

**NYUGAT-MAGYARORSZÁGI EGYETEM
ERDŐMÉRNÖKI KAR
GEOMATIKAI, ERDŐFELTÁRÁSI ÉS VÍZGAZDÁLKODÁSI INTÉZET
FÖLDMÉRÉSI ÉS TÁVÉRZÉKELÉSI TANSZÉK**

Eredics Attila

VEGETÁCIÓS INDEXMÉTER (NDVI) TERVEZÉSE ÉS FEJLESZTÉSE

Konzulensek:

Király Géza

egyetemi adjunktus

Dr. Németh Zsolt István

egyetemi adjunktus

Lleida, Sopron

2007

Tartalomjegyzék

I.	Bevezetés.....	2
II.	A vegetációs index (NDVI) fogalma	3
III.	A vegetációs index alkalmazási lehetőségei	5
IV.	A mérés elve.....	6
V.	A Magic Eye 1.1. vegetációs indexmérő készülék felépítése és működése.....	8
1.	Az elektronika	9
2.	Kapcsolat a számítógéppel	13
3.	A vezérlő program.....	14
VI.	Kalibrálás	16
1.	Referencia műszer: GreenSeeker	16
2.	Referencia műszer: spektrofotométer.....	20
VII.	Az eredmények értékelése.....	24
VIII.	Továbbfejlesztési irányok és lehetőségek	25
IX.	Köszönetnyilvánítás	26
X.	Felhasznált irodalom	27
XI.	Melléklet.....	28

I. Bevezetés

Munkám célja egy olyan kézi mérőműszer kifejlesztése volt, amellyel egyszerű módon és közvetlenül lehet a vegetációs indexet (NDVI) mérni.

A témával még a lleidai egyetemen (Universitat de Lleida, Spanyolország) kezdtem el foglalkozni, ahol az adta az indító ötletet, hogy itt találkoztam először egy olyan műszerrel, amely a vegetációs index meghatározására alkalmas. Ennek a fantázianeve GreenSeeker, és az amerikai NTech Industries cég gyártja és forgalmazza 4800 \$ áron. Hatótávolsága mindössze 120 cm, de jól kidolgozott mezőgazdasági alkalmazásai már rendelkezésre állnak. Jelenleg ez az egyetlen általam ismert, a mérés technikai kereskedelemben beszerezhető mérőműszer, amely a vegetációs index közvetlen, földi meghatározására képes.

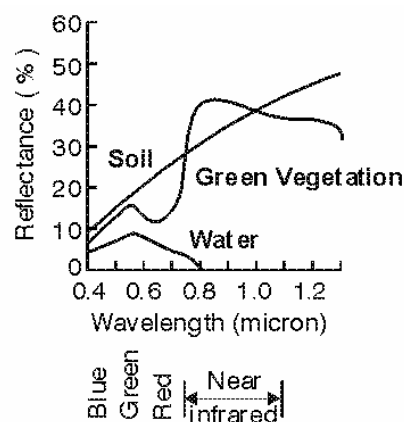
A fejlesztés célja egy hasonló paraméterekkel rendelkező, de lényegesen olcsóbb műszer kifejlesztése volt. A fejlesztés tervezési stádiuma lezárult, a prototípus már elkészült. Dolgozatom témája a Magic Eye 1.1 névre keresztelt prototípus felépítésének és összehasonlító tesztelési eredményeinek a bemutatása.

II. A vegetációs index (NDVI) fogalma

A vegetációs index, NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) egy dimenziómentes mérőszám, amely egy adott terület vegetációs aktivitását fejezi ki. Értékét a növényzet által a közeli infravörös (NIR) és a látható vörös (RED) sugárzási tartományban visszavert intenzitások különbségének és összegének hányadosa szolgáltatja, lásd az (1) egyenletet később. Az NDVI korrelál a területet takaró növényzet fajlagos klorofill tartalmával. Egy adott terület növényekkel való borítottságának meghatározása, vagy a vegetációs stádium megállapítása a különböző hullámhossz-tartományokban visszaverődő fényintenzitások mérését igényli.

Amikor például napfény ér valamilyen tárgyat, az bizonyos hullámhosszokon elnyeli, más hullámhosszokon pedig visszaveri a fényt. A növényi levelekben található klorofill a fotoszintézis során nagymértékben elnyeli a látható fényenergiát (400-700 nm). Ugyanakkor a levelek a sejtfelépítésüknek köszönhetően nagymértékben visszaverik a közeli infravörös fényt (700-1100 nm) [1]. Így a növények levelei nagyon jó hatásfokú, természetes infravörös tükröként is működnek. (lásd 1. ábra)

Abból fakadóan, hogy a fotoszintézis intenzitását, a növények morfológiáját (pl. levélfelület nagysága), valamint a növénytársulások faji összetételét egyedfejlődési és környezeti tényezők egyaránt szignifikánsan befolyásolják, a növények reflexiós spektrális információiból karakterisztikus fiziológiai állapotokra ill. állapotváltozásokra lehet következtetni. Ezért vált alkalmassá a vegetációs index a növényzet és környezeti tényezői, továbbá a kultúrnövények és vegetációs stádiumaik közötti kapcsolatok jellemzésére.



1. ábra: A talaj, a zöld növényzet és a víz visszaverő képessége különböző hullámhosszokon [2]

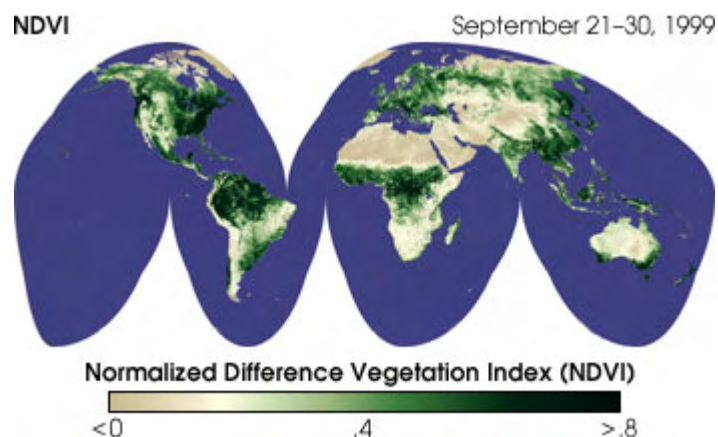
A bioszféra fiziológiás állapotáról képet szolgáltató vegetációs indexet a nagy felbontású, többcsatornás műholdképek megjelenésekor és a távérzékelési módszerek kifejlesztésekor dolgozták ki. Ha a mérésre műholdon elhelyezett multispektrális érzékelőt használunk, akkor egy adott területről visszaverődő látható vörös és közeli infravörös fény mennyiségének alapján osztályozhatjuk a terület fotoszintetikus kapacitását. Általánosságban, ha egy terület fényvisszaverése a közeli infravörös tartományban sokkal nagyobb, mint a látható vörös tartományban, akkor a terület növényzete valószínűleg sűrű, és tartalmaz valamilyen erdőt. Ha a különbség kisebb, akkor a vegetáció valószínűleg ritkább, valamilyen füves terület, esetleg tundra vagy sivatag.

A reflexiós fényintenzitás eltérések jellemzésére a következő összefüggést alkalmazzák:

$$(1) \quad NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

ahol: *NDVI* - vegetációs index;
NIR - a visszavert fény intenzitása a közeli infravörös tartományban;
RED - a visszavert fény intenzitása a látható vörös tartományban.

Az (1) egyenlettel definiált vegetációs index mindig -1 és +1 közötti eredményt határoz meg, a nullához közeli érték a növényzet hiányát jelzi, ilyenek például a sziklás, köves, vagy hóval fedett területek. 0,2 és 0,3 körüli értékek füves, bokros területet jelentenek, míg a 0,8-0,9 értékek sűrű zöld növényzetre utalnak, mint például a trópusi és mérsékelt övi erdők [1]. (2. ábra)



2. ábra: Műholdképek alapján készült térkép a föld vegetációs aktivitásáról [1]

A vegetációs index mérése azonban nem csak műhold vagy légi felvételek alapján történhet, hanem kézi műszerrel is. Erre példa a bevezetőben már említett GreenSeeker műszer.

A GreenSeeker mérési elve a távérzékelésnél alkalmazottéval megegyező, tehát a látható vörös tartományban és a közeli infravörös tartományban méri a növényzet fényvisszaverését. Ugyanakkor a méréshez használt hullámhossz tartományok eltérőek, főleg technikai okok miatt. A teljes látható vörös spektrum helyett a műszer csak a 660 nm körüli 25 nm-es tartományban érzékeny. A közeli infravörös tartományban az érzékenység szintén csak a 770 nm körüli 25 nm-es tartományra korlátozott. Az alkalmazott szűkebb spektrumtartományok rendelkeznek azzal az előnnyel, hogy finomabb differenciálást tesz lehetővé a növények között. Az alkalmazott spektrumtartományok megfelelő megválasztásával más és más tulajdonságok iránt válhat érzékenyebbé a mérési eljárás [3].

III. A vegetációs index alkalmazási lehetőségei

A műholdakról származó adatok alkalmazhatók nagyterületű vegetációtérképezésre, de nem csak a növénytűrűséget lehet vele nyomon követni, hanem az egészségi állapotot is, mert ha valamilyen stresszhatás éri a növényeket (szárazság, tápanyaghiány, stb.), akkor az anyagcsere intenzitásuk, valamint az azoktól függő spektrális tulajdonságaik is megváltoznak. Ez a változás sokszor kihat a levelek „színére”, ami a vegetációs index értékében is megjelenik.

A mezőgazdaság területén már sok alkalmazást kidolgoztak a vegetációs index használatára. Használható például mezőgazdasági növények műtrágya szükségletének meghatározására és a kijuttatás hatásának nyomon követésére, vagy az öntözés pillanatnyi vízigényhez igazított alkalmazására. Kutatások folynak az előzetes termésbecslésre való alkalmazhatóságáról, vagy a szőlőültetvényekben történő hasznosításról.

A műszert mezőgazdasági járműre (pl. traktor) szerelve, valamint GPS-szel összekapcsolva vegetációtérképezés is végezhető, annak érdekében például, hogy a későbbi műtrágyázást területileg differenciálni lehessen.

A valós idejű alkalmazások is széles körűek lehetnek, létezik például a műszernek olyan változata, amelyik permetező szórófejet vezérel, hogy csak ott permetezzen, ahol növény is van, csökkentve ezzel nem csak a költségeket, hanem a környezet terhelését is [4,5,6].

Földfelszíni mérések erdészeti hasznosítására még nem közöltek alkalmazásokat, de az eljárás univerzális voltából eredően csemetekertekben – megfelelő módosításokkal – alkalmazhatóak lennének a mezőgazdaságban már bevált módszerek. A módszer továbbfejlesztése lehetőséget teremthet erdők egészségi állapotának felmérésére is.

IV. A mérés elve

Az elkészített mérőműszer lényegében egy aktív, fényvisszaverődést érzékelő szenzor, amely a méréshez szükséges fényt maga bocsátja ki. Ennek az az előnye, hogy így a mérés teljesen független a megvilágítási körülményektől, vagyis rossz időjárási körülmények között, vagy akár éjszaka is alkalmazható. További érv az aktív szenzor alkalmazása mellett, hogy a természetes beeső sugárzás mérése meglehetősen bonyolult, de például az erdőben a lombkoronák alatt ez egyenesen lehetetlen. Mesterséges fényforrás alkalmazásával a kibocsátott fényteljesítmény mindig adott szinten tartható, illetve tetszőlegesen szabályozható. A kidolgozott módszerben a természetes fény zavaró hatású, azt a mérésnél kompenzálni szükséges. A műszer által kibocsátott fény hullámhossza 625 ± 20 nm (vörös) és 925 ± 20 nm (közeli infravörös).

A Magic Eye 1.1 vegetációs indexmérő készülék egyetlen fényérzékelőt tartalmaz, ezért egy mérés végrehajtásakor a következő lépéseket kell végrehajtani:

1. Mérjük a természetes fény által okozott fényvisszaverődést, és ennek értékét tároljuk (analóg feszültség szint formájában).

2. A növényt megvilágítjuk vörös fényvel és mérjük így is a visszaverődést, ami most két komponensből áll: egyrészt a természetes fény által okozott visszaverődésből, másrészt a vörös fény által okozott visszaverődésből. Ezt a visszaverődés értéket szintén analóg feszültség formájában tároljuk.

3. A második mérés értékéből kivonjuk az elsőt, így csak a vörös fény által okozott visszaverődés értéke marad.

4. A kapott analóg feszültséget erősítjük és digitalizáljuk, majd számoljuk a maximális visszaverődés százalékaként a RED %-ot (lásd a képletet feljebb).

5. – 8. lépés ugyanaz, mint az 1. – 4. lépés, csak nem vörös fényvel világítjuk meg a növényt, hanem infravörös fényvel, és eredményül megkapjuk a NIR %-ot.

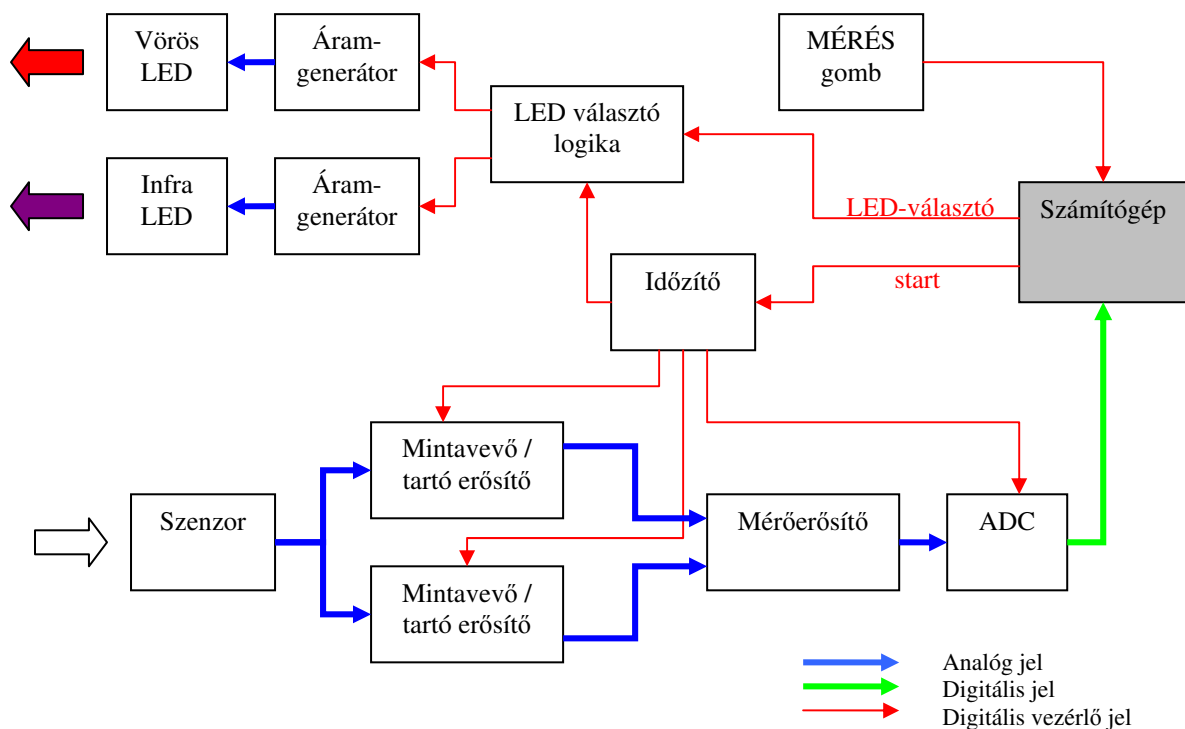
9. A fenti képlettel kiszámítjuk a vegetációs indexet.

Mivel „egy mérés nem mérés”, ezért amíg a műszeren a Mérés gombot nyomva tartjuk, addig a fenti mérési lépések folyamatosan ismétlődnek, és a kapott eredmények átlagolódnak. Az egyes mérések közötti időtartam 30 és 100 ms (milliszekundum) között állítható, vagyis egy perc alatt akár 2000 mérést is végezhetünk. A végeredmény pedig az összes előző mérés átlaga, amíg el nem engedjük a Mérés gombot. Újra megnyomva a gombot, az átlagolás előről kezdődik. Az időbeli átlagolás a JEL/ZAJ viszonyt javítja, így a mérés pontosabbá válik, mivel N db adat átlagolása a JEL/ZAJ hányadost \sqrt{N} -szeresére növeli [7].

V. A Magic Eye 1.1. vegetációs indexmérő készülék felépítése és működése

A műszer funkcionális blokk-diagramja a 3. ábrán látható. Az egyes alegységek működésének részletezése és a tervezési szempontok a következő részben találhatóak. A tényleges kapcsolási rajzot (M1. és M2. ábra) valamint a kész prototípus fényképét (M3. ábra) lásd a mellékletben. A készülék működési folyamata a következő (lásd 3. ábra):

A MÉRÉS gomb megnyomásának hatására a számítógép küld egy start jelet az időzítőnek, amely elkezdi a mérési folyamatot. Ezzel egy időben a LED-választó vezérlőjel (LED: Light Emitting Diode, fénykibocsátó dióda) beállítja, hogy a mérés a vörös fényvel történik. Kis idő után a számítógép beolvassa az analóg-digitális átalakító (ADC) által előállított visszaverődés értéket (RED). Ezután a számítógép újra küld egy start jelet, de most a LED-választó ellentétes állapotú, tehát a mérés infravörös fényvel történik. Kis idő elteltével a számítógép beolvassa a második visszaverődés értéket is (NIR). Ezek után a számítógép kalkulálja a vegetációs indexet, és azt kijelzi mind numerikusan, mind grafikusán.



3. ábra: A Magic Eye 1.1 vegetációs indexmérő készülék blokk-diagramja

1. Az elektronika

A fejlesztés folyamán a legtöbb időbe az elektronika tervezése és tökéletesítése került. További nehézséget okozott az alkatrészek beszerzése, végeredményben szinte minden eredetileg elképzelt funkcionális alkatrészt (speciális IC-k, stb.) valamilyen hasonló típusal kellett helyettesítenem, mert az elképzelt típusok nem voltak elérhetőek.

a. Szenzor

A műszer szenzora egy BPW14N típusú foto-tranzisztor. Ez egy feszültségosztó felső ágában helyezkedik el, így ha a foto-tranzisztort erősebb megvilágítás éri, annak megnő a vezetőképessége, és ennek eredményeként a feszültségosztó kimeneti feszültsége is megnő. A kimeneti feszültség változása egyenesen arányos a beeső fény mennyiségével.

A választott foto-tranzisztor erősítése elég nagy, így nem volt szükség előerősítő fokozat alkalmazására, mint általában a foto-diódák esetében. A BPW14N 50%-os érzékenységgű hullámhossz tartománya: $\lambda = 520 - 950$ nm, tehát érzékeny mind a vörös, mind a közeli infravörös tartományban. Így egyetlen szenzorral érzékeltetni lehet mindkét hullámhosszon a visszaverődést, de a két mérést időben egymás után kell végrehajtani, nem történhet ugyanazon pillanatban. Ha mérés közben a műszer mozog, ennek megvan az a hátrányos következménye, hogy a két hullámhosszon mért visszaverődés nem pontosan ugyanarról a felületről származik. Ugyanakkor a két különböző hullámhosszon történő mérés között eltelt idő mindössze 6 ms, ami 50 km/h haladási sebesség esetén is csak 14 mm elmozdulást jelent, tehát ez a hiba elhanyagolható [8].

b. Mintavevő-tartó erősítő

A vörös és infravörös fény visszaverődésének mérése tulajdonképpen két-két mérésből áll (először a természetes fény által okozott, majd a természetes fény és a valamelyik LED által együttesen okozott visszaverődéséből, lásd a Mérés elve c. fejezetet). A két jel kivonásáig, és az analóg-digitális átalakítás idejére a mért jeleket valahogyan meg kell „jegyeznie” a műszernek, erre szolgál a két mintavevő-tartó erősítő. Ezek a speciális erősítők a jelet analóg feszültség szint formájában tárolják.

A választott mintavevő-tartó erősítő IC típusa LF398N. Ennek méretezésénél a legkritikusabb kérdés a tároló-kondenzátor kapacitásának helyes megválasztása. Minél kisebb kapacitású ez a kondenzátor, annál rövidebb idő elegendő a mintavételre, ugyanakkor a jeltartás állapotában annál nagyobb az időarányos feszültségese. Nagyobb kapacitású

kondenzátor alkalmazásakor kicsi a feszültségesés, vagyis sokáig megőrzi a tárolt értéket, de mintavételhez szükséges idő is megnő. A mintavétel ideje viszont nem lehet korlátlanul hosszú, mert a LED-ek impulzus üzemmódban működnek. Ez azt jelenti, hogy a névleges áramnál nagyobb halad keresztül rajtuk, hogy nagyobb teljesítményt adjanak le, de ezt csak korlátozott ideig (néhány ms) képesek elviselni károsodás nélkül. Kompromisszumos megoldásként a mintavételi idő $374 \mu\text{s}$, ennek megfelelően a tároló kondenzátor kapacitása 10 nF , és így a feszültségesés 3 mV/s [9].

c. Mérőerősítő

A mintavevő-tartó erősítőkből tárolt jelek kivonását egy AD620AN típusú mérőerősítő végzi, majd a kapott jelet erősíti. Az erősítés mértéke egy külső potenciométerrel 1 és 1000 között tetszőlegesen állítható [10].

Mivel a növények által visszavert fény mennyisége függ a mérési távolságtól, a levelek visszaverő képességétől és a környezeti megvilágítástól is, ezért a LED-ek által okozott fényvisszaverődés különbség igen széles határok között változhat (néhány μV és néhány száz mV a feszültségosztó kimenetén). A nagy különbségek kiegyenlíthetők az erősítés változtatásával, hogy a jel mindig az analóg-digitális átalakító működési tartományában maradjon. Mivel ugyanazt az erősítést alkalmazzuk mind a vörös, mind az infravörös fény esetében, ez csak a jelek abszolút értékét változtatja meg, egymáshoz viszonyított arányukat nem, így az eredmények nem torzulnak.

d. ADC

A felerősített analóg jel digitalizálását az ADC0804 típusú 8 bites analóg-digitális átalakító végzi (ADC: Analog to Digital Converter). A saját frekvenciagenerátora által meghatározott működési frekvenciája 413 kHz , így az átalakítási idő $\sim 177 \mu\text{s}$. Az átalakítás hibája $\pm 1 \text{ LSB}$ (Least Significant Bit), vagyis körülbelül $0,39\%$ [11].

Az eredményként kapott 8 bites számot, melynek értéke 0 és 255 között változhat, a számítógép a párhuzamos port adatregiszterén keresztül olvassa be.

e. LED-ek

A közeli infravörös fényt CQY99 típusú LED-ek bocsátják ki. Ennek hullámhossza $925 \pm 20 \text{ nm}$ (50%). A vörös fényt nagy fényerejű piros LED-ek bocsátják ki $625 \pm 20 \text{ nm}$ (50%) hullámhosszon. A típusválasztást a könnyű beszerezhetőség és az alacsony ár indokolták.

Az alkalmazott LED-ek hatásfoka azonban nem azonos – a vörös LED-ek körülbelül 2,5-ször több fényt bocsátanak ki azonos áramerősség mellett – ezért kétszeres mennyiségű infravörös LED-et kellett alkalmazni, hogy hasonló sugárzási teljesítményt nyújtsanak mint a vörös LED-ek. Az összteljesítmény megnövelése érdekében a vörös LED-ek száma 24, az infravörös LED-ek száma pedig 40 [12,13,14].

f. LED vezérlő logika és LED meghajtók

Azt, hogy egy fél mérési ciklus alatt (lásd A mérés elve c. fejezet 1.-4. illetve 5.-8. lépés) a vörös, vagy az infravörös LED-eknek kell világítani, a számítógép határozza meg a LED-választó vezérlőjelen keresztül. A logikai kapcsolatot ezen vezérlőjel és az időzítő egység között NOR kapukból kialakított logikai hálózat határozza meg. Az alkalmazott IC típusa CD4001.

Annak érdekében, hogy a LED-ek a tápfeszültségtől függetlenül mindig azonos fényerővel világítsanak, a meghajtásuk az LM358 típusú műveleti erősítőtől és a 2N2222 tranzisztorból felépített áramgenerátorral történik [11].

g. Időzítő

A fent részletezett folyamatok pontos vezérlésére a számítógép nem alkalmas, mert egyrészt a párhuzamos port kommunikációja nem elég gyors hozzá, másrészt a számítógép milliszekundum nagyságrendű időzítési feladatok megoldására nem megbízható. A folyamat időzítésének vezérlése ezért egy frekvenciagenerátor, és a hozzá kapcsolt számláló segítségével történik.

A frekvenciagenerátor egy NE555 típusú időzítő áramkörből felépített astabil multivibrátor. A generált négyzetjel periódusideje $374 \mu\text{s}$. Ez az órajel hajtja meg a CD4017 típusú 10 állapotú Johnson-számlálót, amelynek kimenetei kapcsolják megfelelő sorrendben a fent említett alegységeket. A számláló a számítógéptől kapott start jel hatására indul, és a ciklus végén automatikusan megáll [15,16,17].

Az időzítési periódusok hosszának megtervezésekor figyelembe kell venni:

- a LED-ek bekapcsolási késését ($t_{\text{on}}=1\mu\text{s}$)
- a LED-ek minimális villogási frekvenciáját ($f>100\text{Hz}$ @ $DF<30\%$, $I_{\text{max}}<100\text{mA}$)
- a foto-tranzisztor felfutási idejét ($t_{\text{on}}<3,4\mu\text{s}$)

- a mintavevő-tartó erősítő minimális mintavételi idejét ($t_{ack}=20\mu s @ 10 nF, 0,01\%$),
- a mintavevő-tartó erősítő tranzien্স állapot idejét tartó-módba kapcsoláskor ($0,8\mu s$)
- a mintavevő-tartó erősítő feszültségesési rátáját ($\sim 3 mV/s @ 10 nF, 25 ^\circ C$)
- a mérőerősítő beállási idejét ($t_{settl} < 150 \mu s @ G=1000, 0,01\%$)
- az ADC start impulzus minimális szélességét ($t_w > 100 ns$)
- az ADC konverzió kezdetének késését a start impulzustól ($t < 8 * 1/f_{CLK}$)
- az ADC konverziós idejét ($t_{conv}=177\mu s @ f_{CLK}=413 kHz$)

Ezek alapján az időzítési ciklus a következő: A számítógép által küldött 'reset' jel nullázza a számlálót. Amíg ez a jel magas szintű, a számláló végig '0' állapotban marad, és törli az ADC-t is, vagyis nem történik semmi. Ha megszűnik a 'reset' jel, akkor indul a ciklus, melyben a lépések hossza egyenlő a frekvenciagenerátor periódusidejével, vagyis $374 \mu s$.

(0. lépés: ADC nullázása)

1. lépés: az egyik mintavevő-tartó erősítő „mintát vesz” a szenzorról, vagyis beáll a feszültségosztó kimenetének a feszültségére.

2. lépés: az előbbi erősítő lekapcsolódik a szenzorról, és a kimenetén tartja a mintát.

3. lépés: kigyulladnak a vörös vagy az infravörös LED-ek (függően a LED-választó jel állapotától).

4. lépés: a LED-ek továbbra is világítanak, és közben a másik mintavevő-tartó erősítő is mintát vesz a szenzorról.

5. lépés: az ADC megkapja az indító jelet, és elvégzi az analóg-digitális konverziót.

h. Tápegység és áramforrás

A műszer tápellátását egy 12V-os ólom-gél akkumulátor biztosítja, amely közvetlenül táplálja a LED-eket. Az IC-k nagy része viszont $\pm 5V$ szimmetrikus stabilizált tápfeszültséget igényel. A $+5V$ -ot LM7805 típusú pozitív feszültségszabályzó szolgáltatja. A $-5V$ -ot az NE555 típusú időzítőből felépített polaritás-váltó áramkör állítja elő és LM7905 típusú negatív feszültségszabályzó stabilizálja. [11,15,17,18,19].

2. Kapcsolat a számítógéppel

A kommunikáció a műszer és a számítógép között a számítógép párhuzamos portján (nyomtató port, LPT port) keresztül történik. Ennek az előnye az, hogy egyszerre egész bájtokat (8 bit) lehet írni, illetve olvasni, vagyis egyszerre több vezérlőjelet is ki lehet adni, és nincs szükség bonyolult kommunikációs protokollra sem, mint a soros adatátvitel esetében. (Soros adatátvitel alkalmazásához szükség lenne egy mikrokontrollerre a műszeren.)

A műszer és a számítógép mind a bemeneteken, mind a kimeneteken optocsatolókkal (típusa: CNY74-2) van elválasztva, hogy a műszer esetleges meghibásodás esetén se tehessen kárt a számítógépben [8].

A párhuzamos port három regisztert tartalmaz, melyeknek a báziscímét a számítógép BIOS-ban lehet beállítani.

A báziscímen található az adat-regiszter, amely írható és olvasható. Ide kapcsolódik az ADC kimenete, ahonnan a számítógép beolvassa az analóg-digitális átalakítás eredményeként kapott 8 bites számot.

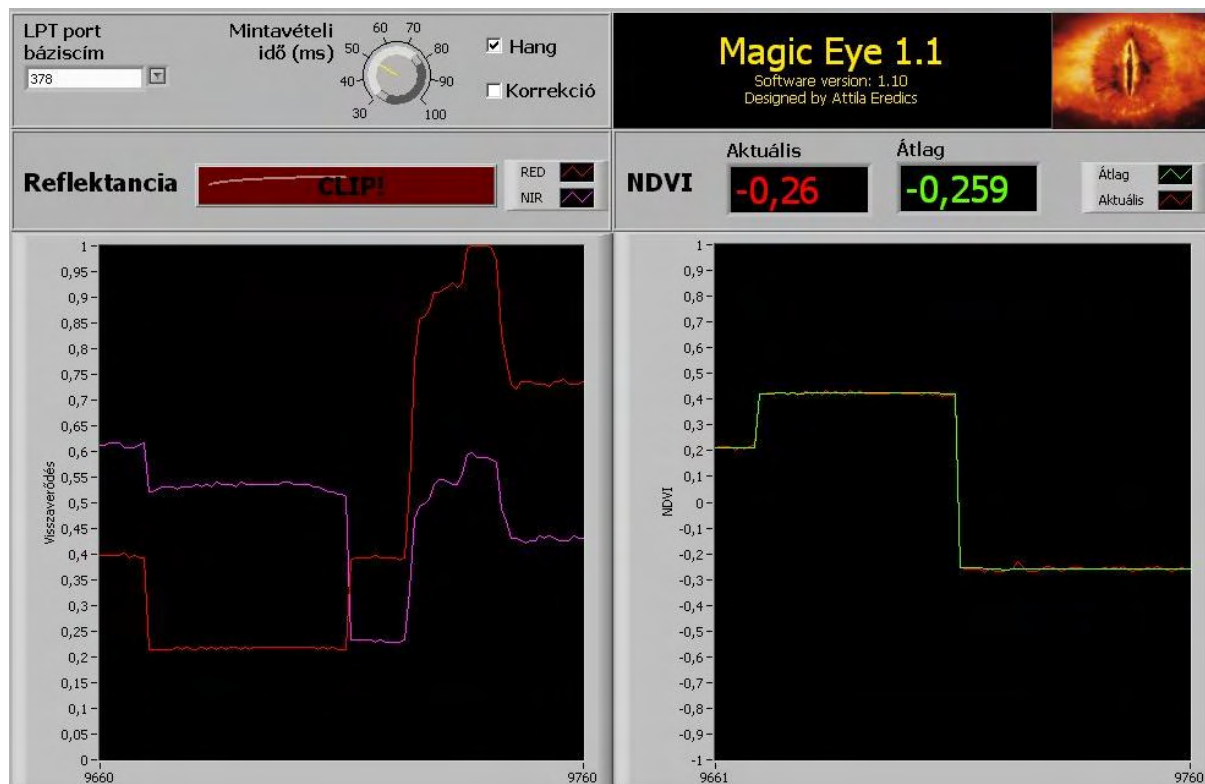
A báziscím+1 helyen található a státusz-regiszter, amely csak olvasható. Ennek a regiszternek csak a harmadik bitjét használjuk, amelyen keresztül a számítógép olvassa a MÉRÉS nyomógomb állapotát.

A báziscím+2 helyen található a vezérlő-regiszter, amely csak írható. Ezen regiszter nulladik bitjén keresztül adja a számítógép a start jelet a műszernek, az első bit pedig azt határozza meg, hogy a vörös, vagy az infravörös LED-ekkel történik a mérés (LED-választó vezérlőjel) [20,21].

3. A vezérlő program

A számítógépes szoftver LabVIEW (National Instruments) programmal készült. Ez egy főleg vezérlési feladatok megoldására optimalizált grafikus programozási nyelv.

A program kezelőfelülete a 4. ábrán látható.



4. ábra: a program kezelőfelülete

A program a párhuzamos porton keresztül kommunikál a műszerrel. A port báziscíme azonban függ a BIOS beállításaitól. A leggyakoribb lehetséges báziscímek (278, 378, 2BC, 3BC, 27F vagy 37F) a **LPT port báziscím** legördülő menüből választhatók ki.

Amíg a műszeren lévő MÉRÉS nyomógombot nyomva tartjuk, addig a műszer folyamatosan mér, de az egyes részmerések közötti időtartam változtatható. Ez az időtartam a **Mintavételi idő (ms)** gombbal 30 és 100 ms között folyamatosan állítható. Ezáltal a percnkénti mérések száma 2000 és 600 között tetszőleges lehet.

A program képes sípoló hang kiadására mérés közben, ha a **Hang** jelölőnégyzet ki van pipálva. A sípolás azért hasznos főleg terepi méréseknél, mert a hangmagasság megváltozásával figyelmeztet, ha a visszaverődés értéke túl nagy vagy túl kicsi, és ezért kívül

esik az ADC működési tartományán. Ezt az eltérést aztán a műszeren lévő potenciométerrel korigálni lehet, mert ez megváltoztatja a mérőerősítő erősítését.

A **Korrekción** jelölőnégyzet kipipálásakor a program a mért NDVI értéket a beprogramozott kalibrációs egyenlettel módosítja. Ha ez a jelölőnégyzet nincs kipipálva, az NDVI értékeket korrekció nélkül jeleníti meg, ami a kalibráció elvégzésekor szükséges.

Az első grafikonon (**Reflektancia**) a visszaverődés százalékos értékeit ábrázolja a vörös és az infravörös tartományban, az előző száz részmérésre visszamenőleg. Ezen látható, ha túl kicsi, vagy túl nagy a visszaverődés, így azt a műszeren lévő potenciométerrel korigálni lehet, hogy az értékek lehetőleg a középső vagy felső tartományba essenek (40–90%), mert akkor a legnagyobb a mérés pontossága. Ha a visszaverődés mégis meghaladja a mérhető 100%-ot, akkor arra a **CLIP!** feliratú lámpa kigyulladására figyelmeztet (a sípolás hangmagasságának megváltozása mellett).

A második grafikonon ábrázolja az NDVI aktuális és átlagolt értékét, szintén az előző száz részmérésre visszamenőleg. Ezek az értékek számszerűen is megjelennek a grafikon felett.

Az **Aktuális NDVI** a legutolsó mérés eredménye, az **Átlagos NDVI** pedig egy mérési sorozat eredménye. Ebben az értelemben egy mérési sorozatnak számít, amíg folyamatosan nyomva tartjuk a MÉRÉS nyomógombot. Ezen két érték együttes kijelzése azért hasznos, mert rögtön láthatjuk, hogy az adott próbaterület mennyire változatos, mekkorák a pillanatnyi eltérések. Ennek ismeretében addig folytathatjuk az átlagolást, amíg egy kellően reprezentatív átlagot nem kapunk a területről [22].

VI. Kalibrálás

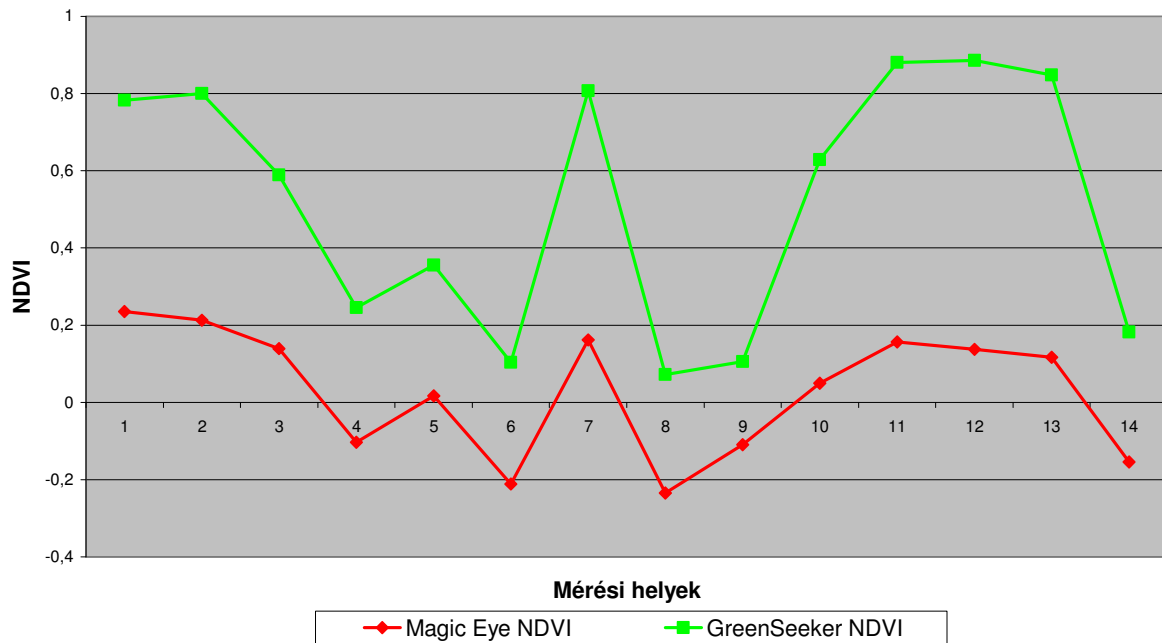
A műszer kalibrálását két lehetséges módszerrel is elvégeztem. Az első esetben a referenciaadatokat a GreenSeeker műszerrel határoztam meg, a második esetben a referenciaadatokat spektrofotométeres mérések alapján számítottam.

A Magic Eye prototípusában a fénykibocsátó LED-ek maximális teljesítménnyel üzemelnek, ugyanakkor eltérő hatásfokuk miatt, valamint azért, mert a szenzor nem egyformán érzékeny a két hullámhossz tartományban, a kapott visszaverődés RED és NIR számszerű értékei nem arányosak egymással. Egy elméleti példával illusztrálva ez azt jelenti, hogy egy olyan felületről, aminek a visszaverő képessége mindkét hullámhossz tartományban 60%, a mért vörös visszaverődés értéke (RED) például 78%, az infravörös (NIR) értéke pedig 42% az elméleti 60-60% helyett. Ezt az eltérést a vegetációs index számítása után egy kalibrációs egyenlet segítségével lehet korrigálni.

1. Referencia műszer: GreenSeeker

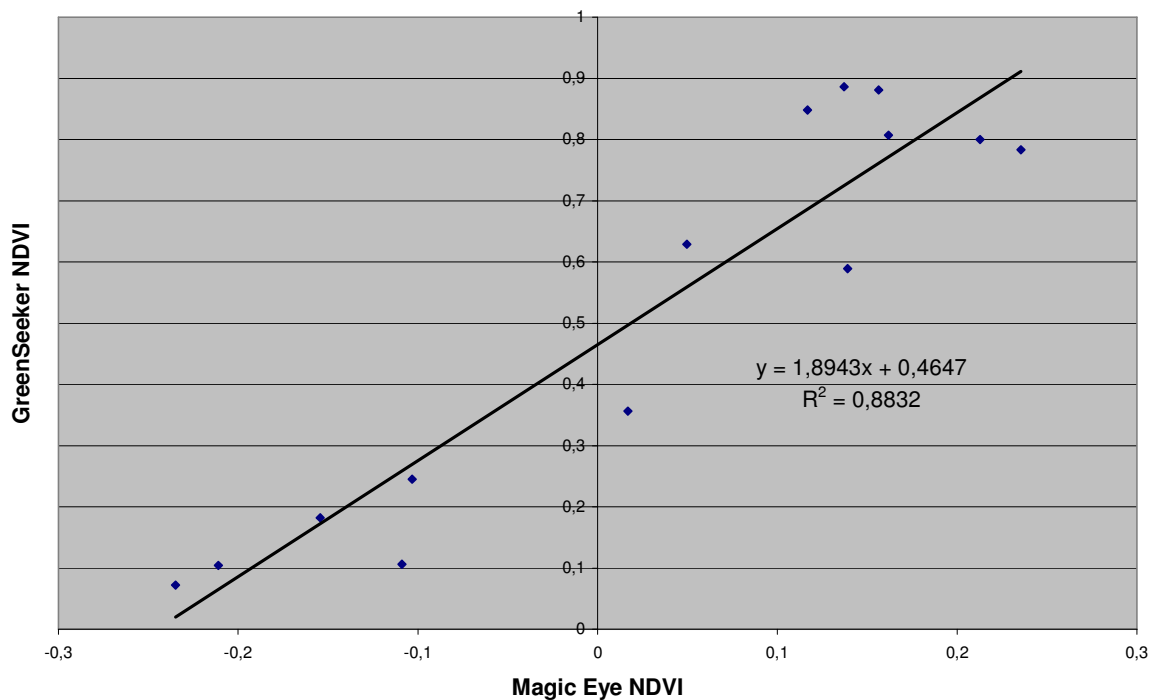
A referenciaadatok mérését a lleidai egyetemen (Universitat de Lleida, Escuela Técnica de Ingeniería Agraria) használt GreenSeeker 505 típusú vegetációs indexmérő készülékkel végeztem.

A kalibrációhoz szükséges mérések terepen történtek. A próbaterületeken voltak különböző növényfajok, különböző egészségi állapotú (üde zöld, elszáradó, stb.) növények, száraz és nedves talajfelszín, stb. Ugyanezek a területeken méréseket végeztem a már említett GreenSeeker műszerrel is. A mért eredményeket a következő grafikon ábrázolja. (5. ábra)



5. ábra: GreenSeekerrel végzett terepi kalibrációs mérések

A két görbe hasonlósága jól látszik. A korreláció típusának megállapítására a két mérést külön tengelyen is ábrázolhatjuk. Az így kapott pontfelhőt a 6. ábra mutatja.

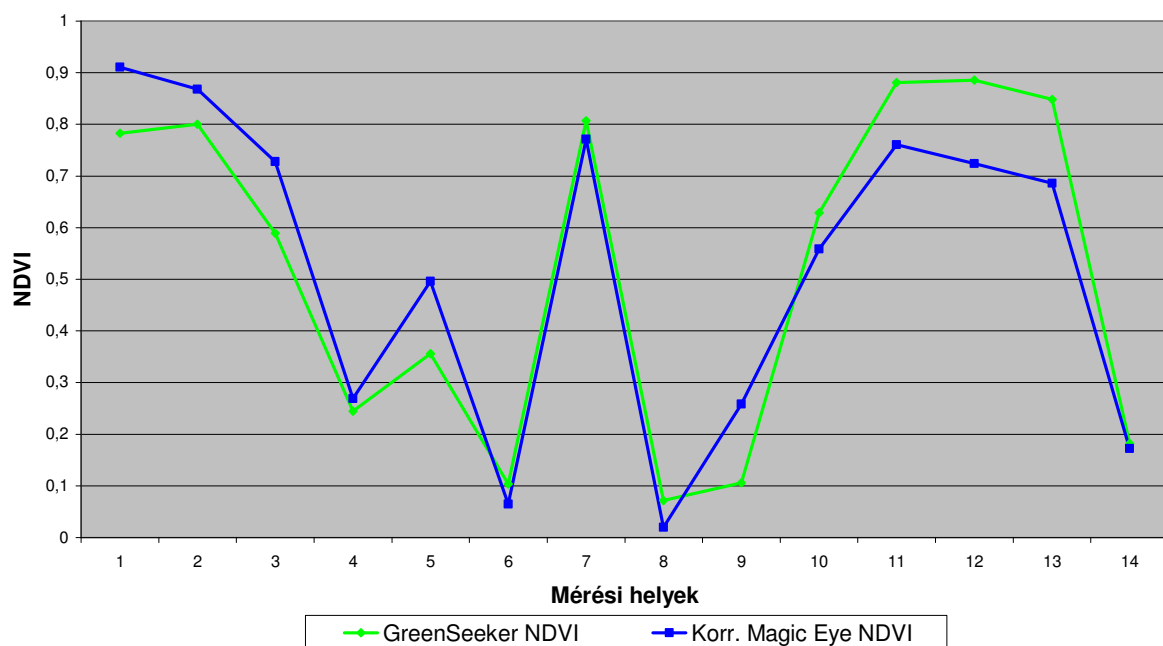


6. ábra: A Magic Eye NDVI és a GreenSeker NDVI közötti korreláció

Elméleti megfontolások alapján a két NDVI érték közötti kapcsolat lineáris, amit a mérések is alátámasztanak. A korrekciós egyenlet tehát a következő:

$$NDVI_{\text{korrigált}} = 1,8943 * NDVI_{\text{mért}} + 0,4647$$

Az ezzel az egyenlettel módosított eredmények a 7. ábrán láthatók.



7. ábra: Mérési eredmények a korrigálás után

A kalibrálási adatokat elemezve láthatjuk, hogy elég szoros a kapcsolat a mérési eredmények és a referenciaadatok között. Az előforduló eltéréseket több tényező okozza.

A legfontosabb ok, hogy a prototípus és a referenciaműszer (GreenSeeker) nem ugyanabban a hullámhossz-tartományokban érzékel, lásd az alábbi táblázatot [3].

	Magic Eye 1.1	GreenSeeker
Vörös:	625 ± 20 nm	660 ± 25 nm
Infravörös:	925 ± 20 nm	770 ± 25 nm

Amint látható, a vörös tartományban az eltérés mindössze 35 nm, ellenben a közeli infravörös tartományban a különbség elég jelentős: 155 nm. Ebből kifolyólag, ha egy felületnek eltérő a visszaverő képessége 770 nm-en és 925 nm-en – ami elég valószínű –, akkor a különböző hullámhosszokon mért NDVI is különböző lesz.

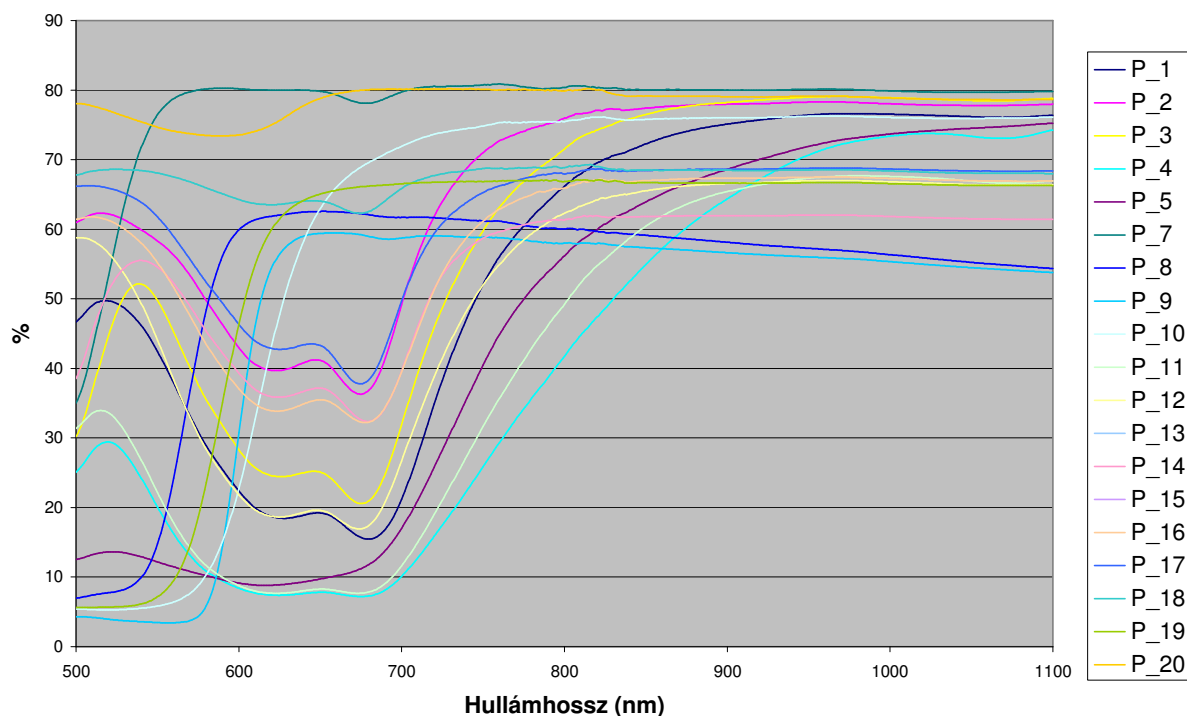
A különbségek egy másik, feltételezhető forrását a kalibrációs mérések terepi végrehajtása indukálhatta, mivel azok nem teljesen homogén mintaterületeken történtek. Ezért a két műszer kissé eltérő pozíciója, illetve az érzékelők különböző nyílásszöge (Magic Eye kb. $\pm 10^\circ$ [8], GreenSeeker kb. $\pm 20^\circ$ [3]) is összehasonlíthatósági módszeres hibát eredményezhetett.

2. Referencia műszer: spektrofotométer

A kalibráláshoz szükséges méréseket a Nyugat-Magyarországi Egyetem Kémia Tanszékének tulajdonát képező, közeli infravörös tartományban (NIR) is érzékelő Shimadzu UV-3101PC típusú spektrofotométerrel végeztem.

A mérésekhez különböző színű és árnyalatú (zöld, sárga, vörös, fehér) papírlapokat használtam. A zöld színű papírlapoknak az elnyelési karakterisztikája hasonló a zöld növényi levelekhez, ezért megengedhető ez a helyettesítés. Az egyes papírlapok színét lásd a mellékletben (M4. ábra). Színes papírlapok alkalmazásával elkerülhetők a minták inhomogenitásából adódó hibák, amelyek a terepi méréseknél szinte kiküszöbölhetetlenek. Másik érv a papírlapok használata mellett, hogy a spektrofotométer mintatartó felülete korlátos, kb. 2,5 cm². Ezzel szemben a Magic Eye visszaverődési hatáskeresztmetszete a távolság függvényében a m²-es tartományba esik.

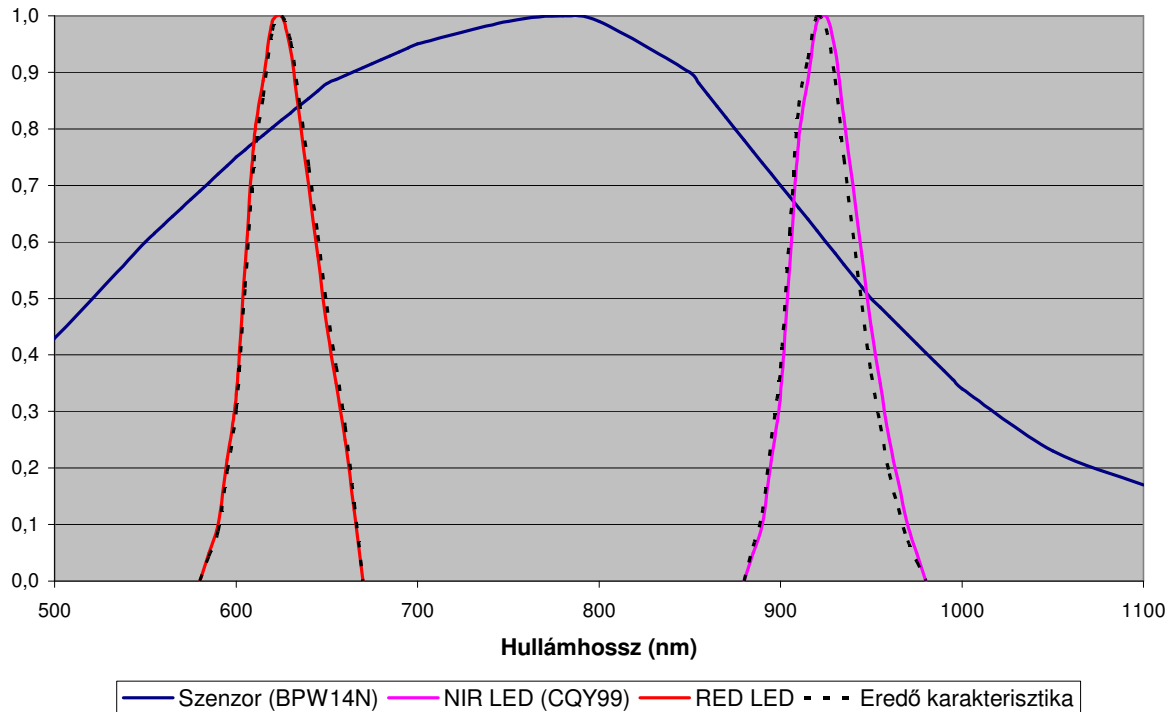
A minták spektrumát 500 és 1100 nm között mértem 1 nm felbontással. A kapott visszaverődés értékek az alábbi ábrán láthatók. (8. ábra)



8. ábra: Spektrofotométerrel mért reflexiós értékek

Annak érdekében, hogy ezekből a mért spektrumokból számítani lehessen a vegetációs indexet, szükség van azoknak a vörös (RED) és közeli infravörös (NIR) spektrumtartományoknak a meghatározására, amelyeket a Magic Eye alkalmaz a méréshez.

Ezt a karakterisztikát az érzékelő, valamint a LED-ek hullámhossz tartományainak a szorzata adja, a felhasznált alkatrészek adatlapjai alapján [8,13]. (9. ábra)



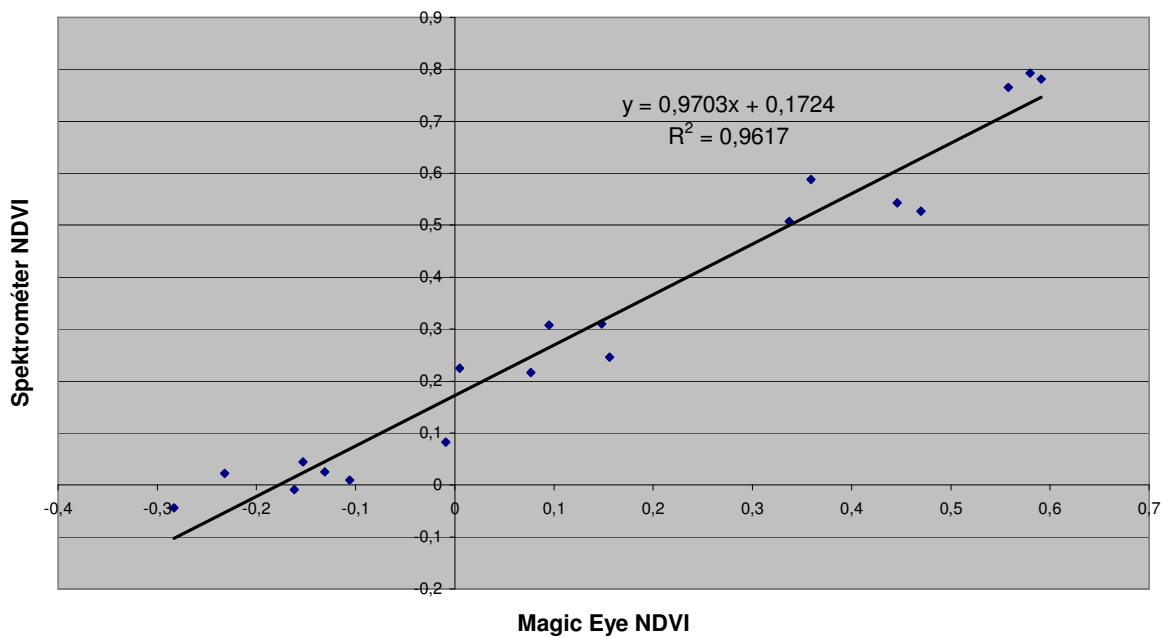
9. ábra: A Magic Eye spektrális karakterisztikája

Ezzel az eredő karakterisztikával kell módosítani a minták teljes spektrumát, hogy a görbék alatti területek összegzésével megkapjuk a RED és NIR értékeket, amelyből számítható az NDVI az (1) képlet szerint. (10. ábra)



10. ábra: A Magic Eye karakterisztikájával módosított reflexiós értékek

A spektrofotométer adataiból számított NDVI és a Magic Eye NDVI értékeinek kapcsolatát a 11. ábra mutatja.

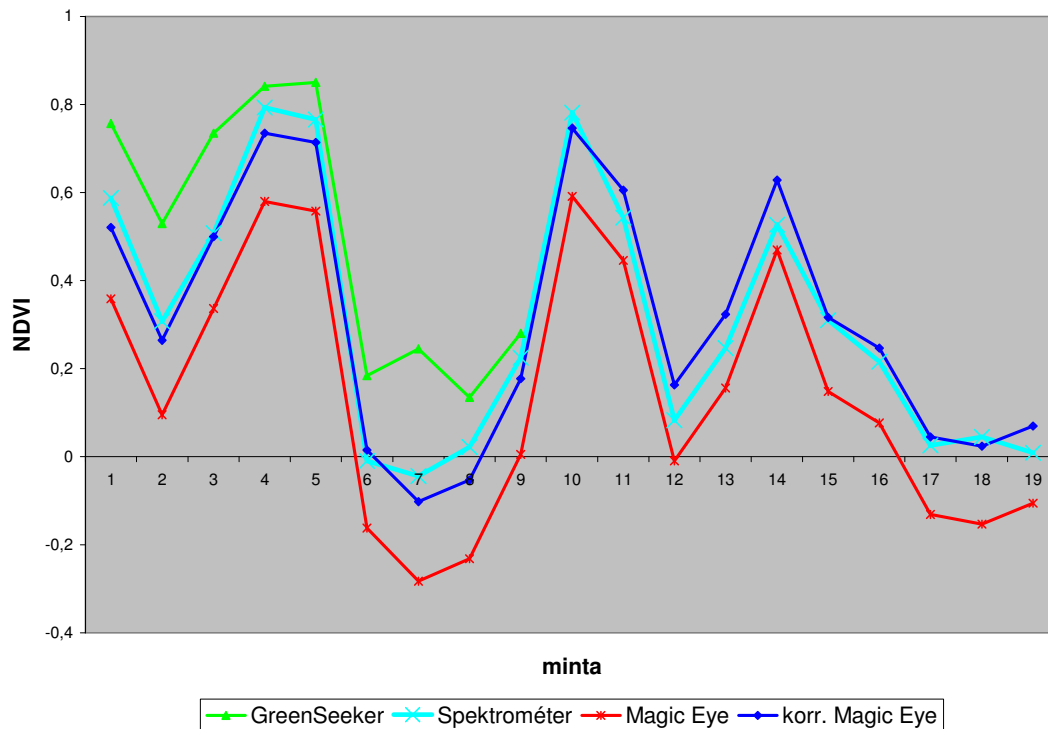


11. ábra: A Magic Eye és a Spektrofotométer NDVI közötti korreláció

A 11. ábrán jól látszik, hogy a két NDVI érték közötti kapcsolat lineáris, ahol a szórásnégyzet 0,96 vagyis a kapcsolat elég szoros. A korrekciós egyenlet tehát a következő:

$$NDVI_{\text{korrigált}} = 0,9703 * NDVI_{\text{mért}} + 0,1724$$

A különböző módon mért illetve számított NDVI értékeket a 12. ábra mutatja.



12. ábra: Különböző módon mért NDVI értékek összehasonlítása

Megfigyelhető, hogy a korrekció után a Magic Eye NDVI értékei (sötétkék vonal) jól illeszkednek a spektrofotométer adataiból számított NDVI értékekhez (vilgoscék vonal).

Az első kilenc minta esetében az indexet a GreenSeekerrel is meghatároztam (zöld vonal), de ezek az értékek jól láthatóan különböznek a spektrofotométerrel meghatározottól, habár a trendek általában egyeznek. Ez az eltérés egyértelműen a méréshez alkalmazott spektrumtartományok különbözőségéből adódik, az előző fejezetben részletezett okok miatt.

VII. Az eredmények értékelése

Az összehasonlítást rontó hibaforrások jelenléte ellenére a különböző módon számított NDVI értékek közötti erős korreláció nyilvánvaló, vagyis a Magic Eye is kielégítő pontossággal képes a vegetációs index mérésére. A spektrofotométerrel történő összehasonlítás bebizonyította, hogy a felbontása is megfelelő, mert a kis eltéréseket is ki tudja mutatni.

Az NDVI számításához nincsenek még szabványosított hullámhossz tartományok, vagyis jelenleg az NDVI érték a készülékek spektrális paramétereinek is a függvénye. A különböző műholdakon lévő kamerák spektrális felbontása is különbözik, vagyis az eltérő csatornákból számolt vegetációs indexek szintén eltérnek. Ez tehát azt jelenti, hogy az általam mért NDVI is helyes, de közvetlenül nem hasonlítható össze a más készülékkel mért indexszel.

Mivel a mért és valós NDVI értékek közötti kapcsolat lineáris, ezért a műszer kalibrálása nem csak korrekciós egyenlettel végezhető el, hanem olyan módon is, hogy a LED-ek által kibocsátott fényteljesítményt kell addig szabályozni, amíg a műszer közvetlenül a helyes NDVI értéket szolgáltatja. Ekkor nincs szükség utólagosan korrekciós egyenlet alkalmazására.

VIII. Továbbfejlesztési irányok és lehetőségek

A Magic Eye 1.1 prototípusa kielégítő pontossággal képes a vegetációs index mérésére, ugyanakkor még nem teljesen független az időjárási körülményektől, mert erős napsütésben alkalmazása körülményes. (Ha valamivel árnyékoljuk a mérési területet, akkor jól működik.)

Ennek oka, hogy a jelenleg alkalmazott szenzor széles hullámhossz tartományban érzékeny a természetes fényre, míg a kibocsátott fény csak keskeny hullámhossz tartományra korlátozódik (lásd 9.ábra). Ennek eredményeként erős napsugárzás esetén a LED-ek által kibocsátott fény nem okoz mérhető eltérést a visszaverődésben.

Ez a probléma kiküszöbölhető szelektív szenzor vagy szenzorok, illetve színszűrők alkalmazásával. A színszűrők elnyelik azokat a hullámhosszokat, ahol nem történik mérés, vagyis a szenzorba csak olyan hullámhosszú természetes fény juthat, mint amilyen a kibocsátott fény. Így akár a jelenleg kibocsátott fényteljesítmény is sokkal nagyobb eltérést tud okozni a szenzor által mért visszaverődésben, tehát lehetségessé válik a mérés napsütés esetén is.

További kényelmetlenség, hogy a műszer folyamatosan hozzá van kapcsolva a számítógéphez, ami a terepi mérést még laptop alkalmazása esetén is nehézkessé teszi. A számítógép azonban elhagyhatóvá válna mikrokontrollerrel (egy csipesz mikroszámítógép) való helyettesítés esetén. Ez a továbbfejlesztés önállóan is az index kiszámítására, kijelzésére és az adatok tárolására képes eszközt eredményezne. A terepi mérés után az adatok áttölthetők számítógépre például soros porton vagy USB-n keresztül.

További előnyökkel jelentene két külön szenzor alkalmazása az eltérő hullámhossz tartományokra, mert így lehetővé válna a vörös és az infravörös mérés ugyanabban a pillanatban. (Jelenleg ezek egymás után történnek, az időeltérés kb. 6 ms.)

Az elkészült prototípus hatótávolsága hasonló a GreenSeeker működési tartományához, körülbelül 1,5 m. A hatótávolság drasztikus növelése érdekében (30 méterig) a kibocsátott fényteljesítményt jelentősen növelni kell. Ez azonban már nem kivitelezhető LED-ekkel, technikai korlátok miatt. Megoldás lehet villanófény alkalmazása, ez azonban újabb problémákat is felvet, főleg azért, mert egy villanás ideje nagyon rövid, összehasonlítva a szenzorok válaszidejével. Vagyis gyorsabb szenzorok alkalmazása, és az azokat követő előerősítő fokozat kifejlesztése is szükséges, például egy áram-feszültség átalakító erősítő alkalmazásával. Másik alternatíva a villanás idejének meghosszabbítása, de ez szintén elég

problémás, mert a vakuk működési feszültsége néhány kilovolt, és az ilyen feszültséget kibíró áramkorlátozó kapcsolás speciális alkatrészeket igényel.

A fentieket összefoglalva, a következő műszer – amelynek fejlesztése már folyamatban van – még LED-ekkel fog üzemelni, de már két szenzora lesz színszűrőkkel ellátva, és a teljes folyamatot mikrokontroller fogja vezérelni, vagyis független lesz a számítógéptől. Mindemellett a vaku-vezérlő áramkör kísérleti tervezése is folyamatban van.

IX. Köszönetnyilvánítás

Köszönetet szeretnék mondani konzulenseimnek Dr. Németh Zsolt István egyetemi adjunktusnak és Király Géza egyetemi adjunktusnak a dolgozatommal kapcsolatos észrevételeikért és hasznos tanácsaikért.

Köszönettel tartozom Prof. Jesús Pomar Goma és Alexandre Escolà Agustí Tanár Uraknak (UdL, Escuela Técnica de Ingeniería Agraria de Lleida, Departament d'Enginyeria Agroforestal) a számítógépes program elkészítéséhez nyújtott segítségükért.

Köszönöm Jordi Marti Marsalnak, hogy segített a GreenSeekerrel történt kalibrációs mérések elvégzésében.

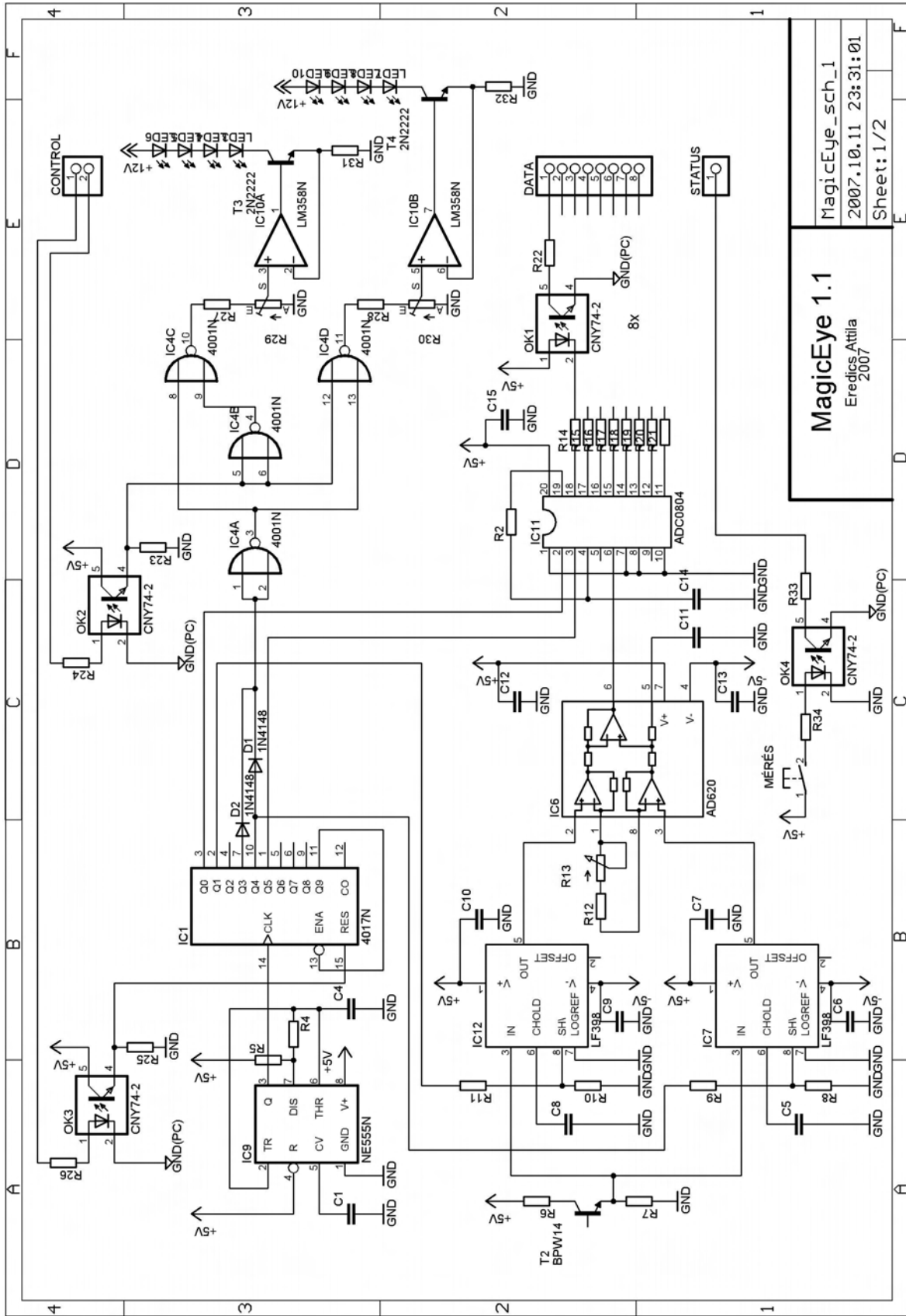
Sopron, 2007. november 1.

Eredics Attila

X. Felhasznált irodalom

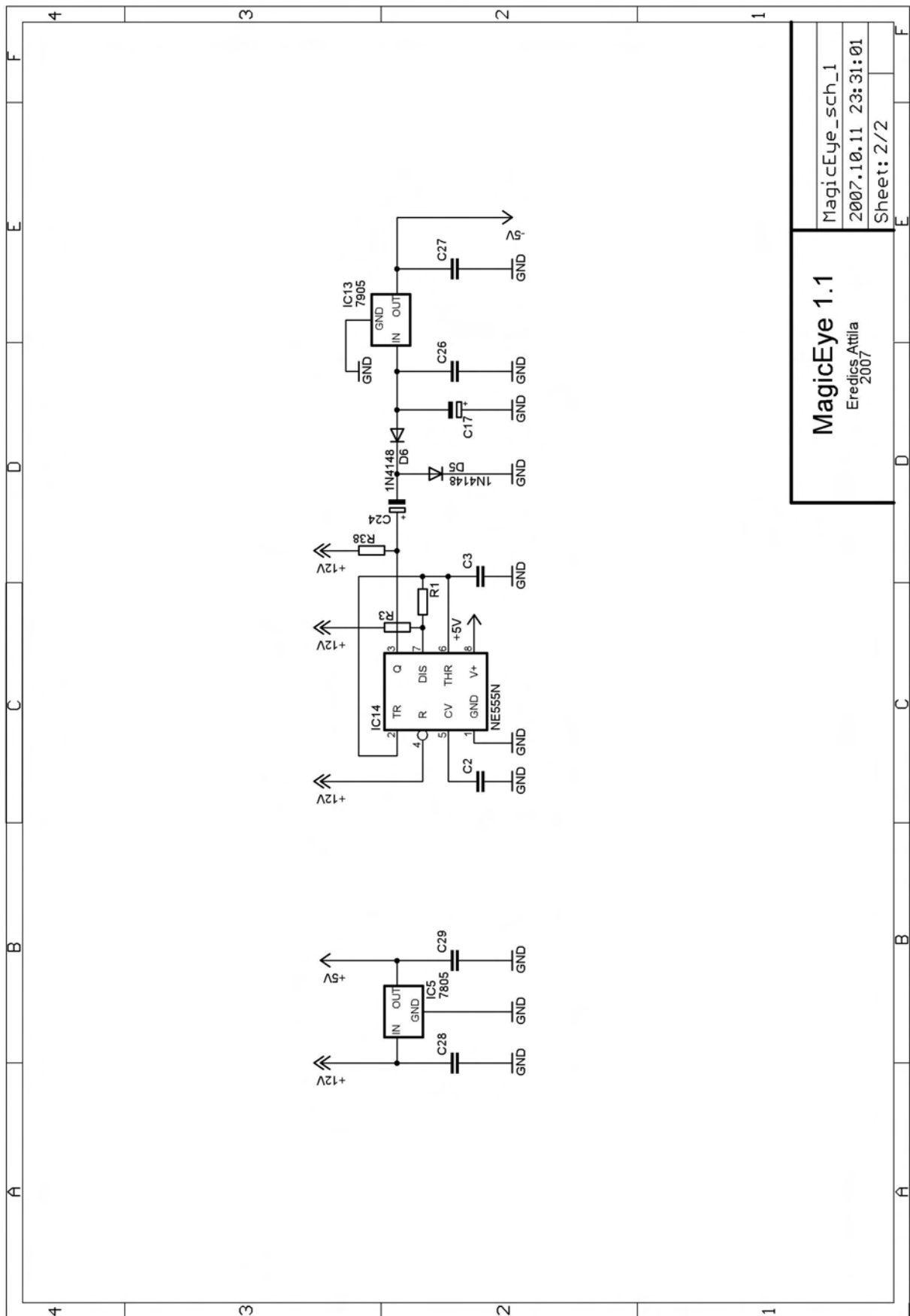
1. http://earthobservatory.nasa.gov/Library/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_1.html
2. <http://www.bom.gov.au/sat/NDVI/NDVI2.shtml>
3. Model 505 GreenSeeker Hand Held Optical Sensor Unit Operating Manual.
<http://www.ntechindustries.com/datasheets.php>
4. Douglas Hunsaker, Paul Pinter Jr, Thomas Clarke, Glenn Fitzgerald, Andrew French:
Performance of crop coefficients inferred from NDVI observations for estimating
evapotranspiration and irrigation scheduling of wheat.
(http://www.ars.usda.gov/research/publications/publications.htm?seq_no_115=192127)
5. Paul Pinter Jr, Bruce Kimball, Robert Lamorte, Ric Rokey, Suzette Maneely, Gerard Wall,
Steve Leavitt, Michael Ottman: Will rising levels of atmospheric CO2 affect NDVI
predictions of APAR?
(http://www.ars.usda.gov/research/publications/publications.htm?seq_no_115=157328)
6. GreenSeeker: www.ntechindustries.com
7. Inczédy János (1978): Folyamatos és automatikus analízis, egyetemi jegyzet, Veszprém.
8. Temic Semiconductors: www.temic-semi.de
9. Linear Technology: www.linear.com
10. Analog devices: www.analog.com
11. National Semiconductor: www.national.com
12. Telefunken Electronics: www.telefunkenusa.com
13. www.datasheets.org.uk
14. Agilent Technologies: www.agilent.com
15. Fairchild Semiconductor: www.fairchildsemi.com
16. John D. Lenk (1986): Elektronikai alapkapcsolások gyűjteménye. *Műszaki könyvkiadó*.
17. V. L. Silo (1985): Funkcionális analóg IC-k. *Műszaki könyvkiadó*, Budapest.
18. Texas Instruments: www.ti.com
19. Wing Shing Computer Components Co.: www.wingshing.com
20. Kis Norbert: Vezérlés az LPT-porton alfától ómegáig (<http://codexonline.hu>)
21. Rékasi Péter: Vezérlések párhuzamos porton keresztül
(<http://www.cs.ubbcluj.ro/~robu/so3/vezerles.doc>)
22. Willis J. Tompkins, John G. Webster: Interfacing sensors to the IBM PC.

XI. Melléklet



MagicEye 1.1
Eredics Attila
2007.10.11 23:31:01
Sheet:1/2

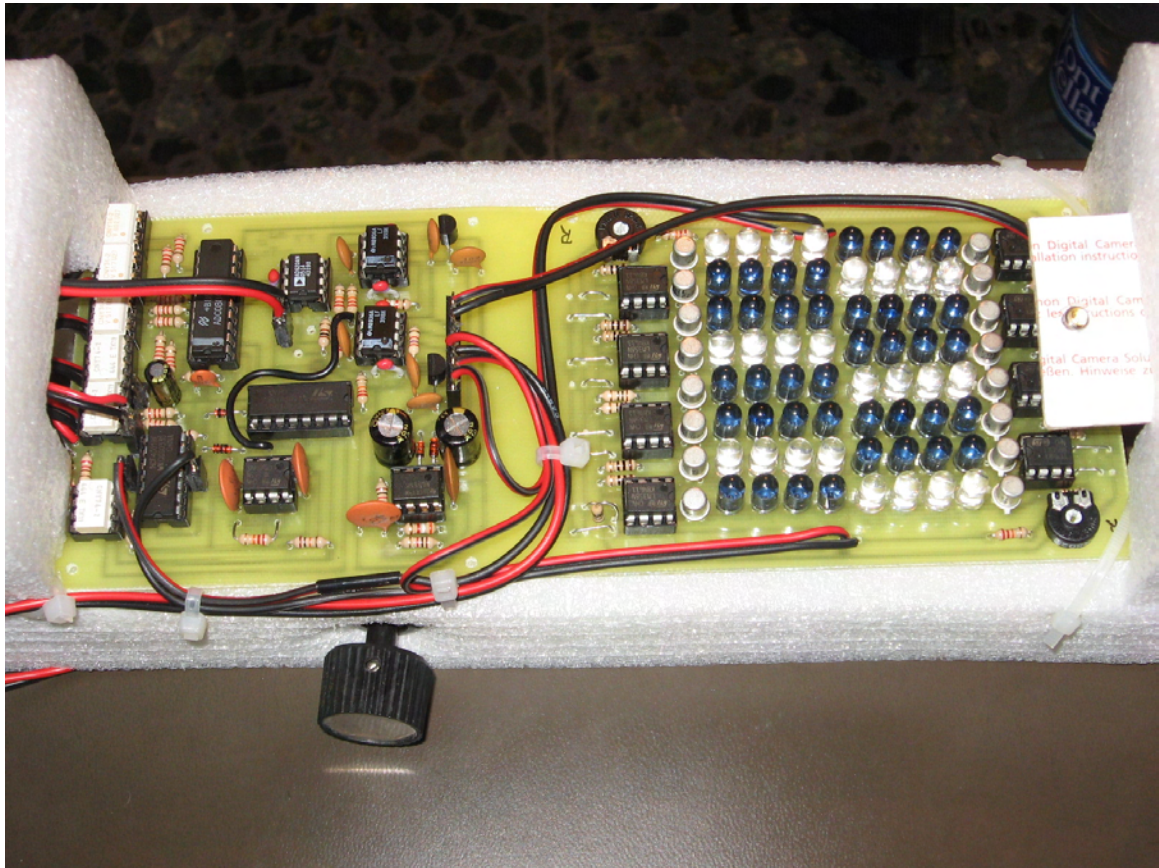
M1. ábra: A Magic Eye 1.1 vegetációs indexmérő készülék kapcsolási rajza 1/2



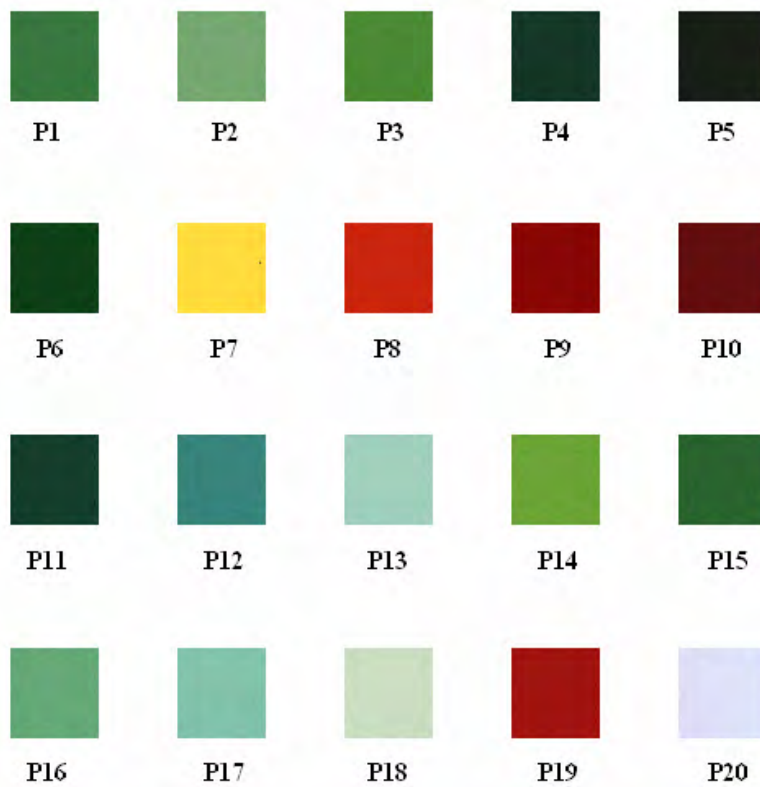
MagicEye 1.1
Eredics Attila
2007

MagicEye_sch_1
2007.10.11 23:31:01
Sheet: 2/2

M2. ábra: A Magic Eye 1.1 vegetációs indexmérő készülék kapcsolási rajza 2/2



M3. ábra: A Magic Eye 1.1 vegetációs indexmérő készülék prototípusa



M4. ábra: A spektrofotométeres kalibráláshoz használt papír minták