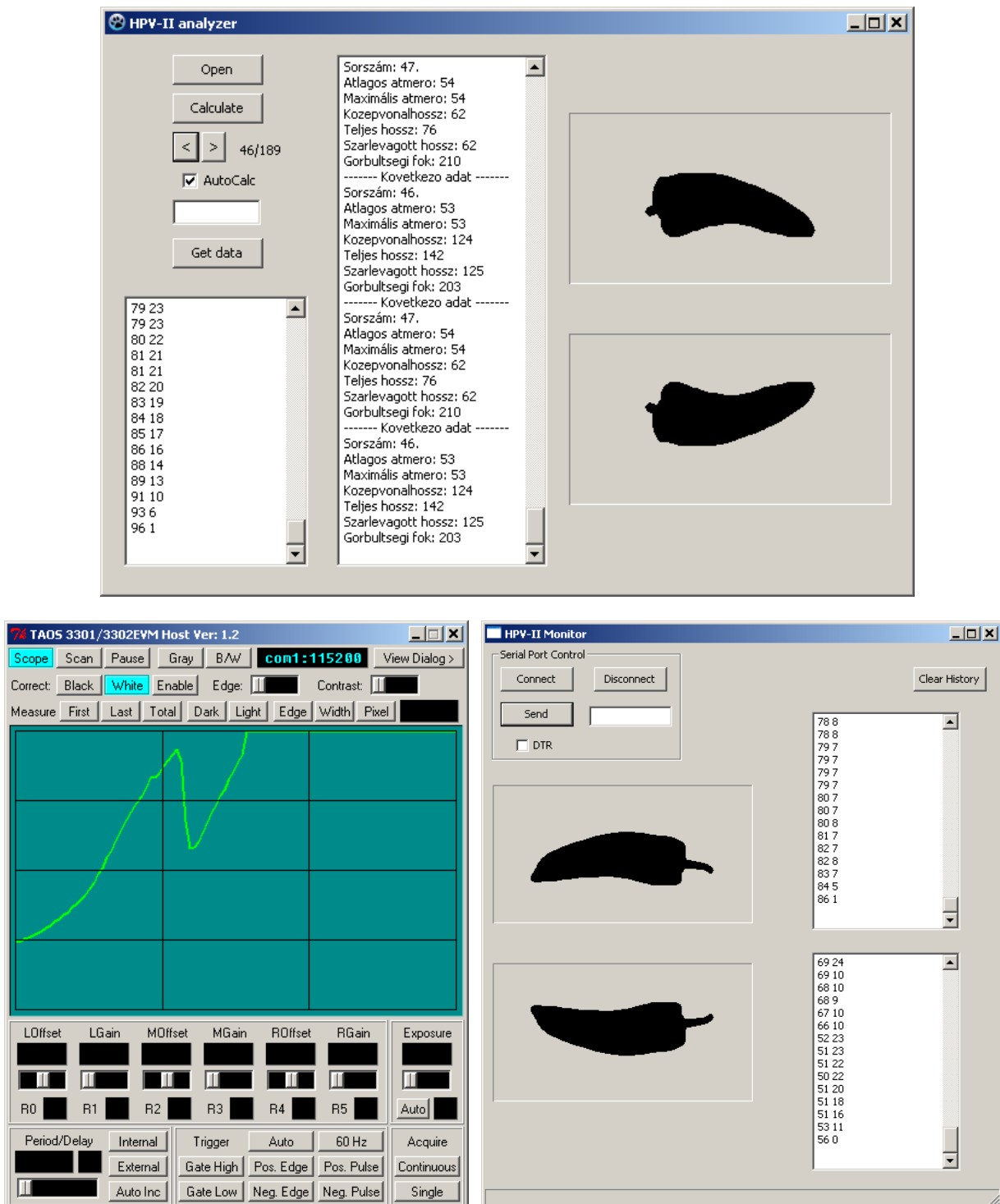
3.12. Mérésadatgyűjtő és kiértékelő rendszer, diagnosztika

A válogatási algoritmushoz a korábbi fejezetekben leírtak szerint szintén beágyazott rendszert alakítottam ki. A CCD pixeladatait több nagy sebességű 16 bites, valamint egy 32 bites mikrovezérlő fogadja. Ez az egység tartalmazza és futtatja az alakfelismerő algoritmust. A processzorok magas sebessége lehetővé teszi az algoritmus valós idejű működését. A teljes vezérlőrendszer, illetve a működtető szoftverek teljes mértékben saját fejlesztésűek. Kísérleteim során a számítógépek alkalmazását itt is el kellett vetni, mert a nehéz ipari (mezőgazdasági) körülmények között nem működtek megbízhatóan (az ipari kivétel ellenére sem). Az elsődleges vizsgálatok elvégzéséhez alkalmas laboratóriumi prototípus mérőrendszer kialakítása után lehetőség adódott a prototípus mérőrendszer tapasztalataira épített ipari mérőrendszer kialakítására (3.52. ábra).



3.52. ábra A második generációs, saját fejlesztésű központi feldolgozó panel, itt már lehetőség van a mért adatok memóriakártyára történő elmentésére is

A kialakított mérőrendszerben lehetőség van az útdátó általi ütemezés szerint készített képszeletek adatait további elemzés céljából valós időben a számítógépre juttatni. A saját fejlesztésű adatfogadást végző program (3.53. ábra) a kapott nyers adatokat a valós idejű megjelenítés mellett a merevlemezre is elmenti, a lehetőséget adva a későbbi vizsgálatok elvégzéséhez. A kapott adatok közvetlenül exportálhatók a feldolgozást és a további elemzést végző programokhoz. A CCD-hez tartozó diagnosztikai program lehetőséget ad a kamera beállítására, valamint az élőkép megjelenítésére is.



3.53. ábra A valós idejű kiértékeléshez és beállításhoz, illetve a felvett adatok későbbi vizsgálatához használt programok képernyőképei

4. EREDMÉNYEK

Ebben a fejezetben ismertetem, elemzem és minősítem a vizsgálataim eredményeit, valamint bemutatom az új tudományos eredményeket. Ennek során vizsgálom az alakfelismerő látórendszer működéséhez szükséges berendezések és a kidolgozott eljárások megfelelőségét, ami segítségével a képek elkészítése, szegmentálása és a paprika geometriájának leírása, görbülségének meghatározása történik. Ezt követően kitérek a kidolgozott módszer más terményekre való alkalmazhatóságára, és az általánosítás lehetőségeire is.

4.1. Szegmentációs eljárások vizsgálata

A hagyományos egyszintű szintre vágás (küszöbölés, komparálás) kielégítően működött fehér és piros termésszín és tiszta szalag esetén, azonban sárga (zöldessárga) és zöld termékek esetén a kontúrkijelölő küszöbölés pontossága jelentősen lecsökkent. Ennek a fő oka az, hogy az adott megvilágításhoz képest a zöld és a sárga (zöldessárga) szín lényegesen alacsonyabb intenzitáskülönbséget hoz létre a háttér értékeihez képest, mint egy fehér paprika. A problémát részben lehet a megvilágítás mértékének változtatásával, illetve szoftveres kompenzációval kezelni, azonban mindkét megoldás a háttér zavaró hatásainak fokozásával, valamint a szalagon található szennyeződések nem kívánt kiemelésével jár. Az algoritmus pontossági eredményei a 4.1. táblázatban (8.1. ábra) találhatóak. A táblázatban látható a hibátlan gépi kontúrfelvételek, valamint a hibás, azaz a nem megfelelő adatfelvételi esetek száma. Fontos kiemelni, hogy ahol a mérési adatok mellett nincs külön jelölve, ott a táblázatban lévő mérési adatok háromszori ismétléssel, majd az eredmények átlagolásával kerültek feltüntetésre. Az ellenőrzést kézi úton végeztem, a vizsgálatok során összehasonlítottam a tényleges és a látórendszer által mért adatokat. Ennek során definiáltam a kontúrfelvételek ellenőrzésének lépéseit, valamint a kiértékelés szabályait is.

Hibásnak számít egy kontúrfelvétel az alábbi esetekben:

- A kontúr hiányos,
- a kontúr befűződött,
- az eredendően összetartozó kontúr több különálló darabból áll,
- a kontúr nem folytonos,
- a kontúrban nem indokolt beszakadás(ok) vagy/és kiemelkedés(ek) vannak,
- a szalag szennyeződései megjelennek,
- a nem kategorizálható, vagy nem értékelhető helyzetben.

4.1. táblázat Kontúrfelvételi eredmények, egyszintű szintrevágás mellett (kézzel rögzített globális küszöbszint alkalmazásával)

| Megnevezés | Minősítés | Esetek száma [db] | Esetek összesen [db] | Esetek száma [%] |
|------------------------|-----------|-------------------|----------------------|------------------|
| Kúpos, fehér | hibátlan | 88 | 90 | 97,8% |
| | hibás | 2 | | 2,2% |
| Különleges, piros | hibátlan | 36 | 38 | 94,7% |
| | hibás | 2 | | 5,3% |
| Különleges, zöld | hibátlan | 0 | 27 | 0% |
| | hibás | 27 | | 100% |
| Különleges, sárga/zöld | hibátlan | 4 | 23 | 17,4% |
| | hibás | 19 | | 82,6% |
| Hegyes erős, zöld | hibátlan | 0 | 24 | 0% |
| | hibás | 24 | | 100% |

A vizsgálatok szempontjából nagyon fontos kiemelni, hogy a rendelkezésekre bocsájtott ömlesztve érkezett paprikák között az esetek többségében nem volt az adott vizsgálatokhoz megfelelő mennyiségű, kellően változatos alaksajátossággal rendelkező termés. Az ilyen termékek aránya függhet a termesztéstechnológiától, az adott fajta jellemzőitől, a termés és a növény fejlettségétől és a tenyészidőszak alatt a termést érő hatásoktól. A minősítő tesztek elvégzéséhez emiatt külön tételként a szükséges vizsgálatokhoz illeszkedő, a mintából hiányzó termékekkel kellett a bővítenem a vizsgálati halmazt. Ennek következtében az adott mintavétel már nem tekinthető véletlenszerűnek, hanem célzott jellegű lett, mivel ennek során a termékek halmazát rontottam annak érdekében, hogy minél több méret, alaksajátosság, szín álljon rendelkezésre az algoritmus működésének vizsgálatához. Ezek a tulajdonságok a vizsgálatok minden lépésében jelen lesznek, így az eredményeket minden esetben ennek a figyelembevételével kell kiértékelni.

A mérési adatsorok a számítógépes diagnosztikai rendszeren keresztül valós időben, és mentést követően később is kiértékelhetők voltak. A 4.1. táblázat (8.1. ábra) adataiból levonható az a következtetés, hogy a látórendszer adott elrendezésénél és adott megvilágítás mellett a válogatás csak a TV fehér és a piros kápia esetén megbízható. A sárga és a zöld termésszínű paprika válogatása sajnos ezzel a módszerrel elfogadható hibahatár mellett nem valósítható meg. A fehér paprikák válogatása a mérés szerint 97,8%-ban megbízható, ez a piros termékek esetén 94,7%-ot jelent.

A kontúrfelvételi eredményekben összességében némi javulást hoz az automatikus globális küszöbszint meghatározására épülő eljárások használata. A vizsgálatokat először a Yanni-féle szegmentációs algoritmussal végeztem. A küszöbszint minden képszelet esetén, külön-külön került meghatározásra. A vizsgálatot kézi küszöbszint mérésekor használt, ugyanazon mintán végeztem el.

4.2. táblázat Kontúrfelvételi eredmények, egyszintű szintrevágás mellett (globális küszöbszint: Yanni)



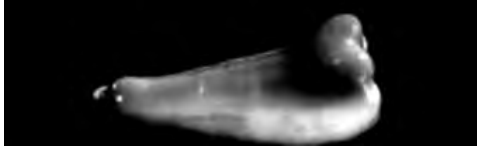
| Megnevezés | Minősítés | Esetek száma [db] | Esetek összesen [db] | Esetek száma [%] |
|------------------------|-----------|-------------------|----------------------|------------------|
| Kúpos, fehér | hibátlan | 88 | 90 | 95,7% |
| | hibás | 2 | | 4,3% |
| Különleges, piros | hibátlan | 35 | 38 | 92,1% |
| | hibás | 3 | | 7,9% |
| Különleges, zöld | hibátlan | 2 | 27 | 7,4% |
| | hibás | 25 | | 92,6% |
| Különleges, sárga/zöld | hibátlan | 5 | 23 | 21,7% |
| | hibás | 18 | | 78,3% |
| Hegyes erős, zöld | hibátlan | 3 | 24 | 12,5% |
| | hibás | 21 | | 87,5% |

A fennálló kísérleti összeállításra vonatkoztatva a 4.2 táblázat (8.2. ábra) adataiból megállapítható, hogy az algoritmus több esetben túlságosan „bátran” döntött, így bizonyos esetekben túl alacsonyra állította a küszöbszintet. Ez a működés fehér és piros termésszínű paprikák esetén rontott, de a zöld termésszín esetén némileg javított az értékeken. Az is megállapítható, hogy a zöld termékek eredményei továbbra sem közelítik meg az elfogadható szintet.

Ennek keretében kísérleti úton vizsgáltam azt, hogy milyen hatások okozhatják a globális küszöbölésre épülő eljárások tapasztalt mérési hibáit. A 4.3. táblázatban feltüntettem azt a három hatást, amik a vizsálataim alapján a szegmentációt leginkább megnehezítik.

A Niblack, majd később a NICK szegmentációs algoritmusok alkalmazásával viszont a hibás kontúrmeghatározások száma tovább csökkent. A Niblack, valamint a NICK eljárás alapja, hogy a

4.3. táblázat A szegmentációt kedvezőtlenül befolyásoló hatások

| Kiakalult hatás | Kép |
|--|--|
| Szennyeződések és árnyékok kialakulása |  |
| Nagymértékű kontrasztkülönbségek |  |
| Árnyékok keletkezése |  |

küszöbszintet a képi tartalomnak megfelelően, lokálisan határozza meg, ennek következtében jobb az eljárásnak a zavartűrése, így a zavarok kialakulása esetében is pontosabb adatokat kaphatunk. A két eljárás alapelve azonos, a különbség csak lokális küszöbszint meghatározásának módjában van.

A 4.4. és a 4.5. táblázatból (8.3. és 8.4. ábra) megállapítható, hogy az adaptív küszöböléssel működő lokális eljárások esetén a fehér és a piros termésszínű fajták kontúrfelismerése tovább javult. Hasonló állapítható meg az egyszintű küszöböléssel jelentős problémát jelentő zöld, és zöldessárga termékek esetén is, de a várakozással ellentétben a kontúrfelvételi hibák teljesen nem szűntek meg. A NICK eljárásról a mérések alapján kijelenthető, hogy a jelenleg kialakított mérési környezetben minden tekintetben nagyobb pontossággal működik, mint a hasonló elv alapján működő Niblack algoritmus.

Mivel nem sikerült a mérési hibák számát mindegyik termésszín esetén kellően alacsony szintre hozni, ezért a kerestem azokat a lehetőségeket, amivel a kontúr felvétele minél alacsonyabb hiba mellett megtehető. Végül azt találtam, ha a képszeleteken belül bekövetkező hirtelen intenzitásváltozásokat keresem, és az így kapott éleket a gradiensük és a helyzetük alapján osztályozom, az élek nagy biztonsággal kijelölhetővé válnak. Az erre a célra kifejlesztett élkereső algoritmustól azt vártam, hogy a bizonytalan helyzetek esetén is lehetővé teszi az objektum és a háttér pontosabb, megfelelő szintű elkülönítését.

4.4. táblázat Kontúrfelvételi eredmények, a Niblack szegmentáció alkalmazása mellett

| Megnevezés | Minősítés | Esetek száma [db] | Esetek összesen [db] | Esetek száma [%] |
|------------------------|-----------|-------------------|----------------------|------------------|
| Kúpos, fehér | hibátlan | 132 | 132 | 100% |
| | hibás | 0 | | 0% |
| Különleges, piros | hibátlan | 72 | 76 | 97,4% |
| | hibás | 2 | | 2,6% |
| Különleges, zöld | hibátlan | 31 | 50 | 62% |
| | hibás | 19 | | 38% |
| Különleges, sárga/zöld | hibátlan | 98 | 122 | 80,3% |
| | hibás | 24 | | 19,7% |
| Hegyes erős, zöld | hibátlan | 38 | 55 | 69,1% |
| | hibás | 17 | | 30,9% |

4.5. táblázat Kontúrfelvételi eredmények, a NICK szegmentáció alkalmazása mellett

| Megnevezés | Minősítés | Esetek száma [db] | Esetek összesen [db] | Esetek száma [%] |
|------------------------|-----------|-------------------|----------------------|------------------|
| Kúpos, fehér | hibátlan | 128 | 128 | 100% |
| | hibás | 0 | | 0% |
| Különleges, piros | hibátlan | 109 | 110 | 99,1% |
| | hibás | 1 | | 0,9% |
| Különleges, zöld | hibátlan | 18 | 25 | 72,0% |
| | hibás | 7 | | 28,0% |
| Különleges, sárga/zöld | hibátlan | 26 | 30 | 86,7% |
| | hibás | 4 | | 13,3% |
| Hegyes erős, zöld | hibátlan | 44 | 51 | 86,3% |
| | hibás | 7 | | 13,7% |

4.6. táblázat Kontúrfelvételi eredmények, a saját fejlesztésű, az élek keresésén alapuló szegmentáció alkalmazása mellett

| Megnevezés | Minősítés | Esetek száma [db] | Esetek összesen [db] | Esetek aránya [%] |
|------------------------|-----------|-------------------|----------------------|-------------------|
| Kúpos, fehér | hibátlan | 457 | 457 | 100% |
| | hibás | 0 | | 0% |
| Különleges, piros | hibátlan | 380 | 381 | 99,7% |
| | hibás | 1 | | 0,3% |
| Különleges, zöld | hibátlan | 288 | 292 | 98,6% |
| | hibás | 4 | | 1,4% |
| Különleges, sárga/zöld | hibátlan | 114 | 115 | 99,1% |
| | hibás | 1 | | 0,9% |
| Hegyes erős, zöld | hibátlan | 319 | 322 | 99,1% |
| | hibás | 3 | | 0,9% |

A 4.6. táblázatból (8.5. ábra) megállapítható, hogy a saját fejlesztésű élkereső algoritmus alkalmazása során a hibás kontúrfelvételek száma számottevően csökkent minden termésszínű paprika esetén. Lényeges eredmény, hogy az egyszintű, rögzített küszöbszintű küszöböléssel összehasonlítva a zöld termékek esetén a téves adatfelvételek számát is sikerült jelentős mértékben lecsökkenteni. Ez alapján kijelenthető, hogy a saját fejlesztésű élkereső módszer a rosszul megvilágítható, változatos színű, a világítás szempontjából is hátrányos, nagy geometriai inhomogenitásokkal rendelkező kápia típusú és hegyes erős fajták esetén is nagy pontosság mellett működik.

4.2. A kidolgozott élkereső algoritmus vizsgálata

Az élkereső algoritmus robusztusságának ellenőrzése érdekében vizsgáltam a működés jellemzőit és paramétereit, és a kapott információkat, különböző szélsőséges helyzet mellett. Ennek keretében a 4.3. táblázatban szereplő, korábban már vizsgált, a szegmentációt megnehezítő körülményeket hoztam létre.

Legelőször a normál működés közben kialakuló, a szállítószalag üzemszerű szennyeződésének hatásait vizsgáltam. A szennyeződés kialakulása a kamerás képfelvételek készítése során azért kedvezőtlen, mert a kontrasztarány csökkenésével egyre nagyobb és nagyobb a valószínűsége a

4.7. táblázat Az élkeresés elvén működő eljárás érzékenysége a szalag szennyezettségének mértékére

| Megnevezés | Minősítés | Esetek száma [db] | Esetek összesen [db] | Esetek aránya [%] |
|------------------------------|-----------|-------------------|----------------------|-------------------|
| Tiszta szalag | hibátlan | 128 | 129 | 99,2% |
| | hibás | 1 | | 0,8% |
| Közepesen szennyezett szalag | hibátlan | 126 | 129 | 97,7% |
| | hibás | 3 | | 2,3% |
| Erősen szennyezett szalag | hibátlan | 124 | 129 | 96,1% |
| | hibás | 5 | | 3,9% |
| Tiszta, nedves szalag | hibátlan | 129 | 129 | 100% |
| | hibás | 0 | | 0% |

hibás kontúrfelvételek létrejöttek. Tiszta szalagnak azt az állapotot nevezzük, ami a kamera adatai alapján, az alkalmazott szalagra elérhető legalacsonyabb „feketeszinthez” tartozik.

A 4.7. táblázat (8.6. ábra) a szennyeződések hatásait mutatja az élkereső eljárás működésére vonatkozóan. A vizsgálatok során törekedtem arra, hogy a termékek alak és fajta vonatkozásában is minél változatosabbak legyenek. A táblázat adataiból megállapítható, hogy nem sikerült olyan üzemszerű állapotot létrehozni, ahol a hibás kontúrfelvételek száma, a hibaarány jelentősen növekedett volna. A vizsgálat során az ismétlések száma öt volt. Érdekesség, hogy a nedves szalag esetén nem volt hibás adatfelvétel, ennek oka, hogy a vizes felület hatására a fényforrások fénye kisebb mértékben szóródik a kamerák irányába, ennek következtében rövid ideig olyan hatás alakult ki, ami miatt a képfelvétel szempontjából úgy tűnik, hogy a háttér „feketebb” lett.

A következő kísérletek során a nem megfelelő világításból és az árnyékokból származó hatásokat vizsgáltam. A kísérlet során ugyanazokat a termékeket használtam, melyeket a szalag szennyeződésének vizsgálata során.

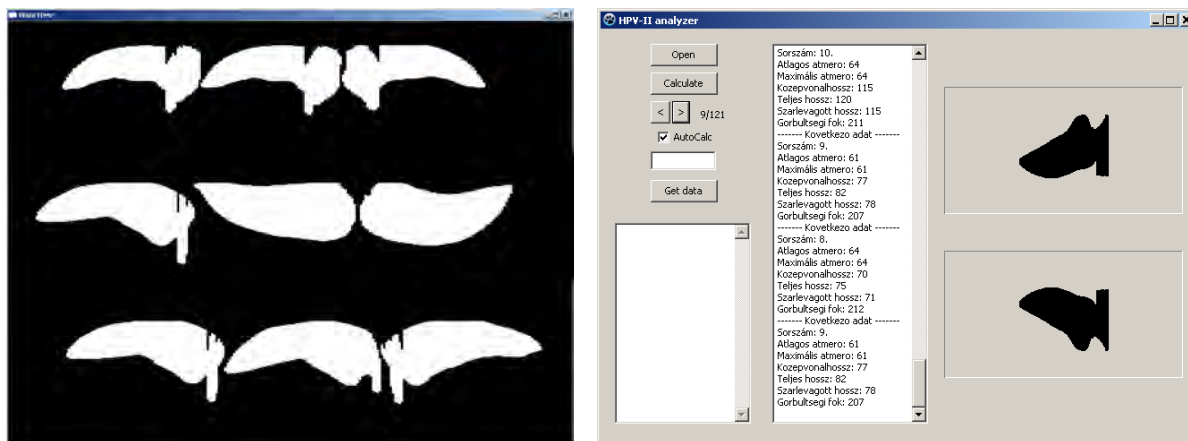
4.8. táblázat Az élkeresés elvén működő eljárás érzékenysége a világítás megfelelő beállítására

| Megnevezés | Minősítés | Esetek száma [db] | Esetek összesen [db] | Esetek aránya [%] |
|-------------------------|-----------|-------------------|----------------------|-------------------|
| Optimális világítás | hibátlan | 128 | 129 | 99,2% |
| | hibás | 1 | | 0,8% |
| Nem optimális világítás | hibátlan | 48 | 129 | 37,2% |
| | hibás | 81 | | 62,8% |

A világítás rossz beállítása a képfelvételek során árnyékok kialakulásához vezetett, ami a hibás kontúrfelvételek mértékét az élkereső algoritmus alkalmazása ellenére is jelentősen megnövelte. A 4.8. táblázat adatai alapján kijelenthető, hogy a világítás beállítására fokozott figyelmet kell fordítani, a mérési pontosságot kedvezőtlenül befolyásoló hatások elkerülése érdekében (4.1. ábra). Erősen deformált termékek esetén természetesen jól beállított világítás mellett is kialakulhatnak árnyékok, azonban ez az élkereső algoritmus működése során kevés esetben okozott problémát.

4.3. A szegmentációs eljárások összehasonlítása

Több módszer is használható a kidolgozott szegmentációs módszerek összehasonlítására. Mivel sok, egymástól többé-kevésbé függő paraméter figyelembevétele szükséges, emiatt olyan összehasonlító módszert kell alkalmazni, ami egy jellemző mérőszámot ad az algoritmusokra. Gyakran alkalmazott eljárás, hogy a vizsgálandó paramétereket a kérdéses cél szempontjából



4.1. ábra A világítás hibás beállítása miatt kialakuló árnyékhatások hibás kontúrfelvételt okoznak

való fontosságuk figyelembevételével súlyozzák (Malik, 2015). Ennek a követelménynek a figyelembevételével a megfelelően választott paraméterek mellett lehetővé válik az egyes, közvetlenül nem vizsgálható módszerek összehasonlítása is. A tulajdonságokat 1-től 5-ig pontozom, amelyet a paraméter fontosságától függő számmal szorzok meg (súlyozom). Ekkor az optimális algoritmus a legnagyobb pontszámot elért megoldás lesz.

Az elv felhasználásával kiszámított pontszámokat a 4.9. táblázat tartalmazza. Az összpontszám alapján az első helyezett megoldás az általam kidolgozott élkereső, a második az adaptív küszöbölésű NICK szegmentáció, az utolsó pedig a globális rögzített küszöbszintű szegmentáció. Az eredmény alapján kijelenthető, hogy az adott környezetre a kidolgozott élkereső eljárás alkalmazása a legmegfelelőbb.

4.9. táblázat A szegmentációs eljárások összehasonlítása

| Vizsgált paraméter | Szorzó (súlyozás) | Egyszintű szintrevágás | | NICK szegmentáció | | Élkereső | |
|---|----------------------|---------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------|-----------------------|
| | | Pontszám | Súlyozott pontszám | Pontszám | Súlyozott pontszám | Pontszám | Súlyozott pontszám |
| Egyszerűség ¹ | 2 | 5 | 10 | 2 | 4 | 3 | 6 |
| Pontosság ² | 5 | 2 | 10 | 3 | 15 | 5 | 25 |
| Érzékenység a kontraszthibákra | 4 | 1 | 4 | 2 | 8 | 4 | 28 |
| Érzékenység az árnyékokra | 4 | 1 | 4 | 3 | 12 | 4 | 16 |
| Érzékenység a szalag szennyezettségére | 4 | 1 | 4 | 3 | 12 | 5 | 20 |
| Az algoritmus sebessége ³ | 5 | 5 | 25 | 3 | 15 | 3 | 15 |
| Összpontszám | | | 57 | | 66 | | 110 |

¹ Az eljárás beágyazott körülmények közötti implementációjának egyszerűségére utaló arányszám.

² Az átlagos kontúrfelvételi hibák számához tartozó arányszám.

³ Egy időegység alatt feldolgozható paprikák számához tartozó arányszám.

Ezen felül a 4.9. táblázat adatainak vizsgálata alapján az a következtetés is megtehető, hogy az eredményül kapott összpontszámok egymáshoz viszonyított eltérései teljes mértékben alátámasztják a mérések során tapasztalt egyedi jellemzőket és tulajdonságokat (4.4., 4.5. és 4.6. táblázat).

4.4. A paprika geometriai jellemzőinek meghatározása

Az előző fejezetben tárgyaltak szerint az egyöntetűség követelményének is megfelelő osztályba sorolás két fő geometriai paramétere az eredő V vállátmérő és az eredő H hosszúság. Fontos megjegyezni, hogy a hosszúságon minden esetben a szárral csökkentett értéket, a vállátmérőn pedig a maximális átmérőt értem.

A kidolgozott szegmentációs folyamat jellemzője, hogy a kontúrhatárok megállapítása után, közvetlenül csak szárral együtt mért hosszúság áll rendelkezésre. Ahhoz, hogy a paprikatermés tényleges hosszúságát megkapjuk, a számítási folyamat során meg kell határozni a kocsány helyét, ami keresésére céljelzést dolgoztam ki.

A szárkereső eljárás minősítését két lépésben végeztem el. Először a deformitás az algoritmus pontosságára gyakorolt hatásait vizsgáltam, később pedig a termésre rásimuló és visszahajló szár érzékelésének sikerességét. A 4.10. táblázat (8.7. ábra) tartalmazza a különböző deformitással rendelkező termések esetén kocsány helyét kijelölő pontok keresésére kidolgozott eljárás vizsgálati adatait. A mérési adatokból az a következtetés vonható le, hogy az algoritmus üzemének hibahatára az eredmények alapján, a deformáció jellegétől függetlenül mindenhol alacsony szinten, megkívánt 5%-os szint alatt maradt.

4.10. táblázat A paprika kocsányát kijelölő pontok keresésének sikeressége a termésre nem rásimult szár esetén

| Megnevezés | Minősítés | Esetek száma [db] | Esetek összesen [db] | Esetek aránya [%] |
|--------------------------|-----------|-------------------|----------------------|-------------------|
| Egyenes termés | hibátlan | 213 | 216 | 98,6% |
| | hibás | 3 | | 1,4% |
| Hajlott termés | hibátlan | 75 | 77 | 97,4% |
| | hibás | 2 | | 2,6% |
| Közepesen hajlott termés | hibátlan | 86 | 88 | 97,7% |
| | hibás | 2 | | 2,3% |
| Erősen hajlott termés | hibátlan | 52 | 54 | 96,3% |
| | hibás | 2 | | 3,7% |
| Gyűrődött hegyű termés | hibátlan | 29 | 30 | 96,7% |
| | hibás | 1 | | 3,3% |
| Visszahajlott termés | hibátlan | 69 | 71 | 97,2% |
| | hibás | 2 | | 2,8% |

A termésre visszahajló szár érzékelése az egyik legbizonytalanabb feladat, ugyanis a képérzékelés és szegmentáció jellegzetességei miatt nem mindig különül el egymástól a paprika és szár kontúrja. A 4.11. táblázatban (8.8. ábra) szereplő vizsgálati adatok alapján azonban megállapítható, ha a szár a másik kameranézetben nem látszik visszahajlónak, akkor ez az állapot érzékelhető, a hosszsmérésnél figyelembe vehető, és az algoritmus működése egyenes paprikánál biztosított. Más a helyzet a deformált termések esetén, ott ugyanis az egyenes, elálló szár érzékelése is kismértékben romlott, ez főképp az igen torzult termések esetén tapasztalható. Mivel a torzult termések esetén azonban a méret szerinti válogatás nem igény és nem előírás, ezért a durva hosszsmérés is megfelelő.

A szár érzékelésére színes vonal CCD alkalmazásával becsléseim szerint nagyobb biztonsággal is lehetőség lenne, azonban a fejlesztés során, – a korábbi fejezetben is említett eszközhiány miatt

4.11. táblázat A visszahajlott szár meghatározásának sikeressége

| Megnevezés | Minősítés | Esetek száma [db] | Esetek összesen [db] | Esetek aránya [%] |
|--|-----------|-------------------|----------------------|-------------------|
| Szár egyenes, termés egyenes | hibátlan | 40 | 40 | 100% |
| | hibás | 1 | | 0% |
| Szár visszahajlik (egy nézetten), termés egyenes | hibátlan | 32 | 33 | 97% |
| | hibás | 1 | | 3% |
| Szár visszahajlik (két nézetten), termés egyenes | hibátlan | 19 | 25 | 76% |
| | hibás | 6 | | 24% |
| Szár egyenes, termés deformált | hibátlan | 33 | 35 | 94,3% |
| | hibás | 2 | | 5,7% |
| Szár visszahajlik (egy nézetten), termés deformált | hibátlan | 39 | 42 | 92,9% |
| | hibás | 3 | | 7,1% |
| Szár visszahajlik (két nézetten), termés deformált | hibátlan | 14 | 20 | 70% |
| | hibás | 6 | | 30% |

– színes vonal CCD-vel nem tudtam vizsgálatokat végezni. Amennyiben kis tételben lehetőség volna beszerzésükre és a mérőrendszerbe való beillesztésükre, az a szár és a kocsány érzékelésében várhatóan nagyobb pontosságot eredményezne.

A továbbiakban a beágyazott rendszerbe illesztett és parametrizált FAST sarokkereső működését vizsgáltam. A művelet során az algoritmusnak a paprika csúcsát kell kijelölnie.

A 4.12. táblázatból (8.9. ábra) megállapítható, hogy a paprika hegyének (csúcsának) meghatározása egyenes termékek esetén 100%-os megbízhatósággal, a hajlott, közepesen hajlott és gyűrődött termés esetén pedig az 5%-os hibahatárral valósult meg. A nagyobb deformációval rendelkező termékek esetén a sarokpont keresése alacsonyabb megbízhatóság mellett tehető meg. Ez jelentős hibát nem jelent, hiszen ezen termékek esetén elsődlegesen csak a hossz méret adataira van szükség.

4.12. táblázat Az implementált FAST sarokdetektor működésének vizsgálata; A keresendő sajátosság a paprika hegye (csúcsa)

| Megnevezés | Minősítés | Esetek száma [db] | Esetek összesen [db] | Esetek aránya [%] |
|--------------------------|-----------|-------------------|----------------------|-------------------|
| Egyenes termés | hibátlan | 188 | 189 | 100% |
| | hibás | 0 | | 0% |
| Hajlott termés | hibátlan | 78 | 81 | 97,5% |
| | hibás | 2 | | 2,5% |
| Közepesen hajlott termés | hibátlan | 63 | 66 | 95,5% |
| | hibás | 3 | | 4,5% |
| Erősen hajlott termés | hibátlan | 30 | 32 | 93,8% |
| | hibás | 2 | | 6,3% |
| Gyűrődött hegyű termés | hibátlan | 41 | 43 | 95,3% |
| | hibás | 2 | | 4,7% |
| Visszahajlott termés | hibátlan | 57 | 65 | 87,7% |
| | hibás | 8 | | 12,3% |

A geometriai jellemzők kapcsán a gépi úton meghatározott vállátmérő és hossz adatok pontosságának vizsgálatára is sor került, hossz méréskor a pontosság tűrése ± 2 mm, a vállátmérő esetén ± 1 mm volt. Ha a termés géppel mért és a kézi úton ellenőrzött méretei a tűrésmezőn belül voltak, akkor pontos méretmeghatározásról, egyéb esetben pontatlan méretmeghatározásról beszélhetünk. A hossz méretek kézi ellenőrzése tolómérővel, az átmérők meghatározása pedig 0,5 mm-es osztású lyuksablonnal és tolómérővel történt.

4.13. táblázat A gépi úton meghatározott hossz és vállszélesség (vállátmérő) méretek pontossága

| Megnevezés | Minősítés | Esetek száma [db] | Esetek összesen [db] | Esetek aránya [%] |
|------------------------|-----------|-------------------|----------------------|-------------------|
| Kúpos, fehér | pontos | 142 | 142 | 100% |
| | pontatlan | 0 | | 0% |
| Különleges, piros | pontos | 89 | 89 | 100% |
| | pontatlan | 0 | | 0% |
| Különleges, zöld | pontos | 44 | 45 | 97,8% |
| | pontatlan | 1 | | 2,2% |
| Különleges, sárga/zöld | pontos | 35 | 36 | 97,2% |
| | pontatlan | 1 | | 2,8% |
| Hegyes erős, zöld | pontos | 71 | 73 | 97,3 % |
| | pontatlan | 2 | | 2,7% |

A gépi úton meghatározott méretek pontossági adatai a 4.13. táblázatban (8.10. ábra) kerültek feltüntetésre. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a fehér és piros termésszínű fajták esetében a pontosság meghatározása 100%-os valószínűséggel, míg a többi fajta esetén, a pontatlanul meghatározott méretek az előírás szerinti 5%-os hibahatár alatt maradtak, így kijelenthető, hogy elfogadható a fő geometriai méretek pontosságának meghatározása.

4.5. Alakleírás vizsgálata, görbültség meghatározása

A deformált termésekre vonatkozó vizsgálati eredmények a 4.14 és a 4.15. táblázatban (8.11. és 8.12. ábra) láthatók. A deformációra vonatkozó vizsgálatokat két részre bontottam, először azt vizsgáltam, hogy az algoritmus milyen találati aránnyal (pontossággal) tudja a különböző alak sajátossággal rendelkező csoportok esetén besorolni a deformációnak megfelelő kategóriába a terméseket. A 4.14. táblázatban található mérési adatokból megállapítható, hogy a besorolás pontosságára vonatkozó hiba egyik esetben sem érte az 5%-os hibahatárt.

A második lépésben a deformált termések azonosítását vizsgáltam különböző termésszínű paprikák esetén (4.15. táblázat). Ennek során azt vizsgáltam, hogy a deformáció szerinti besorolás sikerességét mennyire befolyásolja a termés színe. A legnagyobb bizonytalanság ebben az esetben a zöld színű terméseknél volt, de itt is kijelenthető, hogy a hibás azonosítások száma az 5%-ot nem haladta meg.

Megállapítható az is, hogy a görbült egyedek azonosítása nagy találati aránnyal működik, a hibás felvételek elsősorban a deformált alak következtében összeakadt szárú termések miatt keletkeztek.

4.6. A kézi és gépi válogatás vizsgálata

A kézi és gépi válogatást összehasonlító vizsgálatkor kijelöltem az 50-59 mm közötti osztályt, a kézi osztályzási feladat az volt, hogy csak az adott osztályba tartozó paprikák kerüljenek kiválogatásra. Az osztályba sorolás alapja csak a vállátmérő volt kézi és gépi válogatás esetén is. A kézzel kiválogatott paprikát mérés után egyedi számjelzéssel láttam el, majd felöntésre került a válogatógépre, az ötszöri ismétlés mellett. A hossz méretek kézi ellenőrzése tolómérővel, az átmérők meghatározása pedig lyuksablonnal történt.

4.14. táblázat A termékek mért görbülség szerinti automatikus besorolásának vizsgálata

| Megnevezés | Minősítés | Esetek száma [db] | Esetek összesen [db] | Esetek aránya [%] |
|--------------------------|-----------|-------------------|----------------------|-------------------|
| Egyenes termés | hibátlan | 189 | 189 | 100% |
| | hibás | 0 | | 0% |
| Hajlott termés | hibátlan | 79 | 81 | 97,5% |
| | hibás | 2 | | 2,5% |
| Közepesen hajlott termés | hibátlan | 64 | 66 | 97% |
| | hibás | 2 | | 3% |
| Erősen hajlott termés | hibátlan | 31 | 32 | 96,9% |
| | hibás | 1 | | 3,1% |
| Gyűrődött hegyű termés | hibátlan | 42 | 43 | 97,7% |
| | hibás | 1 | | 2,3% |
| Visszahajlott termés | hibátlan | 62 | 65 | 95,4% |
| | hibás | 3 | | 4,6% |

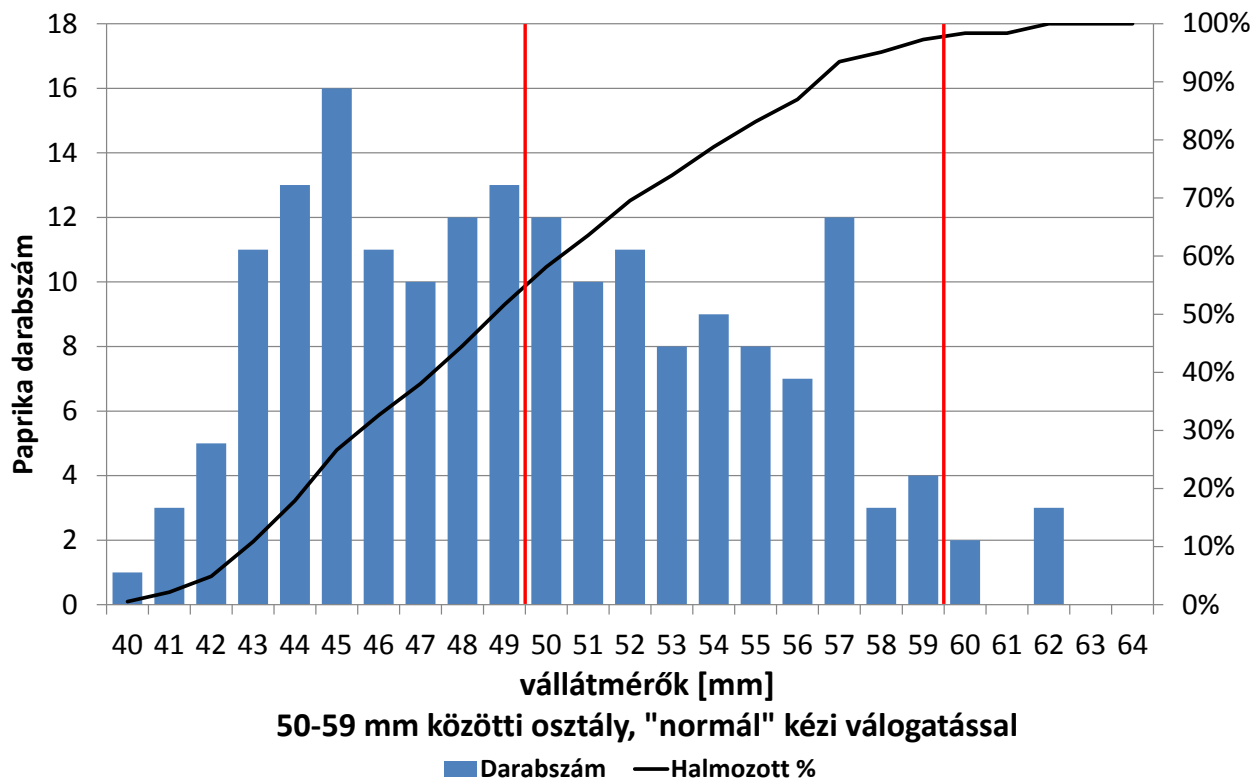
4.15. táblázat A termés színének hatása a deformáció mértékének meghatározására

| Megnevezés | Minősítés | Esetek száma [db] | Esetek összesen [db] | Esetek aránya [%] |
|------------------------|-----------|-------------------|----------------------|-------------------|
| Kúpos, fehér | hibátlan | 121 | 123 | 98,4% |
| | hibás | 2 | | 1,6% |
| Különleges, piros | hibátlan | 116 | 118 | 98,3% |
| | hibás | 2 | | 1,7% |
| Különleges, zöld | hibátlan | 109 | 114 | 95,6% |
| | hibás | 5 | | 4,4% |
| Különleges, sárga/zöld | hibátlan | 37 | 39 | 97,4% |
| | hibás | 1 | | 2,6% |
| Hegyes erős, zöld | hibátlan | 98 | 103 | 95,8% |
| | hibás | 5 | | 4,9% |

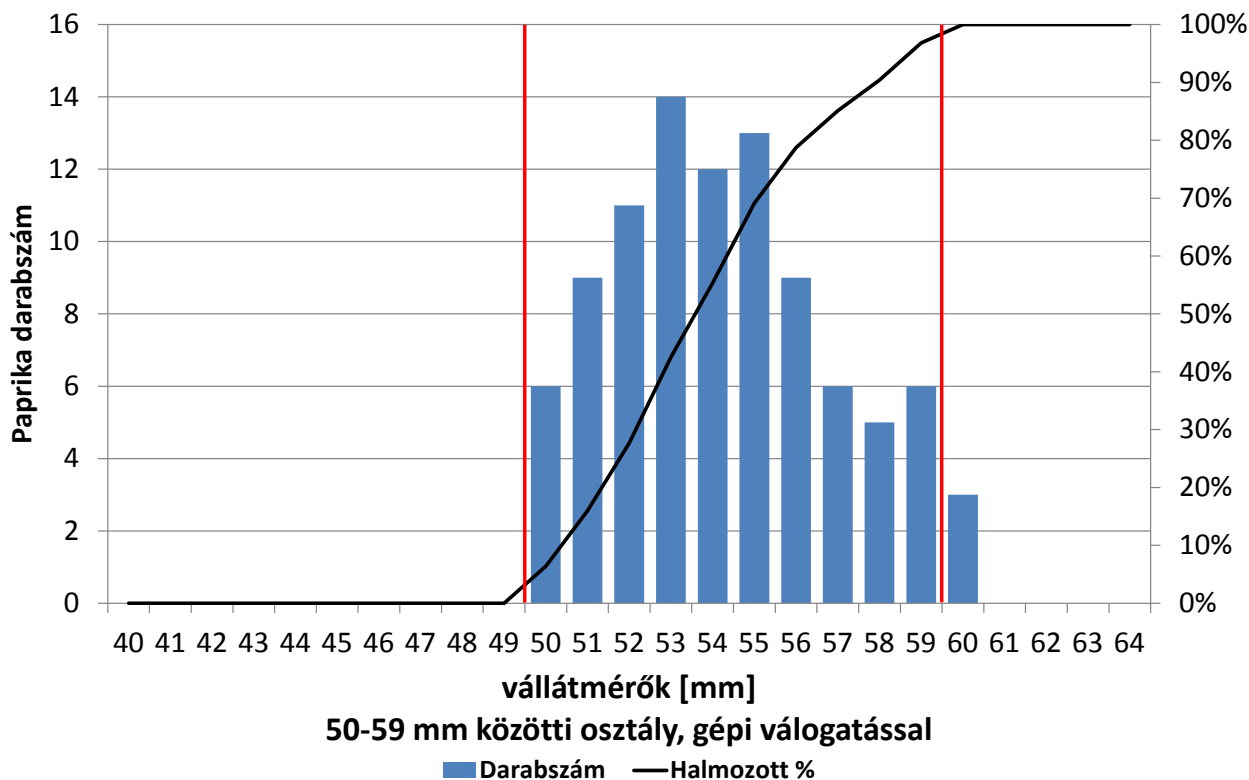
A kézi osztályozás leválogatással történt, tehát csak a kívánt méretosztályba tartozó egyedeket kellett kézbe venni. A kísérletet két mintán: „normál” (*N* minta) és „gondos” (*G* minta) válogatási körülmények mellett végeztem. A „normál” körülmények melletti osztályozásnál a személyzet nem tudott arról, hogy a munkájukat később mérésel is minősítjük, „gondos” esetén pedig ezt a tényt a munka kezdete előtt tudattam velük. A kapcsolódó mérési eredmények a 4.2-4.5. ábrákon és a 4.16. táblázatban tekinthetők meg.

A kézi válogatás adataiból megállapítható, hogy „normál” válogatási körülmények (4.2. ábra) mellett a válogatási fegyelem alacsonyabb volt, mint a nagyobb odafigyeléssel végzett „gondos” esetben (4.4. ábra). A diagramokból az is megállapítható, hogy a kézi válogatás során a paprikákat felfele minősítették, vagyis túlzóan jónak ítélték a válogatást végzők.

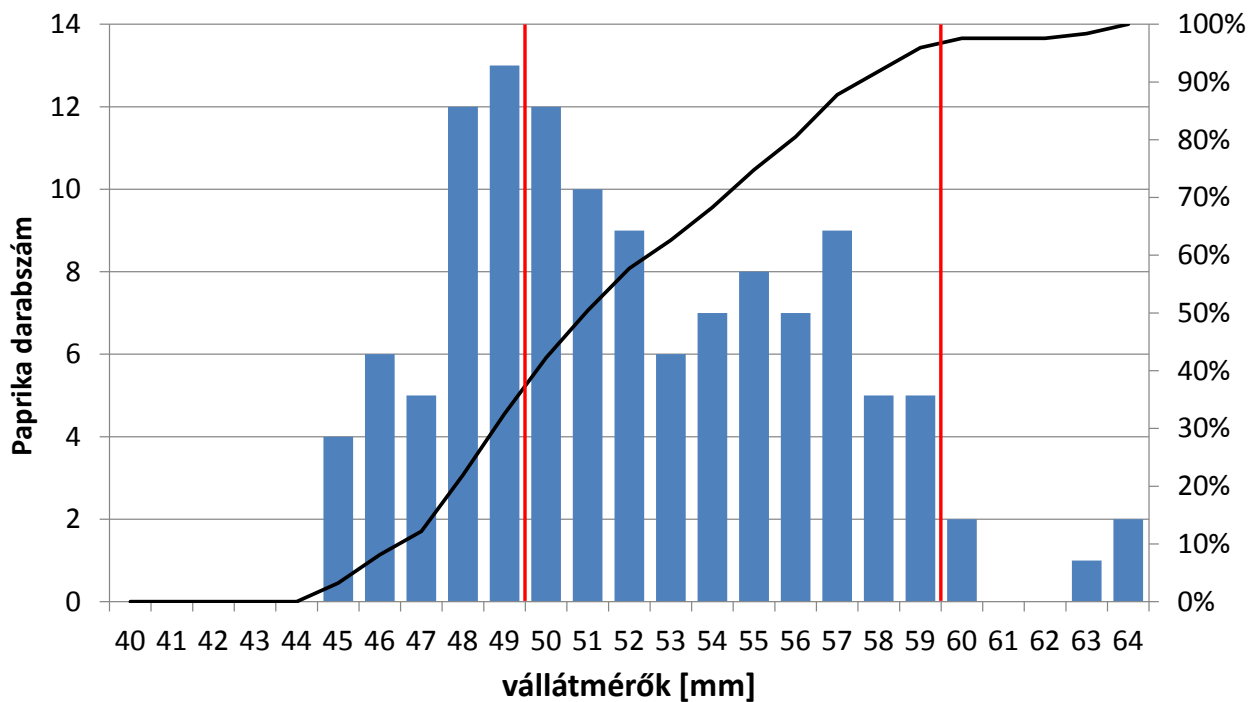
A kapott hisztogramok és azok eloszlásának vizsgálata a kézi és gépi osztályozás összehasonlítására vonatkozóan csak az adott kísérleti feltételekre, környezetre ad eredményt, mivel a darabszámokból elsődlegesen a termékek méret szerinti eloszlására lehet következtetni, így csak részlegesen kapunk információkat a kidolgozott eljárás és a gép működését illetően.



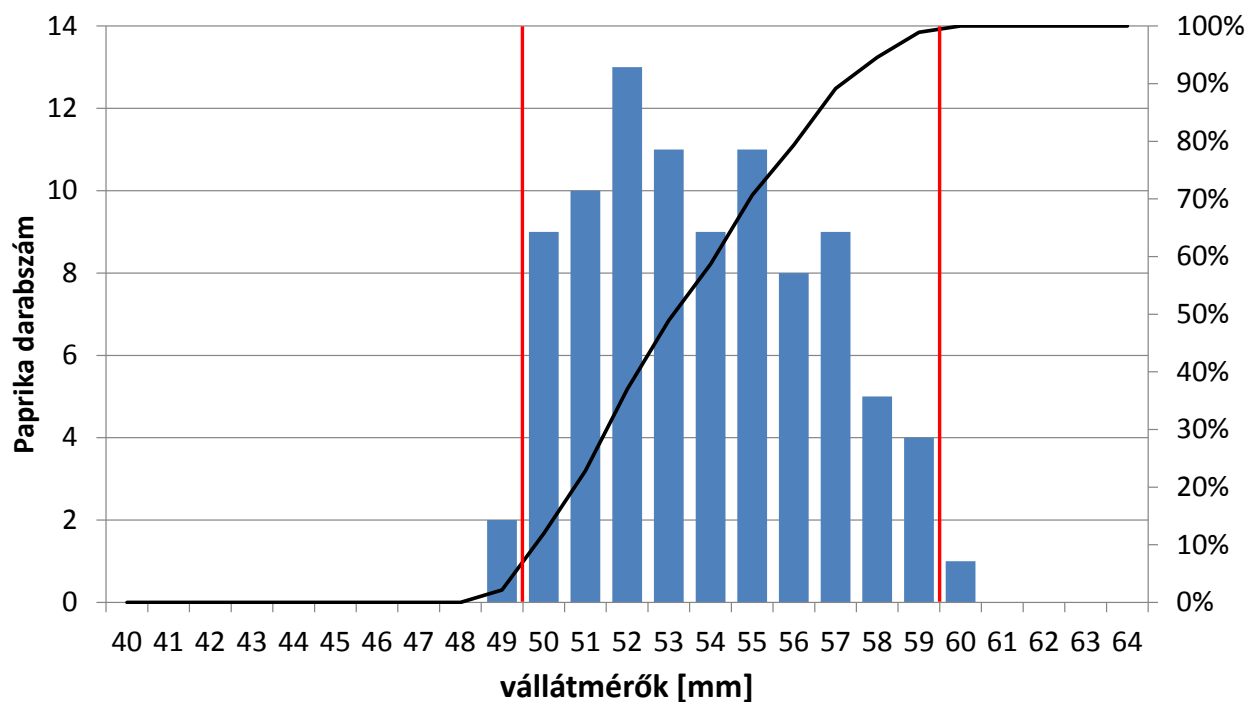
4.2. ábra A „normál” kézi válogatás hisztogramjai (N minta)
(a két függőleges piros vonal a méretosztály határát jelöli)



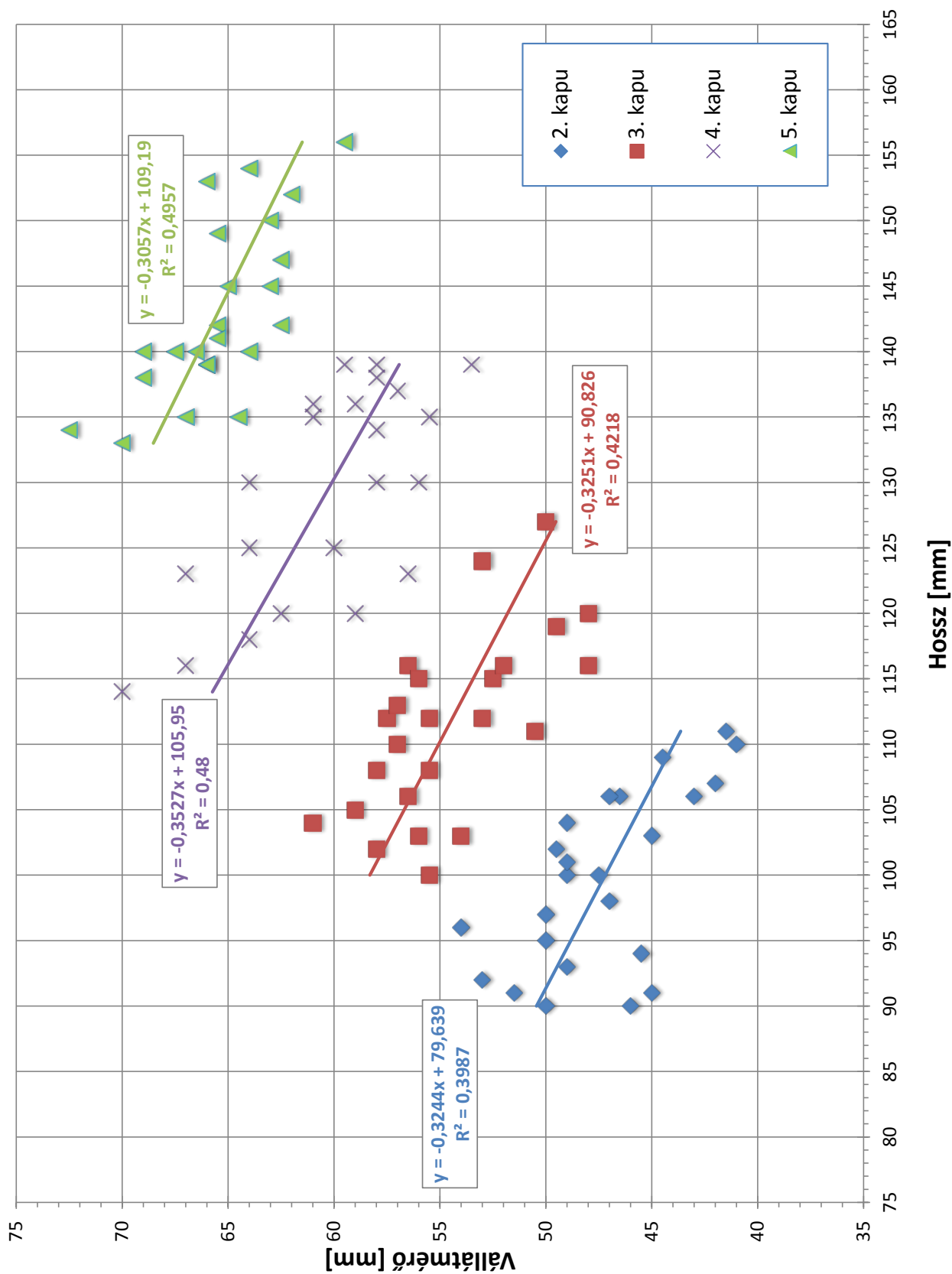
4.3. ábra A „normál” minta (N minta) gépi válogatásának hisztogramjai
(a két függőleges piros vonal a méretosztály határát jelöli)



4.4. ábra A „gondos” kézi válogatás hisztogramjai (G minta)
(a két függőleges piros vonal a méretosztály határát jelöli)



4.5. ábra A „gondos” minta (G minta) gépi válogatásának hisztogramjai
(a két függőleges piros vonal a méretosztály határát jelöli)



4.6. ábra A géppel válogatott osztályok elkülönülése

Emiatt fontos kiemelni, hogy a hisztogramban ábrázolt gyakoriság a válogatás megfelelőségére csak közvetve ad információt, hiszen az adott osztályba kerülő egyedek darabszámát a termékek geometriai tulajdonságai, valamint azok eloszlása is befolyásolja, így a kézi és a gépi osztályozás összehasonlítása, kiértékelése esetén elsődlegesen csak a hisztogram terjedelme alapján megállapítható jellemzők vehetők figyelembe.

4.16. táblázat A kézi és gépi válogatás számszerű összehasonlítása, 50-59 mm közötti vállátmérő

| Osztályozási mód | Min. [mm] | Max. [mm] | Terj. [mm] | Átlag [mm] | Szórás [mm] | Össz. [db] | Hibás [db] | Hiba mértéke | |
|------------------|--------------|--------------|---------------|---------------|----------------|---------------|---------------|--------------|-------|
| | | | | | | | | [mm] | [%] |
| Kézi, N minta | 40 | 62 | 20 | 49,7 | 5,13 | 184 | 100 | -10; +3 | 54,3% |
| Kézi, G minta | 45 | 64 | 19 | 50,6 | 4,32 | 123 | 45 | -5; +5 | 36,5% |
| Gépi, N minta | 50 | 60 | 10 | 54,3 | 2,67 | 94 | 3 | -0; +1 | 3,2% |
| Gépi, G minta | 49 | 60 | 11 | 53,9 | 2,72 | 92 | 3 | -1; +1 | 3,3% |

A 4.2-4.5. ábrák alapján készült 4.16. táblázat adatai alapján kijelenthető, hogy a gépi osztályozás hibája mindkét esetben 3% körül alakult, ami lényegesen alacsonyabb a kézi válogatás „normál” körülmények közötti 54%-os, valamint a „gondos” osztályzás 37%-os hibájához képest.

A gépi osztályozás további jellemzése érdekében egy adott válogatási program esetén koordináta rendszerben ábrázoltam paprikák hossz, valamint vállszélesség (vállátmérő) adatait, majd a kapott pontfelhő alapján ellenőriztem a válogatási osztályok elkülönülését (4.6. ábra). Azt, hogy az adott paprika melyik osztályozási kategóriába tartozik, a jelölő alakjával és színével jeleztem.

Firtha (2008) szerint a mezőgazdasági termékek osztályozásakor a kategóriák megfelelő elkülönülésének vizsgálatához, a koordináta rendszerben ábrázolt pontfelhőnek annyit kell teljesítenie, hogy statisztikai vizsgálat során, az N paraméter N -dimenziós térben, az egyes osztályok pontfelhői minél jobban elkülönüljenek.

A kísérlet alatt lényeges peremfeltétel volt, hogy a vizsgálat szempontjából kedvezőtlen módon, a nagyobb méretekhez tartozó méretosztályú paprikákból a mérés idején nem állt rendelkezésre nagyobb mennyiség, így a kisebb méretosztályokhoz tartozó darabszámot is ennek megfelelően kellett meghatározni. Az ábrázolt osztályokban így külön-külön 20-25 db paprika volt.

A kapott pontfelhők alapján megállapítható, hogy a géppel válogatott osztályok mindegyike elkülönül a másiktól. A pontfelhőre egyenes is illeszthető, az alacsonyabb osztályok esetén az R^2 értéke 0,4 körül, a felsőbb osztályoknál pedig 0,5 körül alakult. Ha az illesztett egyenest az adott kategóriában található legnagyobb vagy legalacsonyabb y koordinátaához függőlegesen eltoljuk, akkor a méretosztály határait is iránymutatást kaphatunk.

4.7. A megvalósult kísérleti rendszer vizsgálata

A megvalósult rendszerben mindenhol nagy szerepet kapott az algoritmusok sebessége. Ennek elsődleges oka az volt, hogy a paprikageometria méréséhez és meghatározásához rendelkezésre álló idő nagyon kevés. Az algoritmus globális sebességének jellemzésére kiválóan alkalmas a szállítószalag sebességének fokozása. Ha a különböző szalagsebességen megvizsgálom a rendszer kimeneteként megjelenő paramétereket, így következtetni lehet a megfelelő működésre, valamint ezzel egy úttal igazolható az is, hogy a számítást végző részegységek mindegyike a rendelkezésre álló időkereten belül befejezi a számítási műveleteket.

A vizsgálat során a szállítószalag sebességét 0,8 m/s-tól kezdve 0,2 m/s-os lépésekben növeltem egészen 2,4 m/s-ig. Minden egyes sebességnövelés után ugyanazok a paprikák kerültek újra és újra felöntésre. A vizsgálat során kézi úton ellenőrzésre kerültek a kontúrfelvételek, és méréssel az átmérő, a hosszúság. A görbültségi adatok helyességének ellenőrzése szintén kézi úton történt. A 4.17. táblázat (8.13. ábra) adatai alapján levonható az a következtetés, hogy a rendszer 1,8 m/s sebességig a jellemző paramétereket megfelelően tudta meghatározni, majd a sebesség további

4.17. táblázat A paprikajellemzők meghatározásának sikeressége növekvő szalagsebesség mellett

| Szalagsebesség $\left[\frac{m}{s}\right]$ | Minősítés | Esetek száma [db] | Esetek összesen [db] | Esetek aránya [%] |
|---|-----------|-------------------|----------------------|-------------------|
| 0,8 | hibátlan | 48 | 48 | 100% |
| | hibás | 0 | | 0% |
| 1,0 | hibátlan | 48 | 48 | 100% |
| | hibás | 0 | | 0% |
| 1,2 | hibátlan | 48 | 48 | 100% |
| | hibás | 0 | | 0% |
| 1,4 | hibátlan | 48 | 48 | 100% |
| | hibás | 0 | | 0% |
| 1,6 | hibátlan | 48 | 48 | 100% |
| | hibás | 0 | | 0% |
| 1,8 | hibátlan | 48 | 48 | 100% |
| | hibás | 0 | | 0% |
| 2,0 | hibátlan | 0 | 48 | 0% |
| | hibás | 48 | | 100% |
| 2,2 | hibátlan | 0 | 48 | 0% |
| | hibás | 48 | | 100% |
| 2,4 | hibátlan | 0 | 48 | 0% |
| | hibás | 48 | | 100% |

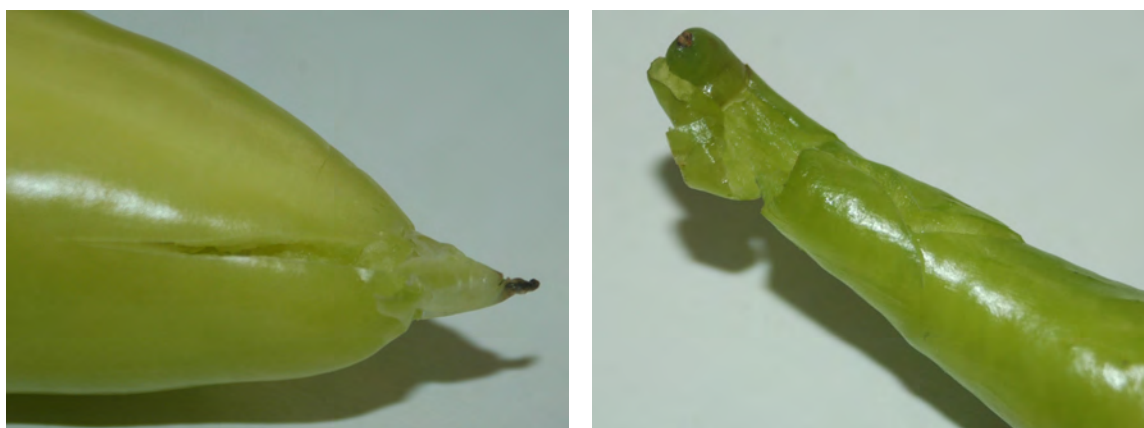
növelésével hirtelen nem érkezett értékelhető adat a kameráról. A jelenség a CCD integrációs idejével függ össze. Ha az ütemadó által előállított jel periódusideje kisebb, mint a CCD integrációs ideje, akkor a CCD fénygyűjtési szakasza újratekercsődik, ennek eredményeképpen a mérési folyamat leáll.

A kísérletek során azt tapasztaltam, hogy a kamerarendszer maximális feldolgozási határán, az 1,8 m/s szállítószalag sebességen történő üzem mellett a paprikák sérülései számottevően megnövekedtek. Ez arra késztetett, hogy meghatározzam a rendszer felépítéséből adódó, a termékek sérülései alapján alkalmazható legnagyobb szállítószalag sebességet.

A vizsgálatot úgy végeztem el, hogy egy adott paprikamennyiséget különböző sebességen normál válogatási üzem mellett átengedtem a mérőrendszeren. A vizsgálat során kúpos alakkörbe tartozó, fehér termésszínű fajták álltak rendelkezésre. A legnagyobb alkalmazott sebesség a kamerarendszer feldolgozóképeségének határát jelentő 1,8 m/s volt. A folyamat során a megsérült termékek nem kerültek újra felöntésre (4.18. táblázat és 8.14. ábra).



4.7. ábra A paprika hegyének sérülése jelentős mértékben gyorsítja a termés romlási folyamatát, valamint lerövidíti a tárolhatóság idejét



4.8. ábra Sérülések a paprika terméseken

4.18. táblázat A sérült termékek darabszáma növekvő szállítoszalag sebességek mellett

| Szalagsebesség $\left[\frac{m}{s}\right]$ | Minősítés | Esetek száma [db] | Esetek összesen [db] | Esetek aránya [%] |
|---|-----------|-------------------|----------------------|-------------------|
| 0,8 | hibátlan | 186 | 186 | 100% |
| | sérült | 0 | | 0% |
| 0,9 | hibátlan | 186 | 186 | 100% |
| | sérült | 0 | | 0% |
| 1,0 | hibátlan | 186 | 186 | 100% |
| | sérült | 0 | | 0% |
| 1,1 | hibátlan | 186 | 186 | 100% |
| | sérült | 0 | | 0% |
| 1,2 | hibátlan | 186 | 186 | 100% |
| | sérült | 0 | | 0% |
| 1,3 | hibátlan | 184 | 186 | 98,9% |
| | sérült | 2 | | 1,1% |
| 1,4 | hibátlan | 177 | 184 | 96,2% |
| | sérült | 7 | | 3,8% |
| 1,5 | hibátlan | 163 | 177 | 92,1% |
| | sérült | 14 | | 7,9% |
| 1,6 | hibátlan | 145 | 163 | 89% |
| | sérült | 18 | | 11% |
| 1,7 | hibátlan | 125 | 145 | 86,2% |
| | sérült | 20 | | 13,8% |
| 1,8 | hibátlan | 106 | 125 | 84,8% |
| | sérült | 19 | | 15,2% |

A kísérlet során megállapítható volt, hogy az eltarthatóságot jelentősen befolyásoló sérülések (4.7. és 4.8. ábra) száma 1,3 m/s sebességtől kezdve növekedett meg jelentős mértékben (a kutatás során nem volt lehetőség arra, hogy további felületeket lássunk el ütközéscsillapító elemekkel, és arra sem, hogy alkalmazott felületi alapanyagokat másra cseréljük).

Ennek során bizonyítást nyert, hogy a tervezés szerinti normál, 1 m/s szalagsebesség mellett a termékek jelentős mértékben nem sérültek, így ebből a szempontból a konstrukció megfelelőnek

tekinthető. A vizsgálat fontos megállapítása volt az is, hogy a legtöbb sérülést a kézi előválogató szalagról a kamerák alatti szalagra történő átadás, illetve a sűrített levegős kiválogatás okozta.

4.8. A kidolgozott módszer felhasználhatósága más termények osztályozására

A kidolgozott szegmentációs eljárás és osztályozási módszer kedvező tapasztalatai alapján előkísérleteket végeztem más, ütdésekre kevésbé érzékeny, hosszúkas zöldségfélék osztályozására.

A vizsgálatok során a már kidolgozott eljárások felhasználhatóságát ellenőriztem burgonya, kígyóuborka, konzervuborka, sárgarépa (levélzet nélkül) valamint cukkini termésekre. A kísérletek során sem az anyagmozgató, sem a termésválasztó rendszer átalakítására nem volt lehetőség, így a túlságosan apró, valamint a túl nagy méretű termékek mérése, valamint vizsgálata nem volt megvalósítható.

A paprika jellemzőit vizsgáló algoritmus részben átalakításra került, ugyanis a kocsány és a paprikageometria egyéb jellegzetességeit kereső algoritmusok más termésekre nem használhatók. Ennek eredményeképp a mérés alapja az átmérő, a hossz és a görbültség volt.

A vizsgálatok során törekedtem a gép mért geometriákra vonatkozó határparamétereinek betartására is. A mérési eredmények alapján megállapítható, hogy az élkereső eljárás más termékek kontúr-mérését is elfogadhatóan alacsony hiba mellett képes elvégezni, de az eredendően a paprikára kidolgozott eljárás miatt nemcsak szoftveres, hanem konstrukciós módosításokra szükség van. Mivel a termékválasztási rendszer átalakítás nélkül nem volt alkalmas a termékek szelektálására, így az osztályba sorolás valós körülmények melletti vizsgálatát nem tudtam elvégezni.

4.19. táblázat A hosszúkas alakkörbe tartozó termények vizsgálata a kiterjesztett és átparaméterezett algoritmusokkal; a vizsgálat során a kontúrfelvétel sikerességének ellenőrzésére és a két geometria (szélesség, hosszúság) és a görbültség mérésére került sor

| Megnevezés | Minősítés | Esetek száma [db] | Esetek összesen [db] | Esetek aránya [%] |
|-----------------------------|-----------|-------------------|----------------------|-------------------|
| burgonya | hibátlan | 392 | 409 | 95,8% |
| | hibás | 17 | | 4,2% |
| kígyóuborka | hibátlan | 32 | 33 | 97,0% |
| | hibás | 1 | | 3,0% |
| konzervuborka | hibátlan | 89 | 91 | 97,8% |
| | hibás | 2 | | 2,2% |
| sárgarépa (levélzet nélkül) | hibátlan | 30 | 30 | 100% |
| | hibás | 0 | | 0% |
| cukkini | hibátlan | 10 | 10 | 100% |
| | hibás | 0 | | 0% |

Az univerzális működésre vonatkozó mérési eredmények a 4.19. táblázatban (8.15. ábra) láthatóak. A kapott adatok alapján kijelenthető, hogy a kidolgozott eljárás minimális módosításával a kapott osztályozási hiba minden esetben az előírt 5% alatt maradt. Az elővizsgálatok alapján megállapítást nyert az is, hogy az eljárás optimalizálásával azonban ez hiba tovább csökkenthető.

Összességében kijelenthető, hogy a kidolgozott eljárások átdolgozás utáni felhasználásával és a műszaki konstrukció átalakításával (vagy új konstrukció tervezésével) a berendezés és a kidolgozott eljárás alkalmassá tehető más zöldségfélék geometriájának felvételére, valamint a mért paraméterek alapján osztályba sorolásukra is. Ezen felül, a kidolgozott algoritmus megfelelő átparaméterezés után alkalmassá tehető a mezőgazdasági termékek jellemzőit meghatározó számítógépes szakértői rendszerekben történő alkalmazásra is.

4.9. Új tudományos eredmények

Az elvégzett kutatómunkám tudományos eredményei témák szerinti csoportosítással az alábbiak szerint foglalható össze:

1. *Szegmentációs módszer kidolgozása a paprikatermés kontúrjának meghatározására*
Újszerű, komplex algoritmust alkottam, amely a képszelet függvény deriváltjának elemzésével jelöli ki a paprika kontúrhatárait, szemben a korábbi eljárásokkal, ahol szintrevágást (komparálás) alkalmaznak. Az általam megalkotott módszerrel, nem optimális üzemi körülmények esetén is drasztikusan, akár 98%-kal lehet csökkenteni a hibás kontúrfelvételek számát. Optimális körülményeknél, tiszta és fényreflektáló felületnél az eljárás hibahatára kisebb mint, 1,5%.
2. *Eljárás a paprikatermés alaki paramétereinek meghatározására*
Módszert alkottam a termények legjellemzőbb geometriai pontjainak, a bázispontoknak a definiálására, amelyek úgy írják le az egyes vizsgált egyedek morfológiai jellemzőit, hogy az osztályba sorolás a nagy sebesség mellett is pontosan elvégezhető legyen. A határérték paramétereket hozzárendeltem az egyes kívánt méretosztályokhoz. Bizonyítottam, hogy az elméleti és gyakorlati szempontokból új és korszerű rendszer magasabb termelékenység esetében is hatékonyabb és pontosabb a kézi módszerekénél.
Az általam leírt elméleti komplex értékelő rendszert validáltam azzal, hogy üzemi válogatásra alkalmas rendszerbe integráltam, amelynek révén megállapítottam a gyakorlatban előforduló válogatási hibákat. A kifejlesztett rendszerben, a hiba a vizsgált helyzetekben az előírásoknak megfelelő és megkívánt 5%-os hibasáv alatt maradt, így a gépi osztályba sorolás 1,0-1,5 mm átlagos vállátmérő szórással valósul meg, szemben a kézi válogatásnál tapasztalt $\pm 5-10$ mm-es szórással.
3. *Arányszám a kúpos és hegyes alakörbe tartozó paprika deformációjának jellemzésére*
Bevezettem egy új, a kúpos és hegyes paprikatermést jellemző morfológiai tényezőt, a görbültségi fokot (g), a termés alakjának bázispontjai és súlypontjai alapján. Ennek során definiáltam a főbb paprikadeformációk jellemző csoportjait. A paprikatermés görbültségének megadásához kidolgozott, dimenzió nélküli arányszám:

$$g = \begin{cases} \left| \frac{\gamma_1}{\gamma_2} \right|, & \text{ha } |\gamma_1| \geq |\gamma_2|; \\ \left| \frac{\gamma_2}{\gamma_1} \right|, & \text{ha } |\gamma_1| < |\gamma_2|. \end{cases}$$

4. *Az alakleíró és élkereső eljárás általánosítása*
Megállapítottam, hogy az elméleti alapon kidolgozott, majd ez alapján elkészített berendezéssel a gyakorlatban is ellenőrzött, a képszeletek elemzésén alapuló alakleíró és élkereső algoritmus általánosítható, és alkalmazható más, ütődésekre mérsékelten érzékeny zöldségek és gyümölcsök osztályozására is (így akár uborka, sárgarépa, spárga, burgonya, zeller, hagyma, stb. válogatása is megvalósítható). A módosított módszerrel a hiba a vizsgált esetekben a 5%-os határ alatt maradt. Az alkalmazáshoz a szoftvert „tárgy specifikusan” az adott fajra, fajtára paraméterezni kell.

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A kutatómunkám során kifejlesztett eljárások segítségével létrehoztam a kúpos és hegyes étkezési paprika gépi osztályozására alkalmas módszert. A létrejött folyamatok és modellek identifikálásához, és az algoritmusok vizsgálatához autonóm beágyazott rendszert dolgoztam ki, ennek köszönhetően a válogatási feladat elvégzése nehéz ipari körülmények és alacsony költségek mellett, magas pontossággal lehetségessé vált.

A kidolgozott módszer lehetővé teszi a különböző termésszínű és alakú paprikák kontúrjának felvételét, a kontúradatokról a szár leválasztását, a paprika jellemző pontjainak meghatározását, a görbültség jellemzését és a fő méretek meghatározását, ezáltal az alak leírását is. A jelenleg általános gyakorlat szerint az étkezési paprika válogatását zömmel kézzel, az emberi szubjektivitást nem kizárva végeznek, így a paprika általában a termelőre és a válogatást végző személyzetre jellemző, sajátos osztályozási méretekkel jelenik meg a piacon. Ez a jelenség miatt a termelők jelentős hátrányt szenvedhetnek a termékük értékesítésénél. A gépi válogatásnak több előnye is van a kézi válogatáshoz képest:

- Magasabb elérhető pontosság és jobb egyöntetűség,
- objektivitás,
- gyorsaság.

A fejlesztés eredményeképp kifejlesztésre került szegmentációs módszer a megfelelő átalakítások elvégzése után, alkalmas lehet más területen való alkalmazásra is. Kijelenthető, hogy az alkalmazási lehetőségek nem feltétlenül szűkülnek le a mezőgazdasági termékek kontúrjának felvételére, így akár olyan ipari környezetben is működhetnek, ahol a dolgozatban tárgyalt kedvezően jelenségek jelen vannak a felvételek készítése során, és a mérést valós időben, alacsony költségek mellett kell megvalósítani.

A méret, az alak és a görbültség meghatározására kidolgozott módszerek más területen való használata korlátozottabb, ugyanis más mezőgazdasági termékek vizsgálata esetén az eljárást mindenképpen specializálni, paraméterezni kell az adott termény tulajdonságai alapján, hiszen teljesen más módszer kell egy hagyma vagy egy uborka geometriájának vagy görbültségének értelmezése során.

A kutatás során a paprikára kidolgozott algoritmus részben parametrizálva lett más, hosszúkás alakkörbe tartozó termékek osztályozására is. Az elvégzett vizsgálatok alapján kijelenthető, hogy a hosszúkás termékek, mint például az uborka, sárgarépa, cukkini, spárga, burgonya, geometriai jellemzői viszonylag kevés módosítás mellett meghatározhatók. A kidolgozott algoritmusok további alkalmazási területe a mezőgazdasági szakértői rendszerekben való felhasználás lehet. Az ilyen rendszerekben a mezőgazdasági termékek vizsgálatakor a termékek fő jellemzői felvételre kerülnek, például különböző fajták tulajdonságainak összehasonlítása érdekében (Firtha, 2008).

A téma továbbvitelének lehetőségei:

- A geometria felvételének pontosítása érdekében a látható fényű megvilágítás helyett vizsgálatokat végezni ultraibolya és infravörös fényforrásokkal. Jelenleg az ilyen körülmények közötti pontos működési jellemzők nem ismertek.
- A jelenlegi monokróm vonal CCD, színes vonal CCD-re való cseréjével egyéb jellemző tulajdonságok mérése is lehetővé válna, ami számtalan előnnyel is járhat. Ennek eredményeképp pontosabb osztályozási módszer jöhetne létre.
- Az anyagmozgató rendszer átalakítását követően, az algoritmus működésének szélesebb körű vizsgálata az algoritmus kiterjesztéséhez.
- Az eljárás módosításával lehetővé tenni számítógépes szakértői rendszerben való alkalmazást és megvalósítani a minősítéshez szükséges, de eddig nem mért paraméterek meghatározását is, akár 3D rekonstrukció mellett.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

ÉTKEZÉSI PAPRIKAFAJTÁK ÚJSZERŰ MINŐSÍTÉSE AUTOMATA KÉPFELDOLGOZÓ RENDSZERREL

Dolgozatom célkitűzése az volt, hogy megoldást adjon a kúpos és hegyes alak körbe tartozó étkezési paprika válogatására, amellyel az étkezési paprika osztályozása alacsony költségek mellett, pontosan, gyorsan, a szabványelírások betartása mellett elvégezhető.

Az automatizált válogatás elméleti alapjainak kidolgozása után eljárást és ipari körülmények között alkalmazható módszert dolgoztam ki az étkezési paprika kontúrjának nagy sebességgel történő felvételére, ami alkalmas az osztályozási feladatok megfelelő sebességgel való megvalósítására. A módszert keresve megállapítottam, hogy a vonal CCD érzékelő alkalmazása alkalmas leginkább a kontúr megfelelő sebességű felvételére.

Ezt követően, a gyűjtött képadatokra építve, az élek elemzésén alapuló, gyors és univerzális szegmentációs algoritmust dolgoztam ki a változó körülmények (szennyezett háttér, egyenetlen megvilágítás, változó termésszín) között is a paprika kontúrhatárainak nagy biztonsággal történő azonosítására. A termés tényleges hosszúságának ismerete az osztályozás szempontjából nagyon fontos, így módszert dolgoztam ki a paprika kocsányának detektálására. A művelet során nagy biztonsággal kerül kijelölésre a szár helyzete és hossza, ami a megfelelő osztályba sorolásához elengedhetetlen. Ezen felül a termés geometriai adatainak gyors felvételére eljárást hoztam létre, ami a képszeletekből kapott adatok alapján az osztályba sorolás legfontosabb paramétereinek pontos meghatározására alkalmas (hossz, vállátmérő, középvonalhossz).

A görbe termékek kiszűrésének érdekében a paprika alakleírására alkalmas eljárást dolgoztam ki, ami néhány paraméter segítségével képes leírni a paprika termésének fontosabb jellemzőit, de megállapítást nyert, hogy a görbültség mértékének leírására egy kiegészítő paraméter is elégséges.

Az eljárások matematikai leírását követően a valós, megépített válogatóberendezés segítségével a szükséges folyamatidentifikáció elvégzésre került. Az identifikációhoz szükséges válogatási folyamat a valós idejű működést lehetővé tevő, korszerű, beágyazott mérő és feldolgozórendszerben lett megvalósítva. A kidolgozott eljárásokat a valós válogatási folyamathoz illesztettem, majd különböző üzemi körülmények között vizsgáltam a pontosságukat és működési jellemzőiket. Az eredmények alapján megállapítást nyert, hogy a mikrovezérlő alapú alakfelismerés járható útnak tűnik a további alkalmazások számára is.

Később összehasonlítottam a kidolgozott gépi és a kézi osztályozás pontosságát, és ellenőriztem a gépi osztályozással besorolt paprikák osztály szerinti elkülönülését. Ezt követően vizsgáltam a kísérleti rendszer működését, ennek során különböző szalagsebességeken ellenőriztem a mért paramétereket. Mivel a szalagsebesség növelésével a paprikák sérülései megnövekedtek, így meghatároztam azt a sebességet, ahol a termékek sérülései jelentősen megnövekedtek.

Az általánosított eljárás felhasználási köre igen széles lehet, hiszen a robusztus és gyors szegmentációs módszerekre nagy igény mutatkozik. A szegmentációs eljárás kapcsán az alkalmazás nem szűkül le a mezőgazdasági termékek területére, így akár olyan ipari környezetben is működhetnek, ahol a dolgozatban tárgyalt kedvezően jelenségek jelen vannak a felvételek készítése során. Az alakleírásra és a görbültségre vonatkozó eljárások általánosíthatósága korlátozottabb, ugyanis mindegyik alakkorre parametrizálni kell a kidolgozott módszereket. Ennek keretében vizsgáltam az algoritmus megfelelőségét és alkalmazhatóságát néhány ütődésre fokozottan nem érzékeny hosszúka zöldségféle esetében.

Az elért eredmények alapján a prototípus rendszer megépítését követően több, nagyjából azonos műszaki tartalommal rendelkező rendszer készült, a rendszerek működési adatainak kiértékelése folyamatosan történik.

7. SUMMARY

AUTOMATIC QUALIFICATION OF THE CULINARY PAPRIKA WITH AN INNOVATIVE IMAGING SYSTEM

The objectives of my thesis was to provide a solution for sorting and classification the conical type white, pointed type sweet, and green hot paprikas, which accurately and quickly can be carried out in compliance with the standards.

After developing a theoretical basis for the automated sorting process and worked used in industrial environments with high speed method for the inclusion of sweet paprika contour, which is capable of achieving an appropriate rate of classification tasks. When searching for the method of sorting, I found that using the linear array CCD sensor is the most suitable process for recording contour.

Then, building on the collected image data analysis algorithm based on the edges, fast and universal segmentation changing circumstances worked out between (dirty background, uneven illumination, different paprika color) to identify the paprika contour with certainty. Knowledge of the actual length of the crop in terms of classification worked very important, so the method for detecting the pepper's stalk. The operation will be safely assigned position and length of the stem, which is the right of class is essential. In addition, the rapid inclusion of the crop geometry process I created, which is an accurate determination based on the received image slices of data suitable for classification of the most important parameters (length, shoulder diameter, the center line length).

In order to filter out the malformed harvests worked out the paprika contour description appropriate procedure, which is 95 % - a significance level, a parameter can describe the main characteristics of the paprika harvest, but it was found to describe the degree of curvature, an additional parameter is sufficient.

After the mathematical description of the procedures to the built sorting machines have been performed the necessary application integration. The selection process required for system identification in real-time operation to do, modern, embedded measurement and processing system is implemented. The procedures established fitted to the actual selection process, and then examined the accuracy and operational characteristics of different operating conditions. Based on these results it was concluded that appear in microcontroller-based pattern recognition is a viable option for additional applications.

Later, I compared to the developed mechanical and manual sorting accuracy and checked the mechanical separation of classification according paprikas are classified class. Then I examined the experimental operation of the system, doing different tape speeds checked the measured parameters. As the belt speed increases, the peppers injuries have increased, so have determined the speed at which the damage to harvests has increased significantly.

The scope of use of the generalized process can be very broad, robust and fast as the demand for high-segmentation methods. In connection with the segmentation process, the application is not narrowed down the field of agricultural crops, up to operate in industrial environments, where the artifacts are present thesis discussed the preparation of the recordings. It should generalization procedures for the shape and curvature described as limited, since the shape of each round parameterised methods are developed. I studied the algorithm for the adequacy of this framework, some knocks are not highly sensitive elongated vegetables.

The designed measuring system and the algorithm very well performed its part during the long-term tests. The prototype system is working continuously at present as well; the evaluation of the data is also continuous.

8. MELLÉKLETEK

M1. Irodalomjegyzék

1. 40/1995 (XI. 16.) számú FM rendelet a Magyar Élelmiszerkönyv kötelező előírásairól.
2. Álló G. et al. (1985): Bevezetés a számítógépes képfeldolgozásba. Budapesti Műszaki Egyetem Mérnöktoábbképző Intézet. 119-170 o.
3. Álló G. et al. (1989): A digitális képfeldolgozás alapproblémái. Budapest: Akadémiai Kiadó. 205-387. o.
4. Álló G. et al. (1993): Bevezetés a számítógépes képfeldolgozásba. Második, átdolgozott kiadás, Budapesti Műszaki Egyetem Mérnöktoábbképző Intézet. 130-190. o.
5. AWETA (2012): Apple line catalogue, AWETA Inc. Nootdorp, p. 3.
6. Az EU tagállamaiban kötelező zöldség-gyümölcs forgalmazási minőségszabványok.
https://www.nebih.gov.hu/szakteruletek/szakteruletek/noveny_talajvedelmi_ig/szakteruletek/nov_termek_ell/zoldseg_gyum_ell/forg_min_szabvany
7. Balázs S. et al. (2004): Zöldségtermesztők kézikönyve. Budapest: Mezőgazda Kiadó. 249-288. o.
8. Baranyai L. (2001): Relationship between visual parameters of seed grains measured with digital image processing. PhD értekezés, Szent István Egyetem, Élelmiszertudományi Doktori Iskola, pp. 16-18.
9. Baranyai L. (2006): Analysis of 3D structure of the surface of seed grains using stereo images. AgEng 2006, Bonn 3-7 September 2006, Paper No. 686.
10. Baranyai L. (2007): Kukorica magvak felületének becslése sztereo képek segítségével. MTA Agrárműszaki Bizottsága, Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás XXXI, Gödöllő, 99-102. o.
11. Beckmann J.W. et al. (1978). Electronic size and color grade for tomatoes. Transaction of ASAE, 21(1), pp. 25-30.
12. Blasco J. et al. (2003): Machine Vision System for Automatic Quality Grading of Fruit, AE Automation and Emerging Technologies, Volume 11. pp. 64-77.
13. Borsa B. et al. (2007): Sárgarépaszelet mikrostruktúrájának geometriai tulajdonságai - MTA Agrárműszaki Bizottsága, Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás XXXI, Gödöllő, 99-102. o.
14. Brosnan T. , Sun D. (2003): Improving quality inspection of food products by computer vision. Journal of Food Engineering Volume 61. pp. 3-16.
15. Clement J. et al. (2013): An active contour computer algorithm for the classification of cucumbers. Computers and Electronics in Agriculture, Volume 92, pp. 75-81.
16. Cooke Corporation, PCO Imaging (2005): Blooming - anti-blooming. Technological information brochure. p. 2.
17. Czúni L., Tanács A. (2011): Képi információ mérése. s.l: Typotex Kiadó. 107-115. o.
http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0008_czunitanacs/Czuni_Tanacs_Kepi_informacio.pdf
18. DélKerTÉSZ (2012): Termékleírás a Szentesi paprika oltalom alatt álló földrajzi jelzés (OFJ) földrajzi árujelző bejegyzése iránti kérelemhez. Szentes, 25 o.
http://elelmiszerlanc.kormany.hu/download/3/96/50000/Szentesi_paprika_termekleiras_final.pdf
19. Európai Közösségek Bizottságának 1221/2008/EK számú rendelete a gyümölcs- és zöldség-ágazatban a végrehajtási szabályok megállapításáról.
20. Európai Közösségek Bizottságának 1455/1999/EK számú rendelete az étkezési paprika forgalmazási előírásának megállapításáról.
21. Európai Közösségek Bizottságának 2147/2002/EK számú rendelete az étkezési paprika forgalmazási előírásának megállapításáról szóló 1455/1999/EK rendelet módosításáról.
22. Európai Közösségek Bizottságának 2706/2000/EK számú rendelete az étkezési paprika forgalmazási előírásának megállapításáról szóló 1455/1999/EK rendelet módosításáról.

23. Európai Közösségek Bizottságának 543/2011/EU számú rendelete a gyümölcs- és zöldség-, valamint a feldolgozottgyümölcs- és feldolgozottzöldség-ágazatra alkalmazandó részletes szabályainak a megállapításáról.
24. Fazekas G., Hajdu A. (2004): Képfeldolgozási módszerek. Debreceni Egyetem, Informatikai Intézet, 3-24. o.
25. Fekete A. et al. (1995): Fruit shape and colour analysis by image processing. 5th International Conference on Image Processing and its Applications. Edinburgh, p. 8.
26. Fekete A. et al. (1997): Fajta-azonosítás számítógépes látórendszerrel. A Kertészeti és Élelmiszeripari Egyetem Közleményei, 200-206. o.
27. Felföldi J. et al. (1994) Számítógépes látórendszer alkalmazása színkiértékelési feladatokra gyümölcsöknél. Élelmiszerfizikai Közlemények 58/2: 37-48. o.
28. Felföldi J. et al. (2005): Gyümölcsök roncsolásmentes minőségbecslése optikai módszerrel. MTA Agrár Műszaki Bizottsága, Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő, 60-64. o.
29. Felföldi J. et al. (2009): Characterisation of morphological properties of apricot stones by image processing. 1st International Workshop on Computer Image Analysis in Agriculture (CIGR 2009). Aug 27-28, 2009, Potsdam, Germany. pp. 162-169.
30. Felföldi J., Firtha F., Győri E. (1994): Colour evaluation of fruit aided by PC based vision system. J. of Food Physics, Vol. LVIII. pp. 67-74.
31. Felföldi J., Lénárd M. (1988): Intelligens élelmiszerfizikai mérőrendszerek összeállításának lehetősége és előnyei. Élelmiszerfizikai Közlemények 52/1: 47-52. o.
32. Feng M. L., Tan Y. P. (2004): Contrast adaptive binarization of low quality document images. IEICE Electron Express, Volume 1, No. 16, pp. 501-506.
33. Firtha F. (2006): Hiperspektrális képfeldolgozó mérési módszer és alkalmazásai. MTA AMB XXX. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozása. Gödöllő: FVM Mezőgazdasági Gépesítési Intézet, 2006. 146-150. o.
34. Firtha F. (2008): Trikrómikus és hiperspektrális képfeldolgozási módszerek élelmiszerek és termények vizsgálatára. Ph.D. értekezés, Budapest: Corvinus Egyetem, Élelmiszertudományi Doktori Iskola. 131 o.
35. Fodor A., Vörösházi Zs. (2011): Beágyazott rendszerek és programozható logikai eszközök. s.l.: Typotex Kiadó. 10-27. o.
36. FruitVeB (2009): A zöldség és gyümölcs ágazat helyzete Magyarországon. Budapest: Magyar Kertészeti Tanács. 28 o.
37. FruitVeB (2011): FruitVeB Zöldség-Gyümölcs Évértékelő Kiadvány. FruitVeB Magyar Zöldség-Gyümölcs Szakmaközi Szervezet. 32 o.
38. Fűrész G. (1996a): CCD alapismeretek I., Meteor, vol. 26. no. 11., 22-25. o.
39. Fűrész G. (1996b): CCD alapismeretek II., Meteor, vol. 26. no. 12., 22-25. o.
40. Gall H. (1998): A ring sensor system using a modified polar coordinate system to describe the shape of irregular objects. Measurement Science and Technology Volume 8, Issue 11, pp. 1228-1235.
41. Gillay Z., Borsa B. (2007b): Paprika felszínének becslése digitális képek felhasználásával - MTA Agrárműszaki Bizottsága, Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás XXXI, Gödöllő, 70-74. o.
42. Gillay Z., Fenyvesi L. (2007a): 3D reconstruction and calculation of surface area and volume of bell pepper. Progress in Agricultural Engineering Sciences, 3, pp. 89-113.
43. Gonzalez R. C., Woods R. E. (2002): Digital Image Processing, Thresholding. Pearson Education, London. 595-611. p.
44. GREEFA (2011): CombiSort system product brochure, GREEFA Inc. Tricht, p. 4.
45. GREEFA (2012): A3 sorting machine product brochure, GREEFA Inc. Tricht, p. 2.
46. Gyaraky Z. (szerk) (1977): A zöldség- és gyümölcsfeldolgozás előkészítő műveletei. Budapest: Mezőgazdasági Könyvkiadó, 31-47 o.

47. Harris C., and Stephens M. J. (1988): A Combined Corner and Edge Detector. Proceedings of the 4th Alvey Vision Conference. University of Manchester, Aug 31-Sep 2 1988, pp. 147–152.
48. Heinemann P. H. et al. (1996): An automated inspection station for machine-vision grading of potatoes. *Machine vision and Application*, vol. 9, pp. 14-19.
49. Herman G. T., Carvalho B. M. (2001): Multiseeded segmentation using fuzzy connectedness, *Pattern Analysis and Machine Intelligence*, IEEE Transactions. Volume 23, pp. 460–474.
50. HORTIMAT (2012a): <http://www.hortimat.com/en/assortment/vegetable/grading-machines/weight-grading-machines/12206-tomato-sorteremachine>
51. HORTIMAT (2012b): <http://www.hortimat.com/en/assortment/vegetable/grading-machines/weight-and-size-grading-machines/12062-grading-machine>
52. HORTIMAT (2012c): <http://www.hortimat.com/en/assortment/vegetable/grading-machines/color-and-weight-grading-machines/10076-tomato-grading-machine>
53. Ignát T. et al. (2010): Bell Pepper Maturity Determination by Ultrasonic Techniques Progress in agricultural engineering sciences, Volume 6, pp. 17-34.
54. Judák E. (1994): Dinamikus hatásokból eredő hibák elemzése a kukorica szárításnál. Kandidátusi értekezés. GATE, Gödöllő. 32-44. o.
55. Kató Z. (2006): Digitális képek szegmentálása. Oktatási segédlet. Szegedi Tudományegyetem, Informatikai Tanszékcsoport. 5 o.
http://www.inf.u-szeged.hu/kato/teaching/segmentation/01_segmentation.pdf
56. Khurshid K. et al. (2009): Comparison of Niblack inspired binarization methods for ancient documents. Proc. SPIE 7247, Document Recognition and Retrieval XVI. San Jose, CA. p. 9.
57. Kleven S. (2004): Use of computed radiology in the food industry. *Materials Evaluation*, Volume 62, pp. 580-581.
58. Kondo N. (2010): Automation on fruit and vegetable grading system and food traceability. *Trends in Food Science & Technology*, Volume 21, Issue 3, pp. 145-152.
59. Kónya L. (2003): PIC mikrovezérlők alkalmazástechnikája. Budapest: ChipCAD Kft. 46-53. o.
60. Kónya L., Kopják J. (2009): PIC Mikrovezérlők alkalmazástechnikája, PIC programozás C nyelven. Budapest: ChipCAD Kft. 20-23. o.
61. Kovács A., Szirányi T. (2012): Harris function based active contour external force for image segmentation. *Pattern Recognition Letters* Volume 33, Issue 9, pp. 1180-1187.
62. Kovács L. et al. (2002): Növények spektrális tulajdonságának vizsgálata, FVM Mezőgazdasági Gépesítési Intézet kiadványa. 6 o.
http://www.fvmmi.hu/file/document/kut_634_spektralis.pdf
63. Láng Z. (szerk) (1999): A zöldség-, dísznövény- és szaporítóanyag-termesztés berendezései és gépei. Budapest: Mezőgazda Kiadó, 362-367. o.
64. Lantos F. (2011): A kalciumhiány kialakulásának és hiánytüneteinek vizsgálata a paprika-termesztésben. Ph.D. értekezés, Gödöllő: Szent István Egyetem, Növénytudományi Doktori Iskola. 3-5. o.
65. Leedham G. et al. (2003): Comparison of Some Thresholding Algorithms for Text/Background Segmentation in Difficult Document Images. *Seventh International Conference on Document Analysis and Recognition*, pp. 859-864.
66. Leemans V., Destain M. F. (2004): A real-time grading method of apples based on features extracted from defects. *Journal of Food Engineering* Volume 61, Issue 1, pp. 83-89.
67. Liming X., Yanchao Z. (2010): Automated strawberry grading system based on image processing. *Computers and Electronics in Agriculture* Volume 71, Supplement 1, pp. S32-S39.
68. Lowe D. G. (2004): Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints. *International Journal of Computer Vision* November 2004, Volume 60, Issue 2, pp. 91-110.

69. Luxeon K2 - Lumileds LED series datasheet (2008): Philips Lumileds Lighting Company, San Jose, California. p. 42.
70. Magyar Élelmiszerkönyv 1-4-1455/1999 számú előírása (második, módosított kiadás): Étkezési paprika.
71. Magyar Élelmiszerkönyv 1-4-79/88/2 számú előírása: Étkezési paprika minősége.
72. Malik A. (2015): Többtártácsás sűrűlódó hajtás erőjátékának elemző vizsgálata a tárcsakopások figyelembevételével. Ph.D. értekezés. Miskolci Egyetem, Sályi István Gépészeti tudományok Doktori Iskola. 69-70. o.
73. Martinovich L., Felföldi J. (1998): Shape and colour analysis in hybrid onion breeding - Bulletin of the Vegetable Crop Research Institute, Kecskemét (Volume 28), pp. 67-75.
74. Mártonffy B. (szerk.) (1999): Paprika (hajtattott, szabadföldi és fűszerpaprika). Budapest: Mezőgazda Kiadó, 3-6. o.
75. Mendoza F. et al. (2014): Grading of apples based on firmness and soluble solids content using Vis/SWNIR spectroscopy and spectral scattering techniques. Journal of Food Engineering, Volume 125, pp. 59-68.
76. Mikolajczyk K., Schmid C. (2002): An affine invariant interest point detector. 7th European Conference on Computer Vision, Copenhagen, May 2002. pp. 128-142.
77. Mizrach A. et al. (2008): Ultrasonic technology for quality evaluation of fresh fruit and vegetables in pre- and postharvest processes. Postharvest Biology and Technology 48. pp. 315-330.
78. Mizushima A., Lu R. (2013): An image segmentation method for apple sorting and grading using support vector machine and Otsu's method. Computers and Electronics in Agriculture, Volume 94, pp. 29-37.
79. Moravec H. P. (1980): Obstacle Avoidance and Navigation in the Real World by a Seeing Robot Rover. Ph.D. thesis, AIM-340, Stanford University, May 1980. 175 p.
80. Moreda G.P. et al (2009): Non-destructive technologies for fruit and vegetable size determination. Journal of Food Engineering 92-2009 pp. 119–136.
81. Nagy K. (2009): Fotóelmélet: Érzékelők 1. Pixinfo Kft: Budapest. 6 o.
https://pixinfo.com/cikkek/fotoelmelet_erzekelok_1
82. Niblack W. (1986): An introduction to digital image processing. Englewood Cliffs, N. J.: Prentice Hall International, pp. 115-116.
83. Noordam J. C. et al. (2000): A Colour Vision System for high speed Sorting of Potatoes. Agricultural Engineering, 2-7 July 2000, at Warwick, paper number, 00-AE-002 pp. 20-22.
84. Noordam J. C. et al. (2002): High speed potato grading and quality inspection based on a color vision system. Department Production and Control Systems, ATO Wageningen. p. 12.
85. Otsu N. (1979): A threshold selection method from grey level histogram. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Volume 9, No. 1, 62-66. p.
86. Palágyi K. (2011): Képfeldolgozás haladóknak. s.l: Typotex Kiadó. 67-79 o.
87. Pálfi Á. (2005): Élelmiszerek minőségvizsgálata korszerű képfeldolgozási módszerekkel. 2005/3. 20 o. http://www.omikk.bme.hu/collections/mgi_fulltext/trend/2005/03/0306.pdf
88. Parker J. R. (2011): Algorithms for Image Processing and Computer Vision. Wiley Publishing Inc. pp. 21-319.
89. Quinlan J. R. (1986): Induction of decision trees. Machine Learning, March 1986, Volume 1, Issue 1, pp. 81-106.
90. Ridler T. W., Calvard S. (1978): Picture thresholding using an iterative selection method. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, August 1978, Volume 8, pp. 630-632.
91. Rosten E., Drummond T. (2005): Fusing Points and Lines for High Performance Tracking. Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision, Beijing, Oct 17-21, 2005. Vol. 2, pp. 1508–1511.

92. Rosten E., Drummond T. (2006): Machine Learning for High-Speed Corner Detection. 9th European Conference on Computer Vision, Graz, May 7-13, 2006. Vol. 1, pp. 430–443.
93. Rosten E., Porter R., Drummond T. (2010): Faster and better: a machine learning approach to corner detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Jan 2010, Volume 32, pp. 105-119.
94. Sauvola J. et al. (1997): Adaptive Document Binarization. 4th Int. Conf. on Document Analysis and Recognition, Ulm, Germany, pp. 147-152.
95. Schmilovitch Z. et al. (2014): Hyperspectral imaging of intact bell peppers. *Biosystems Engineering*, Volume 117. pp. 83-93.
96. Shi, J., Tomasi C. (1994): Good Features to Track. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. Seattle, June 1994, pp. 593–600.
97. Smith S. M., Brady M. J. (1997): SUSAN - A New Approach to Low Level Image Processing. *International Journal of Computer Vision*, May 1997, Volume 23, Issue 1, pp. 45-78.
98. Sonka M. et al. (2008): *Image Processing, Analysis, and Machine Vision* 3rd edition, Thomson Learning. pp. 175-184.
99. Szakál Z. (2010): Síkbeli alakzatok szimmetria és hasonlósági tulajdonságai. Ph.D. értekezés, Gödöllő: Szent István Egyetem, Műszaki Tudományi Doktori Iskola. 50-55. o.
100. Székely N. (2002): Független komponens analízis alkalmazása a képfeldolgozásban. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Méréstechnika és Információs Rendszerek Tanszék. 7-33. o.
101. Szepes A. (2004): Számítógépes látórendszer alkalmazása kertészeti termények kvantitatív szín- és alakjellemzésére. Ph.D. értekezés, Budapesti Közgazdaságtudományi és Államigazgatási Egyetem, Élelmiszertudományi Doktori Iskola. 98. o.
102. Tao Y. et al. (1995): Machine vision for color inspection of potatoes and apples. *Transactions of the ASAE*, vol. 38, pp. 1551-1561.
103. TAOS TSL3301-LF linear array CCD datasheet (2001): Texas Advanced Optoelectronic Solutions Inc. Plano, Texas. p. 15.
104. Tömpe A. (2007): Magyar találmány: Paprika-válogató automata. *Kertészet és Szőlészet* 56/30, 6-8. o.
105. Unay D. et al. (2011): Automatic grading of Bi-colored apples by multispectral machine vision. *Computers and Electronics in Agriculture*, Volume 75, Issue 1, pp. 204-212.
106. Wolf C. et al. (2003): Extraction and Recognition of Artificial Text in Multimedia Documents. *Pattern Analysis and Applications*, Volume 6, Issue 4. pp. 309-326.
107. Xianfeng L., Weixing Z. (2011): Apple Grading Method Based on Features Fusion of Size, Shape and Color. *Procedia Engineering*, Volume 15. pp. 2885-2891.
108. Yadaw P. J. et al. (2013): Two phosphor converted white LED with improved CRI. *Journal of Luminescence*, Volume 136, pp. 1-4.
109. Yang S. H. et al (2013): White light emitting diodes (LEDs) with good color rendering indices (CRI) and high luminous efficiencies by the encapsulation of mixed and double-deck phosphors. *Current Applied Physics*, Volume 13, Issue 5, pp. 931-934.
110. Yanni M. K., Horne E. (1994): A new approach to dynamic thresholding. 9th European Signal Processing Conference, EUSIPCO 1994, pp. 34–44.
111. Zatykó L. (szerk.) (2010): *Étkezési- és fűszerpaprika termesztése*. Budapest: Mezőgazda Kiadó, 242 o.
112. Zhou L. et al. (1998): PC-based machine vision system for real-time computer-aided potato inspection. *International Journal of Imaging Systems and Technology*, vol. 9, pp. 423-433.

M2. Az értekezés témaköréhez kapcsolódó publikációk*Lektorált cikk idegen nyelven*

1. **Gergely, Z.** – Judák, E. (2008): A microcontroller based algorithm for sorting white paprika. Hungarian Agricultural Engineering, No. 2007-20. pp. 37-39. HU ISSN: 0864-7410
2. **Gergely, Z.** – Beke, J. (2013): Morphological algorithm for fast contour characterization in white paprika sorting process. Mechanical Engineering Letters, Release of Trans-Trio Sciences, vol. 9/2013. pp. 98-103. HU ISSN: 2060-3789
3. **Gergely, Z.** – Beke, J. (2013): A micro-controller-based algorithm for fast and robust edge detection in white paprika sorting process. Mechanical Engineering Letters, vol. 10/2013. pp. 161-169. HU ISSN: 2060-3789
4. **Gergely, Z.** – Petróczki, K. – Beke, J. (2016): A high performance method for sorting white paprika. The Experiment Journal, 2016. ISSN: 2319-2119 (IF: 0,33) (accepted, in press)

Lektorált cikk magyar nyelven

5. **Gergely, Z.** – Judák, E. (2008): Automatizált paprikaválogatás beágyazott alakfelismerő rendszerrel. Mezőgazdasági Technika, XLIX. évf. 2008/11. 2-4. o. HU ISSN: 0026-1890
6. **Gergely, Z.** – Beke, J. (2015): Az osztályozási hibák csökkentésének lehetőségei a HPV-I sorozatú paprikaválogató gépeken. Mezőgazdasági Technika, LVI. évf. 2015/11. 2-4. o. HU ISSN: 0026-1890
7. **Gergely, Z.** – Beke, J. (2016): A kúpos és hegyes alakkörbe tartozó étkezési paprikatermések alakjellemezése. Mezőgazdasági Technika, LVII. évf. 2016/7. 2-5. o. HU ISSN: 0026-1890

Idegen nyelvű konferencia kiadvány

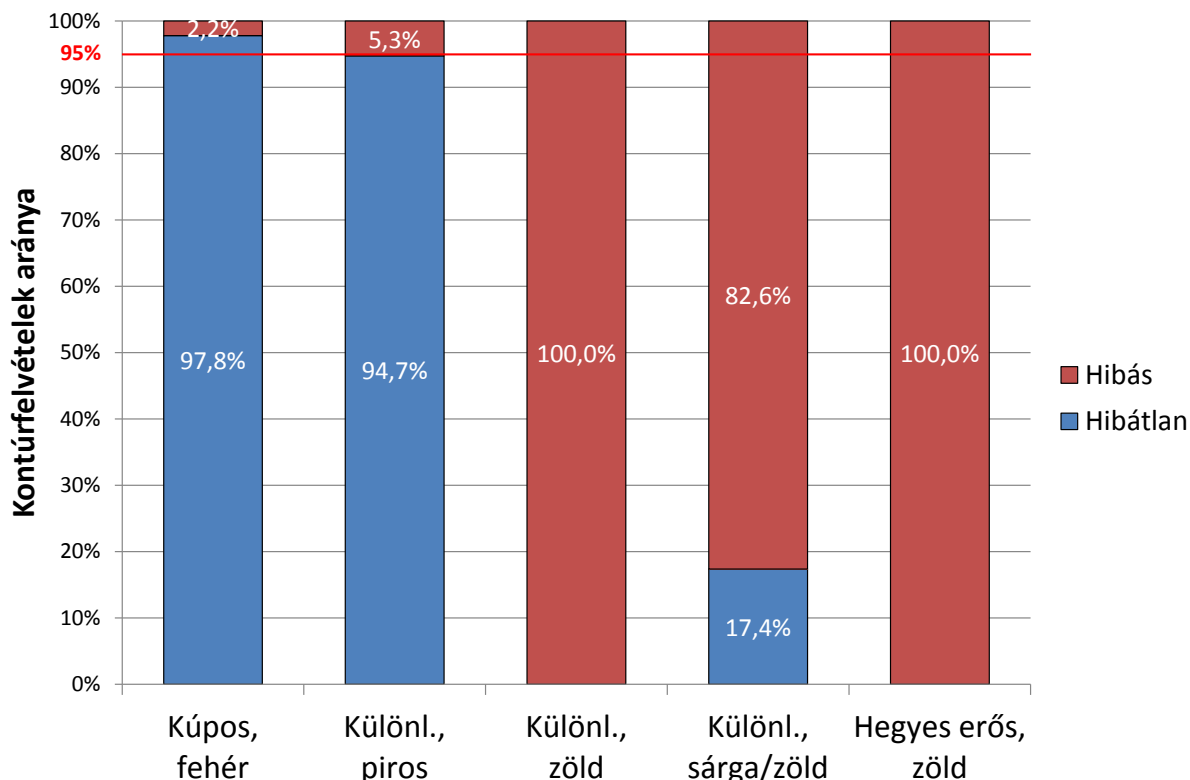
8. **Gergely, Z.** – Judák, E. (2007): Development of Paprika Classifying System, International scientific conference. University of Agriculture in Nitra, 2007. p. 53. ISBN: 978-80-8069-878-2

Magyar nyelvű konferencia kiadvány

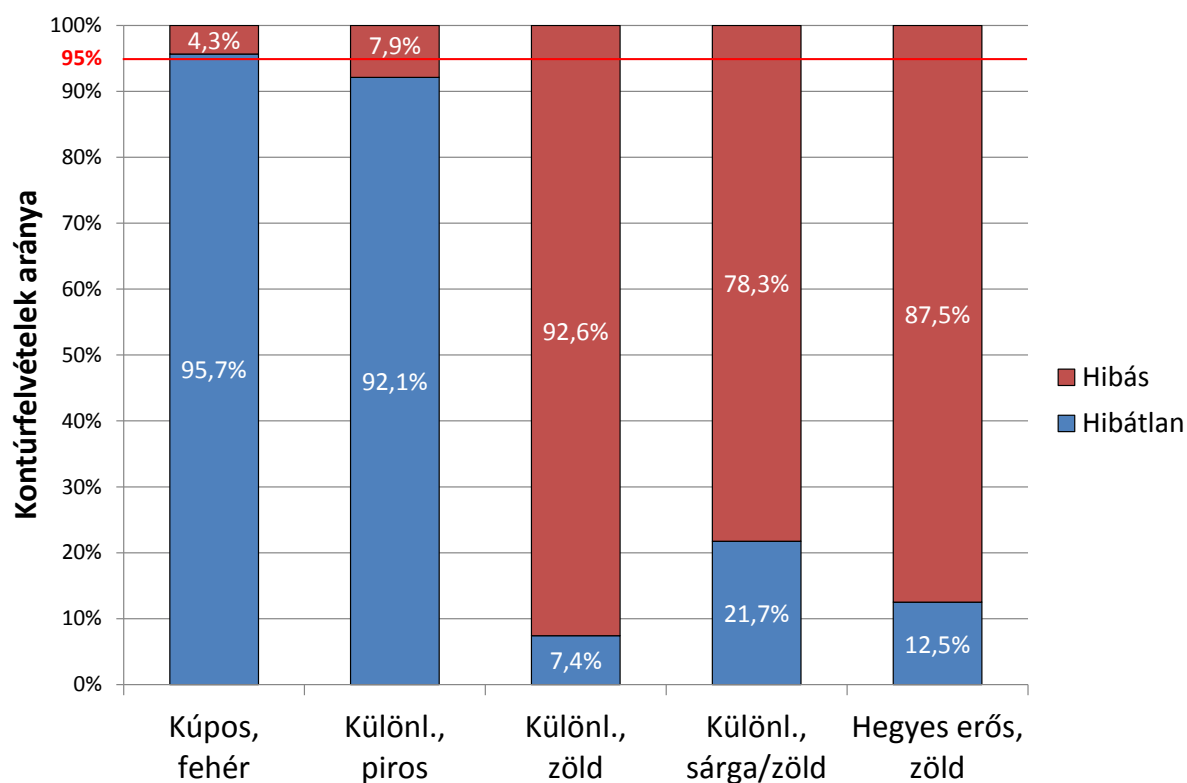
9. **Gergely, Z.** – Madár, V. – Judák, E. (2006): Paprikaválogató berendezés a növényházi termesztésben. MTA-AMB 2006. évi XXX. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozása, Gödöllő. Paper 108.
10. **Gergely, Z.** (2006): Algoritmusok keresése fóliákban és üvegházakban termelt paprika üzemszerű mennyiségi és minőségi kontrolljához. SZIE Tudományos Diákköri Konferencia, Gödöllő. 149-150. o. ISBN: 978-963-9483-70-2
11. **Gergely, Z.** – Judák, E. (2007): Paprikaosztályozó rendszer kialakítása. Az MTA-AMB 2007. évi XXXI. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozása, Gödöllő. 3. kötet, 213-217. o. ISBN: 978-963-611-446-6
12. **Gergely, Z.** (2007): Osztott intelligenciájú szabályozási rendszer a hidrokultúrás paprikatermesztésnél. Országos Tudományos Diákköri Konferencia – Agrárműszaki szekció, Debrecen. 56. o. ISBN: 978-963-9732-12-4
13. **Gergely, Z.** – Judák, E. (2008): A paprikaválogatási feladatok automatizálása. Az MTA-AMB 2008. évi XXXII. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozása, Gödöllő. 1. kötet, 124-128. o. ISBN: 978-963-611-452-7
14. **Gergely, Z.** – Judák, E. (2008): Teljesítmény LED-ek az ipari képfeldolgozásban. Az MTA-AMB 2008. évi XXXII. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozása, Gödöllő. 2. kötet, 183-187. o. ISBN: 978-963-611-453-4

M3. Mérési adatok

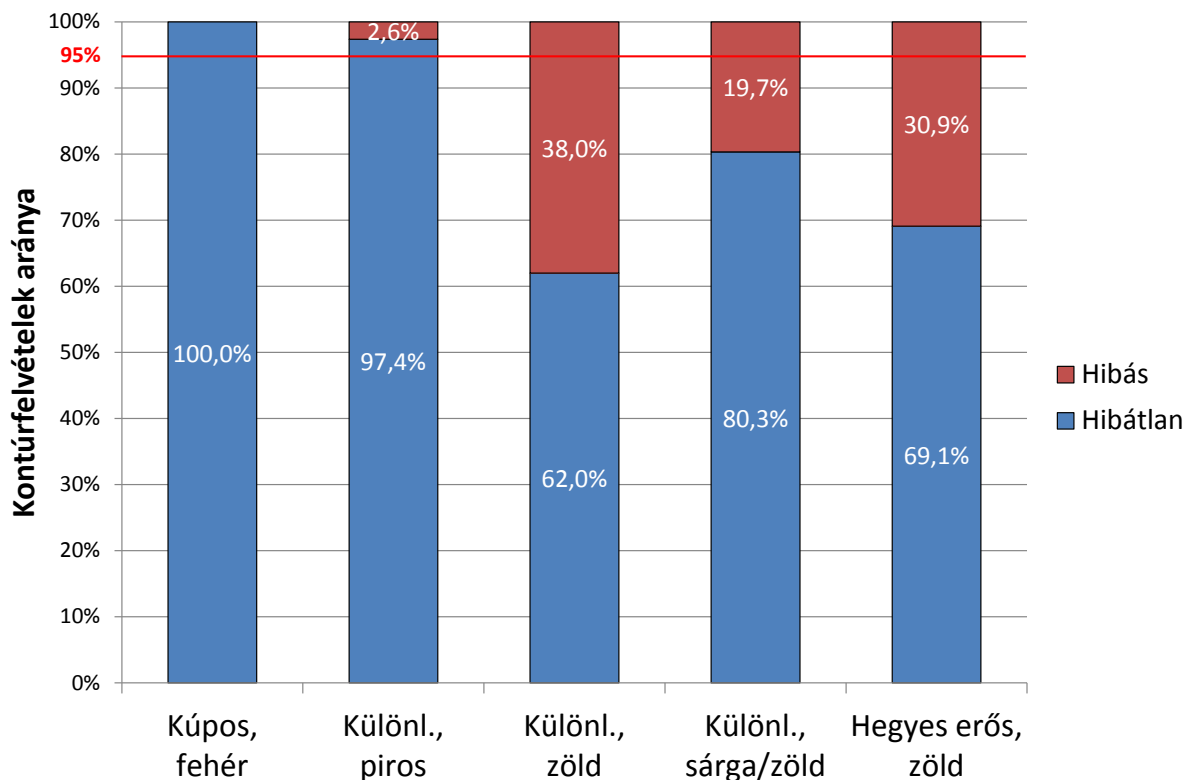
M3.1. A szegmentációs eljárások vizsgálata



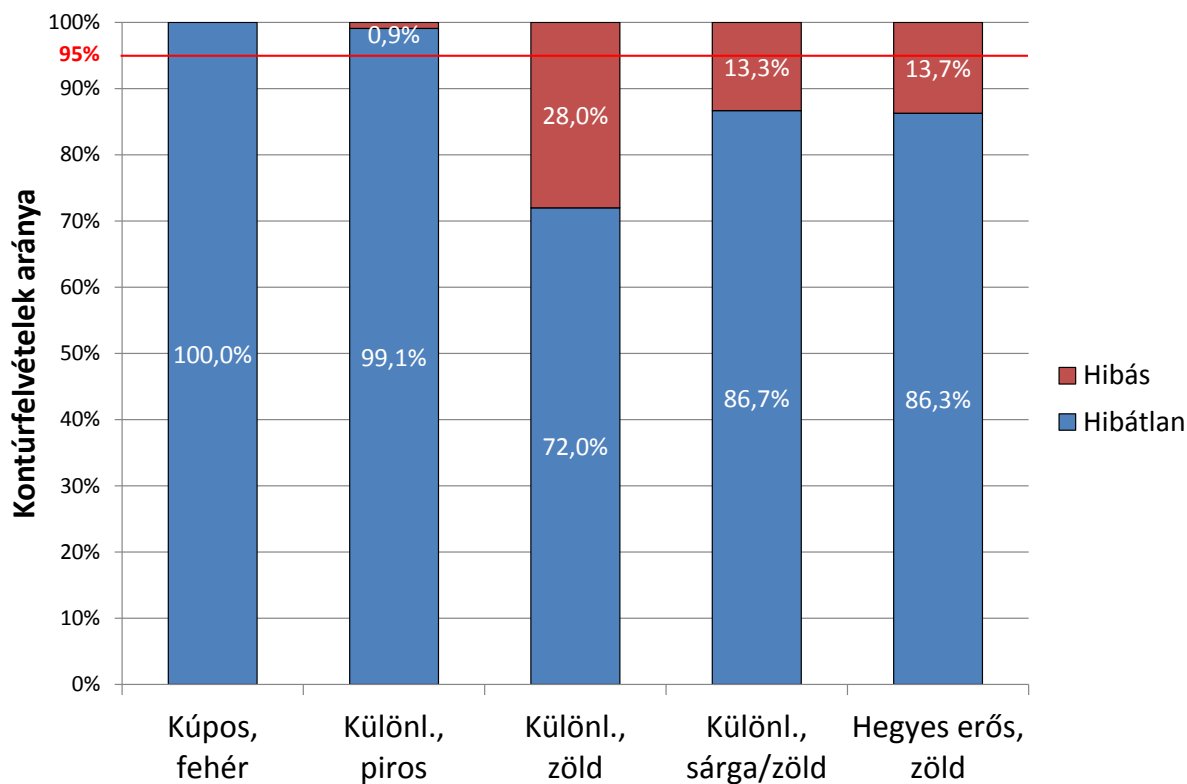
8.1. ábra Kontúrfelvételi eredmények, egyszintű szintrevágás mellett (kézzel rögzített globális küszöbszint alkalmazásával)



8.2. ábra Kontúrfelvételi eredmények, egyszintű szintrevágás mellett (globális küszöbszint: Yanni)

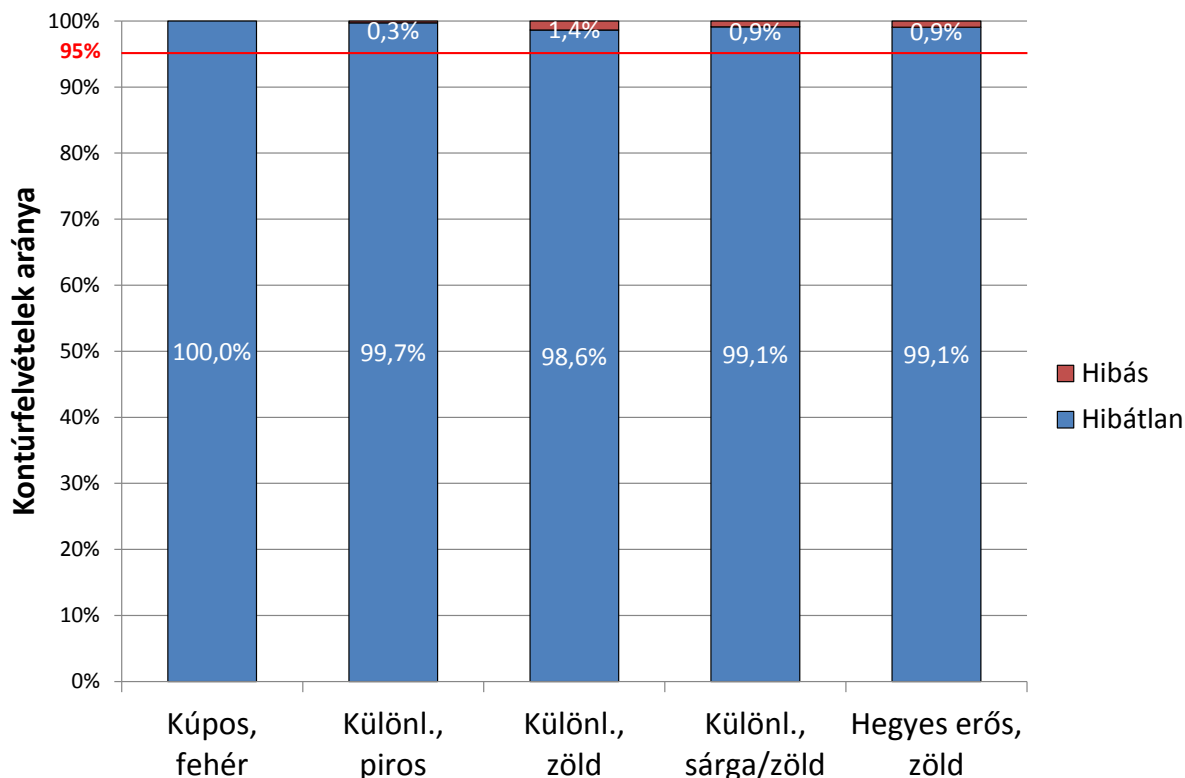


8.3. ábra Kontúrfelvételi eredmények, a Niblack szegmentáció alkalmazása mellett

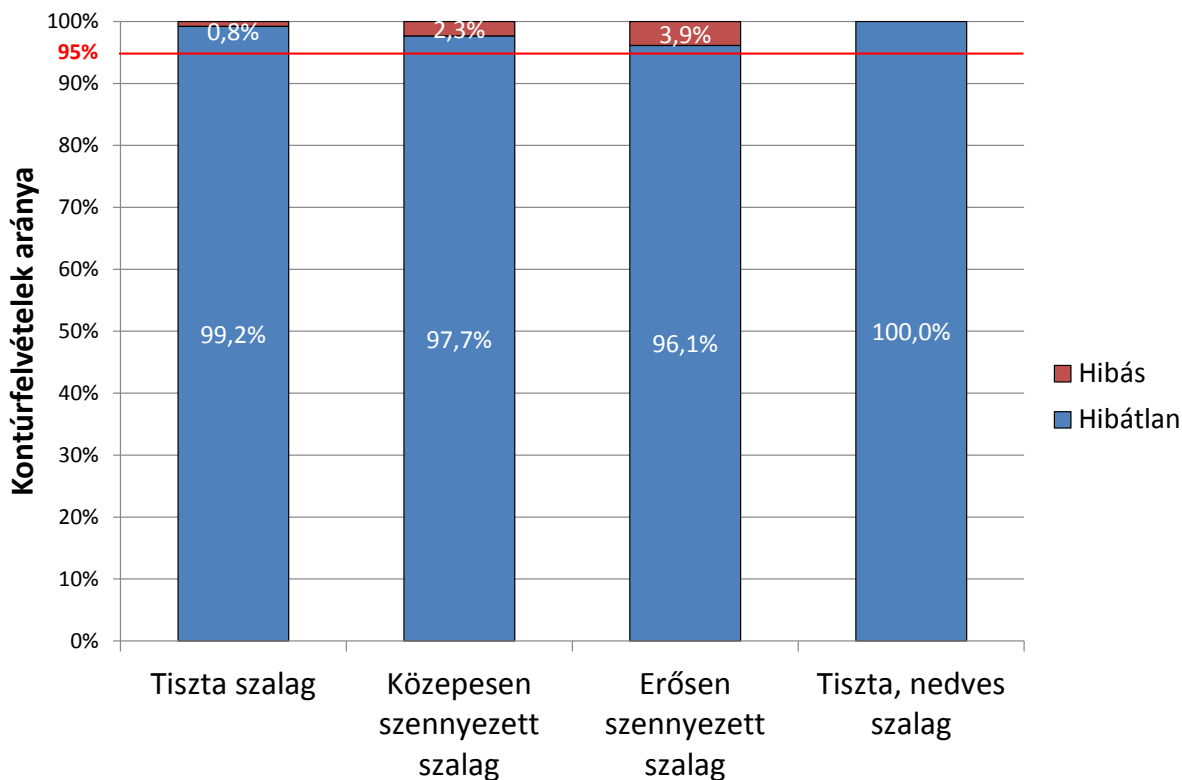


8.4. ábra Kontúrfelvételi eredmények, a NICK szegmentáció alkalmazása mellett

M3.2. A kidolgozott élkereső eljárás vizsgálata

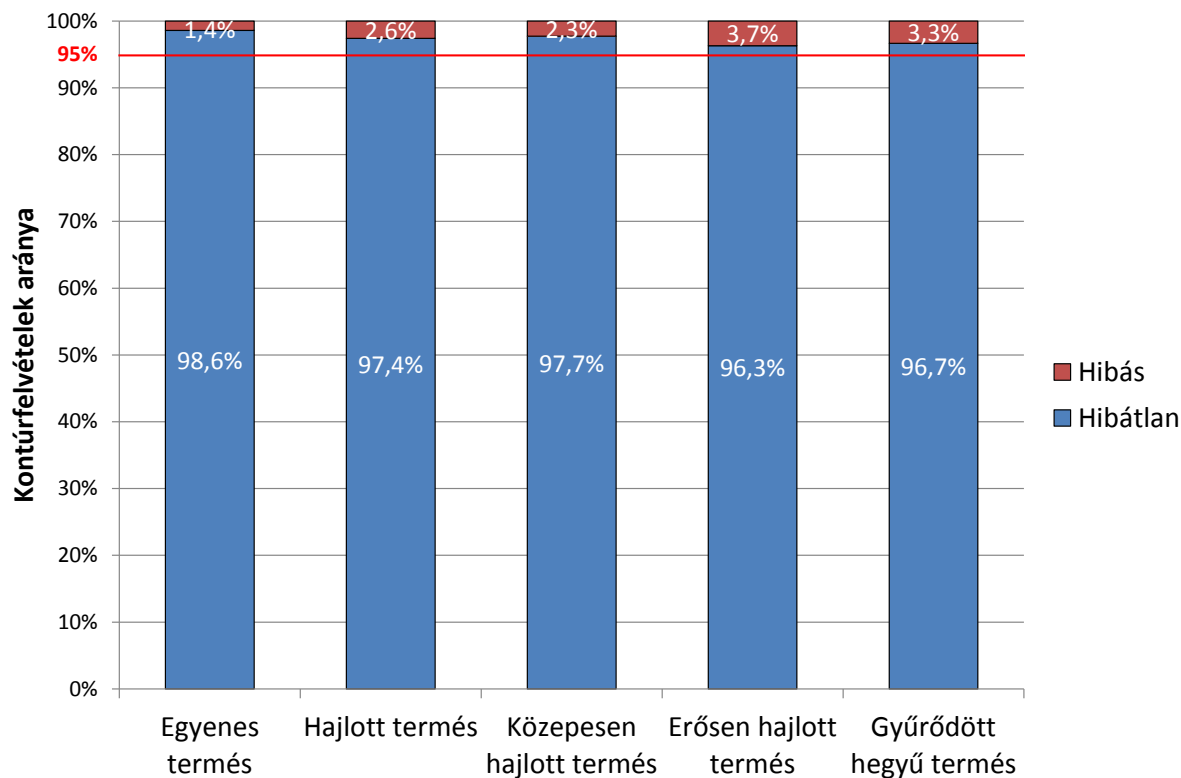


8.5. ábra Kontúrfelvételi eredmények, a saját fejlesztésű, az élek keresésén alapuló szegmentáció alkalmazása mellett

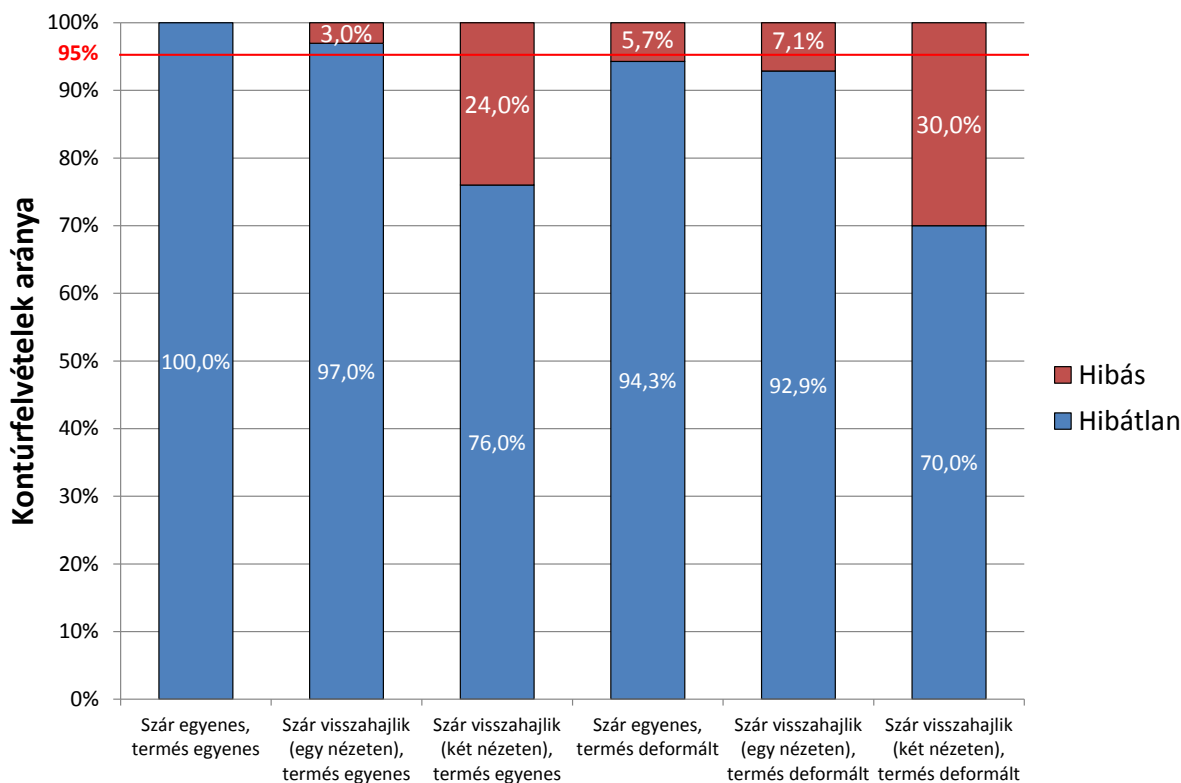


8.6. ábra Az élkeresés elvén működő eljárás érzékenysége a szalag szennyezettségének mértékére

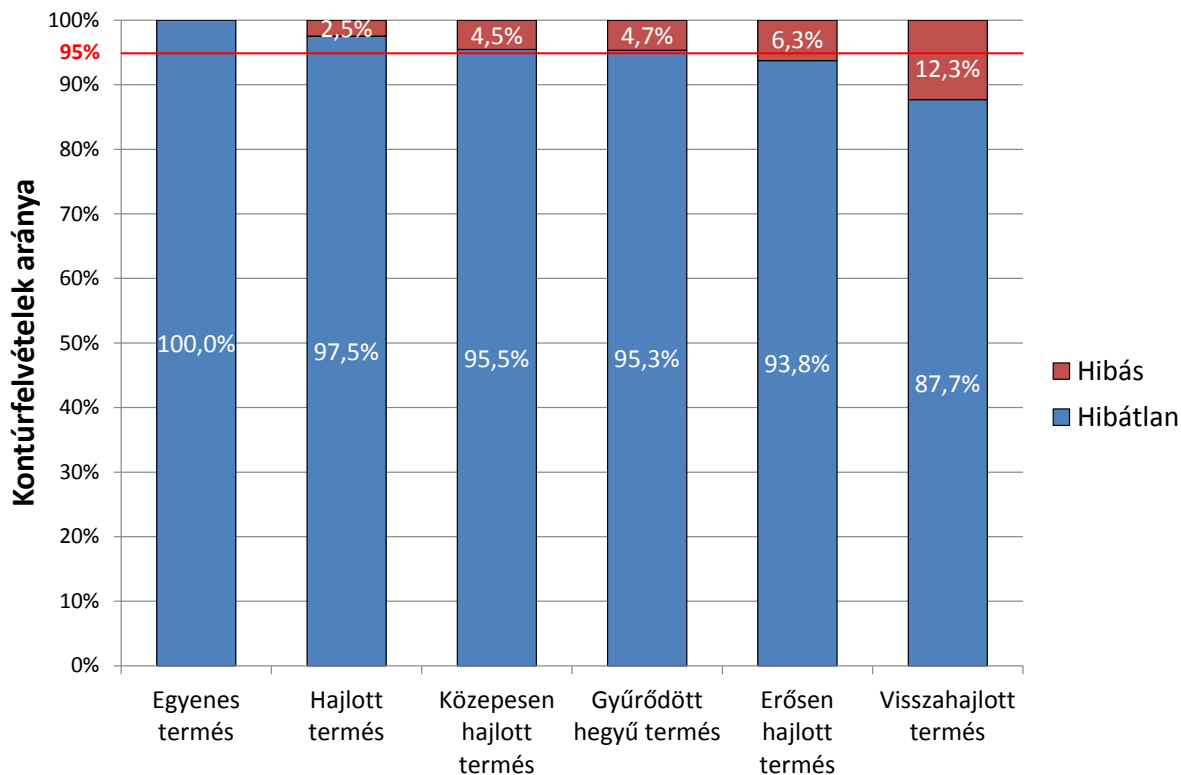
M3.3. A paprika geometriai jellemzőinek meghatározása



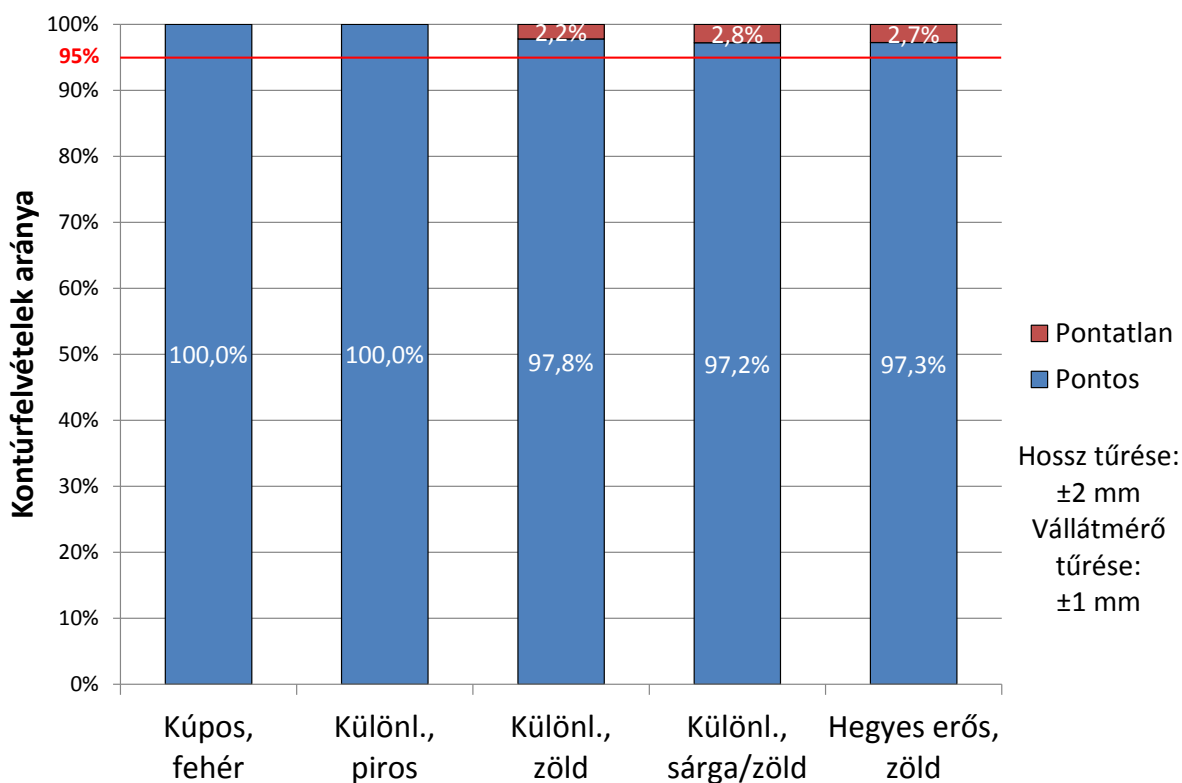
8.7. ábra A paprika kocsányát kijelölő pontok keresésének sikeressége a termésre nem rásimult szár esetén



8.8. ábra A visszahajlott szár meghatározásának sikeressége

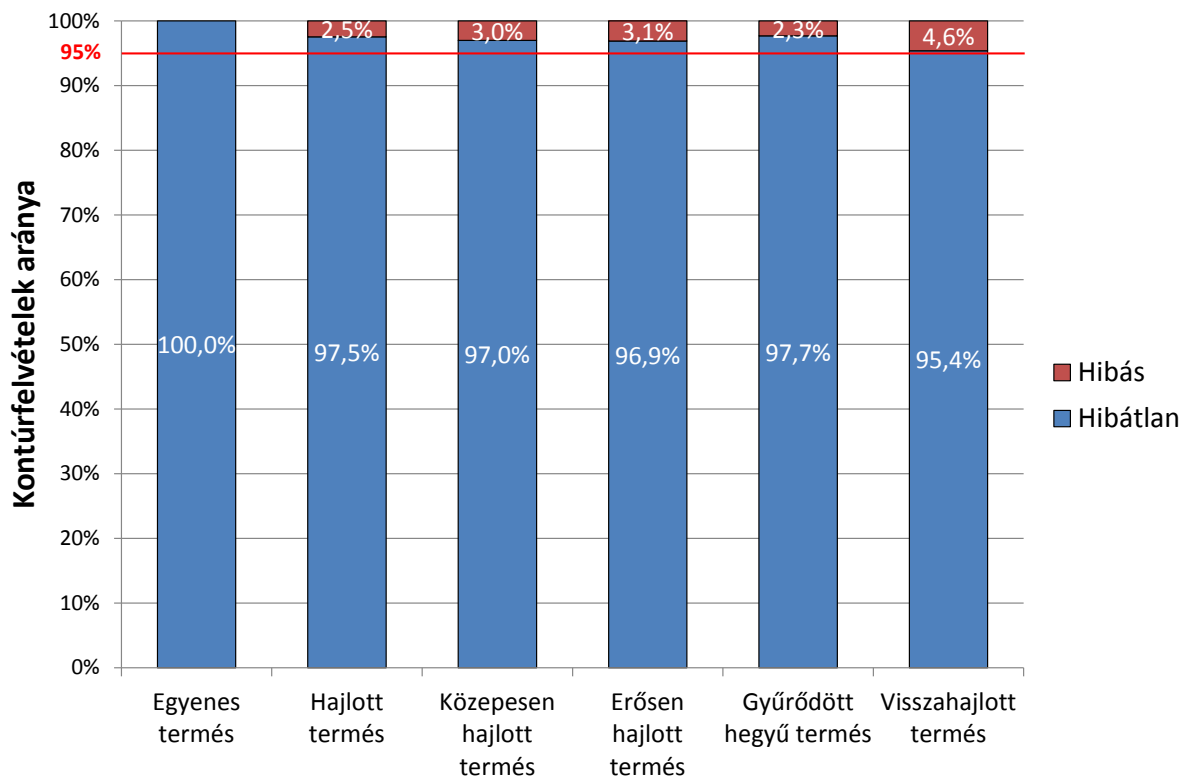


8.9. ábra Az implementált FAST sarokdetektor működésének vizsgálata. A keresendő sajátosság a paprika hegye (csúcsa)

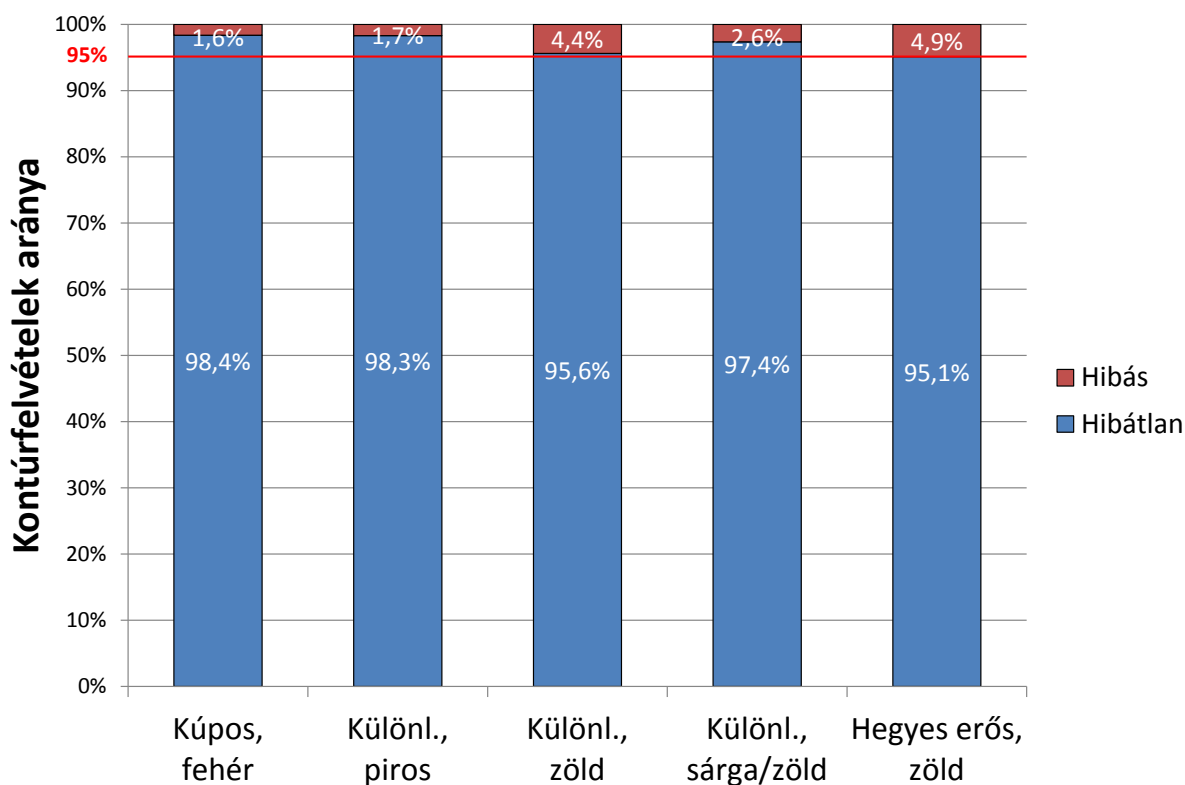


8.10. ábra A gépi úton meghatározott hossz és vállszélesség (vállátmérő) méretek pontossága

M3.4. Az alakleírás vizsgálata, a görbülség meghatározása

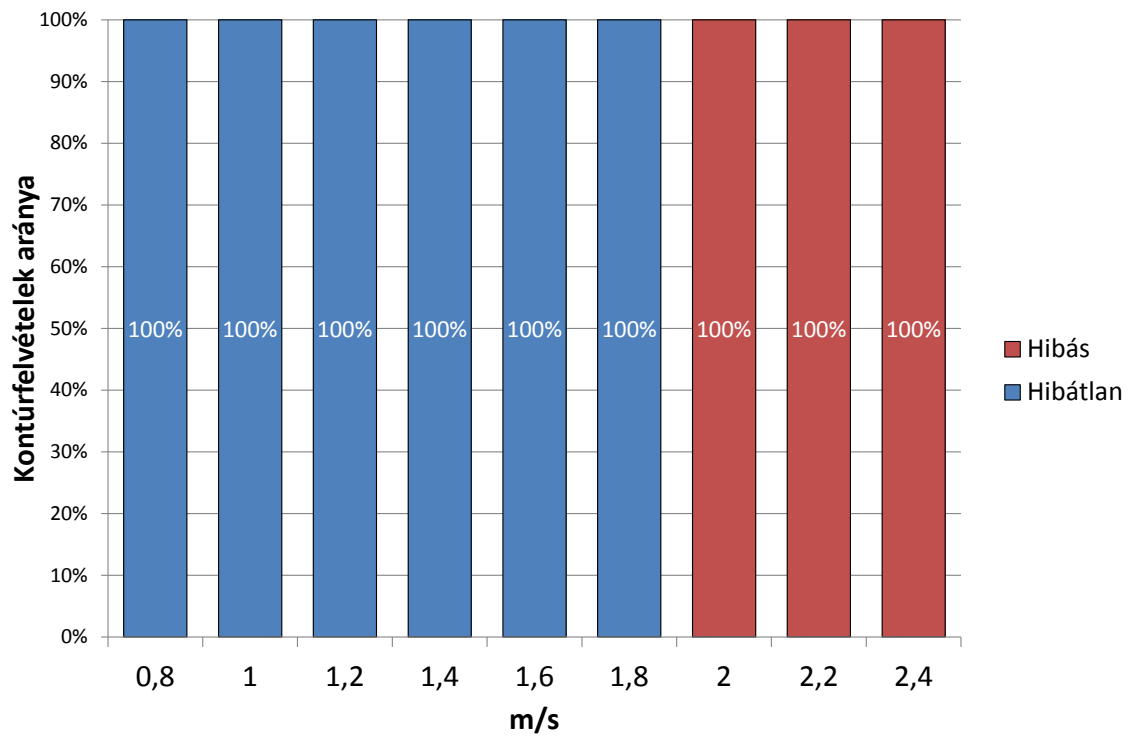


8.11. ábra A termékek mért görbülség szerinti automatikus besorolásának vizsgálata

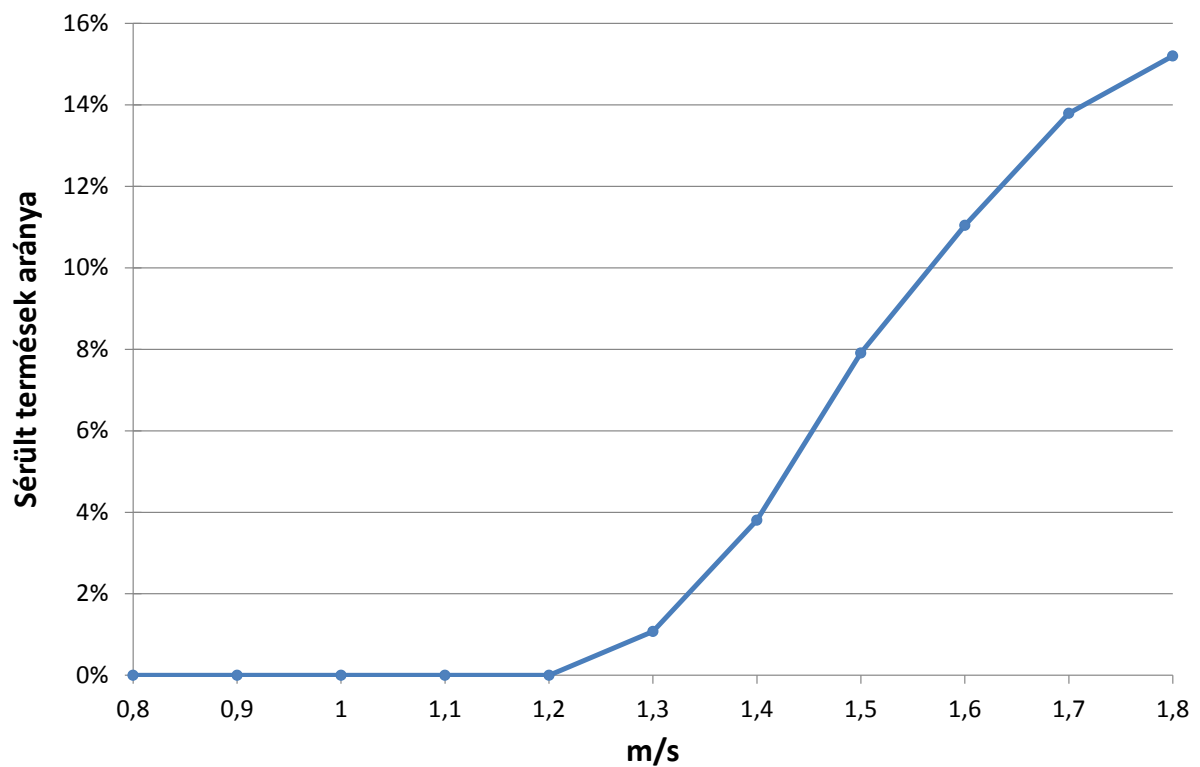


8.12. ábra A termés színének hatása a deformáció mértékének meghatározására

M3.5. A megvalósult kísérleti rendszer vizsgálata

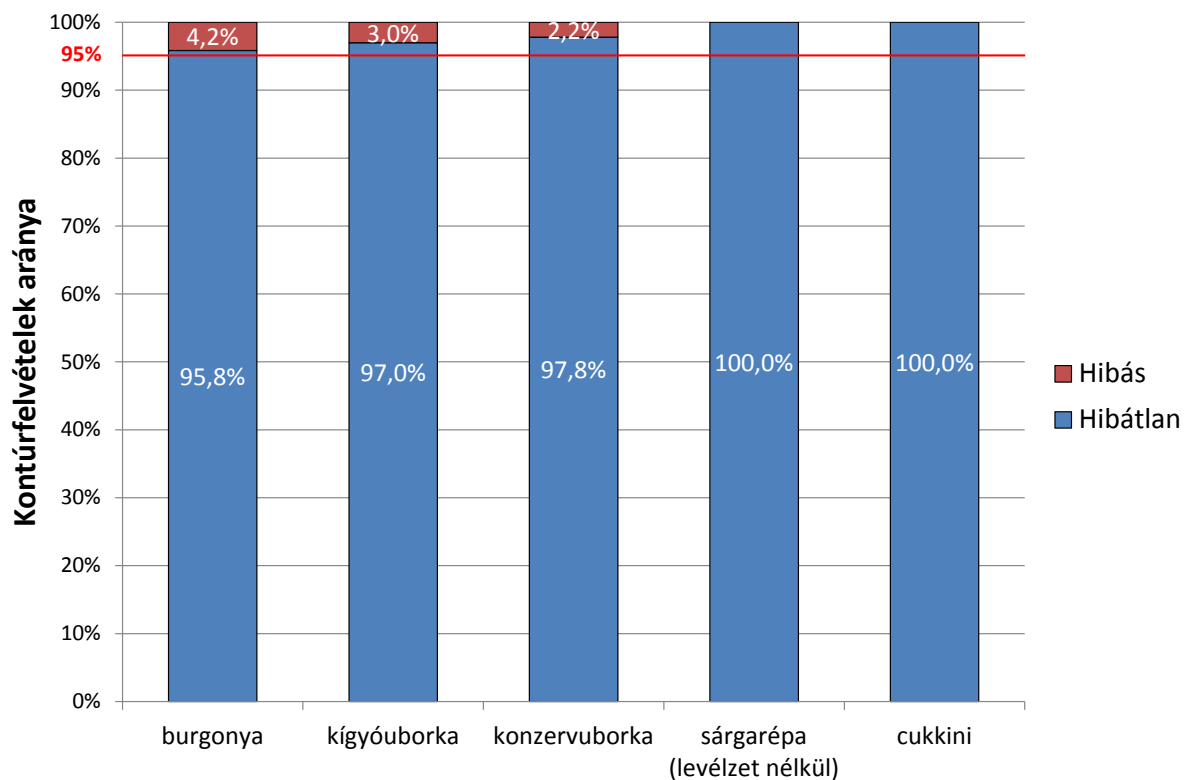


8.13. ábra A paprikajellemzők meghatározásának sikeressége növekvő szalagsebesség mellett



8.14. ábra A sérült termékek arányának alakulása növekvő szállítoszalag sebességek mellett

M3.6. A kidolgozott módszer felhasználhatósága más termények osztályozására



8.15. ábra A hosszúkás alakkörbe tartozó termények vizsgálata a kiterjesztett és átparaméterezett algoritmusokkal

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönöm a témavezetőim, Dr. Beke János és Dr. Judák Endre és a társ-témavezetőm, Dr. Petróczi Károly a dolgozat megírásakor, valamint a mérések tervezésekor, kiértékelésekor adott hasznos tanácsait és önzetlen segítségét.

Köszönettel tartozom a SZIE Folyamatmérnöki Intézet minden jelenlegi és volt munkatársának, akik tanácsaikkal és támogatásukkal segítettek a munkámat.

A sok segítségért, bátorításáért, támogatásáért köszönet illeti Madár Viktort, valamint Á. Fűrűs András – a Furafol Hungary Kft. ügyvezetőjét és a Kft. munkatársait –, akik közreműködésével a kísérleti rendszer megvalósulhatott, és a szükséges méréseket el tudtam végezni.

Köszönöm a Primőrfrucht Kft. által a mérésekhez biztosított paprikákat, valamint az ellenőrző mérésekhez nyújtott segítségét.

Dr. Andó Mátyásnak és a SZIE IPMP tagjainak köszönöm a dolgozat tartalmi és formai kialakításával kapcsolatos hasznos tanácsait és segítségét.

Végezetül köszönöm családomnak, akik támogattak, bátorítottak és mindvégig rendületlenül segítettek a munkámat ezen a hosszú úton.