

SZENT ISTVÁN EGYETEM

Növény diagnosztika levélmozgás alapján
számítógépes képfeldolgozással

Doktori értekezés tézisei

Font László

Gödöllő
2009

**A doktori iskola
megnevezése:**

Műszaki Tudományi Doktori Iskola

tudományága:

Agrárműszaki Tudományok

vezetője:

Dr. Farkas István
egyetemi tanár, DSc
SZIE, Gépészmérnöki Kar

témavezető:

Dr. Farkas István
egyetemi tanár, DSc
SZIE, Gépészmérnöki Kar,
Környezetipari Rendszerek Intézet

.....
az iskolavezető jóváhagyása

.....
a témavezető jóváhagyása

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉSEK.....	4
1.1. A téma jelentősége.....	4
1.2. Kitűzött célok.....	4
2. ANYAG ÉS MÓDSZER	6
2.1. Paradicsom leveleinek lehajlása és nedvességtartalma	10
2.2. Növény leveleinek cirkuláris mozgása	10
2.3. Interaktív öntözés.....	10
3. EREDMÉNYEK	12
3.1. Paradicsom lombozat lehajlása és nedvességtartalma közti kapcsolat.....	12
3.1.1. <i>A paradicsom leveleinek lehajlása és nedvességtartalma</i>	14
3.1.2. <i>A paradicsom leveleinek és szárainak együttes lehajlása és a levelek nedvességtartalma</i>	16
3.2. Cirkuláris mozgás nyomonkövetése uborka esetén.....	19
3.3. Automatikus öntözés	21
3.3.1. <i>Paradicsom automatikus öntözése</i>	21
3.3.2. <i>Paprika automatikus öntözése</i>	25
4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK	28
5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK	28
6. ÖSSZEFOGLALÁS.....	32
7. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ TARTOZÓ PUBLIKÁCIÓK	33

1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉSEK

Ez a fejezet a kitűzött téma jelentőségét, és azokat a célkitűzéseket mutatja be, melyekkel növények állapota folyamatosan, roncsolásmentesen, költség és energiatakarékosan, mérhető, és szabályozható.

1.1. A téma jelentősége

Édesvizekre a növekvő népesség fokozott mezőgazdasági, ipari és háztartási vízfelhasználása egyre növekvő veszélyforrást jelent.

Az emberek által felhasznált víz 70-80%-a öntözésre szolgál, 2025-ig az öntözésre felhasznált víz mennyisége 50%-al növekedhet. Az egy főre jutó termelés és a népesség fokozódása gyorsuló környezeti változásokat és helyenként vízhiányt eredményezhet. A mezőgazdaság számára egyre elérhetőbb informatikai lehetőségeket kihasználva a növény levél mozgásának mérésére a következőkben leírt célokat tűztem ki.

1.2. Kitűzött célok

A dolgozat célja üvegházi növények, paprika, paradicsom, uborka levélzet eszköz-, energia-, és költségghatékony (low cost automation) oldalirányú monitorozása, levél mozgás mérése a látható fény tartományban minél egyszerűbb eszközökkel.

Költségghatékony növényházi mérések:

1. Alacsony felbontású kamera segítségével, modell üvegházban mesterséges világítás és háttér mellett, uborka, paradicsom és paprika levél és szár mozgásának oldal irányú monitorozása, egy növény és összeérő levélzetű növénycsoport esetén.
2. Üvegházi mérésre direkt napfénytől mentes természetes fényben is alkalmazható legyen, speciális megvilágítás nélkül, a növény mozgását befolyásoló külső hatások, pl. szélről eltekintve.
3. Növény növekedési folyamatok nyomon követése.
4. Cirkuláris mozgás nyomon követése.
5. Az eljárás számítási kapacitásra illetve kamerára vonatkozó igénye a lehető legkisebb legyen, elősegítve a valódi növényházban változó hőmérsékletű és nedvességtartalmú környezetben történő vezeték nélküli akkumulátoros és napenergiás mérést. A kis teljesítményű, mozgó alkatrészek nélküli energiatakarékos ipari számítógép, ipari kamera és jeladóból álló monitorozó egység művelet és energiaigénye jórészt a képek méretén, és az algoritmuson múlik.
6. Felhasználóbarát környezettel a mérés körülményeihez igazítható legyen, tárolja, hasonlítsa össze a korábban mért és bevitt adatokat, további kiértékeléseket is támogasson.

Algoritmusok kidolgozása:

1. Algoritmus kidolgozása és alkalmazhatóságának vizsgálata kertészeti termények (uborka, paradicsom, paprika) szár és levél részek automatikus megkülönböztetéséhez.
2. Algoritmus kidolgozása és alkalmazhatóságának vizsgálata kertészeti termények (uborka, paradicsom, paprika) szár és levélzet lehajlásának monitorozásához. A hasonló kinézetű egymással összeérő, vagy részben takarásban levő nehezen megkülönböztethető levelek ne zavarják a mérést.
3. Az eljárás alkalmazható legyen egy növény, növénycsoport és növényi részek mérésére. A feldolgozandó terület tetszőleges méretű lehessen, a mérés folyamán a benne levő időnként látszódó, időnként takarásban levő levelek és szárok ne zavarják a mérést.
4. Az egymást követő mérésekkor a növénymérések közötti mozgásból adódóan a feldolgozandó területbe bejövő és kimenő növényi részekre ne legyen érzékeny.
5. Ha a feldolgozandó terület egyes részei értékelhetetlenek, az értékelhető részekből számolt eredmény önmagában is használható legyen.
6. Az algoritmus minél egyszerűbben működjön, speciális világítás, optikai és szoftveres szűrés illetve speciális képkorrekció nélkül. A képek tárolása és feldolgozása érdekében tömörítés nélkül is kisméretűek legyenek.

Lehajlás – nedvességtartalom, közérzet meghatározása:

1. Növény levél és szár lehajlás meghatározása fokban, a levél lehajlás, szár lehajlás, levél és szár együttes lehajlás és nedvességtartalom kapcsolatának vizsgálata.
2. Növényi közérzet (wellness) fogalmának vízellátottságra vonatkozó objektív mérése.
3. Szárazság stressz kimutatása.

Lehajlás – öntözés szabályozás:

1. Képfeldolgozáson alapuló automatikus öntözés tervezése és kialakítása.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

A kísérletek döntően a SZIE Fizika és Folyamatirányítási Tanszékén megépített modell növényházban történtek. A növényeket egy web kamera monitorozta. A kamera meghatározott időnként felvételeket készített a növényekről. A képeket egy saját fejlesztésű algoritmus értékelte és tárolta a nyert információkat. Az eredményeket egy szintén saját fejlesztésű szoftver jeleníti meg. A kamera a növényház nyitható oldalán volt elhelyezve, 45 - 55 cm-re a vizsgált növényektől. A modell növényház szemközti, fal felőli oldalára fehér színű papírlapok kerültek, biztosítva az egyenletes háttérrel a mérésekhez.

Alkalmazott eljárás

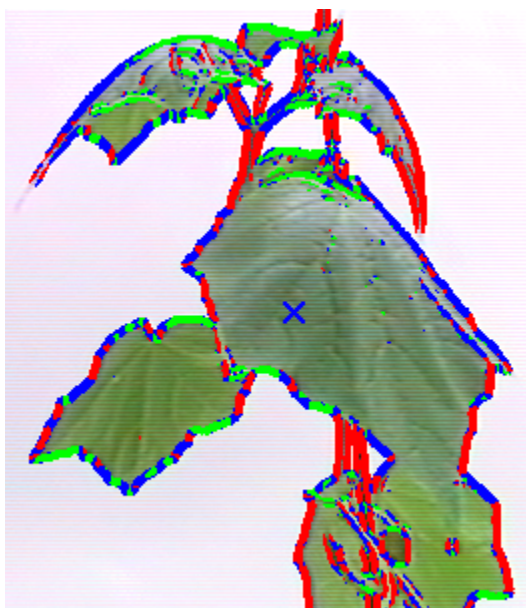
A dolgozatban a levelek és szárok irányának a mérése a kamera tengelyére merőleges síkban, a növényről készített képen látható levél és szár felület alapján történt. A mért lehajlás nem adja vissza a levelek és szárok valódi térbeli irányát, az eljárás a lehajlást a kamera tengelyére merőleges síkban a vízszinteshez képest határozza meg. A levelek irányának pontosan mérhető definíciója híján a lehajlás a levelek és szárok szélei közelében levő apró képzeletbeli érintők irányával kerültek meghatározásra.

A növénycsoportot monitorozó eljárás nem az egyes növényekről gyűjt információt, hanem lokális él pontok alkalmazásával működik. Egy pontról csak egy meghatározott méretű környezete alapján dől el, hogy háttér vagy a növény része.

A növényről készített oldalirányú felvételen a növény háttérrel érintkező pontjai környezetében a kidolgozott algoritmus meghatározza a levélszél, illetve szár irányát. Ha az egymást részben takaró levél illetve szár részek árnyalatában elég éles kontraszt található, a takaró felület széleinek iránya is meghatározható. A későbbiekben ismertetett élkereső eljárás nagyszámú levélszél irányt és szár irányt határoz meg. A fokban számított irányokat az algoritmus lefelé kerekíti és megszámlálja, hogy egy-egy kerekített irány milyen gyakran fordul elő a kijelölt területen belül.

Irány hisztogram

A jelző pálcikák irányát az algoritmus egész számra kerekített fokban tárolja, és az azonos irányú pálcikák darabszámát megjelenítő hisztogramot készít. A hisztogram megmutatja, hogy egy-egy irány milyen gyakran fordul elő a feldolgozott területen belül. A 1. ábrán egy modell növényházban levő uborka látható, szélső pontjait az iránykereső algoritmus színes pontokkal jelölte. A színes pontok környezetében fellelhető él rész iránya tizedes pontossággal került meghatározásra, az ábrán iránytartományok szerinti eloszlásuk látható, 30°-os szögtartományokba osztva.



- Zöld: 0°-30° Kék: 30°- 60° Piros: 60°- 90°

1. ábra Levél és szár lehajlás uborkapalántán, a vízszinteshez képest, fokban

Levél és szár iránymérés

Az algoritmus a növény szélső pontjai alapján számolja ki a lehajlás irányát. A növénycsoportot monitorozó rendszer a képen talált élek alapján levelek és szárak irányát méri, és azt feltételezi, hogy a megfelelő környezeti paraméterek közt levő egészséges növény szárai és leveleinek lapja vízszinteshez közelebbi irányt vesz fel, mint a beteg vagy nem megfelelő környezetben levő. Az él pontok nem csak a növény legszélső pontjai, hanem azok, a növény széléhez közel levő pontok is, amelyek környékén él található.

A kidolgozott algoritmus főbb lépései

A célkitűzésekben megfogalmazott algoritmusra vonatkozó igényekből kiindulva a kisebb tárolókapacitás, gyors adatátvitel és a feldolgozás számításigényének mérséklésére az algoritmus fekete fehér képekkel dolgozik.

Az él keresés során egy változtatható méretű PREWITT (1970) operátor végigfut a vizsgált területen és meghatározza a mátrix mezőben található feltételezett él erősségét. A választás azért esett a Prewitt operátorra, mert előszűrés nélkül, egy lépésben keresi és méri az él irányát, erősségét, illetve csekély számítási kapacitással sikeresen alkalmazták texturális alakzatok irányainak meghatározására (TAMURA et al, 1978). Az irány erősségét jelző minimális intenzitás különbséget a felhasználó választhatja meg, így csak a kellően erősen látszódó élekkel számol az algoritmus.

Ha a mátrix megfelelő erősségű él pontot talál, kiszámolja az irányát és tárolja a pontok helyét, mert azok vagy levél, vagy szár pontok.

Harmadik lépésben a talált pontokat az eljárás a pontok környezete szerint levél és szár pontokra osztja.

Az él pontok irányát 0 tol -90° ig terjedő szögtartományba konvertálja az eljárás, a 0° a vízszintest jelenti, a -90° pedig az attól való legnagyobb eltérést akár felfelé, akár lefelé.

Az algoritmus által meghatározott irány hisztogram a 0 és -90° közötti egész szögek darabszámát mutatja. A hisztogram a levél és szárlehlajlást mutatja, és a növény állapotát jelzi.

Modell a levél és szár meghatározáshoz

A modell szerint a képen vagy növény, vagy háttér pontok vannak. A növény pontok vagy szár, vagy levél pontok lehetnek. A kidolgozott algoritmus a levél és szár szétválasztásához megkeresi az él pontok átlagos szürkeségértékét. Az ennél világosabb él pontok háttérnek, a sötétebb pontok a növény pontjainak számítanak. Az utóbbiak a modell szerint vagy levél, vagy szár pontok lehetnek.

Egy felhasználó által beállított (s) méretű $[2s+1, 2s+1]$ pixel méretű szárkereső mátrix végigfut a vizsgált terület növény pontjain. A mátrix öt különböző értéket vizsgál, és ha a mátrix közepére mind az öt feltétel teljesül, akkor az szár pontnak minősül, ha nem, akkor levél pontnak.

a/ Feltétel

A felhasználó megadja a mátrixban található minimális növény pontok számát, s_t -t. ha ennél több van, akkor a feltétel teljesül.

b/ Feltétel

A program kiszámolja a mátrixon belül az egyes irányok és az átlag közötti különbséget. Ha ez kisebb, mint a felhasználó által megadott s_0 akkor 0-nak számít. A különbségek összegét a mátrix pontjaival elosztva kapjuk az átlagos irány eltérést. A következő lépésben az algoritmus kiszámolja, hogy hány százaléka az átlagos különbség az átlagos iránynak. Ha kevesebb, mint a felhasználó által megadott s_diff érték, akkor ez a feltétel teljesül.

c/ Feltétel

A mátrix külső pontjai világosabbak legyenek, mint a belső pontok. Egy pont világosságát a szürkeségértéke határozza meg. A program ellenőrzi az összes él pontra, hogy a mátrix közepe felé eső oldal vagy a külső két oldal a sötétebb. Ha egy pontra igaz, hogy a külső oldal pontjai világosabbak, egy számláló értéke 1-el nő, ha nem 1-el csökken. Ha a számláló pozitív értékre jön ki, akkor a feltétel teljesül.

d/ Feltétel

Ha a mátrix középső pontja sötétebb, mint a mátrixban levő pontok átlag szürkeségértéke, akkor ez a feltétel teljesül.

e/ Feltétel

Az algoritmus megszámlálja azokat a mátrix pontokat, amelyek jobb oldali szomszédja világosabb, mint a bal oldali. Azután megszámlálja azokat a mátrix pontokat, amelyek jobb oldali szomszédja sötétebb, mint a bal oldali. A kettő különbségének és a mátrixban található él pontok hányadosának kisebbnek kell lenni, mint a felhasználó által megadott érték. Ha a leírt jobb-bal irányhoz hasonlóan a fenti-lenti szomszédokra is teljesül a feltétel, akkor az előző négy feltétel ismeretében az algoritmus eldönti, hogy a vizsgált pont szár vagy levél (2.ábra).



2. ábra Levél [piros] és szár [zöld] pontokra osztott kép. Levél él pontok barna, szár él pontok kék színűek

2.1. Paradicsom leveleinek lehajlása és nedvességtartalma

Paradicsomokon végzett kísérletben 10 növény egy modell üvegházban fejlődött, napi 14 világos órában, virágföldben, cserépben. A növények öntözése egy időben történt, ugyanannyi vízzel, tömegük, magasságuk (kb. 60 cm) hasonló volt. A mérésenként levágott 7 levél egy szárítószekrényben kiszáradt, majd teljesen száraz állapotban újra mérésre kerültek. A hét levél átlagos nedvességtartalma került összehasonlításra a kamera által mért átlagos lehajlással.

2.2. Növény leveleinek cirkuláris mozgása

A cirkuláris mozgás mérésével a növény mozgása számszerűsíthető. A kísérletben uborka öntözést követő pár órás mozgása és a regenerálódott növény öt napi ciklikus mozgása került monitorozásra, a kétféle mozgás összehasonlítása és automatikus elkülönítése céljából. A levélzet mozgása fel-le irányú elmozdulás alapján, illetve a levelek lehajlásának szögsebességével került meghatározásra.

2.3. Interaktív öntözés

A kísérlet során a USRobotics 640x480 felbontású 24 bites színes kamera 50 cm távolságról monitorozott három, egymás melletti paprikát, illetve hasonló kísérletben paradicsomokat, lásd későbbiekben . A 3. és 4. ábrákon az algoritmus szerint megfelelő és nem megfelelő állapotban levő paprikák csoportjai láthatók. A képeken 15 pixel 1 cm-nek felel meg.

A monitorozás révén az öntözés közvetlenül a növényről nyert információ alapján szabályozható. A növények mögött fehér színű papírlapok biztosították az egységes hátteret.

Az irányító berendezés részét képező mérőrendszer személyi számítógépből, egy ahhoz csatlakoztatott digitális kamerából, és egy képelemző rendszerből áll. A képi adatgyűjtés a korábban leírtak szerint történt.

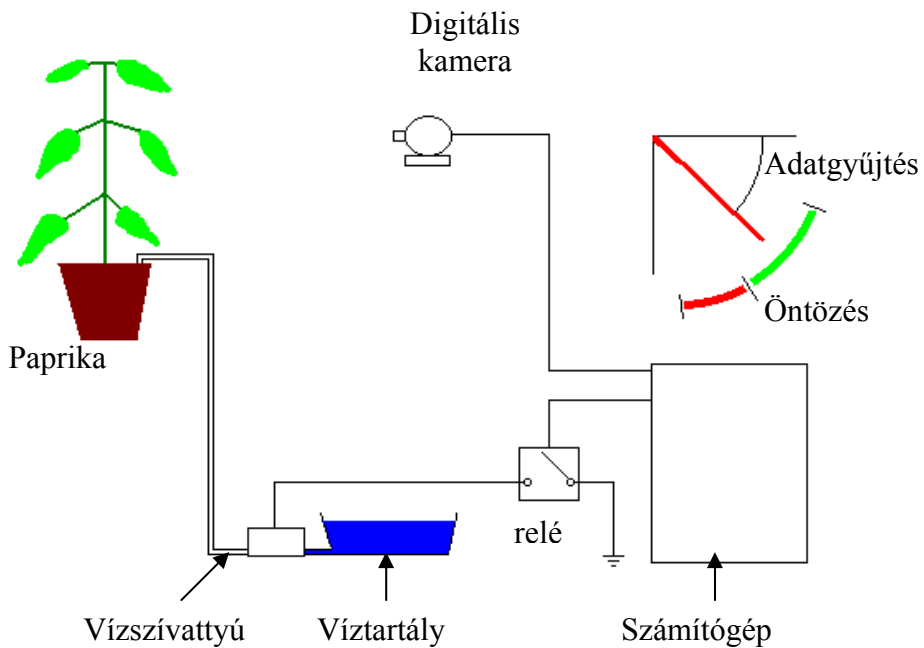


3. ábra Elfogadható levél lehajlás



4. ábra Nem elfogadható levél lehajlás

A kamera által készített képeket az algoritmus értékeli, és meghatározza a levél és szárlejhajlás együttes értékét. Amikor az aktuális lejhajlás eléri az adott növényre előre meghatározott megengedett határértéket, akkor a szabályzó bekapcsolja a vízszivattyút. A cserepek feletti perforált öntözőcsőbe a számítógéphez kapcsolt szivattyú juttatja a vizet (5. ábra).



5. ábra Az automatikus öntözés működése

3. EREDMÉNYEK

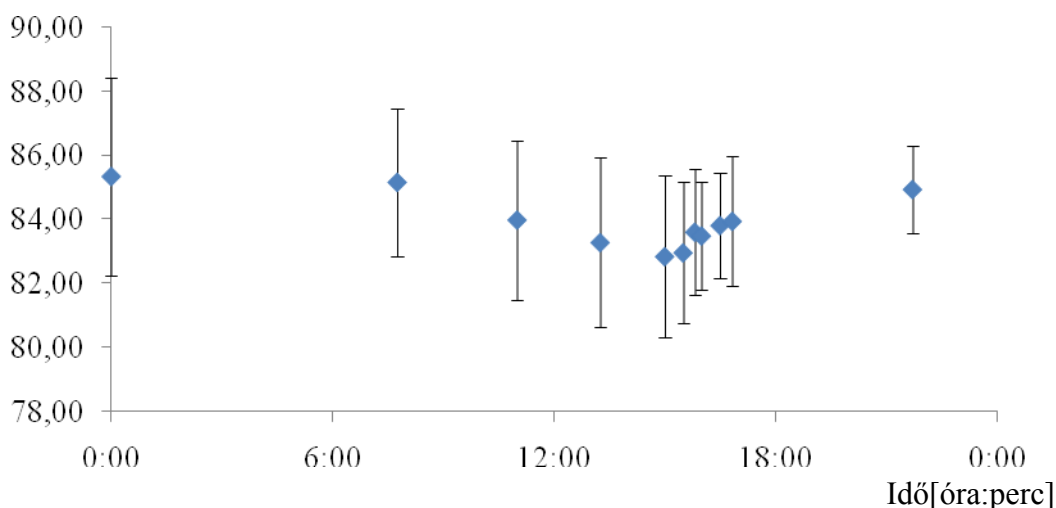
Ez a fejezet a kidolgozott algoritmusokkal elvégzett kísérletek eredményeit, azok értékelését, és az azokra tett megállapításokat tárgyalja.

3.1. Paradicsom lombozat lehajlása és nedvességtartalma közti kapcsolat

A digitális kamerával történt kísérletek egy számítógéphez kapcsolt modell üvegházban történtek. A három kiválasztott növényen kívül a megmaradt hét kontrolnövény alulról számítva az 5. illetve 6. száron levő leveleinek a nedvességtartalma szárítószekrény segítségével került meghatározásra. A levelek nedvességtartalom mérése kontrolnövényen történt, hogy a levelek levágása ne befolyásolja a kamerával mért növények élettani tulajdonságait.

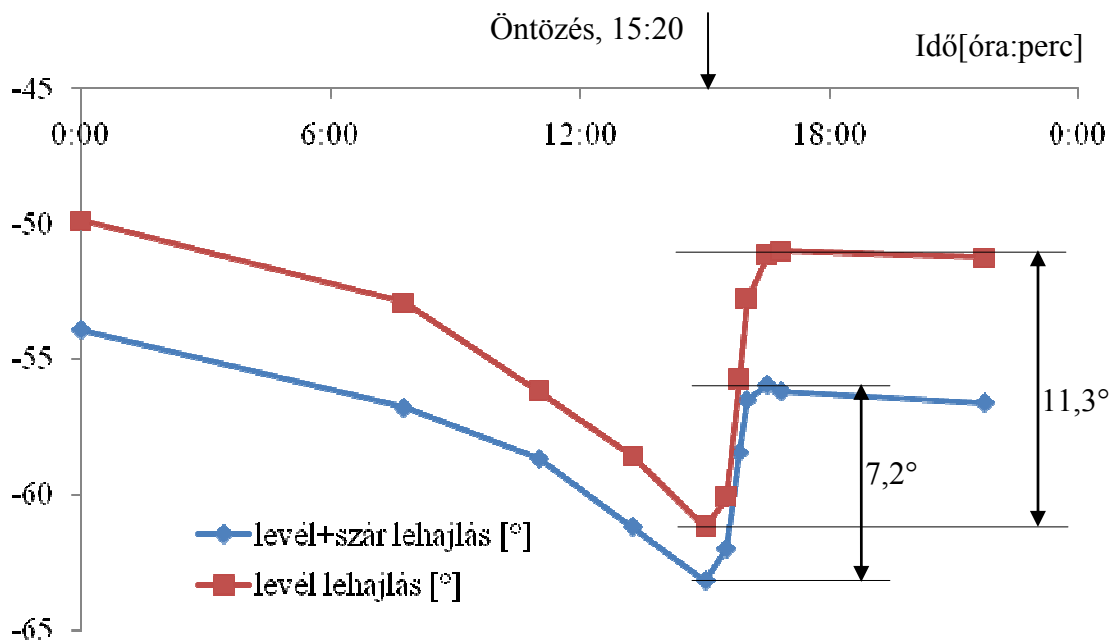
A hét kontrolnövény mindegyikéről egyidőben levágott 1-1 levélből számolt, időpontra vonatkozó átlagos, növénycsoportra vonatkozó nedvességtartalom az 6. ábrán látható.

Kontrol növénycsoport átlagos nedvességtartalma [%]



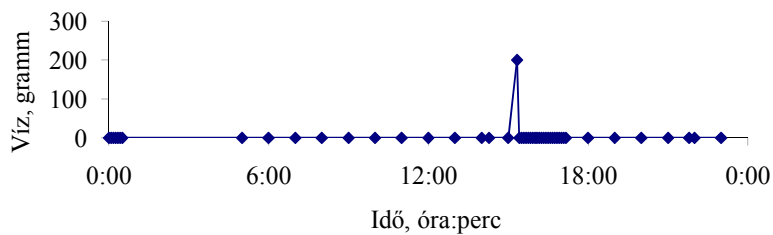
6. ábra Nedvességtartalom az idő [óra:perc] függvényében, 95%-os konfidencia intervallummal

Az 7. ábrán a képfeldolgozással mért levél, és levél szár együttes lehajlás, ill. a nedvességtartalom szórás értékei láthatók, az idő függvényében.



7. ábra A paradicsom leveleinek lehajlása, ill. a levelek és szárak együttes lehajlása a tömegmérés időpontjaiban

A kapott eredményekből megállapítható, hogy a növények csoportjára jellemző, egyidőben mért levél nedvességtartalmak átlaga (6. ábra) a növénycsoporton képfeldolgozással mért levél lehajláshoz (7. ábra) hasonló módon változott. A 8. ábrán az öntözési menetrend található.



8. ábra Öntözési menetrend a kísérlet alatt

A kísérletből kitűnt az is, hogy a levél és a levél és szár együttes lehajlása hasonlóan változik. A paradicsom szárai a mért lehajlást azért is befolyásolják, mert az algoritmus a növény közel függőleges, vízhiányra viszonylag érzéketlen irányú törzsét is szárnak véli.

A továbbiakban a nedvességtartalom mért értékei az egy időben mért hét levélből számított átlagos nedvességtartalomra vonatkoznak.

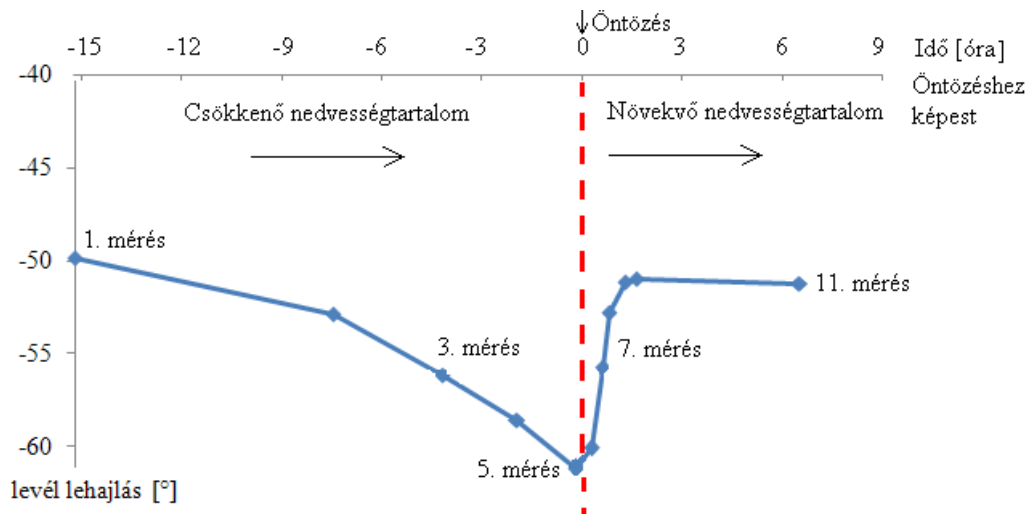
A kísérlet az öntözés előtti és utáni időszakra bontható, amikor a növény nedvességtartalma csökken illetve növekszik. Az öntözés szempontjából az előbbi a meghatározó, ezért a kísérlet az öntözést megelőző időszakkal foglalkozik részletesebben.

3.1.1. A paradicsom leveleinek lehajlása és nedvességtartalma

A levelek nedvességtartalmának lehajlás alapján történő méréséhez kidolgoztam egy értékelő módszert, amivel a paradicsomokon elvégzett mérések értékelhetők, validálhatók. A levelek lehajlásából meghatároztam a levelek nedvességtartalmát az öntözés előtti és utáni időszakban. A lehajlás nedvességtartalom függvény segítségével a mért lehajlás értékeit átszámítottam nedvességtartalom értékekre, és meghatároztam a számított és a mért nedvességtartalom értékek közti korrelációt. A kapott függvény a vizsgált növénycsoportra érvényes. Ezzel a módszerrel más növénycsoport lehajlás nedvességtartalom összefüggése is meghatározható. A módszer alkalmazása a továbbiakban kerül bemutatásra.

A 9. ábrán 11 mérés eredménye látható. Egy-egy mérés alkalmával a levél lehajlás képfeldolgozással került meghatározásra.

A felvételek a növénycsoporthoz írt algoritmussal kerültek feldolgozásra, az eredmények (10. ábra) az egész képre vonatkozó levél lehajlásra vonatkoznak.



9. ábra Levél lehajlás az idő függvényében

A mért értékek segítségével elkészíthető egy időtől független grafikon (10. ábra), ahol a nedvességtartalom a levél lehajlás függvényében jelenik meg. Minden ponthoz egy képfeldolgozással mért lehajlás, és hét levélből számított átlagos nedvességtartalom tartozik, 95%-os konfidencia intervallummal. A két jellemző közötti összefüggés segítségével a levél lehajlásából meghatározhatóvá válik a nedvességtartalom. Az öntözés előtti és utáni pontokra Microsoft Excel programmal készült az illesztett függvény. Az illesztett függvény egyenlete és a korrelációs koefficiens négyzete az ábrán látható, ahol:

$$R = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}}$$

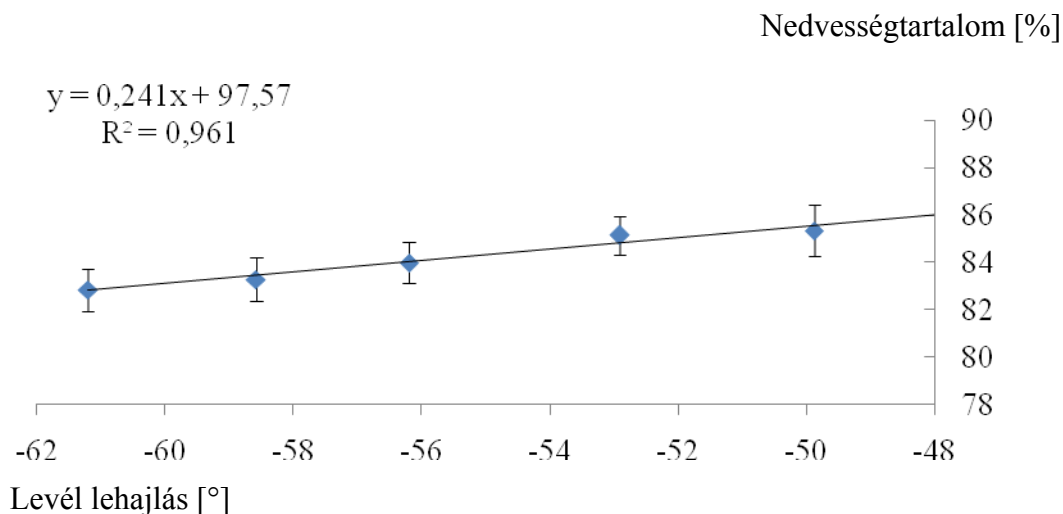
x értékek a levéllehajlást,

y értékek a nedvességtartalmat jelzik,

R a levéllehajlás és a nedvességtartalom közötti korrelációs koefficiens.

Az öntözést követő fél óráig hasonlóan változott a lehajlás és a nedvességtartalom, a következő időszakban a növény levelei gyorsabban emelkedtek, mint ahogy a nedvességtartalmuk nőtt. Ezért célszerűnek tűnt az öntözés előtti és utáni méréseket külön-külön is értékelni. Az utolsó két mérés között a lehajlás alig változott, miközben a levelek nedvességtartalma tovább nőtt.

Az öntözés előtti mérések eredményei a 10. ábrán láthatók. A kísérlet 9. és 11. mérései között az öntözés után regenerálódó növények mozgása kevésbé függött a levelek nedvességtartalmától.



10. ábra Levél lehajlás – nedvességtartalom függvény, öntözés előtt

A kísérlet kezdetétől az öntözés időpontjáig öt mérés készült, eközben a levélzet egyre lejjebb hajlott, a növény szemmel láthatóan kedvezőtlenebb helyzetbe került. Öntözés után a 6-8. mérések között a levélzet folyamatosan emelkedett, a növény állapota a felvételek alapján javult. Végül a 9-11 mérések között a levelek emelkedése elérte maximumát. Az utolsó előtti és az utolsó mérés között a levél lehajlás alig változott, de a nedvességtartalom jelentősen nőtt.

Az egyes mérési tartományokban a lehajlásra illesztett nedvességtartalom függvény és a paradicsom leveleken mért nedvességtartalom illesztési pontossága validálja a mérést.

A kísérlet eredményei szerint fokozódó vízhiány időszakában szorosabb az összefüggés a levél lehajlás és a levelek nedvességtartalma között, mint a teljes mérési tartományban, vagy a víz felvétel közben. A levél lehajlásból számított levél nedvességtartalom mérés szárazabb levélzet esetén pontosabb eredményt ad. A kialakuló szárazság stressz mértékének megállapítására pontosabban használható az összefüggés, mint a stresszt követő időszakban történő levél nedvességtartalom becslésre.

Meghatároztam a nedvességtartalom és a levél lehajlás változásait a kísérlet során a vízszinteshez legközelebbi legkedvezőbb, és az attól leginkább eltérő legkedvezőtlenebb állapotok között.

A legkedvezőbb állapothoz tartozó legkisebb lehajlás $-49,88^\circ$, az öntözés előtti legnagyobb lehajlás $-61,2^\circ$. A szélsőértékek között 22,7%-os különbség adódott. E közben a nedvességtartalom, 85,33%-ról 82,85%-ra. 2,91%-ot változott.

Az öntözés előtti 15 órás időszakban 2,91%-os nedvességtartalom változáson belül a nedvességtartalom és a levél lehajlása közti összefüggés:

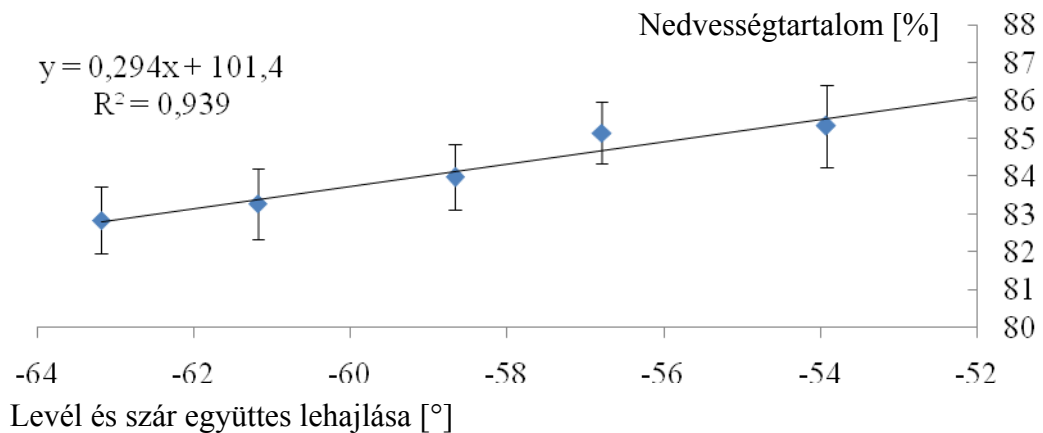
$$y = 241x + 97,57,$$

$$R^2=0,961$$

A lehajlás mérése három növény együttes vizsgálatán alapul, úgy, hogy levélzetük összeért.

3.1.2. A paradicsom leveleinek és szárainak együttes lehajlása és a levelek nedvességtartalma

A kísérlet a 4.2. fejezet elején leírtak szerint történt, az eredmények az egész képre vonatkozó levél lehajlásra vonatkoznak. A 11. ábrán a mért levél és szár lehajlás idő szerinti változása, illetve a nedvességtartalom - lehajlás függvény látható.



11. ábra A mért nedvességtartalom a levél és szár lehajlás függvényében, öntözés előtt

Az utolsó előtti és az utolsó mérés között a levél és szár együttes lehajlás alig változott, de a nedvességtartalom jelentősen nőtt.

A Fokozódó vízhiány időszakában szorosabb az összefüggés a levél és szár együttes lehajlás és a levelek nedvességtartalma között, mint a teljes mérési tartományban, vagy a víz felvétel időszakában. A levél és szár együttes lehajlásból számított levél nedvességtartalom mérés szárazabb levélzet esetén pontosabb eredményt ad.

A bemutatott eljárással meghatároztam paradicsom leveleinek nedvességtartalma és leveleinek illetve szárainak együttes lehajlása közötti összefüggést. Az öntözés előtti és utáni mérési tartományokban a levél és szár együttes lehajlásból meghatározható a levélzet nedvességtartalma, illetve az eredmény várható pontossága. A lehajlás mérése három növény együttes vizsgálatán alapul úgy, hogy levélzetük összeért.

Az elvégzett mérések alapján a növények levél és szár együttes lehajlása fokozódó vízhiány mellett 11 órán keresztül $4,75^\circ$ -ot csökkent, ami $0,43^\circ/\text{órás}$ szögsebességnek felel meg. E közben a levelek nedvességtartalma $0,12\%/\text{órával}$ csökkent.

Az öntözés előtti utolsó négy órában $4,52^\circ$ -ot csökkent a lehajlás, amiből a levél és szár együttes lehajlásának szögsebessége $1,13^\circ/\text{óra}$, a levelek nedvességtartalma ez idő alatt $0,28\%/\text{órával}$ csökkent.

Nedvességtartalommal kapcsolatos mérések összefoglaló értékelése

A 4.1. fejezetben bemutatott mérések alapján meghatároztam egy három növényből álló összeérő levélzetű csoport levél illetve levél és szár együttes lehajlását, és összehasonlítottam hasonló körülmények közt levő kontrollnövények leveleinek nedvességtartalmával. Az általam kidolgozott képfeldolgozó eljárással mért levél, szár, levél és szár együttes lehajlás és a leveleken mért nedvességtartalom

segítségével meghatároztam a vizsgált csoportra vonatkozó lehajlás-nedvességtartalom függvényeket különböző mérési tartományokban.

A kidolgozott lehajlás-nedvességtartalom vizsgálat más növénycsoporton is elvégezhető általános értékelési módszer, mellyel a növény vagy növénycsoport szárazságstressz mértéke különböző mérési tartományokban objektíven mérhető, validálható.

A csoport kialakítása a termesztési igények szerint változtatható A kidolgozott lehajlás méréssel és lehajlás-nedvességtartalom vizsgálatával a növénycsoport nedvességtartalma megbecsülhető.

Az ismertetett mérési eljárással meghatároztam a lombzat lehajlását, ami a vizsgált növénycsoportra jellemző. A lehajlás időbeni változása általánosabb paraméter, mint a lehajlás, mert a lehajlás levelenként, levélrészenként, és szárszakaszonként különböző lehet, a lehajlás változása egységesebb.

Az elvégzett mérések közül a célkitűzésekben megfogalmazott igényeknek az egyszerűsége és automatizálhatósága miatt leginkább a szár és levél együttes lehajlás mérése felel meg.

Meghatároztam a nedvességtartalom és a levél szár együttes lehajlás változásait a kísérlet során a vízszinteshez legközelebbi legkedvezőbb, és az attól leginkább eltérő legkedvezőtlenebb állapotok között.

A legkedvezőbb állapothoz tartozó legkisebb lehajlás $-53,92^\circ$, az öntözés előtti legnagyobb lehajlás $-63,19^\circ$. A szélsőértékek között 17,2%-os különbség adódott. E közben a nedvességtartalom, 85,33%-ról 82,85%-ra. 2,91%-ot változott.

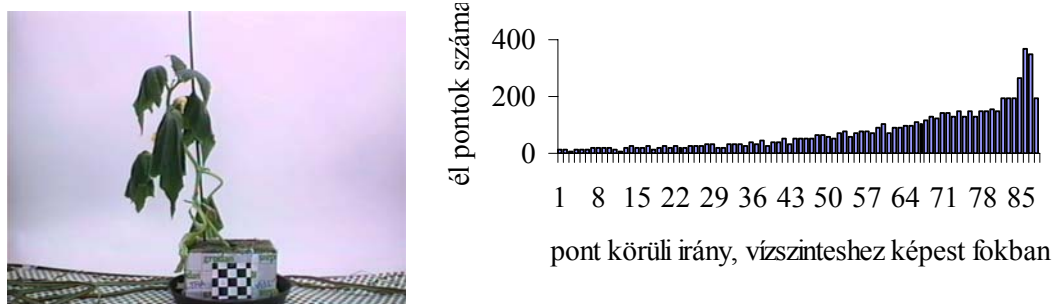
Az öntözés előtti 15 órás időszakban 2,91%-os nedvességtartalom változáson belül a nedvességtartalom és a levél szár együttes lehajlása közti összefüggés:

$$y = 294x + 101.4,$$

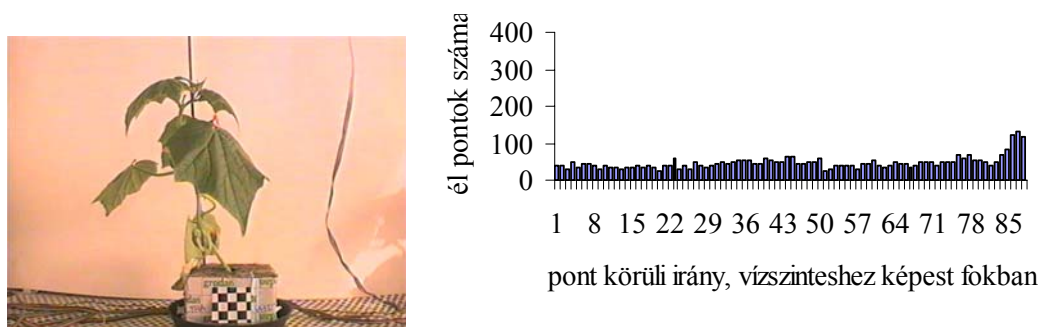
$$R^2=0,939.$$

3.2. Cirkuláris mozgás nyomonkövetése uborka esetén

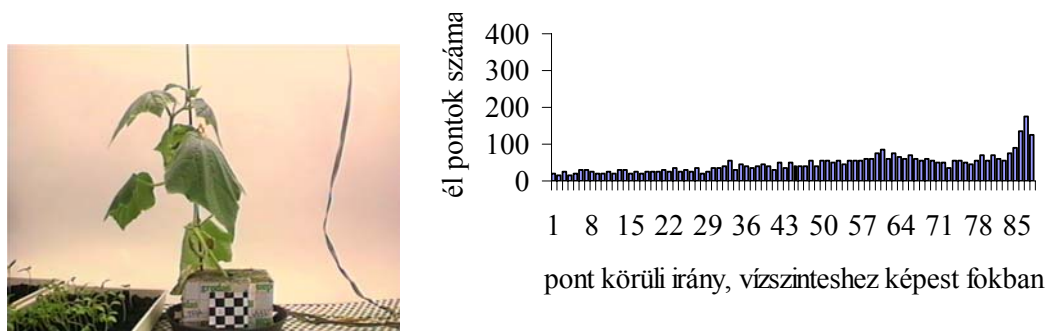
A kísérlet során uborka növény öntözést követő öt napos cirkuláris fel-le mozgása került kiértékelésre. Uborka levélzetének monitorozásához a teljes növényről készültek felvételek, a képeken 15 pixel 1 cm-nek felel meg. A 12-14. ábrákon a kamera által elmentett képek láthatók, valamint a képből számított hisztogram.



12. ábra Uborkapalánta és a képhez tartozó hisztogram negyed órával az öntözés után



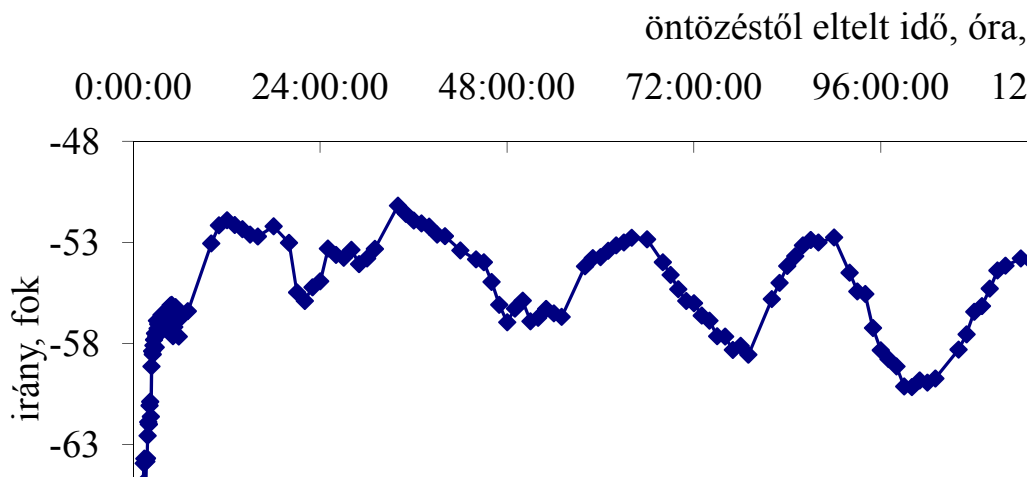
13. ábra Uborkapalánta és a képhez tartozó hisztogram 34 órával az öntözés után



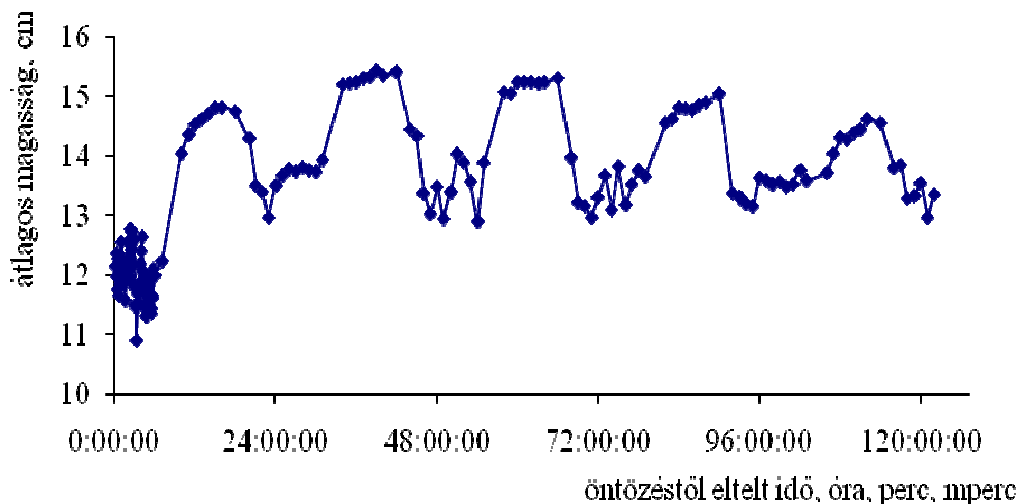
14. ábra Uborkapalánta és a képhez tartozó hisztogram 48 órával az öntözés után

Az 12. és 13. ábra között a levelek helyzete az öntözés hatására és a levelek természetes mozgása miatt változott, a 13. és 14. ábra között a levélzet napi

ciklusából adódó kb. 5°-os fel-lemozgás miatti különbség, és a kezdődő vízhiány jelei láthatók. A 12. ábrán a hisztogram kevés vízszintes közeli irányt tartalmaz, viszont 90°-hoz (függőleges) közelítő élekből közel 400 van. Ez utóbbi részben a támasztékból adódik. A 14. ábrán a kísérlet során leginkább vízszintes felé irányuló levélzet hisztogramja látható. Közel 50 vízszintes (0°) irányú él és a korábbinál kevesebb 90°-os él található a képen. Többek között ezek az irányok is szerepelnek a 15. ábrán látható függvényben, ahol a vízszintes tengelyre a kép elkészítésének ideje került.



15. ábra Levél és szár lehajlás a kísérlet alatt



16. ábra Az élpontok talajszinttől mért átlagos magassága a kísérlet alatt

A növény cirkuláris mozgását a levélzet fel-le mozgásának sebességével, és a lehajló levelek irányának időbeli változásával, szögsebességben mértem.

A kísérlet során az öntözés utáni 22-121 órák között a levélzet napi ciklusán belüli maximum minimum értékek közötti elmozdulásból és az ahhoz szükséges időből meghatároztam az uborka leveleinek szögsebességét: $0,46^\circ/\text{óra}$. A növény élpontjainak átlagos fel-le mozgása az öntözés utáni 16-121 órák között a levélzet napi cikluson belüli maximum minimum értékek közötti elmozdulásból mérhető. A ciklusonkénti elmozdulásból és az ahhoz szükséges időből számítottam az uborka leveleinek átlagsebességét: $1,78 \text{ mm}/\text{óra}$.

Az elvégzett mérések szerint az öntözést követő két és fél órában a szögsebesség nyolcszor akkora volt, mint a napi ciklus közben mért átlag, óránként $3,66^\circ$ -ot emelkedtek a levél és szár pontok környezetében mért szögek. Az élpontok emelkedését ebben az időszakban az eljárás nem mutatta egyértelműen, ennek egyik oka az lehet, hogy a levélzet eleinte inkább a törzse körül csavarodott, vízszintes irányban szélesedett, mint függőlegesen emelkedett.

A vizsgált növény vízhiányt követő öntözés utáni két és fél óra alatt regenerálódott, több mint 10° -kal emelkedett a levelek és száruk iránya. A ciklikus mozgás kisebb elmozdulást eredményezett, naponta kb. 5° -ot ment fel és le a levélzet, miközben a levelek és száruk széleinek a magassága kb. 1,5-2 mm-t csökkent vagy emelkedett óránként.

Az elvégzett kísérletből megállapítható, hogy uborka levélzetének ciklikus mozgása a levelek és száruk szögsebessége alapján ($0,46^\circ/\text{óra}$) szignifikánsan elkülöníthető a vízhiányból regenerálódó uborka mozgásától ($3,66^\circ/\text{óra}$). A mért levél és szár együttes szögsebességgel és a függőleges irányú átlagsebességgel számszerűsítettem uborkapalánta komfortérzetét, napi cikluson belül.

3.3. Automatikus öntözés

Ez a fejezet a növénycsoporthoz írt algoritmus felhasználásával levél és szár lehajlás alapján végzett öntözés lehetőségeit tárgyalja. A kísérleti növények paradicsomok és paprikák voltak.

3.3.1. *Paradicsom automatikus öntözése*

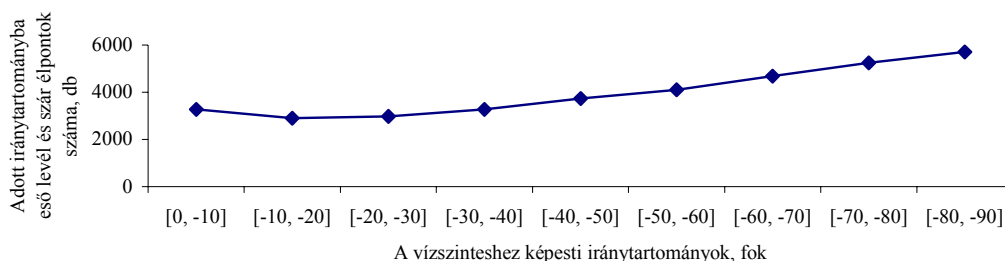
Az 3.2.1 fejezetben leírt kísérletből kitűnt, hogy paradicsom leveleinek és szárainak lehajlása összefügg a levelek nedvességtartalmával, és feltételezhetővé vált, hogy a bemutatott módszer öntözés vezérlésére is megfelel.

A kísérlet során a USRobotics 640x480 felbontású 24 bites színes kamera fél méteres távolságról monitorozott három, egymás melletti paradicsomot. A kb. 90 cm magas növények mögött fehér színű papírlapok biztosították az egységes háttért. A képeken a növények felső fele szerepelt úgy, hogy a növény teteje nem látszódott a képeken.

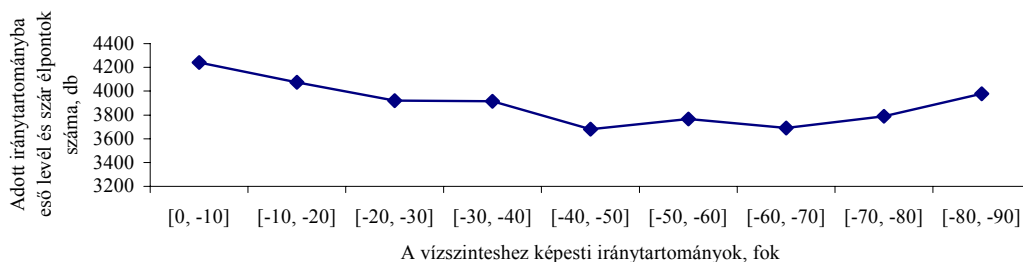
Az oldalról készített felvételekből a növény állapotát több paraméter is leírja, amit a bemeneti paraméterekkel illetve a képpel együtt a program tárol. A képfeldolgozó

eljárás folyamatosan, in vivo és in situ méri a növény növekedésére utaló jellemzőket.

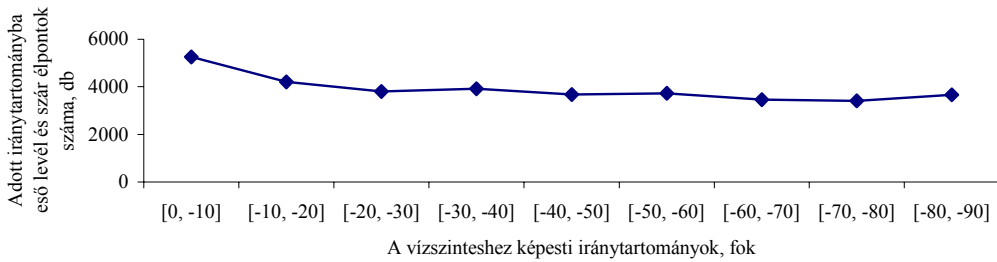
A berendezés döntéshozó képessége a növénycsoport vizsgálatára írt algoritmuson alapszik. A képfeldolgozó eljárás fekete fehérre konvertálja a képet, megkeresi az él pontokat, és kiszámolja az egyes él pontok környezetére jellemző irányokat. Ezek az irányok összefüggnek a levélzet lehajlásával, és ily módon a növény vízellátottságának a mértékével. A 17-20. ábrákon egy adott iránytartományba néző élek száma látható a növény különböző vízellátottságú állapotában készített képek alapján. A görbe alatti terület súlypontjának vízszintes összetevője adja a levélzetre jellemző irányt. A képfeldolgozó algoritmus az egy fokenkénti szögtartományokba eső élekből számolja a hisztogramot. Az öntözést megelőző időpontban a 17. ábrán a száraz paradicsom hisztogramja látható. A [-90 -80] fokos függőlegeshez közeli szögtartományba közel kétszer annyi él pont esett, mint a vízszinteshez közeli [0 - 10] fokos tartományba, a lehajló levelek miatt. A következő ábrákon az öntözést követő időszakban a paradicsom levélzete regenerálódott, és a levélzet iránya a vízszintes felé tolódott. Az öntözés után három órával készített hisztogramot a 20. ábra mutatja.



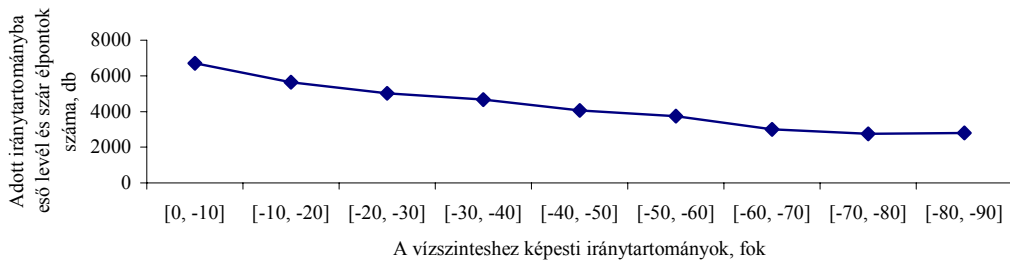
17. ábra Öntözés előtti paradicsomról készült él-irány hisztogram



18. ábra Háromnegyed órával az öntözés után készült él-irány hisztogram



19. ábra Egy órával az öntözés után készült él-irány hisztogram



20. ábra Három órával az öntözés után készült él-irány hisztogram

Ha a levél és szár lehajlás meghalad egy igény szerint beállított értéket, az öntözőirányító program a felhasználó által megadott időre bekapcsolja az öntözőszivattyút.

Az automatikus öntözés vezérlése:

A korábbi 3.2.1. fejezetben leírt kísérletben meghatároztam a vizsgált paradicsom csoport lehajlását jól öntözött és vízhiányos állapotban. Az öntözött és az öntözés előtt mért legkisebb és legnagyobb lehajlás irányai között 17% különbség volt (lásd a 3.2. fejezet értékelésénél). E közben a nedvességtartalom 2.91%-ot változott.

Ebben a kísérletben hasonló körülmények közt fejlődő, idősebb paradicsomos csoport öntözése volt a cél. A két növénycsoport közti hasonlóság miatt feltételeztem, hogy a lehajlás nedvességtartalom függvény ez esetben is lineáris, és a lehajlás-nedvességtartalom változás arányaiban hasonló. Az öntözést ezért úgy próbáltam szabályozni, hogy a korábbi kísérletben mért 17%-os lehajlás változásnál, azaz kb. 3% nedvességtartalom változásnál ne legyen nagyobb különbség a kezdeti jólöntözött és az aktuális állapot között.

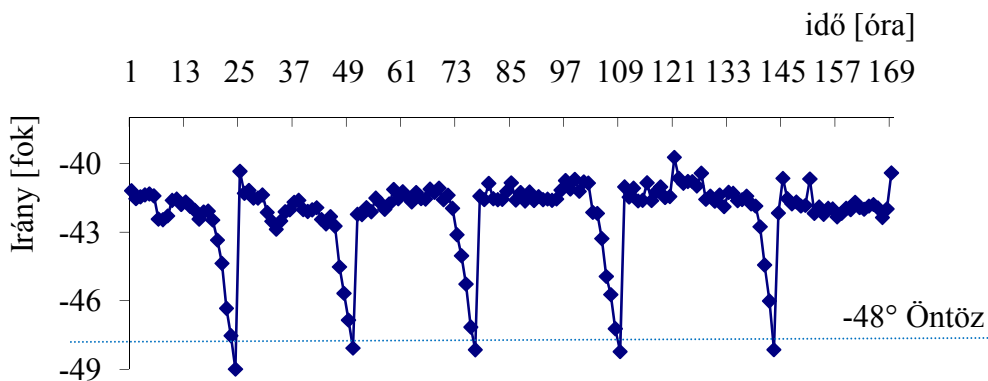
Előzetes mérések alapján a megöntözött paradicsomok levél és szár együttes lehajlása víz felvétel után kerekítve -41° volt. Ehhez képest a 17 %-os lehajlás változás kerekítve -48° -os lehajlást eredményezne.

A cél tehát az volt, hogy a levél és szár együttes lehajlása a vízszinteshez képest

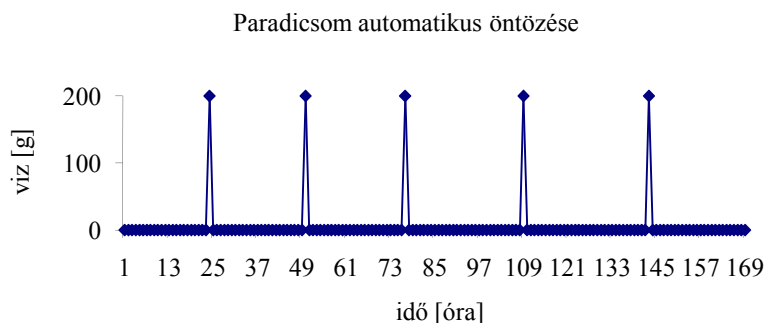
-41° és -48 ° között maradjon, ez alatti lehajlás esetén kapcsoljon be az öntözés.

Az irányító algoritmus úgy lett beállítva, hogy a program az öntözőszivattyút annyi időre kapcsolta be, hogy a paradicsomok 200 gramm vizet kaptak alkalmanként, ha a levél és szár lehajlás a vízszinteshez képest -48° alá süllyedt, és a növények az elmúlt órában nem kaptak vizet.

Az automatikus öntözőberendezéssel paradicsomokon végrehajtott kísérletek eredményei a 21. és 22. ábrákon láthatók. A mérési eredményekből megállapítható, hogy a függőleges irányú elmozdulás is támpontot adhat öntözés irányításhoz. Az öntözés ideje kizárólag morfológiai úton a lombozat külleme alapján került meghatározásra, azzal a kikötéssel, hogy két öntözés közt legalább egy órának el kell telni, ami elég idő a növénynek arra, hogy lombozata legalább részben regenerálódjon. A mérőrendszer paradicsom és paprika növények monitorozására került felhasználásra úgy, hogy a levélzet részben takarásban volt.



21. ábra Levél és szárlehajlás paradicsom esetén



22. ábra Paradicsomok öntözése a kísérlet alatt

3.3.2. Paprika automatikus öntözése

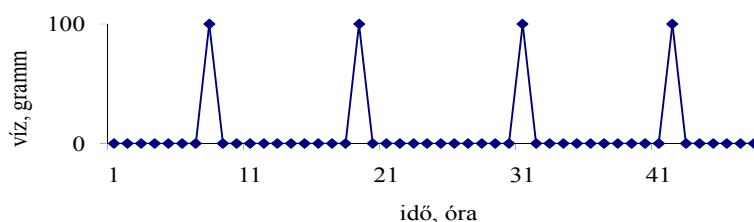
A következőkben paprika öntözés szabályozásáról lesz szó. A kísérlet során paprikáról készített felvételek alapján történt az öntözés ütemezése.

A paprikákkal végzett kísérletben 3 paprika volt a modell üvegházban, velük szemben 50 cm-re a kamera. A 3 növény 17 cm magas volt, a felső kétharmaduk volt monitorozva (82. ábra). Előzetes mérések alapján az öntözés 11% lehajláskülönbégre lett szabályozva, ami a paradicsomnál alkalmazott 17%-os lehajlás különbség kétharmada. A kisebb lehajláskülönbégre azért is indokolt, mert a paprika érzékenyebb a szárazságstresszre a paradicsomnál.

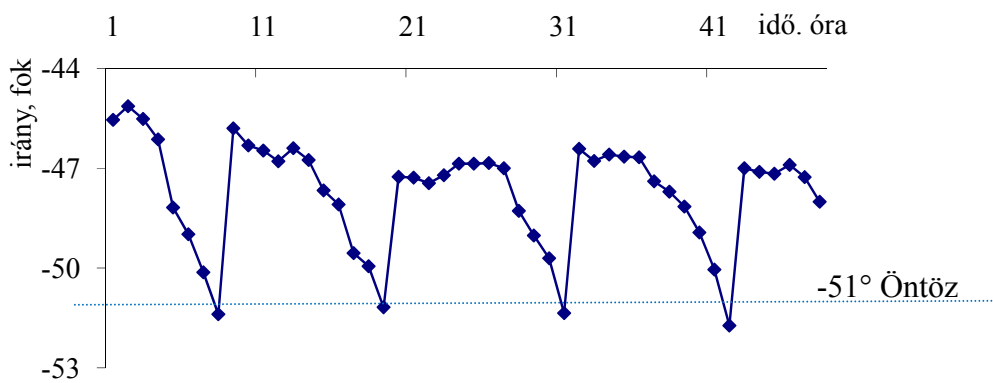
Előzetes mérések alapján a megöntözött paprikák levél és szár együttes lehajlása víz felvétel után -46° körüli értéket vett fel. Ehez az optimális állapothoz képest 11% lehajláskülönbégnél -51° alatt kapcsolt be a szivattyú (24. ábra).

Paprika palántákat 100 gramm vízzel öntöztük, ha a levél és szár lehajlás -51° alá (51° -kal a vízszintes alá) süllyedt és a növények az elmúlt órában nem kaptak vizet.

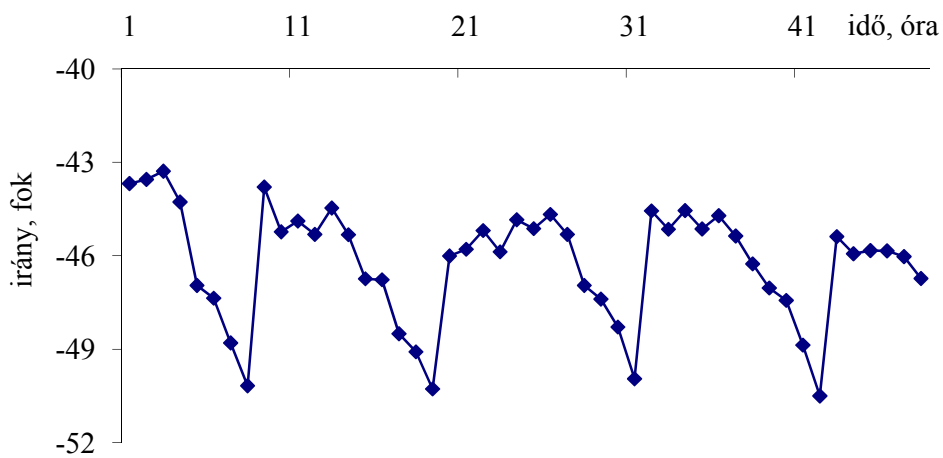
A kísérlet közben mért paraméterek a 23-27. ábrákon láthatók.



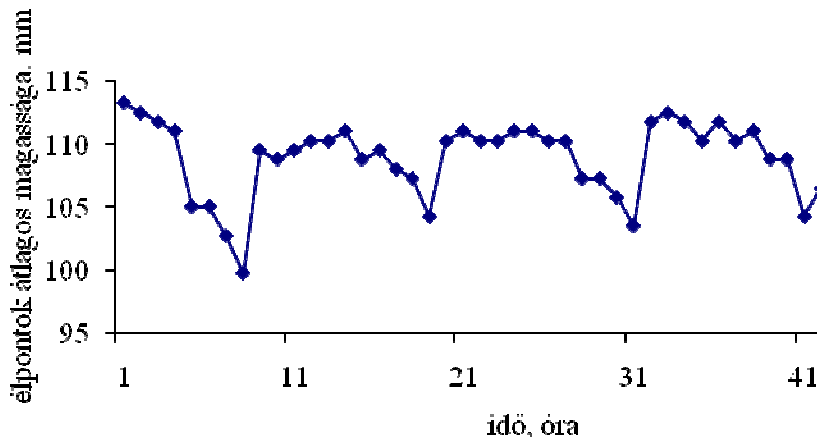
23. ábra Paprika automatikus öntözése



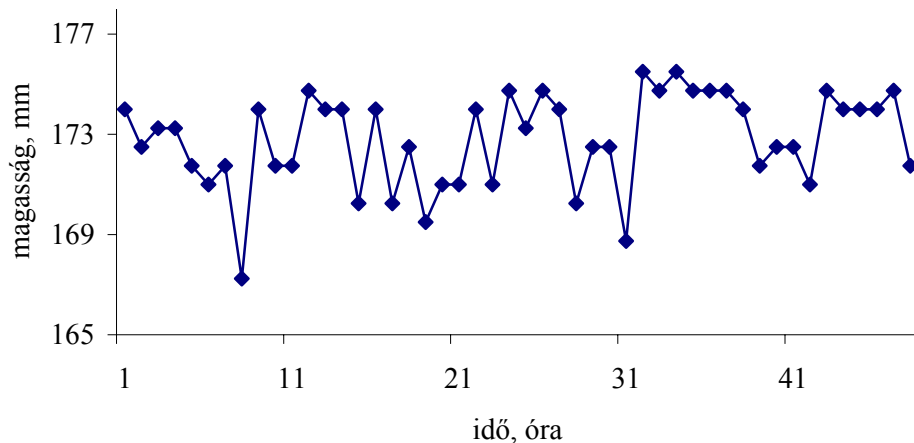
24. ábra Levél és szár lehajlás paprika esetén



25. ábra Levél lehajlás paprika esetén



26. ábra Paprika élpontjainak átlagos magassága a kísérlet alatt



27. ábra Paprika magassága a kísérlet során

A levél és szár lehajlás -50° körül erősen lehajló leveleket jelentett, míg -45° közelében a fiatal paprikák leveleiről nem látszott, hogy öntözést igényelnek. Paradicsomnál a levél és szár lehajlás -46° körül erősen lehajló leveleket jelentett, míg -42° közelében jó állapotúnak tűntek. Uborka öntözés utáni cirkuláris mozgását vizsgálva a levél és szár lehajlás -57° körül erősen lehajló leveleket jelentett, míg -52° közelében jó állapotúnak tűntek.

4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Növény levelei és szárai lehajlásának meghatározása

Digitális kamera segítségével, mesterséges világítás és háttér mellett, új módszert dolgoztam ki uborka, paradicsom és paprika képfeldolgozással történő vizsgálatához. A módszer alkalmazásának feltétele, hogy a növény megfigyelt részein csak levél és szár látható, és a levelek és szárok iránya lefelé mutatnak. Az eljárás alkalmazható egy növényre és növénycsoportra takarásban levő levelek szegmentálása nélkül.

A kidolgozott eljárás menete:

1. A növény szélső pontjai környezetében levő élek keresése,
2. A talált élek irányainak átlaga adja a lehajlást.
3. Hisztogram készítése: az élpontok körüli irányok besorolása $0-90^\circ$ közötti egészértékűre kerekítve. Különböző irányintervallumokkal a felhasználó igényének megfelelő tartományok alakíthatók ki.
4. A hisztogram iránytartományainak megfelelő színskála a növény szélső pontjain feltüntetve szemlélteti a növény állapotát és az egyes levelek illetve növényi részek közti különbséget. A felvételi időközök alatti változások filmszerűen követhetők.

Az eljárás során előállított lehajlás-hisztogram segítségével kimutatható, hogy a levélzet lehajlásának iránya mennyire egységes.

2. Levél és szár megkülönböztetés

Digitális kamera segítségével, mesterséges világítás és háttér mellett, több növény fajtára (uborka, paradicsom és paprika) működő, a vizsgált növény alakjához előre meghatározott paraméterekkel igazodó levél és szár szétválasztó algoritmust dolgoztam ki.

Egy tetszőleges méretű páratlan pixelhosszúságú négyzet alakú szárkereső mátrix végigfut a vizsgált terület pontjain. Az eljárás a következő jellemzőket vizsgálja:

- talált növénypontok számát,
- mátrixon belüli átlagos iránytól való eltéréseket,
- a mátrix külső és belső pontjai világosság különbségeit,
- a mátrix középső pontja és a mátrixban levő pontok átlag szürkeségértékét,
- a szomszédos pontok világosság különbségeit.

A kifejlesztett szár és levél szétválasztó eljárás egy növényre, és azonos növények csoportjára is alkalmazható a felsorolt paraméterek beállításával.

3. Paradicsom leveleinek lehajlása és a nedvességtartalom közti összefüggés meghatározása

Kidolgoztam egy lehajlás-nedvességtartalom értékelési módszert, mellyel a paradicsom növénycsoport szárazságstressz mértéke objektíven mérhető, validálható. A lehajlás értéke több növény együttes vizsgálatán alapul, úgy, hogy levélzetük összeért. A növények átlagos magassága nem haladta meg a 60 cm-t.

Meghatároztam a nedvességtartalom és a levél lehajlás változásait a kísérlet során a vízszinteshez legközelebbi legkedvezőbb, és az attól leginkább eltérő legkedvezőtlenebb állapotok között.

A legkedvezőbb állapothoz tartozó legkisebb lehajlás $-49,88^\circ$, az öntözés előtti legnagyobb lehajlás $-61,2^\circ$. A szélsőértékek között 22,7%-os különbség adódott. E közben a nedvességtartalom, 85,33%-ról 82,85%-ra, 2,91%-ot változott.

Az öntözés előtti 15 órás időszakban a fenti határértékeken belül meghatároztam a növénycsoport nedvességtartalom és levél lehajlása közti összefüggést:

$$y = mx + b,$$

ahol

x értékek a levéllehajlást,

y értékek a nedvességtartalmat jelzik,

$m = 241$, $b = 97.57$ növénycsoportra jellemző állandók

$R^2=0,961$, R a levéllehajlás és a nedvességtartalom közötti korrelációs koefficiens

4. Uborka komfortérzetét (wellness) és cirkuláris mozgását meghatározó eljárás kidolgozása levelek és szárok együttes lehajlása illetve függőleges irányú elmozdulása alapján

Identifikáltam uborka levélzetének napi ciklusán belüli maximum-minimum értékek közötti elmozdulásból, és az ahhoz szükséges időből a levelek és szárok együttes szögsebességét: $0,46^\circ/\text{óra}$, illetve függőleges irányú átlagsebességét: $1,78 \text{ mm}/\text{óra}$ értékekre.

A mért levél és szár együttes szögsebességgel és a függőleges irányú átlagsebességgel számszerűsítettem uborkapalánta komfortérzetét $27^\circ\text{C} - 33^\circ\text{C}$ on, 39% – 48% relatív nedvességtartalom közötti tartományban, napi cikluson belül.

A vízfelvételi időszakot 2,5 órában identifikáltam, mialatt a mért levél és szármozgás alapján meghatároztam uborka leveleinek és szárainak vízfelvétel közbeni mozgásának sebességét: $3,66^\circ/\text{óra}$ értékre. Ezek alapján elkülönítettem uborka levélzetének ciklikus mozgását a levelek és szárok vízhiányból regenerálódó mozgásától.

A levelek és szárok együttes szögsebességének, illetve függőleges irányú sebességének változásából identifikáltam uborka cirkuláris mozgásának periódus idejét, ami 24 órára adódott.

5. Képfeldolgozáson alapuló öntözés irányítási eljárás kidolgozása

Algoritmust dolgoztam ki az öntözés menetrendjének megállapítására. A paprikához és paradicsomhoz kialakított teljesen automatikus öntözőberendezés kizárólag képfeldolgozás alapján, a növény élpontjai környezetében található irányvektorok átlagos iránya szerint dönt az öntözés időzítéséről. Az átlagos lehajlás kritikus értékei egyes növényre, növénycsoportra, és az adott üzemeltetés körülményeire meghatározható.

A szabályozási paraméterek (a levél és szár együttes lehajlása vízszinteshez képest) bekapcsolási határpontjaira paradicsom esetén -48° , paprika esetén -51° értékeket identifikáltam. Az öntözőrendszer ezen beállítási paraméterek mellett működött.

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Napjaink számítástechnikai fejlődése elérhetőbbé teszi a képfeldolgozáson alapuló érzékelést, ami által nem csak a környezet, hanem maga a növény is folyamatosan monitorozhatóvá válik. A természetű és védendő növény pontosabb ismerete segít a termesztés optimalizálásában, és a nem megfelelő növényvédelem okozta környezeti károk megelőzésében. A növényekről nyerhető rendszeres, roncsolásmentes információ alapvető érdeke a mezőgazdaságnak és a környezetvédelemnek. Az alacsony számításigénnyel megvalósított lehajlás meghatározó algoritmus kis teljesítményű ipari számítógépen is futtatható, megkönnyítve pl. a napelemes működtetés lehetőségét.

A SZIE Fizika és Folyamatirányítási Tanszék napenergiával fűtött, a szellőztetést, és a világítást automatikusan szabályozott növényházi kutatásaihoz jól illeszkedik a növény élettani viselkedésének automatikus mérése.

A validálás többféle módon közelíthető meg, a dolgozatban az alábbiak irányában történt előrehaladás:

- Meghatározott körülmények között fejlődő ismert korú és számú paradicsomok alsó – középső részeinek monitorozása alapján a számított levéllehajlás és levél nedvességtartalom alapján. Hasonló mérések sorából a nedvességtartalom és a lehajlás összefüggése megbízhatóan validálható. A módszer kiterjeszthető vízpotenciál és egyéb, a növény vízháztartásán alapuló ellenőrző mérésekre.
- Paprika, paradicsom meghatározott körülmények között meghatározott ideig történő öntözése kizárólag a mért lehajlás alapján. Különböző növények lehajlás alapján történő öntözése a növény teljes életeciklusán át kivitelezhető-e és hogyan befolyásolja a termést hagyományosan öntözött kontrolcsoporthoz képest.

A fonnyadt levél valószínűleg kevesebbet mozog, mint az egészséges, stresszmentes levél. Az ismertetett módszerrel megvizsgálható, hogy a beteg növények mozgásának lassulása alapján felismerhető-e automatikusan. Kiszűrhető-e a növény, ha öntözés előtt és után is fonnyadt.

Az ismertetett eljárás más céllal létrehozott képalkotó rendszerekhez csatlakoztatható. A képfeldolgozó eljárás a legegyszerűbb metódusokat tág környezetben használja (low cost automation), a világítás, a kamera és a számítási kapacitás kis ráfordítással is számottevően fejleszthető. A képek szűrésével, robosztusabb él kereső eljárásokkal a dolgozatban leírt rendszernek komoly tartalékai vannak a továbbfejlesztésre.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Üvegházi és kertészeti termesztésnek egyre szigorúbb gazdasági és környezetvédelmi követelményeket kell teljesítenie, melyhez elengedhetetlen követelmény a termesztett növény pontos ismerete. Növényvédelem a növény tűrőképességének ismeretével hatékonyabbá, környezetkímélőbbé válhat. A növény megfigyelő módszerek, valamint hardver- és szoftvereszközök, így a képelemző eljárások is nélkülözhetetlen szerephez jutnak.

Kísérleti növényként paradicsomot, uborkát és paprikát használtam, a mérések és a kiértékelések egy részét egy modell üvegházban végeztem, más részét pedig valós növényházi körülmények között (Szentés, Árpád Agrár Rt). A vizuális adatok gyűjtése egy 640x480 24 bites színes kamera segítségével, mesterséges világítás és háttér mellett történt. A levél-nedvességtartalmát szárítószekrényben mértem. A nagy mennyiségű vizuális információ automatizált képelemzési eljárást igényelt, ezt c++ programnyelvben írt egyedi képfeldolgozó és szkript programmal valósítottam meg.

Paradicsom, paprika és uborka vizsgálatára kidolgozott eljárás a növény képen talált él pontjait levél és szár pontokra csoportosítja. A nyert levél, szár és levél+szár ponthalmazokról több, a növény állapotát leíró paraméter meghatározható.

A dolgozat célkitűzésének megfelelően a kidolgozott módszerekkel:

- A növény leveleire és száira jellemző irány hisztogram grafikonja, vagy a növény szélső pontjain megfelelő színekkel ábrázolva a hisztogram iránytartományai jeleníthetők meg.
- A növény leveleinek nedvességtartalma a mért levél lehajlásból határozható meg.
- Cirkuláris mozgás és a vízhiányból származó növényi stresszhelyzet a számított levél és szár együttes lehajlásból határozható meg.
- Növény leveleinek a lehajlása a száraktól automatikusan elválasztva is értékelhető.
- Emberi beavatkozást nélkülöző kizárólag oldalirányú felvételek alapján automatikus öntözőberendezés kialakítása levél és szár együttes lehajlásával irányítva.

A vizsgálat hardverigényét az ismertetett algoritmusok mellett a mérés sűrűsége erősen befolyásolja. A kísérletekben felhasznált kamerához hasonló tulajdonságú web kamerák 3-10 ezer forintért kaphatók. Az alacsony számítási igényből adódóan, kisebb teljesítményű ipari számítógépen is futtatható az eljárás.

7. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ TARTOZÓ PUBLIKÁCIÓK

Lektorált cikkek világnyelven:

Font, L.,-Farkas,I.: 2003. Plant wilt detection by machine vision measuring leaf petiole angle, Bulletin of the Szent István University, Gödöllő, 2003, pp. 93-101

Font,L.-Kőrösi,F.-Farkas,I.: Leaf inclination based non destructive water stress indication for vegetables, Acta Horticulturae, No 691, October 2005, pp. 99-105.

Font,L.-Kőrösi,F.-Farkas,I.: Optical measuring system for water stress indication of tomato plants, Acta Horticulturae, No 691, October 2005, pp. 781-788.

Font,L.-Farkas,I.: Wilting Detection in Greenhouse Plants by Image Processing, Acta Horticulturae, No 801, October 2008, pp. 669-675.

Lektorált cikkek magyar nyelven:

Font L.-Farkas I.: Üvegházi növények öntözésszabályozása számítógépes képfeldolgozással, Mezőgazdasági Technika, 2005. július, 2-4. o.

Font L - Tóth J. - Farkas I.: Uborka monitorozása számítógépes képfeldolgozással Kertgazdaság 2006.

Nemzetközi konferencia proceedings:

Seres,I.-**Font,L.-Farkas,I.:** 2000. The use of solar energy in fruit drying, Proceedings of the 12th International Drying Symposium IDS2000, Noordwijkerhout, The Netherlands, August 28-31, CD-ROM, Paper No. 167, pp. 8.

Seres,I.-Farkas,I.-**Font,L.:** 2001. Computer aided moisture measurements during fruit drying processes, Preprints of the IFAC/CIGR Fourth International Workshop on Artificial Intelligence in Agriculture (AIA 2001), Budapest, Hungary, June 6-8, 2001, /ed by I. Farkas /, p. 77-82

Font, L., Kőrösi, F., Farkas, I.: 2004. Leaf inclination based non destructive water shortage indication for vegetables, Intelligent Technology for Bioproduction Systems In the framework of the AgEng 2004 conference 12-16 September 2004, Leuven, Belgium,
<http://www.ageng2004.be/WORKSHOPS/IntelTechnology.htm>

Font, L., Kőrösi, F., Farkas, I.: 2004. Optical measuring system for water shortage indication of tomato plants, AgEng Leuven Belgium, 12- 16 september

2004, Sustainable Greenhouse Systems (Greensys2004), http://www.ageng2004.be/index_detail.asp?CMD=WORKSHOPS&URL=workshops.htm

Font, L., Körösi, F., Farkas, I.: 2004. Machine vision system for water shortage indication of tomato plants using local orientation, Fifth International Workshop on Artificial Intelligence in Agriculture. AIA'2004 IFAC/CIGR, March 8-10, 2004 Cairo, Egypt <http://www.claes.sci.eg/aia04>

Farkas,I. and **Font,L.:** Plant wellness in greenhouse growing management, 2nd Coordinating Meeting of the Regional FAO Working Group on Greenhouse Crop Production in the SEE Countries, /eds. Y. Tüzel and U. Tunali/, Antalya, Turkey, April 7-11, 2008, pp. 45-56.

Seres,I., Farkas,I., **Font,L.** and Géczy-Víg,P: Moisture content measurement by an unusual method, Book of Abstracts, 7th International Workshop for Young Scientists (BioPhys Spring 2008), Prague, Czech Republic, May 29-30, 2008, p. 54-55.

Magyar nyelvű konferencia:

Seres I.-Farkas I.-**Font L.:** Nedvességtartalom mérése optikai úton, MTA Agrár-Műszaki Bizottság, XXV. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő, 2001. jan. 23-24, 1. kötet, 158-162. o.

Font L.-Farkas I.-Lágymányosi A.: 2002. Növény növekedését monitorozó optikai mérőrendszer alkalmazása uborkapalánták vizsgálatához, XXIX. Óvári Tudományos Napok, Agrártermelés-életminőség, Mosonmagyaróvár, 2002. okt. 3-4, 233. o.

Font L.-Lágymányosi A.-Farkas I.: 2003. Uborkapalánta vízhiányának kimutatása optikai mérőrendszer segítségével, MTA Agrár-Műszaki Bizottság, XXVII. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő, 2003. jan. 21-22, 39. o.

Font L.-Körösi F.-Farkas I.: Paprika palánta vízhiányának kimutatása optikai mérőrendszer segítségével, MTA Agrár-Műszaki Bizottság, XXVIII. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő, 2004. jan. 20-21, 3. kötet, 159-162. o.

Font L.-Farkas I.: Öntözésvezérlés optikai úton, MTA Agrár-Műszaki Bizottság, XXIX. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő, 2005. jan. 18-19, 2. kötet, 125-128. o.

Font L.-Farkas I.: Uborka monitorozó rendszer, XXX. MTA Agrár-Műszaki Bizottság, Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő, 2006. jan. 24, 2. kötet, 213-216.

Font L.-Farkas I.: Növények vízellátásának vizsgálata levélzet monitorozással, XXXI. MTA Agrár-Műszaki Bizottság, Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő, 2007. jan. 23, 2. kötet, 123-127. o.

Nemzetközi konferencia abstract:

Font, L., Seres, E. E. and Farkas, I.: Mobil data acquisition equipment, 3rd Seminar on Energy and Environment, Nov 10-12, 1997, Gödöllő, Hungary

Font, L.: Image analysis for monitoring plants, 4th Seminar on Energy and Environment Nov 11-13, 1998, Gödöllő, Hungary

Font, L.-Seres,I.-Farkas,I.: Image analysis in fruit drying, 5th Seminar on Energy and Environment, Gödöllő, Hungary, November 3-5, 1999, p. 7.

Font, L., Seres, I. and Farkas, I.: Image Processing At Post-Harvest Technologies, Umweltp Physik Seminar, Institut für Meteorologie und Physik, Universität für Bodenkultur, Wien, 9-10. März, 2000.

Seres,I.-Farkas,I.-**Font, L.:** Optical moisture content measurement, 6th Workshop on Energy and Environment, Gödöllő, Hungary, October 9-10, 2000, p. 10.

Font, L., Seres, I. and Farkas, I.: Optical measurements on the course of apple slice drying, 7th Workshop on Energy and Environment, Nov 5-6, 2001, Gödöllő, Hungary

Font, L., Kőrösi, F. and Farkas, I.: Non destructive water stress detection of tomato, 7th Workshop on Energy and Environment, Nov 5-6, 2003, Gödöllő, Hungary

Font, L. and Farkas I.: Wilt detection from lateral images, 10th Workshop on Energy and Environment, November 8-9, 2004, Gödöllő, Hungary

Font,L. and Farkas,I.: Wilt detection of cucumber plants, 11th Workshop on Energy and Environment, Gödöllő, Hungary, November 7-8, 2005, p. 15.

Font,L. and Farkas,I.: Image processing as a tool for plant wellness estimation, 12th Workshop on Energy and Environment, Gödöllő, Hungary, September 18-19, 2006, p. 16.

Font,L.-Farkas,I.: Plant wilt detection by image processing, Book of Abstracts of International Symposium Greensys 2007, Naples, Italy, October 4-6, 2007, p. 303.

Font,L. and Farkas,I.: Water stress diagnosis on plants by image analysis, 13th Workshop on Energy and Environment, Gödöllő, Hungary, November 5-6, 2007, p. 24.

B. Kári, **L. Font**, J. Östör, L. Nagy, L. Bajnok, K. Zámbo, A. Konrády: Thyroid Diagnostic and Therapy Program Package, Central & Eastern Europe Nuclear Medicine REVIEW, Abstracts of the XVth Congress of the György Hevesy Hungarian Society of Nuclear Medicine, May, 24-26, 2007, Volume 10, Number1, pp. 57, No:57 ISSN 1506-9680

Idegen nyelvű kutatási jelentések:

Font, L., Tillet, R.: Image analysis, Report, Silsoe Research Institute, 1998, Silsoe, England

Cordova, V.- Buys F.- **Font L.**-Haridas R.- Yerima B.:Guidelines for bgreenhouse cultivation of melones in soil and tuff for tropical areas, International course on research and development in irrigation and technology of protected crops, The Volcani Center, Bet Dagan, Israel, December 1999.

Farkas, I., F. Körösi, I. Seres, **L. Font**, Z. Szabó, P. Weihs, J. Eitzinger and E. Werschonig, Drought experiments with maize plants, Research Report, Department of Physics and Process Control, Szent István University Gödöllő, No 41, July 2007.

Magyar nyelvű kutatási jelentések:

Farkas I.-**Font L.**-Seres I.: Kökényszárítás minőségellenőrzése képi adatgyűjtéssel, Jelentés, SZIE Fizika és Folyamatirányítási Tanszék, No. 19, Gödöllő, 2001. január

Farkas I.-**Font L.**-Lágymányosi A.: Borsó fejlődésének monitorozása képi adatgyűjtéssel, Kutatási jelentés, SZIE Fizika és Folyamatirányítási Tanszék, No. 24 Gödöllő, 2002. április

Farkas I.-**Font L.**-Lágymányosi A.: Levélzet monitorozó algoritmus uborka- és paradicsompalánták vízhiány kimutatásához, Jelentés, SZIE Fizika és Folyamatirányítási Tanszék, No. 25, Gödöllő, 2002. június

Farkas I.-**Font L.**-Lágymányosi A.: Levélzet lehajlás monitorozása üvegházi növények vízhiány kimutatásához, Kutatási jelentés, SZIE Fizika és Folyamatirányítási Tanszék, No. 30, Gödöllő, 2003. január