

Óbudai Egyetem

Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar

Műszertechnikai és Automatizálási Tanszék



TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

Növénybetegségek okozta levélfelszíni elváltozások vizsgálata speciális megvilágítás és számítógépes képfeldolgozás segítségével

Szerző(k): **Csenyicsko György Ábel**
villamosmérnök BSc. szak, IV. évf.

Szentgyörgyi Rita
villamosmérnök BSc. szak, IV. évf.

Konzulens(ek): **Molnár Zsolt**
egyetemi tanársegéd

Tartalomjegyzék

<i>Bevezető</i>	<i>3</i>
<i>Optikai alapok- A színek</i>	<i>4</i>
<i>A növényi betegségek megjelenése</i>	<i>5</i>
<i>A szoftveres megoldások alapjai</i>	<i>6</i>
<i>Különféle képfeldolgozó eljárások megvalósítása – I. HSV-szintér alapú szegmentáció</i>	<i>7</i>
<i>Különféle képfeldolgozó eljárások megvalósítása – II. UV és IR alapú szegmentáció</i>	<i>11</i>
<i>Kiértékelés a segédképek segítségével</i>	<i>16</i>
<i>A hardveres kivitelezés alapjai.....</i>	<i>17</i>
<i>A képfelvevésre használt állomás.....</i>	<i>17</i>
<i>A világítási megoldások</i>	<i>20</i>
<i>A képfelvevő eszköz</i>	<i>23</i>
<i>A projekt további fejlesztési lehetőségei hardveres szempontból</i>	<i>26</i>
<i>A képfeldolgozó szoftver továbbfejlesztési lehetőségei</i>	<i>26</i>
<i>Projekt összegzése</i>	<i>27</i>
<i>Irodalomjegyzék:</i>	<i>28</i>

Bevezető

A növénybetegségek időben való észlelése és kezelése az egyik legalapvetőbb feladat a mezőgazdaságban. A növénybetegségek mérésére, detektálására szolgáló eszközök, módszerek már régóta fejlesztés alatt állnak. A működési elvek különbözősége, és azok automatizáltsági szintje eltérő, így ebben az összefoglalóban egy típussal foglalkozunk, mely fénytani, optikai tulajdonságokat használ ki, és teszi értelmezhetővé számunka a gépi látás eszközeinek segítségével.

A jelen dolgozatunk egy nagyobb projekt részegységéről szól, melyben növénybetegségek automatizált vizsgálatára alkalmas rendszert szeretnénk létrehozni a projektmunka keretein belül. Ezen dolgozat az ehhez szükséges képfelvevő és feldolgozó beágyazott rendszer építését, fejlesztését, az eddig elkészült prototípus demonstrációját tárgyalja. A legfőbb feladat a növények leveleiről optimális, környezeti zajtól mentes képeket készíteni képes rendszer megépítése.

Céljaink elméleti és gyakorlati elemekből állnak. A képfelvétel elméleti alapjait egy, már létező vizsgálati módszer, a klorofill-fluoreszcencia [1] adja, melyet a fejlesztés során a mi igényeink szerint próbálunk megvalósítani, több, különféle hullámhosszú infravörös és ultraibolya LED fényforrással. A módszer lényege, hogy a leveleken lévő beteg területek a speciális megvilágítás hatására a levél egészséges területeitől optikailag elhatárolódnak -a levelek zöld színét adó klorofill abszorpciós tulajdonságai miatt-, s az így készült fényképeken az egyedileg fejlesztett képfeldolgozó algoritmusokkal egyértelmű kvantitatív méréseket végezhetünk, akár kiterjedés, forma, homogenitás szempontjából.

Az implementáció gyakorlati részét pedig a György által fejlesztett OpenCV alapú képfeldolgozó szoftver, és a Rita által épített Linux-alapú Raspberry Pi beágyazott rendszer és vezérlés adja.

Kellő mennyiségű, kvalifikált minta gyűjtésével a mérési rendszert a jövőben egy mintafelismerő szoftverrel lehet bővíteni, mely által kvalitatív mérések is lehetővé válnak. Mindez azt jelenti, hogy nem csak azt tudná kimutatni a rendszer, hogy hol, és mekkora a beteg terület az egészségeshez képest, hanem azt is, hogy mi is pontosan az a betegség, mely a rendellenes területen megjelenik.

Az általunk fejlesztett rendszer egy hasznos eszköze lehet mezőgazdasági, növényvédelmi kutatásoknak, ezen felül növényvédő szerek hatékonyságának mérésére is alkalmas lehet. A jelenlegi követelményeket az ATK NÖVI munkatársai jelölik ki számunkra, mint a projekt kezdeményezői. A kutatásunk módszertana irodalom elemzésből, saját kísérletekből, mintagyűjtésből, és műhelymunkából áll.

A projektmunkánk jelenlegi stádiumában a képfeldolgozó és képfellevő rendszer prototípusa készült el, s az eddig lefektetett hipotéziseket pedig korlátozott számú mintával igyekeztünk igazolni.

Optikai alapok- A színek

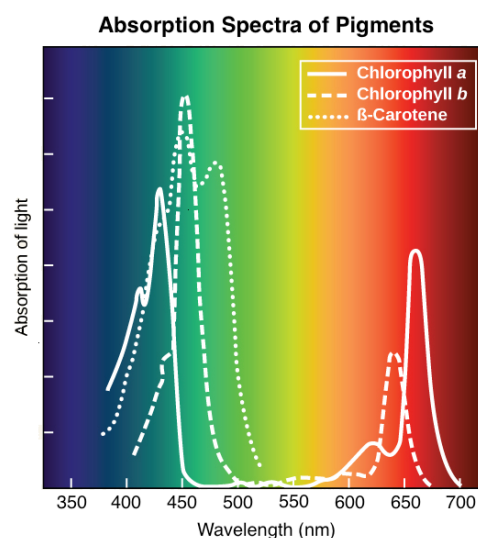
A körülöttünk lévő környezetben a tárgyak, dolgok színének látványát a teljes spektrumú fény, és annak modulálódása teszi lehetővé. Nincs ez máshogy a növények leveleivel sem. Ahhoz, hogy a levelek felépítését egy kicsit jobban megértsük, bepillantást adunk a levelek fizikai felépítésébe.

A levelek zöld színét egy klorofill nevű vegyület adja, melynek két fajtája van: „A” és „B”.

A klorofill mindamellett, hogy a színét adja a leveleknek, fontos élettani funkciója van a növények számára. Fő feladata a fotoszintézis során a széles spektrumú – napfényből – a növény számára megfelelő hullámhosszú energia elnyelése, majd azt a fotoszintézis folyamatában hasznosítani.

Ezen színanyag a levelek szövetében úgynevezett

kloroplasztiszok formájában van jelen, melyek önálló sejtszervecskék, s az energiaátalakításban vesznek részt. Vizsgálati módszerünk fejlesztése során a klorofill fényelnyelési tulajdonságait fogjuk felhasználni. (1. abszorpciós spektrum)



1. Ábra: Növényi pigmentek abszorpciós spektruma. Forrás: <https://courses.lumenlearning.com/wm-biology1/chapter/reading-spectrums-of-light/>

A növényi betegségek megjelenése

A növényeken megjelenő betegségeket csoportosíthatjuk az azokat okozó patogénok, és a levélfelszíni károsodás típusa alapján is. A leggyakoribb növénybetegségeket alapvetően gombás fertőzések okozzák, mindemellett vírusos, bakteriális, és parazitások is lehetnek. A gombás fertőzések jól látható, emberi szemmel észlelhető és egyértelműen elhatárolható elváltozásokat, sorvadásokat okoznak a növények levelein. A károsodásoknak alapvetően két típusa ismert, a nekrotikus és klorotikus, vagyis klorózis és nekrózis okozta károsodások.[2] A klorózisnak – ahogy a nevében is benne van – a klorofill lebomlása, színtelenedése, vagy termelődésének csökkenése a tünete, melyet a kórokozó vált ki. A nekrózis, mint elhalás is ismert, melynek során a növényi rostok, levelek elhalnak, kiszáradnak, és leválnak a növényről. A két növénybetegség megjelenése összefoglalóan úgy jellemezhető, hogy a levelek zöld, egészséges területei többféle módon ugyan, de elszíneződnek [3]. Mindennek köszönhetően az így láthatóvá vált betegség elemezhetővé válik emberi vagy gépi látás által.

Ezen elméleti alapok lefektetése alapján most már felállíthatjuk a vizsgálati módszerünk lényegét, miszerint azokat a területeket kell a levélmintákon elemeznünk, melyek - összefoglalóan- nem tartalmaznak elég zöld színanyagot, ezáltal betegnek minősülnek.

A dolgozat következő fejezetében a szoftveres megvalósítás kerül tárgyalásra, melyet Csernyicsko György fejlesztett. Ezt követően fogja Szentgyörgyi Rita ismertetni a fizikális megvalósítást.

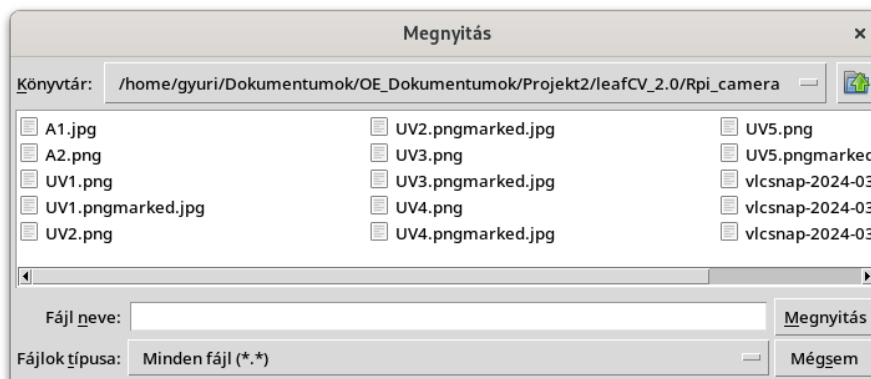
A szoftveres megoldások alapjai

A képfeldolgozó szoftvert több modulból állítottam össze, melyet Python programozási nyelven valósítottam meg. Első fontos eleme egy kezelőfelület kialakítása volt a folyamatnak, mely a felhasználó számára lehetővé teszi a szoftver kezelését, az abban megvalósított funkciók egyszerű használatát, a köztük való navigációt. A gyors és hatékony fejlesztés érdekében a grafikus felületet, illetve annak elemeit a PySimpleGUI Framework-kel valósítom meg, amely sokoldalú, egyszerű grafikus felhasználói felületek megrajzolását teszi lehetővé. A választás azért esett erre a keretrendszerre, mert számtalan példakód áll rendelkezésre a felhasználói felület megalkotásához.

Az első modul egy, a képfeldolgozási folyamat elindításához szükséges programelem volt, a fájl tallózó ablak. Az ablak a fejlesztés során a később egy kamera megtekintő és fénykép készítő gombbal lett kiegészítve.



3. Ábra: Képfájl és kamera tallózó ablak

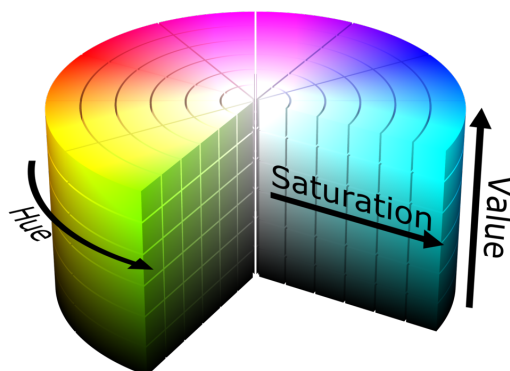


2. Ábra: Adott mappában való böngészés

A böngészés gombra kattintva egy fájl tallózó lista jelenik meg, melyben választhatunk a vizsgálni kívánt képek között.

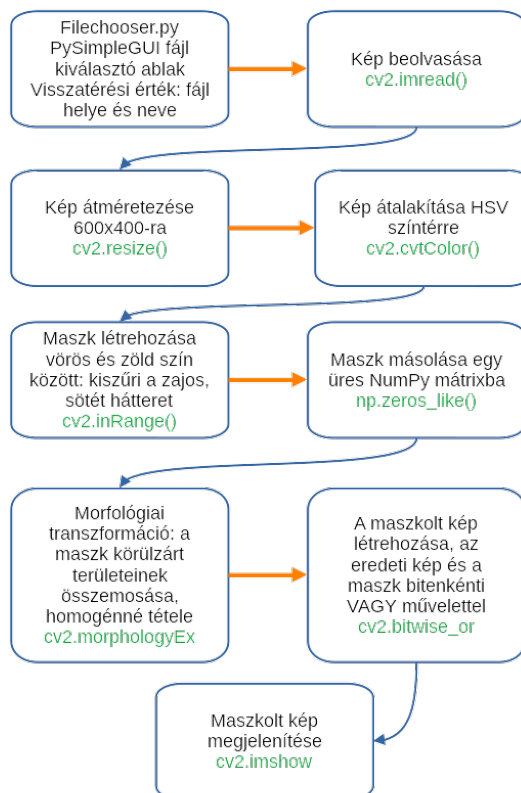
Különféle képfeldolgozó eljárások megvalósítása – I. HSV-színtér alapú szegmentáció

A HSV színtér használata a gépi látásban az egyik legelterjedtebb színkezelési módszer, melyben három koordináta segítségével definiálhatunk egy színt, illetve színtartományokat. A HSV jelentése Hue-Saturation-Value, melyeket az ábra szerint értelmezhetünk: Az árnyalat (Hue) értékkel magát a színt határozhatjuk meg, míg a szaturációval annak telítettségét, és az értékkel (Value) pedig a fényességét. Számunkra ezen színtér használata azért előnyös, mivel egyértelműen tudjuk a szoftver által a zöld színű területeket elkülöníteni a levél többi területétől, árnyalattól függetlenül.



4. Ábra: HSV Cylinder. Forrás: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:HSV_color_solid_cylinder.png

A színtartomány használatának egyik előnye, hogy egyszerűen szűrhetővé teszi a színeket, nem igényel sok műveletet a programban, és a matematikai reprezentáció is egyértelmű. Hátránya azonban, hogy különféle fajtájú növények leveleinek fényképein más-más zöld szín komponensek jelennek meg, ezáltal a program csak specifikusan használható egy-egy adott növényfajtaéhoz, ugyanazon megvilágítás és kamera esetén. A szoftver első, már működőképes verziója ezen színtér alapú szegmentációt valósít meg, a kép beolvasását követően több kiegészítő lépéssel együtt. Ezt egy blokkdiagrammal prezentálnám:



5. Ábra: Háttér eltávolítás és HSV szűrés folyamatának blokkdiagramja.

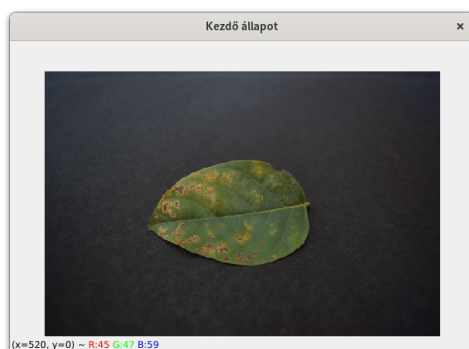
A kép átméretezésére azért van szükség, hogy gyorsabb legyen a program, kevesebb memóriát használjon, és jelenleg a demonstrációs célokra megfelelő minőségben jelenítsen meg. A későbbiekben ez természetesen módosítható.

A HSV színtérre való átalakítást követően maszkolás történik: A vörös és zöld tartományba eső képpontokat egy üres mátrixba másolva kapunk egy olyan képet, melyen a zajos háttér már nem jelenik meg. Ezen képpontokat összezárva keletkezik egy olyan terület, mely nem más, mint a képen lévő hasznos információt, a levelet határolja körül.

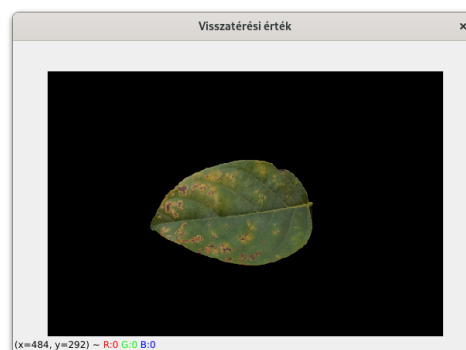
Ezt a morfológiai transzformáció segítségével érjük el. A folyamat végén a képet megjelenítjük.

A projekt kezdeti fázisában még nem saját magunk által készített, hanem egy, az interneten fellelhető, hasonló kutatásból származó képgyűjteményt használtunk fel, s abból azokat, melyek leginkább fognak hasonlítani a saját módszereinkkel feldolgozott képekhez. A képgyűjtemény az alábbi webcímen érhető el:

https://www.tensorflow.org/datasets/catalog/plant_leaves



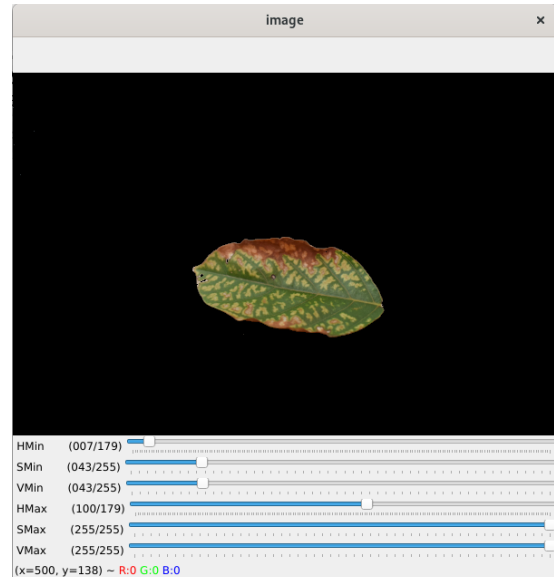
6. Ábra: A beolvasott kép megjelenítése feldolgozás előtt



7. Ábra: A kép a transzformációkat követően a háttérét elvesztette, csak a hasznos információ van jelen.

A megfelelő színtartomány kiválasztásához az alábbi linken elérhető, erre szolgáló kisalkalmazást használtam: <https://stackoverflow.com/questions/10948589/choosing-the-correct-upper-and-lower-hsv-boundaries-for-color-detection-withcv/48367205#48367205>

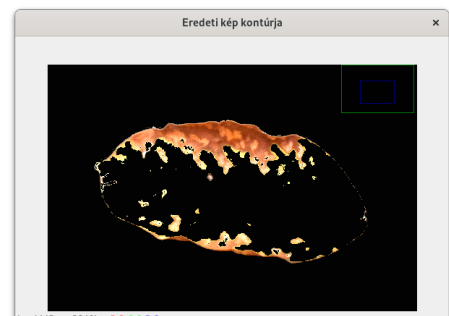
A program csúszkáival meg tudtam találni azon, a HSV szintéren értelmezett zöld és vörös közti színekoordináta-tartományokat, melyekkel a felhasznált képeken pontos maszkolást tudtam végrehajtani, ezáltal a háttérrel el tudtam távolítani. Ezen, tapasztalati úton megszerzett értékek csak az adott kamerára, megvilágításra, és növény típusra lesz érvényes, így elég korlátozott a használhatósága.



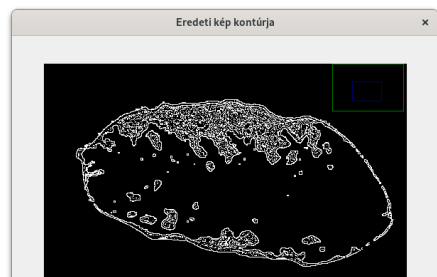
8. Ábra: HSV tartomány demonstrációs program.

A beolvasott fénykép elemzése a háttér eltávolítását követően már egy dinamikusabb folyamat, már egy zajjal nem terhelt képet dolgozunk fel. A következő lépésben a szemmel látható, szín alapján elkülöníthető foltokat fogja a szoftver piros körvonalakkal megjelölni, mely egyszerű vizualizálásra, vagy részletek kivágására, maszkolására is alkalmas lehet. Az előző ábrán lévő levél fotó kerül feldolgozásra. A megjelölés folyamata lépésenként:

1. A beolvasott képfájl háttérének eltávolítása.
2. Másolat készítése a képről.
3. A „teljesen zöld” színtartományba eső képpontok eltávolítása.
4. A megmaradt képpontokon kontraszt növelés, és szürkeárnyalatossá alakítás a kontúrdetektálás előkészítéséhez.



9. ábra: HSV-zöld képpontok eltávolítva

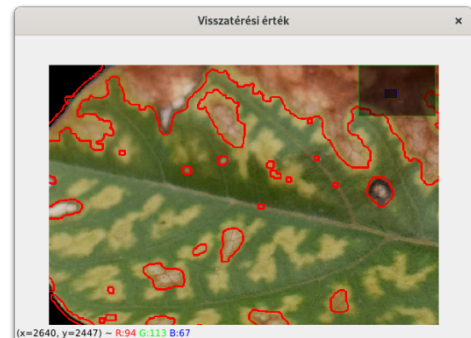


10. ábra: Detektált kontúrok megjelenítése

5. Adaptív thresholding a foltokon, majd invertálással maszk leképezése, `cv2.adaptiveThreshold()` függvénnyel.

6. Morfológiai transzformáció, a közeli területek „összezárása”, ezáltal homogén felületet létrehozva a foltokon.

7. Kontúrok megkeresése a `cv2.findContours()` függvénnyel, minden egyes talált kontúrt egy ciklusban átadni a `cv2.contourArea()` függvénynek, mely kiszámolja a kontúr által bezárt területet, majd egy változóba folyamatos az értékek összeadása. (ebből a rutinból saját függvényt készítettem, amit később is meghívhatok)



11. Ábra: Az elváltozások megjelölésének folyamata, közbenső lépései.

8. A kiszámított kontúrok felrajzolása az eredeti képre, ellenőrzés céljából.

A területek összehasonlítása:

A két kép, vagyis a foltok kontúrmaszkja és az eredeti képek kontúrjai által közrezárt területek arányát számítom ki, százalékos formában. A jelenlegi kép esetében az alábbi eredmény született a program kimenete szerint:

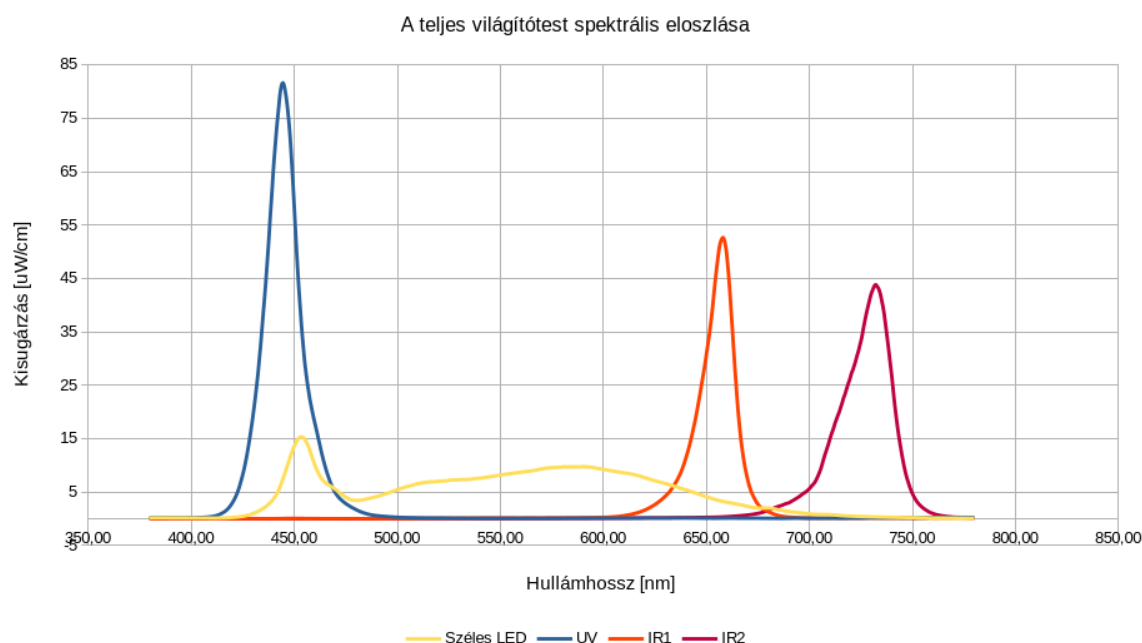
Beteg terület pixelben = 528278.0

Egészséges terület pixelben = 1687333.5

A levél 31%-a károsodott.

Különbféle képfeldolgozó eljárások megvalósítása – II. UV és IR alapú szegmentáció

Ezen eljárás lényege, hogy a levelekben található klorofillt optikai úton, a fizikai tulajdonságainál fogva a kamera számára „átlátszóvá” tesszük, s csak az elváltozások, a növénybetegségeket mutató foltok látszódnak, melyek nem esnek a klorofill színtartományába [4]. Ehhez természetesen speciális megvilágításra volt szükségünk, mellyel az 1. ábra szerinti spektrumnak megfelelően tudunk a fényképezés során világítani. Egy korábbi projektből megmaradt, növénytermesztésre szolgáló világítótestet építettünk be az eddigi fényképező kabinba, melyet előzetesen spektroradiométerrel megvizsgáltam. A használt világítótesten az egyes LED-eket külön-külön 380 és 780 nanométer közötti tartományon mértem. A panelen kétféle infravörös, UV-A, és teljes spektrumú LED-ek találhatók. A lámpatest vizsgálatának eredményét az alábbi grafikon szemlélteti:



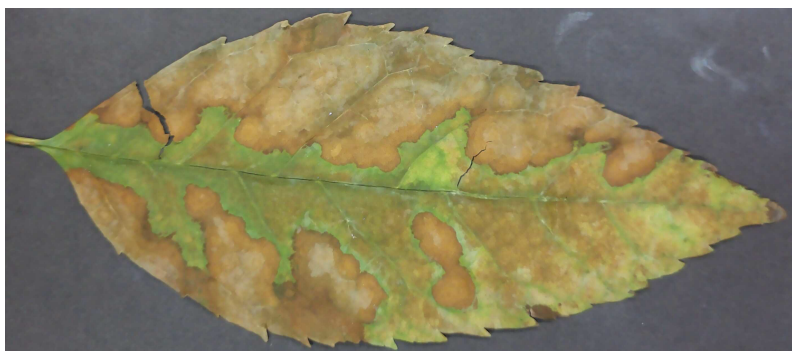
12.Ábra: A fényképezéshez használt speciális lámpatest mérési eredménye.

Ezen diagramot összehasonlítva a klorofill abszorpciós spektrumával levonhatjuk a következtetést, hogy a lámpatest valóban azokon a hullámhosszokon világít, melyeket a növények elnyelnek. A következő eljárás kísérletében megfigyelhetjük, hogy az elnyelődés és visszaverődés mennyire és hogyan lesz hasznos a vizsgálat szempontjából.

Ezen új képfeldolgozó eljárás során az eddig megvalósított szoftvert félretettem, és csak az alapokat használtam újra, ami a fájlkezelést illeti. A folyamatot egy kép elemzésének lépéseivel fogom bemutatni. Az eljárást már egy saját magunk által gyűjtött levélen fogjuk demonstrálni, melyet egy Raspberry Pi Camera Module 2-vel fényképeztünk.

Első lépésben készítettünk egy fényképet normál megvilágítás mellett: A levelet immáron egy üveglappal szorítottuk le, hogy teljesen sima legyen a felszíne. A világítótestek tükröződése az üveglapon zavaró volt, így a képet méretre vágtuk, ezáltal keletkezett egy vizsgálati terület.

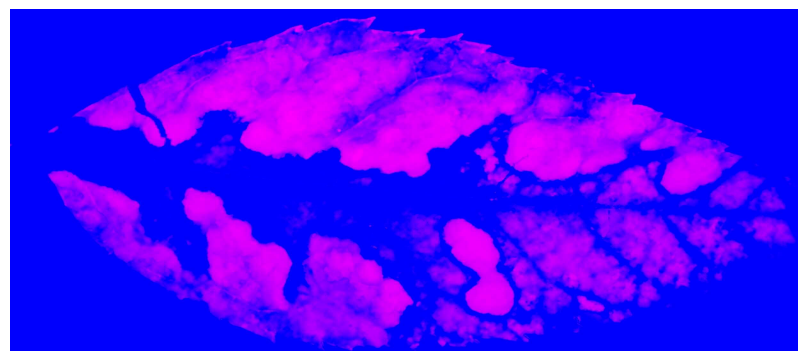
Ezt követően egy segéd fénykép kerül fotózásra, melyet az UV és infravörös fényforrások egyszerre való üzemeltetésével készítünk.



13. Ábra: Sérülésekkel teli levél, mellyel a módszer bemutatásra kerül.

Ha jobban szemügyre vesszük a képet, az alábbiak állapíthatók meg:

Az UV fényforrás szemmel látható kék színe dominánssá vált a képen, átvette a háttérszín szerepét is. Mindemellett, ahol a levélben egy kevés zöld színanyag is volt, az mind a látható háttérszínnel egybefüggővé vált, kvázi már nem láthatók zöld részletek. Második fontos jelenség, amelyet látunk, miszerint a foltos, sérült, barnás árnyalatú részletek visszaverik az



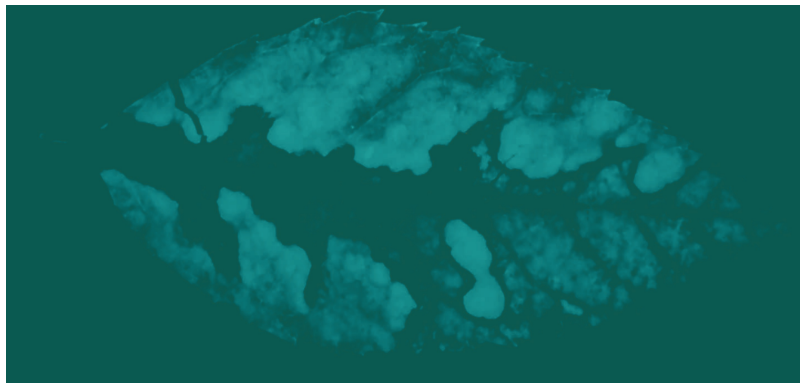
14. Ábra: UV és infravörös fény alatt készült kép ugyan arról a levélről

infravörös tartományt, ezáltal fluoerszkálás-szerű jelenség lép fel. Az így elkészült fénykép kapcsán elmondhatjuk, hogy egy olyan monokróm-hatású kép készült, melyen csak a fizikailag sérült, tehát klorofillban szegény területek látszódnak nagy részletességgel. Ez annak köszönhető, hogy kihasználtuk az optikai és fizikai tulajdonságát ezen anyagoknak. Az egészséges és beteg területek megállapítására az előzőekben már ismertetett eljárásokat

alkalmaztuk. Amint elkészült a két fénykép, elsősorban az UV-val készült képeken fogunk dolgozni. A program a következőket hajtja végre:

1. A képet beolvasás után Gauss-féle elmosással kicsit homályosítja, hogy az összefüggő területek homogénebbé váljanak. Fontos megjegyezni, hogy ennek ellenére zajmentesnek kell lennie a kezdeti képnek, mert ilyenkor a képen lévő zaj csak még jobban “szétkenődik” az elmosás hatására.

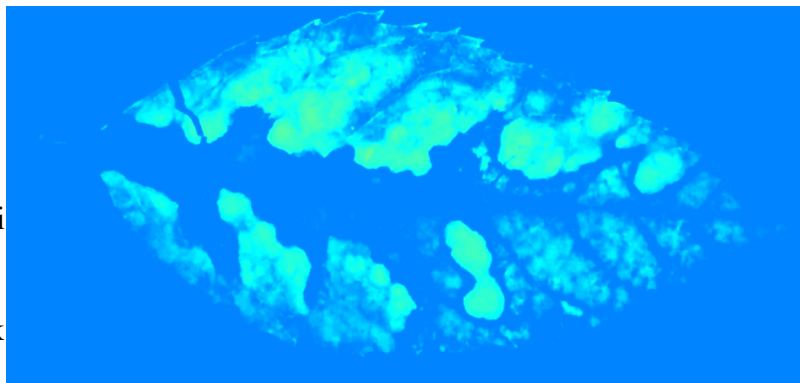
2. Átalakítja LUV színtérre, amely azt teszi lehetővé, hogy az ezt követő, hőterkép függvény jól tudjon működni. Ezt sorozatos teszteléssel állapítottam meg. Így a nagyon élénk kék-lila képből egy sötétebb, de ugyan azt az



15. Ábra: LUV-színtér átalakítás

információt hordozó képet állítja elő, melyre, ha a hőterképet alkalmazom, akkor nem telítődik túl, nem égnek ki részletek, szélesebb tartományban, dinamikusabban tudja a hőterképet generálni.

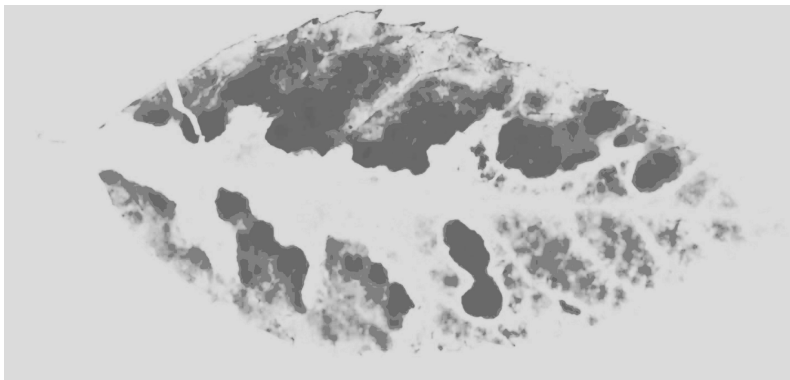
3. `cv2.applyColormap()` függvény meghívásával egy hőterképet alkalmaz, jelen esetben “JET” színsémával fedik le a képet, mely hatására erőteljesen kiemelésre kerülnek a “forróbb és hűvösebb”



16. Ábra: Hőterkép generálva

pontok. Ez a későbbi műveleteknél nagyon éles, és kontrasztos maszkok létrehozását teszi lehetővé.

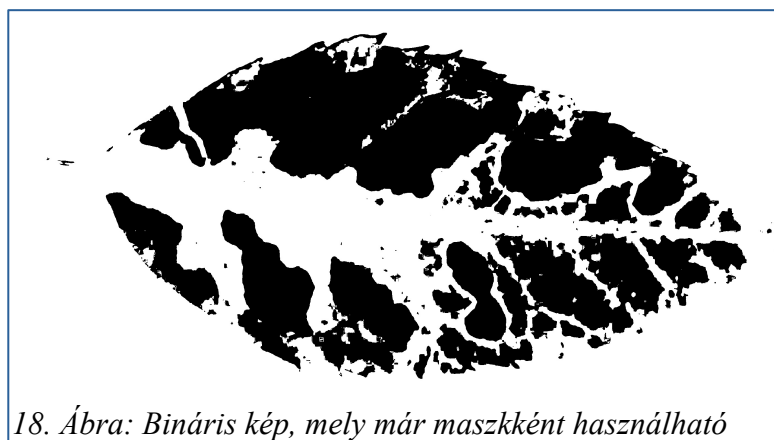
4. Egy újabb szintér átalakítást kell végezni, most pedig vissza az RGB tartományra, ahhoz, hogy a szürkeárnyaltos maszkot létrehozzuk.



17. Ábra: Szürkeárnyaltossá alakított hő térkép

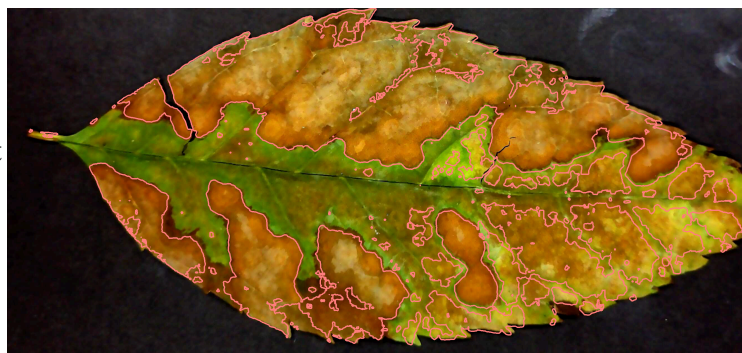
5. A szürkeárnyaltos átalakítást követően kapunk egy ugyan zajjal terhelt, de a célnak megfelelő maszkot.

6. A `cv2.threshold()` függvény küszöbérték-eltolást (bináris képpé való alakítást) végez, mely már a kiindulási képhez felhasználható, mint sérült terület-jelölő.



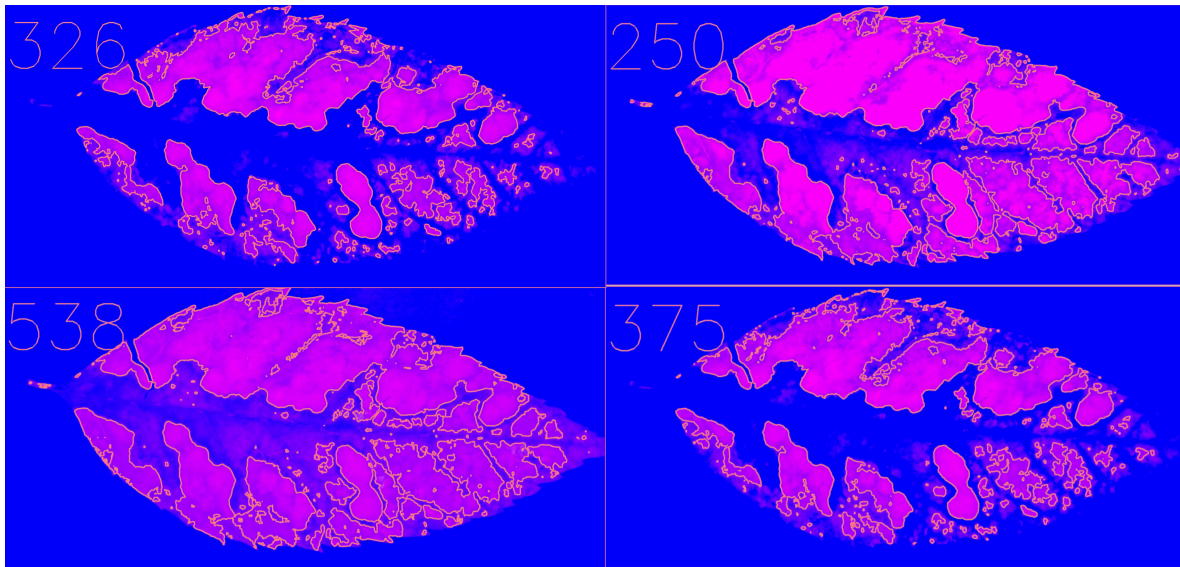
18. Ábra: Bináris kép, mely már maszkként használható

7. A program lefutását követően a bemeneti képre írja az eredményeket, az első megvalósításhoz hasonlóan. Ezt az OpenCV bitenkénti VAGY-kapcsolattal hajtja végre az segédképről generált maszk és az eredeti kép segítségével.



19. Ábra: Kontúrok felrajzolva

A fényerőszabályzás okozta különbségek



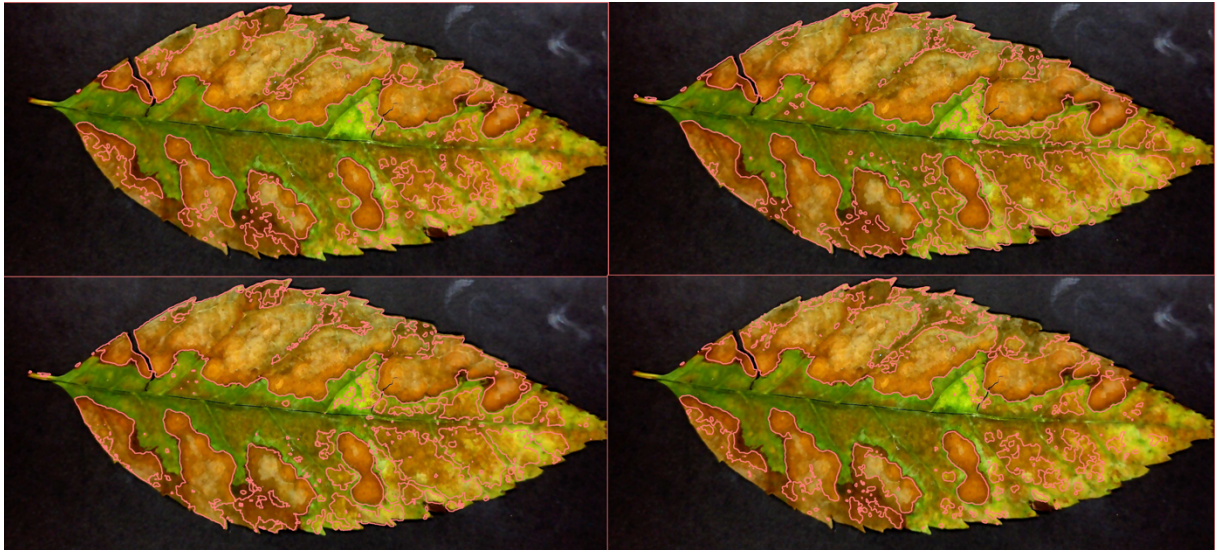
20. Ábra: Négy különböző megvilágítási fokozat mellett készült képek elemezve a program által. A kontúrok száma olvasható a bal felső sarkokban.

A fényképkészítés során a három különböző fényforrás fényerejét egy egyszerű távirányítós LED-meghajtóval szabályoztuk.

A fényképezés során azt a jelenséget figyelhettük meg, miszerint a kontúrdetektáló függvény a különböző fényerőszint mellett készült képek esetén más-más mértékű területet talált sérültnek. A képfeldolgozási folyamat során arra a megállapításra jutottunk, hogy a fényerőt valamilyen módon szabályozni fog kelleni, és felfedezni, miszerint milyen összefüggés van a kontúrok száma és a fényerő mértéke között. Az emberi szemet becsapják a kiszámított eredmények: A legtöbb kontúrt a szemmel láthatólag alulvilágított bal alsó kép adta, melyen 538 darabot számolt, s a legkevesebbet pedig a jobb felső, 250 darabbal.

Kiértékelés a segédképek segítségével

A kontúrok detektálása után elkészítettem a programmal a sérült területek felrajzolását.



21. ábra: Az előző segédképek alapján a sérült területek megjelölése. (ugyanazon sorrendben)

Megfigyelhető, hogy az emberi szemmel és az algoritmus számára észrevehető beteg területek hogyan aránylanak egymáshoz a különböző világítási szintek esetén. A HSV-szintér alapú szűrési mechanizmussal összehasonlítva látszik, hogy jóval több részletet lehet a kontúrdetektor algoritmus számára láthatóvá tenni. Ezen, a speciális megvilágítással való fényképezési módszert tartom a projekt jövőbeni alapjának, hiszen sok olyan előnnyel jár, amelyet érdemes kihasználni. A klorofill UV-érzékenysége miatt tapasztalataink alapján bármilyen növényi levéllel készíthető fénykép, amelyet a szoftver elemezni is fog tudni. Véleményem szerint az egyik előnye a rendszernek, hogy csak és kizárólag a klasszikus gépi látás eszközeivel értük el az eredményeket, nem volt szükség öntanuló modell létrehozására.

A hardveres kivitelezés alapjai

A fizikális megvalósításnak több összetevője is van. Három olyan komponens van, amivel az elmúlt lassan egy év során foglalkoztam, ezek pedig maga az állomás, ahol a képeket készítjük, a világítás, amely elősegíti az árnyékmentes kép elkészítését, valamint a kamera modulunk, amely egy Raspberry Pi-hoz csatlakoztatva nem csak a képek elkészítésére alkalmas, hanem a képfeldolgozó program futtatására is. Az ezt követő bekezdésekben tárgyalni fogunk az egyes alkotóelemekről külön-külön. Részenként szeretném ismertetni a fejlesztésekkel és megoldásokkal kapcsolatos problémákat, amelyek a munka során léptek fel, valamint a jövőre nézve a lehetséges továbbfejlesztéseket.

A képfelvéésre használt állomás

Első sorban szükség van egy olyan környezetre, amelyben egy ideális közeget tudunk létrehozni a lehető legtokéletesebb kép elkészítéséhez. Maga az anyaga a képfelvéő állomásnak nem a legfontosabb aspektus egészen addig amíg a képkészítésre használt része az nem zavarja az elkészült kép minőségét. A jelenlegi felállás szerint egy édességes doboz szolgál prototípusként, amelynek a belseje először fehér színű volt majd feketére lett festve.



1. Ábra: a képfelvéő állomás prototípusa



2. Ábra: a doboz feketére festése

Az eredeti fehér szín lecserélését az a hipotézisem kezdeményezte mi szerint a fehér háttér nem a legoptimálisabb a képkészítéshez több okból is. Az első ilyen ok az az árnyékképződés volt.

Többszöri tesztelés során megállapítottam, hogy a fehér közeg kiemeli a levél körüli árnyékokat. Ez abból a szempontból volt egy szerencsétlen felállás, hogy a projektársam által készített képfeldolgozó szoftver az árnyékokat is figyelembe vette az elemzés során, ennek köszönhetően hibás eredményt kaptunk a beteg levélfelületek mennyiségéről. Mint ahogy már



3. *Ábra: fekete alátét a levél alatt
árnyékképződés nélkül*

a bevezetőben ismertettük a világításhoz választott LED-ek színe nem véletlenszerű volt, hanem a klorofil abszorpciós spektrumának az elemzése után gondosan kiválogatott specifikus színeket alkalmaztunk, amelyek a képkészítés során bizonyos célokat szolgálnak. Az egyes színeknek a hasznosságát a későbbiekben még részletezni fogom azonban most abból az aspektusból lényeges, hogy a kék, piros és fehér fények összessége miatt az árnyékos

rész is a levél részének tűnik a képeken. Annak ellenére, hogy a különböző színű fények keverékének az lenne a célja, hogy a beteg levélrészeket úgymond élénkké tegye a többi részhez képest, attól függetlenül az eredményül kapott egészséges és a beteg részletek aránya hamis. Ezt a problémát sikeresen megoldottam, egy egyszerű matt fekete kartonlapot helyeztem a vizsgálandó levél alá. Az javulás szemmel látható volt az előzőekhez képest. Így is keletkezett egy minimális mennyiségű sötét körvonal egyes pontokon, de azokat már a világítással lehetett pontosítani.

Visszatérve az állomás többi meghatározó eleméhez, fontos a belmagasság és a hosszúság tökéletes arányának a meghatározása is. Mivel célunk a felvevő egység könnyű hordozhatóságának a megtartása így nem lehet nagyobb annál, mint amit kézben lehet mozgatni. A világításban a magasság tökéletes beállítása az, ami befolyásolja az elkészült kép minőségét. Amennyiben túl magasan helyezzük el a fényforrást, nem fogja elég fény érni a levelünket ahhoz, hogy az apróbb elszíneződött részeket megvilágítsa így ezzel ellehetetleníti a képfeldolgozó számára azok detektálását. Azonban, ha túl alacsonyan helyezzük el akkor az alátét mattságától vagy színétől függetlenül vissza fogja tükrözni a LED-ek által keltett fénypontokat. Ezek a fénypontok úgyszintén gondot okoznak a képfeldolgozó szoftvernek amennyiben a levél felszínére is kiterjed a pontozódás. A beltér enyhe megemelésével ezek a pontok távolabb kerülnek a fókuszteregtől és még ha továbbra is látszódnak még akkor sem

fognak belezavarni a körvonalba. A doboz méretét tekintve azt is szem előtt kell tartanunk, hogy a fényforrások is beférjenek. Azon LED panelek, amelyekkel jelenleg dolgozunk pontosan beleillenek a karton tetejébe viszont a későbbiekben lehetséges, hogy nem csak a méretei, hanem a formája is meg fog változni a lámpának attól függően, hogy milyenre tervezem meg. Ez azonban még a jövőbeli fejlesztéseknek a része.

Az utolsó, de nem elhanyagolható pont, amit meg szeretnék említeni az a doboznak a lezártága. Mivel célunk egy olyan közeg létrehozása, ahol ideálisak a képkészítéshez a körülmények így ezt semmilyen külső behatás nem zavarhatja meg. Ennek érdekében az állomásunkat külső fénytől elzárttá kell tennünk úgy, hogy a levelet be is tudjuk helyezni a képkészítő alá. Jelen esetben ez nem teljesen kivitelezhető a doboz sajátosságai miatt. Nem egyenletesek a körvonalai ezáltal az alján hézagok képződtek melyeken beszűrődik a kinti fény. Ezt úgy próbáltam meg orvosolni, hogy papírlapokat ragasztottam a kérdéses helyekre remélve a bejövő fényerősség csökkenését. Ez valamelyest sikerült is.

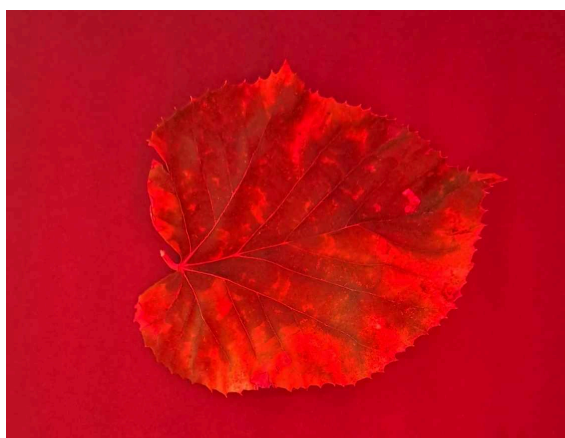
A világítási megoldások

A második összetevője a fizikális megvalósításnak az a világítás. Ahogy az előbbiekben és a bevezetőben is említettem a világítás gondos megválasztásának is fontos szerepe van. Az



4. *Ábra: a LED panelek bekapcsolt állapotban*

abszorpciós spektrumra alapozva választottunk ki négy különböző színű fényforrást. A teljes spektrumú fehér színt, a közel ultraviola kék, egy sötétebb kék, valamint a közel infravöröset. Teljes spektrumú megvilágítás során minden szín látszódik erre pedig alapozni tud a képfeldolgozó szoftverünk, amely összehasonlítja a fehér fénnel készített képet a kevert színűvel. A többi színnek sajátos feladata van. Az eddig vizsgált leveleinken három féle elszíneződés volt megtalálható. Citromsárga, narancssárga és barna, mindegyik szín más-más megvilágítás alatt tűnik fel a legjobban. Amennyiben csak piros színnel világítottuk meg a



5. *Ábra: a vizsgált levél piros megvilágítás alatt*



6. *Ábra: kevert színekkel megvilágított levél*

levelünket a sárgás és narancssárgás színek jobban elkülönülnek a zöld és barna részekről. Igaz, hogy nem emeli ki a két színt azonban segít az elkülönülésükben. A képen látható enyhe

sötétebb csíkozásáról a későbbiekben még említést fogok tenni. A következő szín az a kékek. A kék megvilágítás alatt legyen szó UV vagy sötétkék fényről, tapasztalataim alapján a citromsárga elváltozások a képeken úgy jelennek meg mintha „világítanak”. Ezzel is bizonyítva azt, hogy tökéletesen kiemeli az általunk vizsgált színeket. A három különböző megvilágításnak a keverésével egy olyan kombinációt tudunk létrehozni, amely mindegyiknek az előnyét összekeveri. Tehát kiemeli a sárgás elemeket és elkülöníti a kérdéses részeket a zöldtől.

A negyedik és az ötödik ábrán észrevehető egy enyhe csíkozódás. Ez a jelenség a fényerősség állításával jött létre. A felhasznált LED panelek vezérlését jelenleg egy távirányítós egységgel oldjuk meg amíg nem lesz egy saját készítésű fényforrásunk ugyanis ezek a panelek egy növénytermesztésre szolgáló projektből maradtak hátra, amelyek véletlen okán a mi projektünkhöz is valamelyest jól illenek. Ezzel a távirányítóval tudjuk dimmelni és keverni a színeket. A csíkozódás oka az, hogy a LED meghajtó tápegység PWM szabályzási frekvenciája pont a kamera képfrissítési frekvenciájába esik. Túl erős fényáram esetén is létrejöhet ugyanez a fajta csíkozódás. Ami számunkra jelentett nehézséget az az egyensúly megtalálása volt, ahol minden egyes beteg levélrész látszódik de még nem láthatóak ezek a csíkok a képen. Ha ez nem sikerül akkor értelemszerűen ezek a csíkok sötétebb árnyékként jelennek meg a képen ez



7. Ábra: a diffúzor felragasztott állapotban a megfordított LED panelekkel

ismételten a képfeldolgozásban okoz kellemetlenséget hiszen, ha sötétebbek egyes részek akkor már a levélről visszatükröződő színek sem felelnek meg az elvártaknak és megeshet, hogy a szoftver nem vesz figyelembe egyes apró részleteket. Ebben az esetben megint egy hibás egészséges/beteg rész arányt kapunk. Megoldásnak gondoltam egy diffúzor beépítését, amely segítségével nem csak a korábbiakban említett fénypontok tűnnek el, hanem mivel egyenletesebbé válik a fény eloszlása így ezáltal a sötét vonalak képződésének az esélye is kevesebb. Erre a célra egy régi monitorban megtalálható különleges fóliát

alkalmaztam, amelynek az egyik oldala teljesen matt a másik pedig egy majdnem tükör szerű felület. Az

installáció módja pedig a következő volt: a diffúzorként használt fólia matt részével felragasztottam a doboz tetejére így tehát a tükrös

felület nézett le a levelet tartó alátétre. Majd a LED paneleket úgy fordítottam, hogy a tükör felé nézzenek ezzel a fényt visszatükrözzük a levélre. A kísérlet kudarcba fulladt annak okán, hogy a sajátos diffúzorunk nem hozta a kívánt eredményt és a kellemetlenségek még ha enyhébb formában is de megmaradtak.

A sikertelen próbának eredményéül arra a döntésre jutottam, hogy a diffúzor használatának ötletét jelenleg elvetem azonban a jövőben esetleges fényeloszlás optimalizálásának érdekében még más fajta eloszlatási módszereket ki szeretnék próbálni.

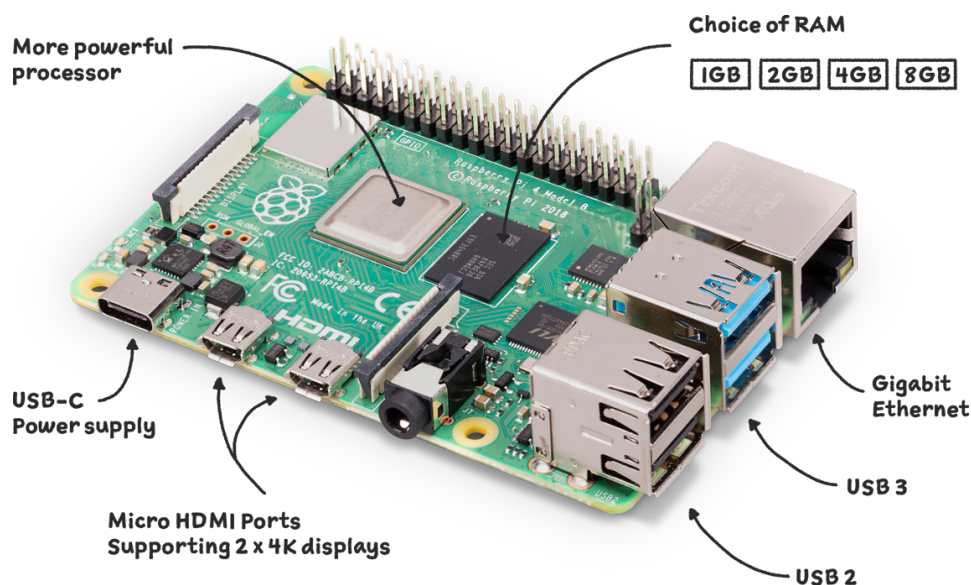
A képfelvevő eszköz

A legutolsó szerkezeti egysége a rendszerünknek a képfelvétel készítésére alkalmas eszköz. Az elmúlt közel egy évben számos eszköz került felhasználásra. Legelőször egy egyszerű digitális kamera volt a képkészítésre szolgáló eszköz majd egy Nanopi duo2 nevű ARM és a legutolsó, amit jelenleg is használunk az egy Raspberry Pi 4 Model B.

Az általunk használt digitális kamerát egészen addig használtuk amíg a Nanopi duo2 nevezetű eszközünket nem tudtuk üzembe helyezni. Ezzel a kamerával 5 megapixeles képek elkészítése vált lehetővé, ami sajnos nem bizonyult elegendőnek a képfeldolgozáshoz tökéletes minőségű kép elkészítéséhez. A színvonal a fotóknak még csak nem is az elsődleges probléma volt, hanem a gép nehézkes fókuszálása a gyenge fényben.

Amint sikeresen beüzemeltük a ARM architektúrára épülő Nanopi eszközt rá kellett jönnünk, hogy az sem lesz alkalmas a feladatvégzésére. Az eszköz elég silány nivójú kivitelezéssel lett elkészítve ezért a konfigurálása hónapokba telt és amint sikerült beállítani a képek készítése során konstans akadozott, valamint a szalagkábelrel hozzá csatlakoztatott kamera modul is olyan képeket készített, amely elfogadhatatlan felbontással rendelkezett. A gyárilag hozzáadott szalagkábel körülbelül három használat után meghibásodott ezért úgy döntöttünk, hogy meg sem próbáljuk megjavítani a szituációt.

A következő lépés egy drágább beruházás keretein belül egy Raspberry Pi és az azzal kompatibilis kamera modul megvásárlása volt. Ehhez az eszközhöz tartozott egy 32GB SD kártya, ami már eleve tartalmazta az eszköz működéséhez szükséges operációs rendszert, valamint egy tápegység, amely optimális szerkezetünk megtáplolására.



8. Ábra: Raspberry Pi 4 Model B

Forrás: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/>



9. Ábra: Raspberry Pi Camera Module 3

Forrás: <https://malnapp.hu/raspberry-pi-camera-3>

A kamera modulunk, amit választottunk az a Raspberry Pi camera module 3. Azért esett erre a választás mert ez egy 12 megapixeles Sony IMX708-as szenzort használ, amely kiváló dinamikus tartományt, valamint alacsony zajszintet biztosít még gyengébb fényviszonyok között is. Integrált autófókusszal rendelkezik, amelyet VCM

technológia hajt meg ezzel elősegítve a gyors és viszonylag pontos fókuszálást. A továbbfejlesztett interfészének köszönhetően ez teljes mértékben kompatibilis javítva a képátviteli sebességet és csökkenti a késleltetést. Ez hasznos a képfeldolgozó szoftverünk számára ugyanis így hatékonyabban futtatható le a képelemző program. Végül de nem utolsó sorban a modul támogatja a Picamera könyvtárat, amelyben előre megírt függvények segítségével tudjuk fejleszteni az elemző szoftverünknek a hatékonyságát is.

Az ismertető után egy széleskörűbb képet kaptunk a megvásárolt eszközök hasznosságáról, valamint a projektben való relevanciájukról. Ezek után szeretném felvázolni a jelenlegi szerkezeti felépítést. A modulunk egy szalagkábel segítségével van csatlakoztatva a GPIO porthoz a Raspberry Pi 4-en, a Pi 4 egy micro HDMI-HDMI kábel segítségével egy monitorhoz lett csatlakoztatva és ezek mellett egy kábeles billentyűzet és egér lett csatlakoztatva a Pi USB bemeneteire. Az eszközhöz kapott alapméretezett 32 bites Raspbian operációs rendszer sajnos nem bizonyult elégnek ahhoz, hogy a kamerát használni tudjuk így a hivatalos oldalról letöltve feltelepítettük rá a 64 bites új verziót, amivel már sikeresen igénybe tudtuk venni a kamerát.

Az alábbiakban egy egyszerű példakódot szeretnék bemutatni, amellyel automata fókusszal képet lehet készíteni.

```
from picamera2 import Picamera2
from libcamera import controls
picam2 = Picamera2()
picam2.start(show_preview=True)
picam2.set_controls({"AfMode": controls.AfModeEnum.Continuous})
picam2.start_and_capture_files("fastfocus-test{:d}.jpg",
num_files=3, delay=0.5)
picam2.stop_preview()
picam2.stop()
```

Forrás: <https://www.tomshardware.com/how-to/raspberry-pi-camera-module-3-python-picamera-2>

A mi programunkban természetesen van pár módosítás amellyel a megfelelő helyekre tudjuk elmenteni az így elkészült képeket de a struktúra az hasonló. A kódban látható, hogy importáljuk a már korábbiakban említett Picamera könyvtárat és ezek után a `start(show_preview=True)` utasítással előhívunk egy előnézeti kameraképet. Ilyenkor mint egy rendes fényképezőnél folyamatosan változik a megjelenő kép annak függvényében, hogy hogyan mozgatjuk. A `start_and_capture` utasítással egyértelműen elkészítjük a kívánt képet majd bezárjuk az előnézeti ablakot és lezárjuk egy `stop` utasítással a kamerát.

A képek elkészítéséhez nem kell feltétlen egy Python program futtatására alkalmas környezet, a terminálból is el tudjuk a modult érni és akár módosított képeket is tudunk vele készíteni. A módosított képek alatt itt azt értem, hogy az expozíciót tudjuk például állítani vagy akár szűrőket és effekteket tudunk a képekre rávetíteni. Ilyen effektus lehet a negatív szűrő. Ezek a módosítások elősegítik a levélfelszíni elváltozásoknak a szoftver alapú kiemelését anélkül, hogy a világításhoz vagy a fizikai környezethez mi hozzáértünk volna.

A legutolsó tevékenységünk a projekt során az a képfeldolgozó szoftver integrálása volt a Raspberry Pi-ra. Itt terminálból elindítottuk a képfelvételt amelyet egy előre meghatározott mappába lementettünk amiből a képfeldolgozó szoftverhez ki tudtuk választani az egymásra maszkolandó képeket majd amint megtörtént a kiválasztás a képelemzőnk megmutatta az általa érzékelt körbonalakat és a beteg részek százalékos mennyiségét.

A projekt további fejlesztési lehetőségei hardveres szempontból

Észrevehető, hogy az eddigiek során nem említettem meg a LED-ek és a képfelvevő összehangolását. Célom, hogy az elkövetkezendő fél évben a Raspberryről lehessen vezérelni a világítást. Erre már több ötlet is született ezek közül példának tudom említeni a PWM alapú fényvezérlést. Egy MOSFET segítségével lehetne irányítani a LED-re jutó feszültségszintet, a Pi egyik GPIO pinje a FET kapujára lenne kötve ezzel lehetővé téve a LED-re kijutó PWM jel szabályozását. Ennek az egésznek a szabályozását Python nyelven egyszerűen kivitelezhetjük úgy, hogy a pinek beállítása után létrehozunk egy PWM objektumot, aminek megadunk egy frekvenciát majd egy kitöltési tényezőt. While ciklusokkal tudjuk lassan növelni majd csökkenteni a fényerőt. Ez természetesen még nem egy biztos megoldás, de egy lehetséges kivitelezési mód.

A második lehetőség, amit számba vettem az először is egy vezérelhető tápegység a panelek számára. Ez arra ad lehetőséget, hogy LED-ek feszültségigényétől valamelyest függetlenül egy alap vezérlőprogramot tudjak írni, amelynek köszönhetően szabadon tudjuk változtatni a felhasznált fényforrásokat. Tehát, mivel a tápegységünk egy bizonyos tartományú feszültség kiadására képes így mindegy, hogy azon a tartományon belül milyen igényű LED-eket fogok a későbbiekben a saját építésű fényforrásomhoz felhasználni mert már van egy alap vezérlőprogram, ahol csak az értékeket kell megváltoztatni.

A képfeldolgozó szoftver továbbfejlesztési lehetőségei

A képfeldolgozó szoftvert adatbeviteli és adatrögzítési felülettel is szeretném ellátni a későbbiekben, amelyen keresztül a megtalált foltok esetlegesen külön fájlként is tárolhatók, és azoknak címkéket, megnevezéseket adva elkészülhet egy adatbázis-építő rendszer. Mindezen felül, a fényképkészítés folyamatába szeretném integrálni a világítástechnikai vezérlő programot. Amennyiben megfelelő mennyiségű minta fog rendelkezésre állni, úgy elkezdődhet egy felismerő modell tanítása. Ez egy következő, komplex előrelépés eredménye lehet, melynél már nem csak azt tudja megmondani a rendszer, hogy sérült foltok vannak a leveleken, és mennyi, hanem azt is, hogy mi az eredete.

Projekt összegzése

A jelenlegi állás szerint van egy olyan képfelvevő állomásunk, amely képes egy olyan kép elkészítésére és kiértékelésére, ahol manuálisan beállítjuk a megfelelő világítást majd a képelemző szoftverhez kiválasztjuk a teljes spektrumú megvilágítással és a kevert világítással készült képeket ezeket egymásra maszkolva megkapjuk a beteg és egészséges levélrészek százalékos eredményét.

Irodalomjegyzék:

[1]Chlorophyll fluorescence—a practical guide

<https://academic.oup.com/jxb/article/51/345/659/652534?login=false>

[2]What is the Difference Between Chlorosis and Necrosis

<https://pediaa.com/what-is-the-difference-between-chlorosis-and-necrosis/>

[3]Signs and symptoms of plant disease: Is it fungal, viral or bacterial?

https://www.canr.msu.edu/news/signs_and_symptoms_of_plant_disease_is_it_fungal_viral_or_bacterial

[4]Application of chlorophyll fluorescence imaging technique in analysis and detection of chilling injury of tomato seedlings

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169919321957>