



ÉTKEZÉSI PAPRIKAFAJTÁK ÚJSZERŰ MINŐSÍTÉSE
AUTOMATA KÉPFELDOLGOZÓ RENDSZERREL

Doktori (PhD) értekezés tézisei

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

JELÖLÉSJEGYZÉK	4
1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉS	5
1.1. A téma időszerűsége és jelentősége	5
1.2. Célkítűzések	5
2. ANYAG ÉS MÓDSZER	7
2.1. A vizsgált paprikafajták	7
2.2. A mérőrendszer kialakítása	8
2.3. A megvalósított berendezés	9
2.4. A képérzékelés folyamata	10
2.5. A paprikageometria meghatározása	11
2.6. A paprika alakjellemezése	11
2.6.1. <i>A görbülség mértékének meghatározása</i>	12
2.6.2. <i>Alakjellemező méretek és paraméterek meghatározása</i>	14
3. EREDMÉNYEK	16
3.1. Szegmentációs eljárások vizsgálata	16
3.2. A kidolgozott élkereső algoritmus vizsgálata	17
3.3. A paprika geometriai jellemzőinek meghatározása	18
3.4. Alakleírás vizsgálata, görbülség meghatározása	19
3.5. A kézi és gépi válogatás vizsgálata	22
3.6. A kidolgozott módszer felhasználhatósága más termények osztályozására	25
4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK	26
5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK	28
6. ÖSSZEFOGLALÁS	29
7. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ KIEMELT PUBLIKÁCIÓK	30

JELÖLÉSJEGYZÉK

γ	görbültségi viszonyszögek	[°]
φ	szakaszok abszolút hajlásszögei	[°]
EH	előre-hátra tényező	
g	görbültségi fok (tényező)	[-]
h	a paprika hosszúsága (szárral csökkentve)	[mm]
$h_{kköz}$	a paprika közelítő középvonal hosszúsága	[mm]
h_t	a paprika teljes hosszúsága (szárral együtt)	[mm]
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 kontúrponjtja	
\overline{P}_4	a paprika utolsó hasznos kontúrponjtja	
S	a paprikaalakzat súlypontja	
v	vállszélesség (vállátmérő)	[mm]
\hat{v}	módosított vállszélesség (vállátmérő) iterációs tényezője	[mm ²]

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.

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 előrecsomagolt 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. 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.

2.1. 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.

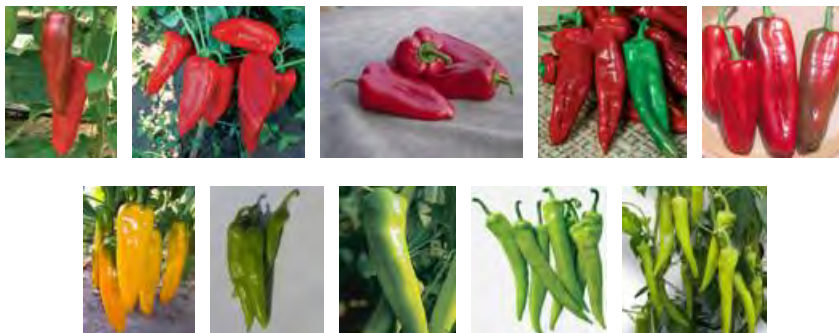
Mivel a különleges kúpos és hegyes típusok (úgynevezett választékbővítő fajták) piaci térnyerése folyamatos, ezért a vizsgálataim során kiemelten foglalkozok az ebbe az alakkörbe tartozó fajták analízisével is. Azonban nem tárgya a vizsgálatoknak a kaliforniai és a paradicsompaprika alakkörébe tartozó 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.



2.1. ábra Fehérből, zöldefehérből pirosba érő, 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)

A mintákban megtalálható volt a gazdasági, illetve biológiai érettségnek megfelelő állapotú termés is. Kísérleteim során a 2.1. és a 2.2. 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.



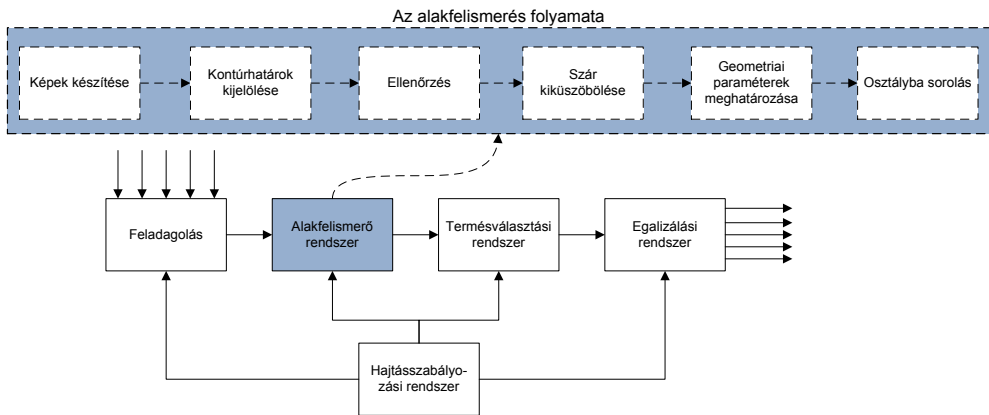
2.2. ábra Zöldből, pirosba/sárgába érő, különleges paprikafajták (balról jobbra); Karamida F₁, Kárpia F₁, Mágus F₁, Canal F₁, Red Marconi, Golden Marconi, Uranus F₁, Titán F₁, Rapires F₁, Kard F₁ (Fotók: Fajtafenntartók)

2.2. 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 áttekintése volt, melyet a 2.3. 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).



2.3. ábra Az alakfelismerés folyamatának elhelyezkedése a gépi paprikaválogatás során

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. 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.

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.

2.3. 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 elemen 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 mozgatás mellett forgatja is, így ez megkönnyíti az előválogatási munkát, mivel a termékeket 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 termékek megfelelő átvizsgálását, valamint a hibás egyedek eltávolítását.

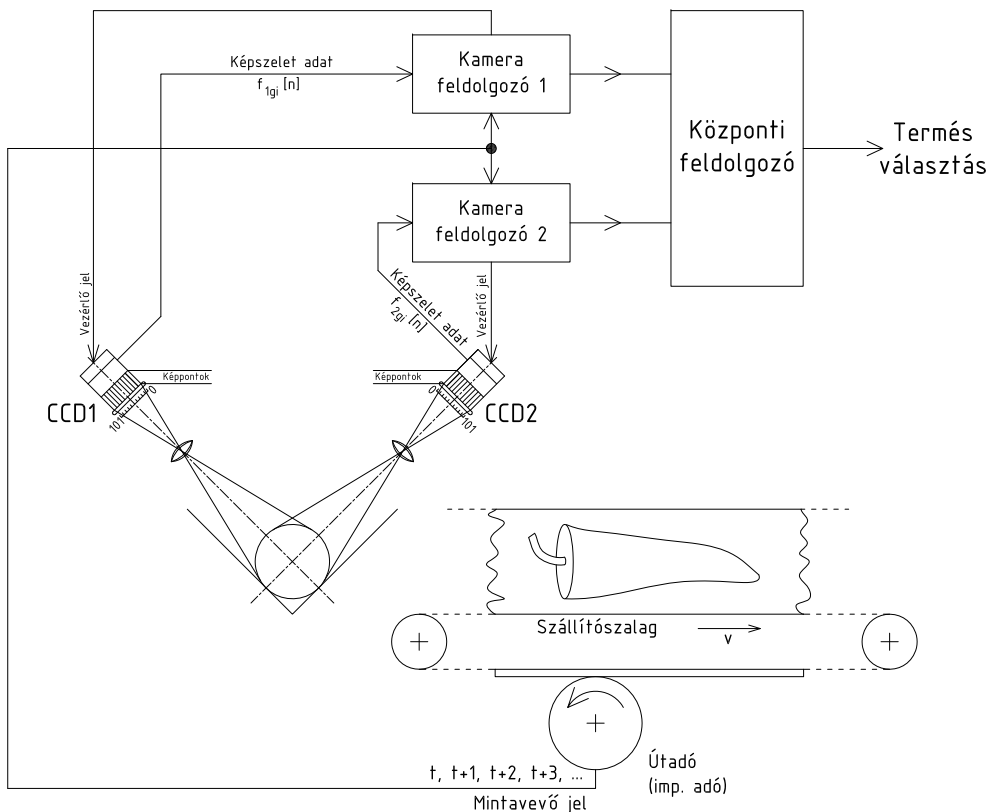
A paprikák külön osztályokba történő különválasztását sűrített levegővel működő rendszer teszi lehetővé. Amikor a paprika a megfelelő kapuhoz ér, egy villamos úton vezérelhető szelep segítségével a fúvóka körülbelül 6 bar nyomással a paprikát az osztályozószalagról lefújja a gyűjtőrekeszbe. A paprika 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 2.4. ábrán az elkészült kísérleti rendszerről látható néhány fénykép.



2.4. ábra A prototípus rendszer, működés közben (Fotó: Tömpe Anna)

2.4. A képérzékelés folyamata

A teljes megvalósított képérzékelési folyamat blokkdiagramja a 2.5. 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.



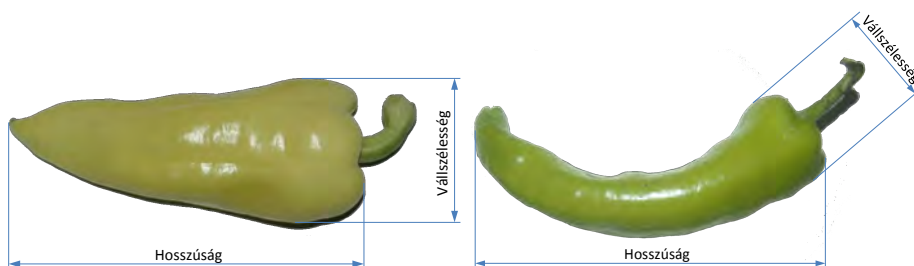
2.5. ábra A képérzékelés sematikus ábrája (a megvilágítás feltüntetése nélkül)

2.5. A paprikageometria meghatározása

Az előírások alapján a vállszélesség (vállátmérő) a fő osztályozási tényező. Ez tulajdonképpen a maximális paprikaátmérőt jelenti. Ezt a paramétert kiegészíti a hosszérés, ami az egyöntetűség biztosítását teszi lehetővé. A hosszúság értelmezését mutatja be egy egyenes, és egy kis mértékben deformálódott termésem a 2.6. 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 (2.7. ábra).

2.6. A paprika alakjellemezése

A vizsgálatok során hamar kiderült, hogy a paprikaobjektum jellemzésére egyedi adatredukciós módszer kialakítására van szükség. A redukciós algoritmus lényege, hogy kevés paraméter rögzítésével az adott paprika



2.6. ábra A jellemző méretek értelmezése egy-egy paprikatermésen



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

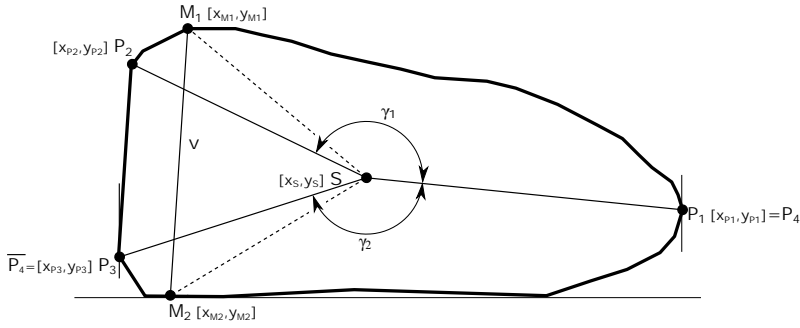
legfontosabb paramétereit meg lehessen határozni, valamint a mért értékek gyors összehasonlítását el lehessen végezni. A kidolgozott eljárás a paprikatermés nevezetes pontjainak a kijelölésén, majd a görbültséget leíró paraméter meghatározásán alapul.

2.6.1. 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 figyelembevétele mellett különbséget kell tenni hajlott, illetve deformálódott termékek között, így a görbültség egzakt mérése igen fontos.

Ha rendelkezésre áll a paprika öt fő bázispontja ($P_1[x_{P_1}, y_{P_1}]$, $P_2[x_{P_2}, y_{P_2}]$, $P_3[x_{P_3}, y_{P_3}]$, $P_4[x_{P_4}, y_{P_4}]$, $\overline{P_4}[x_{\overline{P_4}}, y_{\overline{P_4}}]$), akkor az általam kidolgozott megoldás ezen pontok és a súlypont $S[x_S, y_S]$ viszonyából következtet a görbültség mértékére. Ha a 2.8. és a 2.9. ábrán berajzolt $\overline{P_1S}$ és $\overline{P_2S}$ szakaszok közötti γ_1 , valamint a $\overline{P_1S}$ és $\overline{P_3S}$ közötti γ_2 szöget kiszámoljuk, a viszonyuk a termés általános görbültségre vonatkozó mérőszámot ad, ami ezen felül lehetőséget ad a deformáció irányának meghatározására is.

Mivel innentől 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



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

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 figyelnem kellett, hogy az egyszer már kiszámolt, de máshol is szükséges értékek kiszámítása csak egy alkalommal történjen meg.

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

$$\overline{P_1S} = \sqrt{(x_S - x_{P1})^2 + (y_S - y_{P1})^2}; \quad (2.1)$$

$$\overline{P_2S} = \sqrt{(x_S - x_{P2})^2 + (y_S - y_{P2})^2}; \quad (2.2)$$

$$\overline{P_3S} = \sqrt{(x_S - x_{P3})^2 + (y_S - y_{P3})^2}. \quad (2.3)$$

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

$$\varphi_{\overline{P_1S}} = \begin{cases} \pi - \arccos \frac{x_S - x_{P1}}{\overline{P_1S}}, & \text{ha } y_{P1} > y_S; \\ \pi + \arccos \frac{x_S - x_{P1}}{\overline{P_1S}}, & \text{ha } y_{P1} < y_S; \end{cases} \quad (2.4)$$

$$\varphi_{\overline{P_2S}} = \begin{cases} \pi - \arccos \frac{x_S - x_{P2}}{\overline{P_2S}}, & \text{ha } y_{P2} > y_S; \\ \pi + \arccos \frac{x_S - x_{P2}}{\overline{P_2S}}, & \text{ha } y_{P2} < y_S; \end{cases} \quad (2.5)$$

$$\varphi_{\overline{P_3S}} = \begin{cases} \pi - \arccos \frac{x_S - x_{P3}}{\overline{P_3S}}, & \text{ha } y_{P3} > y_S; \\ \pi + \arccos \frac{x_S - x_{P3}}{\overline{P_3S}}, & \text{ha } y_{P3} < y_S. \end{cases} \quad (2.6)$$

A γ_1 és γ_2 szögek számítása:

$$\gamma_1 = \varphi_{\overline{P_2S}} - \varphi_{\overline{P_1S}}; \quad (2.7)$$

$$\gamma_2 = \varphi \overline{P_3S} - \varphi \overline{P_1S}. \quad (2.8)$$

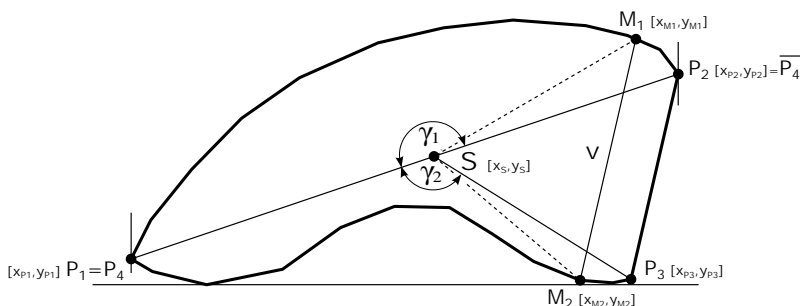
A γ_1 és γ_2 szögek kiegészítő szögének meghatározása:

$$\gamma_{(12)k} = 2\pi - |\varphi \overline{P_3S}| - |\varphi \overline{P_1S}|. \quad (2.9)$$

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

$$g = \begin{cases} \left| \frac{\gamma_1}{\gamma_2} \right|, & \text{ha } |\gamma_1| \geq |\gamma_2|; \\ \left| \frac{\gamma_2}{\gamma_1} \right|, & \text{ha } |\gamma_1| < |\gamma_2|. \end{cases} \quad (2.10)$$

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 lehetőséget biztosíthat, ha a paprikaalakzat alatti és feletti területek arányát vizsgáljuk. Szükség esetén akár a két eljárás kombinálható, és a kiértékelés megbízhatósága tovább növelhető.



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

2.6.2. 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):

$$h = \text{Max}(|x_{P_2} - x_{P_4}|; |x_{P_3} - x_{P_4}|). \quad (2.11)$$

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):

$$h_t = |x_{P_4} - \overline{x_{P_4}}|. \quad (2.12)$$

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 $\overline{P_2 P_3}$ pontok közötti egyenes végpontjainak x tengely szerinti távolsága:

$$m = x_{P_2} - x_{P_3}. \quad (2.13)$$

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.

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

$$v = \text{Max} \left[\sqrt{m^2 + (H_{K(i+m)} - H_{B(i)})^2} \right]. \quad (i : \text{csak az } x_{P_2} : x_{P_3} \text{ környezetében}) \quad (2.14)$$

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 számításigény csökkentése érdekében a maximumkeresés közben a négyzetgyök számítása kihagyható, hiszen a minősítéshez a \hat{v} módosított vállátmérő is jellemző adat marad:

$$\hat{v} = \text{Max} \left[m^2 + (H_{K(i+m)} - H_{B(i)})^2 \right]. \quad (i : \text{csak az } x_{P_2} : x_{P_3} \text{ környezetében}) \quad (2.15)$$

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:

$$v = \sqrt{\hat{v}}. \quad (2.16)$$

5. A közelítő középvonalhossz:

$$h_{kköz} = \text{Max} \left[(\overline{P_1 S} + \overline{P_2 S}); (\overline{P_1 S} + \overline{P_3 S}) \right]. \quad (2.17)$$

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.

3. 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.

3.1. Szegmentációs eljárások vizsgálata

A hagyományos szegmentációs eljárások elfogadhatóan működtek 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.

Az ellenőrzéseket 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.

Ahol a mérési adatok mellett nincs külön jelölve, ott a táblázatban lévő mérési adatok háromszori ismétléssel, majd az eredmények átlagolásával kerültek feltüntetésre.

3.1. 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%

Mivel nem sikerült az általánosan alkalmazott küszöbölési eljárásokkal mérési hibák számát mindegyik természén esetén kellően alacsony szintre hozni, ezért a kerestem azokat a lehetőségeket, amivel a kontúr felvétele minél alacsonyabb hiba mellett megtehető. 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.

A 3.1. táblázatból megállapítható, 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.

3.2. 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 szegmentációt megnehezítő körülményeket hoztam létre.

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

Megnevezés	Minősítés	Esetek száma [db]	Esetek össz. [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%

A 3.2. táblázat a szennyeződések hatásait mutatja az élkereső eljárás működésére. A vizsgálatok során törekedtem arra, hogy a termékek alak és fajta vonatkozásában is minél változatosabbak legyenek. Tiszta szalagnak azt az állapotot nevezzük, ami a kamera adatai alapján, az alkalmazott szalagra elérhető legalacsonyabb „feketeszínhez” tartozik.

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.

3.3. A paprika geometriai jellemzőinek meghatározása

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 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 3.3. táblázat 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.

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

Megnevezés	Minősítés	Esetek száma [db]	Esetek össz. [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 3.4. táblázatban szereplő vizsgálati adatok alapján azonban megállapítható, ha a szár a másik kameranézetben nem látszik visszahajlónak, akkor ez az állapot érzékelhető, a hosszmérésnél 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. Miután a torzult termések esetén azonban a méret szerinti válogatás nem igény és nem előírás, ezért a durva hosszmérés is megfelelő.

3.4. táblázat A visszahajlott szár meghatározásának sikeressége

Megnevezés	Minősítés	Esetek száma [db]	Esetek össz. [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%

A 3.5. táblázatból 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 adata van szükség.

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.

A gépi úton meghatározott méretek pontossági adatai a 3.6. táblázatban 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.

3.4. Alakleírás vizsgálata, görbültség meghatározása

A deformált termékekre vonatkozó vizsgálati eredmények a 3.7 és a 3.8. táblázatban láthatók. A deformációra vonatkozó vizsgálatokat két részre bontottam, először azt vizsgáltam, hogy az algoritmus milyen találati aránnyal (pontossággal) tudja a különböző alakrajtossággal rendelkező csoportok esetén besorolni a deformációnak megfelelő kategóriába a termékeket. A 3.7.

3. Eredmények

táblázatban található mérési adatokból megállapítható, hogy a besorolás pontosságára vonatkozó hiba egyik esetben sem érte az 5%-os hibahatárt.

A második lépésben a deformált termékek azonosítását vizsgáltam különböző termésszínű paprikák esetén (3.8. táblázat). Ennek során azt vizsgáltam, hogy a deformáció szerinti besorolás sikerességét mennyire befolyásolja a termék színe. A legnagyobb bizonytalanság ebben az esetben a zöld színű termékeknél

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

Megnevezés	Minősítés	Esetek száma [db]	Esetek össz. [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%

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

Megnevezés	Minősítés	Esetek száma [db]	Esetek össz. [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%

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.

3.7. táblázat A termések mért görbülség szerinti automatikus besorolásának vizsgálata

Megnevezés	Minősítés	Esetek száma [db]	Esetek össz. [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%

3.8. táblázat A termés színének hatása a deformáció mértékének meghatározására

Megnevezés	Minősítés	Esetek száma [db]	Esetek össz. [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%

3.5. 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 tolmérővel, az átmérők meghatározása pedig lyuksablonnal történt.

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 3.1-3.4. ábrákon és a 3.9. táblázatban tekinthetők meg.

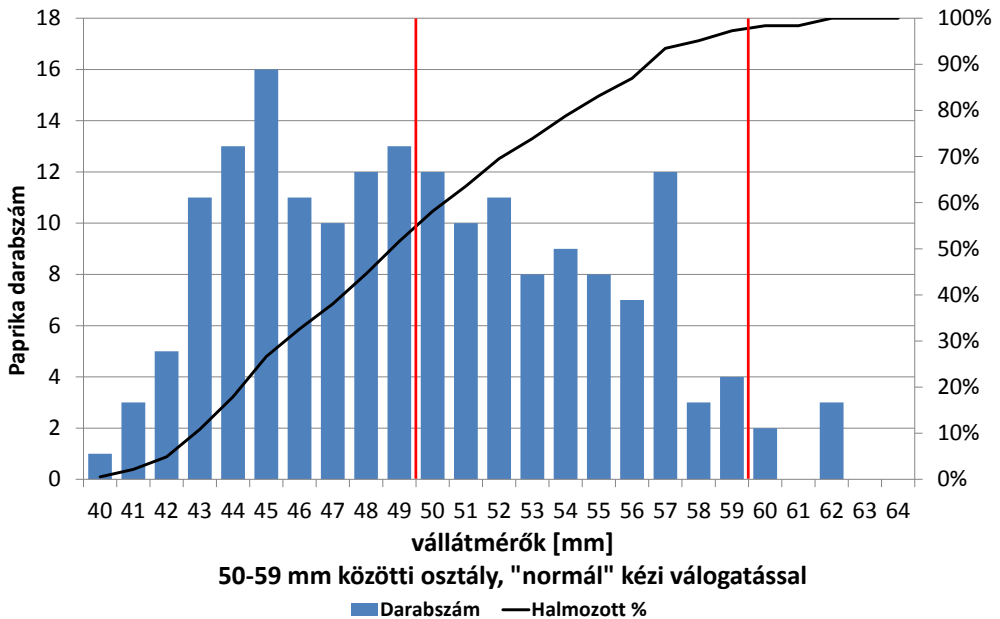
A kézi válogatás adataiból megállapítható, hogy „normál” válogatási körülmények (3.1. ábra) mellett a válogatási fegyelem alacsonyabb volt, mint a nagyobb odafigyeléssel végzett „gondos” esetben (3.3. ábra). A diagramokból az is megállapítható, hogy a kézi válogatás során a paprikákat felfele minősítették, vagyis túlzóan jónak ítélték a válogatást végzők.

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.

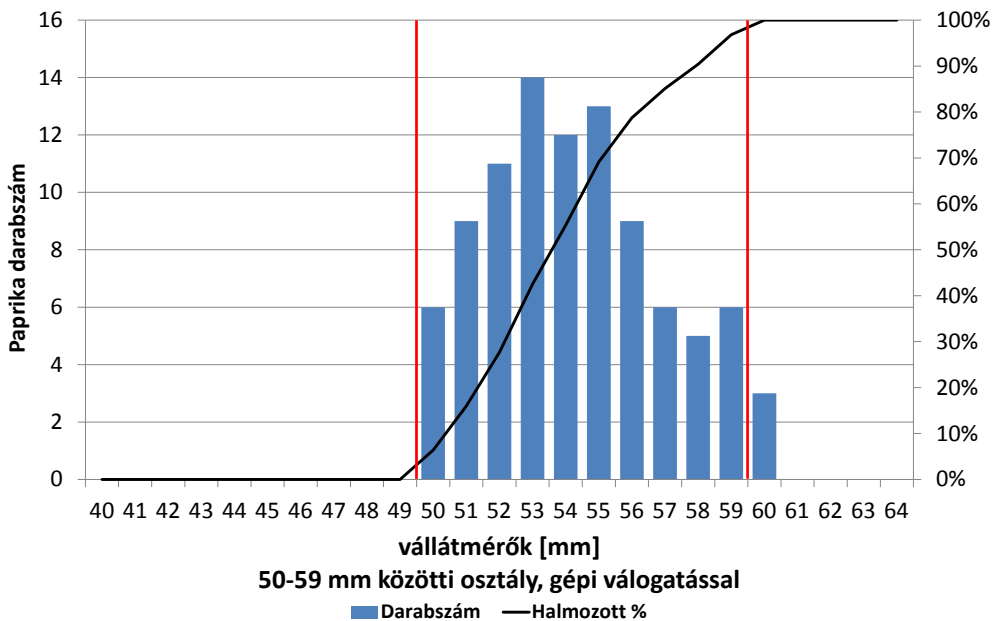
A 3.1-3.4. ábrák alapján készült 3.9. táblázat adatai alapján kijelenthető, hogy a gépi osztályozás hibája mindkét esetben 3% körül alakult, ami lényegesen alacsonyabb a kézi válogatás „normál” körülmények közötti 54%-os, valamint a „gondos” osztályzás 37%-os hibájához képest.

3.9. 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, <i>N</i> minta	40	62	20	49,7	5,13	184	100	-10; +3	54,3%
Kézi, <i>G</i> minta	45	64	19	50,6	4,32	123	45	-5; +5	36,5%
Gépi, <i>N</i> minta	50	60	10	54,3	2,67	94	3	-0; +1	3,2%
Gépi, <i>G</i> minta	49	60	11	53,9	2,72	92	3	-1; +1	3,3%

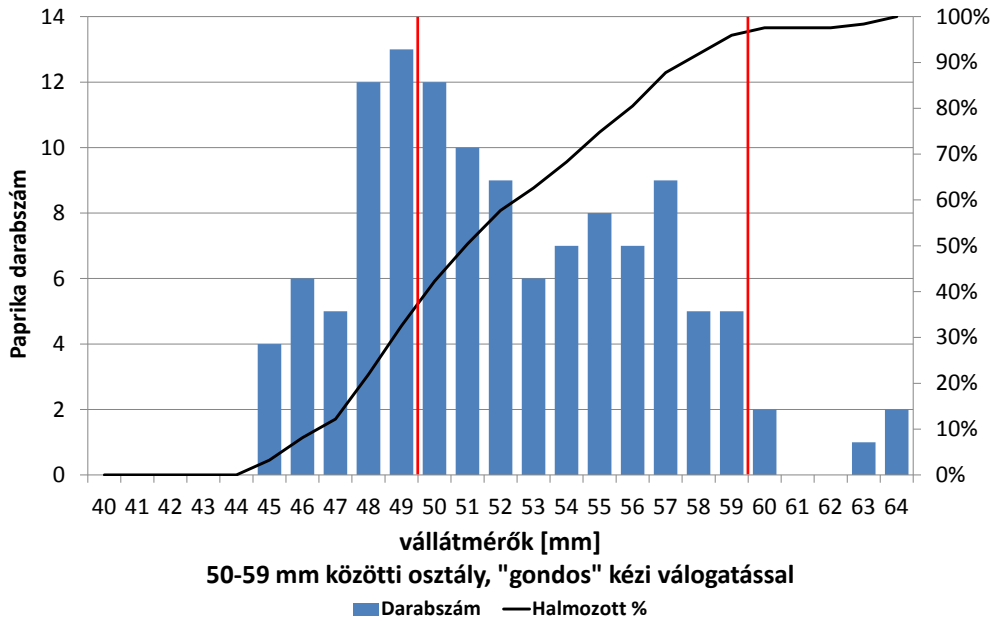


3.1. ábra A „normál” kézi válogatás hisztogramjai (N minta)
(a két függőleges piros vonal a méretosztály határát jelöli)

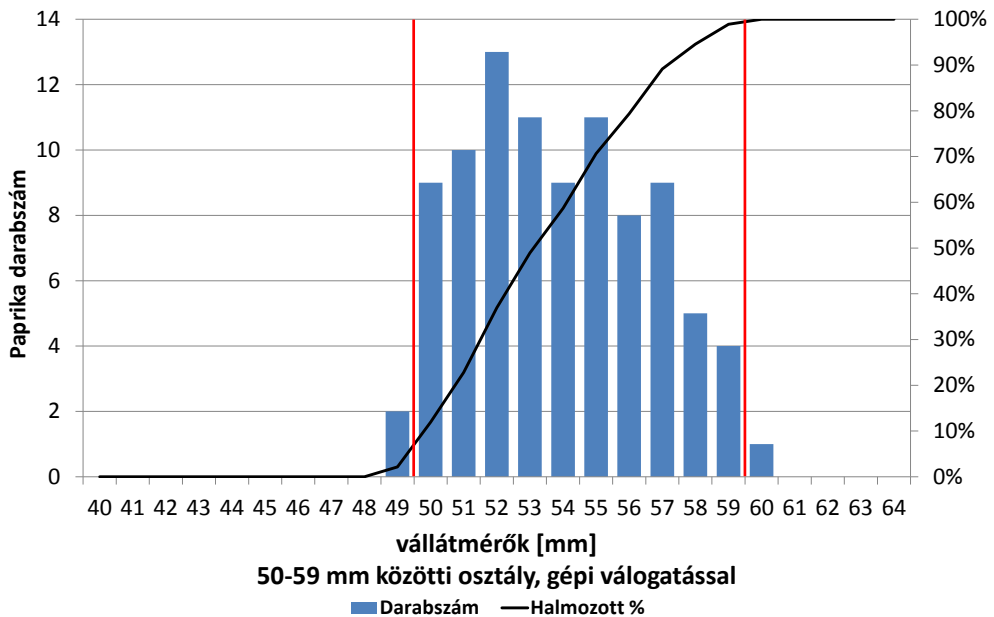


3.2. ábra A „normál” minta (N minta) gépi válogatásának hisztogramjai
(a két függőleges piros vonal a méretosztály határát jelöli)

3. Eredmények



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



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

3.6. A kidolgozott módszer felhasználhatósága más termények osztályozására

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

A paprikát mérő 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 kontúrmérését is elfogadhatóan alacsony hiba mellett képes elvégezni, de az eredendően a paprikára kidolgozott eljárás miatt nemcsak szoftveres, hanem konstrukciós módosításokra szükség van.

Az univerzális működésre vonatkozó mérési eredmények a 3.10. táblázatban 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.

3.10. táblázat A hosszúkás 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 össz. [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%

4. 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 módszereknél.

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 alakkörbe 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:

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

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 mérsékelt 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.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

ÉTKEZÉSI PAPRIKAFAJTÁK ÚJSZERŰ MINŐSÍTÉSE
AUTOMATA KÉPFELDOLGOZÓ RENDSZERREL

Dolgozatom célkitűzése az volt, hogy megoldást adjon a kúpos és hegyes alakkörbe tartozó étkezési paprika válogatására, amellyel az étkezési paprika osztályozása alacsony költségek mellett, pontosan, gyorsan, a szabványelőírások 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.

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 valósidejű működést lehetővé tévő, 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.

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 alakkörre parametrizálni kell a kidolgozott módszereket. Ennek keretében vizsgáltam az algoritmus megfelelőségét és alkalmazhatóságát néhány ütődésre fokozottan nem érzékeny hosszúkás zöldségféle esetében.

7. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ KIEMELT
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