

# **Fotointerpretáció és távérzékelés 1.**

## **A távérzékelés fizikai alapjai**

**Verőné Wojtaszek, Malgorzata**

---

# Fotointerpretáció és távérzékelés 1.: A távérzékelés fizikai alapjai

Veróné Wojtaszek, Malgorzata

Lektor: Büttner, György

Ez a modul a TÁMOP - 4.1.2-08/1/A-2009-0027 „Tananyagfejlesztéssel a GEO-ért” projekt keretében készült. A projektet az Európai Unió és a Magyar Állam 44 706 488 Ft összegben támogatta.

v 1.0

Publication date 2010

Szerzői jog © 2010 Nyugat-magyarországi Egyetem Geoinformatikai Kar

## Kivonat

A modul a távérzékelés folyamatának fizikai alapjait mutatja be, melyeknek ismerete alapot ad az elektromágneses energia közvetítésével megvalósítható adatnyerési és kiértékelési eljárások elméletének és gyakorlati megvalósításának a megértéséhez. Bemutatja továbbá a távérzékelésben használt energiaforrásokat és az elektromágneses energiát. Az elektromágneses energia jellemzésén túl a modul keretein belül kiemeljük azokat a kölcsönhatásokat, amelyek fellépnek az energia terjedése során. Részletesen foglalkozunk a földfelszín spektrális tulajdonságainak vizsgálatával és ennek gyakorlati jelentőségével.

Jelen szellemi terméket a szerzői jogról szóló 1999. évi LXXVI. törvény védi. Egészének vagy részeinek másolása, felhasználás kizárólag a szerző írásos engedélyével lehetséges.

---

# Tartalom

1. A távérzékelés fizikai alapjai .....	1
1.1 Bevezetés .....	1
1.2 A távérzékelés fogalma .....	1
1.3 A sugárzás fizikai törvényei .....	2
1.4 A távérzékelésben használt energiaforrások .....	4
1.5 A légkör hatása a távérzékelésre .....	5
1.6 Az elektromágneses sugárzás kölcsönhatása a földfelszínnel .....	6
1.7 Összefoglalás .....	12



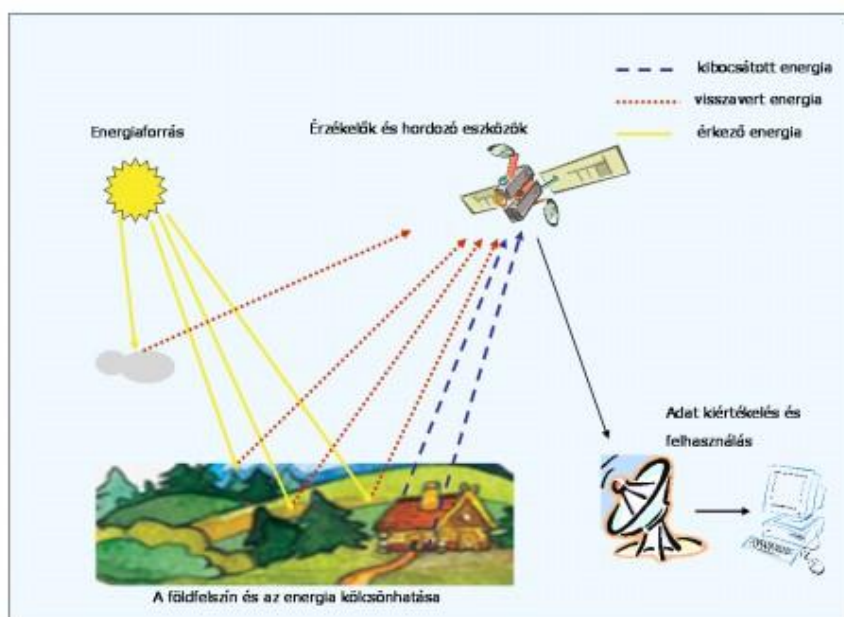
# 1. fejezet - A távérzékelés fizikai alapjai

## 1. 1.1 Bevezetés

A modul a távérzékelés folyamatának fizikai alapjait mutatja be, melyeknek ismerete alapot ad az elektromágneses energia közvetítésével megvalósítható adatnyerési és kiértékelési eljárások elméletének és gyakorlati megvalósításának megértéséhez. Bemutatja továbbá a távérzékelésben használt energiaforrásokat és az elektromágneses energiát. Az elektromágneses energia jellemzésén túl a modul keretein belül kiemeljük azokat a kölcsönhatásokat, amelyek fellépnek az energia terjedése során. Részletesen foglalkozunk a földfelszín spektrális tulajdonságainak vizsgálatával és ennek gyakorlati jelentőségével.

## 2. 1.2 A távérzékelés fogalma

A távérzékelés egy sajátos adatnyerési eljárás, amelynek során a földfelszín vagy földfelszíni objektumok bizonyos sajátosságairól (pl. méret, anyagi összetétel, stb.) anélkül jutunk adatokhoz, hogy a vizsgált tárgyval közvetlen kapcsolatba kerülnénk. Az adatnyerés általában az elektromágneses energia közvetítésével történik. Ez az eljárás két alapvető folyamatot foglal magában. Az egyik az objektumról az elektromágneses hullámok által közvetített adatok valamilyen távolságból történő érzékelése, a másik pedig az észlelt és rögzített adatok feldolgozása, értelmezése.

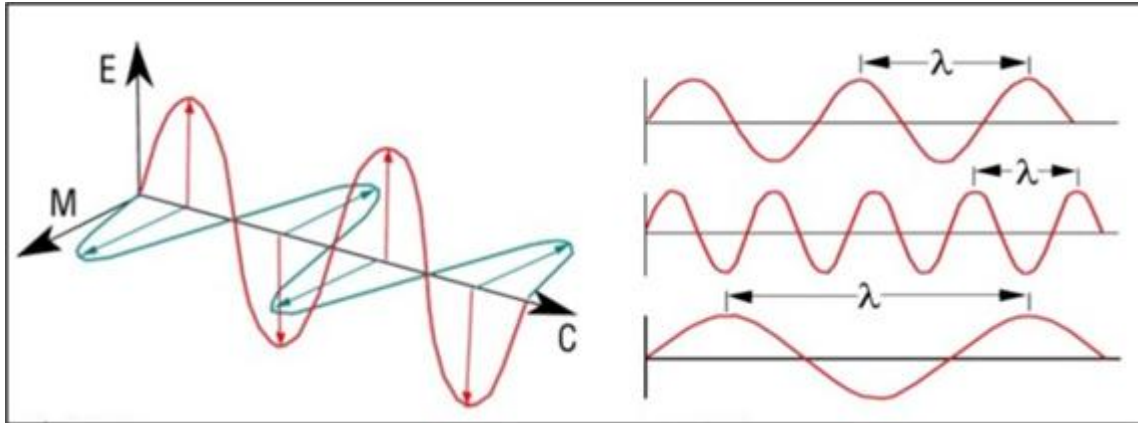


**1-1. ábra** A távérzékelés folyamatának elemei (az energiaforrás, az energia terjedése a légkörben, a földfelszín és az energia kölcsönhatása, a visszavert energia útja a légkörön át az érzékelőig, az érkező energia rögzítése és továbbítása a földi vevő állomások felé, az adatok elemzése)

A távérzékelés leegyszerűsített folyamatát és elemeit (Domokos Gy-né, 1984) az 1-1. ábra mutatja. A természetes vagy mesterséges forrásból induló, különböző hullámhosszú elektromágneses energia az atmoszférán keresztül terjed és a földfelszínre jutva ott kölcsönhatásba kerül a felszíni objektumokkal. A kölcsönhatás következtében módosult energia útja az atmoszférán át a felvevő berendezésig vezet, ahol az energiamennyiség mérése, rögzítése illetve a földi vevőállomásra való továbbítása történik. Az adatok elemzésében nagy segítséget a referencia-adatok nyújtanak mint pl. topográfiai, geológiai térképek, talajtani, területhasznosítási adatok. A referencia-adatok alapján az ismeretek kiterjeszthetők a teljes feldolgozandó területre. A több forrásból származó adatok kezelését, elemzését és az eredményeknek a felhasználók számára megfelelő formában történő megjelenítését a földrajzi információs rendszerek használata teszi lehetővé.

### 3. 1.3 A sugárzás fizikai törvényei

A távérzékelésben természetes vagy mesterséges energiaforrásokat használunk. A természetes energiaforrások csoportjába tartozik a Nap, a földfelszín és felszíni tárgyak által kibocsátott sugárzás. A mesterséges források is különbözőek lehetnek. Ide tartozik pl. a lézer (LIDAR) vagy a radar. A természetes és mesterséges energiaforrások elektromágneses energiát sugároznak ki. Az energia tulajdonságai leírhatók a hullámelmélettel (1-2. ábra), mely szerint az elektromágneses energia szinusz hullám formájában, a fény sebességével ( $c$ ) terjed. Az elektromágneses sugárzásnak három jellemzője van: a hullámhossz, a sebesség és a frekvencia (Lillesand T.,2007).



**1-2. ábra** Az elektromágneses hullám összetevő.  $E$  – elektromágnes tér,  $M$  – mágneses tér,  $C$  – fénysebesség,  $\lambda$  - hullámhossz

Forrás: [http://ccrs.nrcan.gc.ca/resource/tutor/fundam/index\\_e.php](http://ccrs.nrcan.gc.ca/resource/tutor/fundam/index_e.php)

Két szomszédos hullám csúcsa közötti távolságot hullámhossznak ( $\lambda$ ), az időegység alatt egy ponton áthaladó csúcsok számát frekvenciának ( $\nu$ ) nevezzük. A fény sebessége állandó érték, így a hullámhossz és a frekvencia fordítottan arányosak és egyértelműen jellemzik az elektromágneses sugárzást.

$$c = \nu \cdot \lambda$$

$c$  – fénysebessége,  $\nu$  – frekvencia,  $\lambda$  - hullámhossz

A távérzékelésben az elektromágneses hullámokat leggyakrabban a hullámhosszal és az elektromágneses spektrumon belül elfoglalt helyükkel jellemezzük.

Egy másik elmélet – kvantumelmélet – betekintést nyújt arra vonatkozóan, hogy milyen módon lép kölcsönhatásba az elektromágneses energia az anyaggal.

Az elektromágneses sugárzás hordozója egy diszkrét egység, amit fotonnak vagy kvantumnak nevezünk.

$$Q = h \cdot \nu$$

$Q$  - egy kvantum energiája,  $J$ ,  $\nu$  - frekvencia

$h$  - Planck-állandó,  $6,626 \cdot 10^{-34} Js$

A részecske elmélet szerint egy kvantum energiája a frekvencia ( $\nu$ ) és a Planck-állandónak a szorzata. Ha a frekvenciát a hullámhossz és a fény sebessége segítségével kifejezzük, láthatjuk, hogy egy kvantum energiája fordítottan arányos a hullámhosszával.

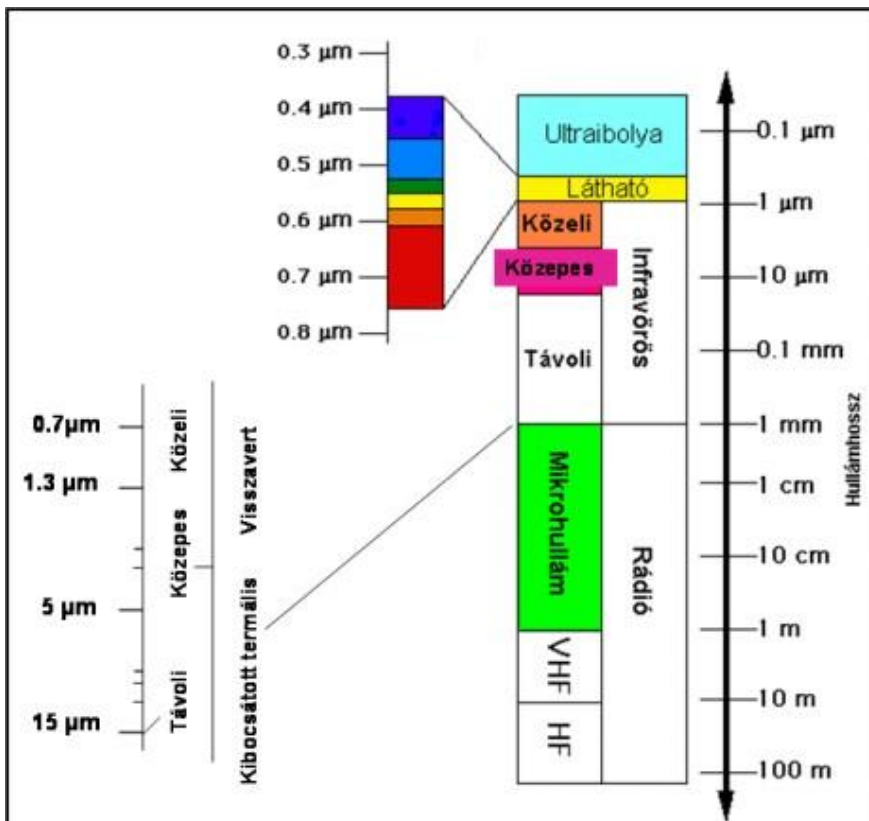
$$Q = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

Minél nagyobb a szóban forgó hullámhossz annál kisebb az energiatartalma. Ez a törvényszerűség fontos szerepet játszik a távérzékelésben, hiszen a földfelszín vagy a felszíni objektumok által kibocsátott hosszú hullámhosszú sugárzást nehezebb érzékelni, mint rövidebb hullámhosszú, de magasabb energiájú sugárzást.

Távérzékelésre a teljes elektromágneses spektrumtartománynak csak egy részét használhatjuk, ezt tovább szűkítik egyes légköri jelenségek, mint például a légköri elnyelés. A különböző hullámhossz tartományokban eltérő fizikai törvényszerűségek érvényesülnek, amit figyelembe kell venni az érzékelő műszerek technikai megoldásainál. Az elektromágneses spektrum egyes tartományait az 1-3. ábra mutatja. Az érzékelő rendszerek leggyakrabban a látható fény egy vagy több sávjával, az infravörös sávokkal vagy mikrohullámokkal dolgoznak. A távérzékelésre a leggyakrabban használt spektrális tartományok a következők (Ravi P. Gupta, 1991):

- A **látható fény tartománya (VIS)** ( $\lambda = 0,4 - 0,7 \mu\text{m}$ ) az emberi szem által érzékelhető elektromágneses sugárzás, a kéktől, a zöldön át a vörös színig terjed.
- Az **infravörös** tartományt három részre szokás bontani.
  - A **közeli infravörösben (NIR)** ( $\lambda = 0,7 - 1,3 \mu\text{m}$ ) a látható fényhez hasonlóan a felszín által visszavert napsugárzás közvetíti az információt.
  - A **közepes infravörös (MIR)** ( $\lambda = 1,3 - 3,0 \mu\text{m}$ ) tartományban is a visszavert napsugárzás dominál, bár a kibocsátott energia a távoli infravörös rövidebb hullámhosszú részében is észlelhető. Azért a termovíziós felvételeket célszerű napkelte előtt, vagy napnyugta után egy órával készíteni.
  - A **távoli (termális) infravörösben (TIR)** ( $\lambda = 3 - 15 \mu\text{m}$ ) jelentőssé válik a felszín által kibocsátott sugárzás, mellyel a felszín termális tulajdonságait tanulmányozhatjuk. A 3-5  $\mu\text{m}$ -es tartományban a visszavert sugárzás is számottevő. A 7 - 15  $\mu\text{m}$ -es intervallumban a reflektált sugárzás már lényegesen kisebb, mint a Föld és más objektumok termális kisugárzása.

Külön kategóriának tekinthető a **mikrohullámú** tartomány (1 mm - 1 m). A légkörnek csekély hatása van ebben a tartományban, így a felvételezés gyakorlatilag független az időjárástól és a napszaktól.



1-3. ábra Az elektromágneses spektrum tartományai (Sárközy F. 1991, Ravi P. Gupta, 1991 után)

## 4. 1.4 A távérzékelésben használt energiaforrások

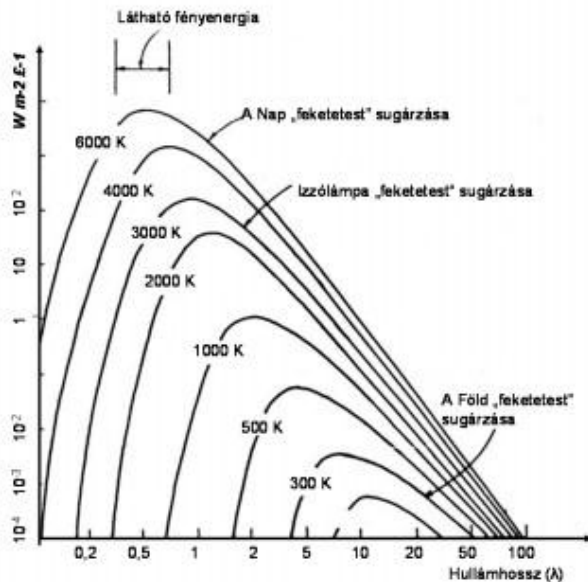
A távérzékelésben használt alapvető energiaforrás a Nap, bár minden anyag bocsát ki elektromágneses energiát az abszolút nulla fok fölötti hőmérsékleten ( $0^\circ\text{K}$  vagy  $-273^\circ\text{C}$ ). Így a földfelszín és a felszíni tárgyak is energiaforrások. Azonban az általuk kibocsátott energia nagyságrendben és spektrális felépítésben is eltér a Nap energiájától (1-4. ábra). A kibocsátott energia a tárgy felszínének hőmérsékletétől függ. A kibocsátott energia és a tárgy felszíni hőmérsékletének összefüggését a Stefan-Boltzmann-féle törvény fejezi ki.

$$M = \sigma \cdot T^4$$

$M$  - a test sugárzási teljesítménye  $\text{Wm}^{-2}$   $\sigma$  - Stefan-Boltzmann állandó,

$5,6697 \cdot 10^{-8} \text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$ ,  $T$  - a kibocsátó anyag abszolút hőmérséklete,  $\text{K}^\circ$

A törvény értelmében a teljes kibocsátott energia a kibocsátó tárgy hőmérsékletének negyedik hatványával arányos, ezért a hőmérséklet emelkedésével gyors ütemben növekszik. A Stefan-Boltzmann-féle törvény az ideális fekete testre vonatkozik. Ideális fekete testnek nevezzük az olyan minden objektumot, amely a ráeső sugárzást teljes egészében elnyeli és az elnyelt energiát teljes egészében kisugározza. A tárgyak csak megközelítik ezt az ideális állapotot. Az 1-4. ábra bemutatja a 200 és  $6000^\circ\text{K}$  hőmérséklet közötti fekete testek által kibocsátott energia eloszlási görbéjét.



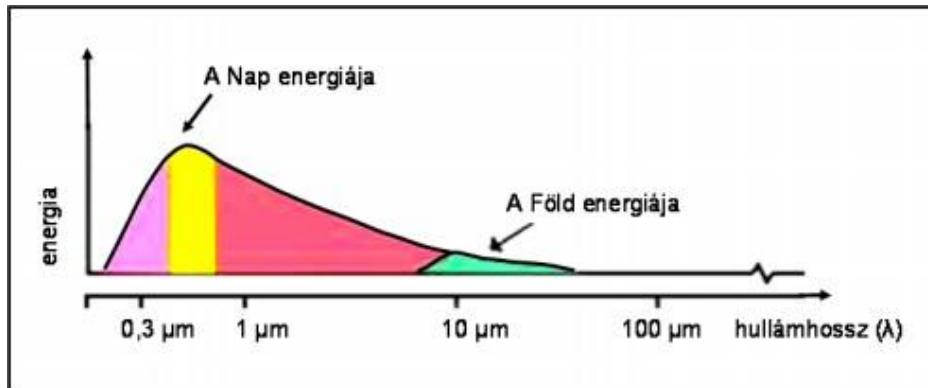
1-4. ábra Különböző hőmérsékletű fekete testek kisugárzási energia eloszlásai. Forrás: Domokos Gy-né, 1984.

A függőleges tengely  $1 \mu\text{m}$ -es spektrális egységre fejezi ki a fekete test sugárzási energiáját. Látható, hogy a tárgy hőmérséklet változásával nem csak az energia mennyisége, de az energia spektrális eloszlása is változik. Minél nagyobb a sugárforrás hőmérséklete, annál kisebb hullámhosszon éri el a kibocsátási maximumot. A sugárzási maximum a tárgy hőmérsékletének növekedésével a rövidebb hullámok felé tolódik el, vagyis a maximális spektrális sugárzáshoz tartozó hullámhossz fordítottan arányos a kibocsátó tárgy hőmérsékletével. Ezt a jelenséget könnyű megfigyelni, ha egy fémdarabot melegítünk. Amint a tárgy melegszik a színe lassan átvált a rövid hullámhossznak megfelelően sötét vörössé, majd narancssá végül sárga színűvé.

A Nap, mint sugárforrás legjobban egy  $6000^\circ\text{K}$  hőmérsékletű fekete testhez hasonlít. A földfelszín anyagainak átlagos hőmérséklete  $300^\circ\text{K}$  ( $27^\circ\text{C}$ ) és a  $10 \mu\text{m}$ -es hullámhosszon bocsátja ki a maximális energiát (1-5. ábra). A kibocsátott energia az objektum hőmérsékletének és emissziós tulajdonságainak a függvénye. Mivel az emberi szem a látható tartományra érzékeny, így ez a sugárzás szemünk által nem érzékelhető, valamint fényképeken nem rögzíthető. Ehhez speciális eszközökre van szükség, melyek képesek a hosszuhullámú energia észlelésre, az u. n. radiométerekre. A  $3 \mu\text{m}$ -es hullámhossz az általánosan elfogadott határvonal a visszavert és a kibocsátott infravörös energia között. A  $3 \mu\text{m}$ -nél rövidebb hullámhosszú a visszavert energia, e fölött a kibocsátott energia az uralkodó.



A Föld megfigyeléséhez természetes és mesterséges energiaforrások használhatók. A természetes elektromágneses sugárzás forrása elsősorban a Nap. A Naptól eredő energia mennyisége a különböző hullámhosszokon eltérő (1-5. ábra). A legnagyobb energia fluxus 0,6  $\mu\text{m}$ -es érték körül (a látható tartományban) tapasztalható, mely a hullámhossz növekedésével erősen csökken - a közeli infravörös tartományban egyharmadára és a közepes infravörösben pedig 10-12 %-ra.



1-5. ábra A Nap és a Föld sugárzásának energia eloszlása a különböző hullámhosszokon.

Az olyan rendszereket, amelyeknél a felvétel a Naptól jövő és a felszín által visszavert (reflektált), vagy a földfelszíni objektumok saját maguk által kibocsátott (emittált) sugárzásának mérésén alapul, **passzív** távérzékelési rendszereknek nevezzük.

Abban az esetben, ha a felvevő berendezés saját energiaforrással rendelkezik (pl. radar) - így sugárforrás és érzékelő egyaránt - **aktív** távérzékelési rendszerekről beszélünk.

## 5. 1.5 A légkör hatása a távérzékelésre

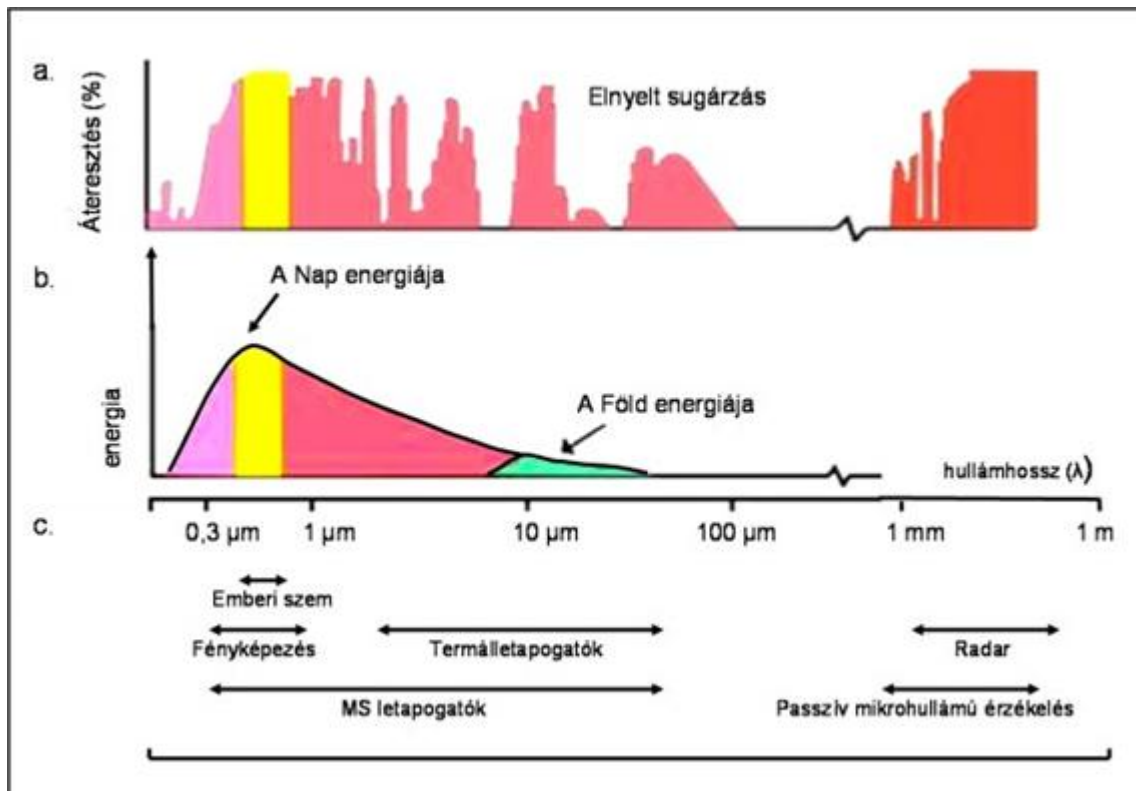
A felvevő rendszerek által érzékelt sugárzás kétszer áthalad az atmoszférán, amíg a forrástól az érzékelőig ér. Ez alól csak a távoli infravörös sávú termális érzékelés a kivétel, mert ebben az esetben a tárgyak által kibocsátott hőszugárzás csak egyszer halad át az atmoszférán, amíg az érzékelőig eljut. Az energiaforrásból kibocsátott elektromágneses hullámok szóródnak és elnyelődnek a légkör összetevőin. Ennek következtében a megfigyelt céltárgyról visszavert és az érzékelőbe jutó sugárzási intenzitás egyrészt csökken, másrészt a terjedési útba történő beszóródás következtében a hasznos jelre zaj rakódik. Mindez csökkenti a felvételen megjelenő objektumok elkülöníthetőségét. Az atmoszféra távérzékelésre gyakorolt hatása függ a légkör állapotától, a részecskék nagyságától, az elektromágneses energia hullámhosszától és a sugárzás által megtett út hosszától. A hullámhossz és a levegőben lévő részecskék nagyságától függően három típusú szóródást különböztetünk meg (Mészáros E. 2005):

- A **molekuláris (Rayleigh-) szóródás** akkor jön létre, ha a részecskék átmérője – melyekkel a terjedő energia találkozik – sokkal kisebb, mint az energia hullámhossza. Hatása a hullámhossz negyedik hatványával fordítottan arányos, ezért a hullámhossz csökkenésével a szóródás mértéke növekszik. Ez azt jelenti, hogy a látható fény kék tartományában a legerősebb (ezért kék színű az ég). Az atmoszférán terjedő energia Rayleigh-szóródás hatása következtében a felvételek élensége csökken és romlik a kontrasztja. A felvételek homályosak lesznek. A Rayleigh-szóródás hatása kiküszöbölhető, ha a kamera lencséje elé olyan fényszűrőket helyezünk, melyek nem engedik át a rövid hullámhosszú energiát.
- **Mie-szóródás** akkor lép fel, ha a részecskékre eső fény hullámhossza összemérhető a részecske átmérőjével. A vízgőz, füst és porszemcsék miatt a Mie-szóródás a teljes optikai tartományra jellemző. Az intenzitás a hullámhossz növekedésével csökken, de kisebb mértékben, mint a Rayleigh-szóródás esetén.
- A harmadik típusú ún. **nem-szelektív szóródás** akkor jön létre, ha a részecske átmérője sokkal nagyobb (pl. vízcseppek, jég részecskék), mint a beeső fény hullámhossza. Például a vízcseppek átmérője nagyobb mint a látható fény vagy az infravörös sugárzás hullámhossza, ezért a szóródás nem-szelektív a hullámhosszal kapcsolatban.

A távérzékelés szempontjából a szóródás mellett az **elnyelés (abszorpció)** is fontos légköri hatás. Az abszorpció valódi energia veszteséget jelent. Az atmoszférában lévő vízgőz, széndioxid és az ózon részben vagy teljes

mértékben elnyeli (abszorbeálja) az elektromágneses energia egyes tartományait. Azokat a tartományokat, melyekben az atmoszféra teljesen vagy részlegesen átengedi az elektromágneses energiát **légköri ablakoknak** nevezzük. Ez döntően befolyásolja azt, hogy mely spektrális sávokat alkalmazhatjuk a távérzékelő rendszerekben. Az 1-6. ábra mutatja a Nap és föld által kibocsátott elektromágneses energia (b), a légköri ablakok (a) és a szenzorok spektrális érzékenysége (c) között fennálló kapcsolatot és függőséget. Az 1-6. ábra a Nap és a földfelszín, mint két leggyakrabban használt forrásból származó energia spektrális eloszlását szemlélteti. Az emberi szem érzékenysége összefüggésben van a napsugárzás maximális fluxusával (0,6  $\mu\text{m}$  – látható tartomány) és az ahhoz tartozó légköri ablakkal. Hasonlóan a termális (hő-) energia terjedése kapcsolatban áll a 8-14  $\mu\text{m}$  között lévő légköri ablakkal.

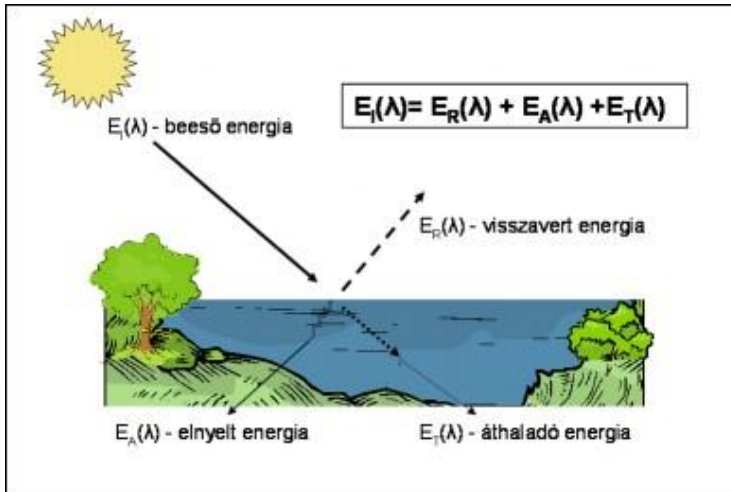
A távérzékelési adatokon alapuló feladat megoldása során a felvételek kiválasztásához figyelembe kell venni a vizsgált tárgy spektrális tulajdonságait, vagyis hogy milyen kölcsönhatásba léphet az adott sávban érkező elektromágneses energiával. Továbbá meg kell vizsgálni a szenzor spektrális érzékenységét és a légköri ablakok jelenlétét vagy hiányát abban a tartományban, melyben a vizsgálatot el akarjuk végezni.



1-6. ábra A légkör áteresztőképessége (a) a Nap és a Föld spektruma (b) és a különböző érzékelő rendszerek működési tartománya (c). Forrás: Domokos Gy-né, 1984.

## 6. 1.6 Az elektromágneses sugárzás kölcsönhatása a földfelszínnel

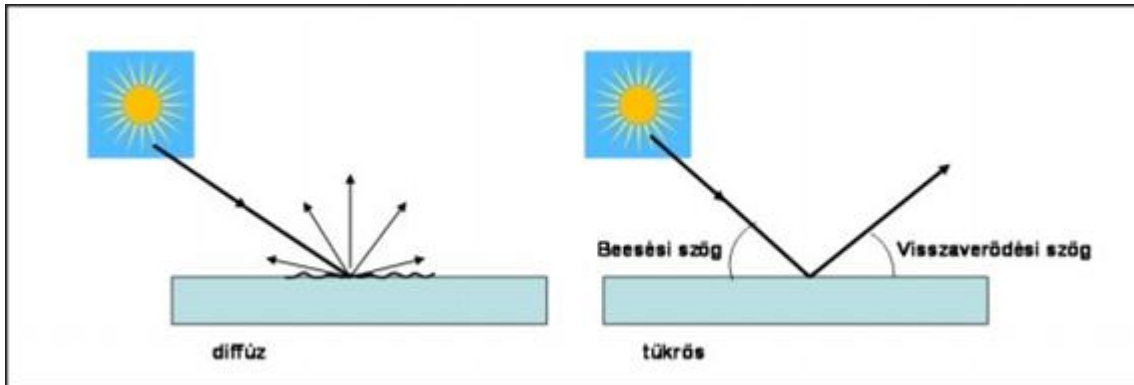
A földfelszínre jutó elektromágneses sugárzás kölcsönhatásba kerül a földfelszínnel és a felszínen lévő objektumokkal. A kölcsönhatás következtében az energiának egy része visszaverődik, egy része elnyelődik és egy része tovább halad (1-7. ábra). A felszíni tárgyak legtöbbször különbözőképpen reflektálják, nyelik el és továbbítják az energiát a különböző hullámhossz tartományokban. Ezért két különböző tárgy lehet hasonló egy spektrális tartományban és egy másik tartományban különböző. A felvevő berendezések a visszavert (reflektált) sugárzást rögzítik, azért fontos a földfelszín visszaverő képességének vizsgálata és ismerete.



**1-7. ábra** Az elektromágneses energia és a földfelszín közötti alapvető kölcsönhatások (visszaverés, elnyelés, áthaladás)

A visszavert, elnyelt és továbbhaladó energia aránya a felszín típusától, állapotától függ. A visszavert energiát továbbá a felszín simasága/érdessége módosítja. A tökéletes sima felszín tükörszerűen ver vissza, ami azt jelenti, hogy a visszaverődés szöge megegyezik a besugárzás szögével. A diffúz visszaverő olyan durva felszín, amely minden irányba egyenletesen veri vissza az elektromágneses energiát (1-8. ábra).

A földfelszín tárgyai sem nem tökéletes, sem nem diffúz visszaverők. A fent említett tulajdonságuknál fogva a két eset között helyezkednek el. Az, hogy egy felszín melyik típusú visszaverést közelíti meg a felszín érdességétől és a beérkező energia hullámhosszától függ. Ha a beérkező energia hullámhossza sokkal kisebb, mint a felszíni magasságkülönbségek vagy a felszín felépítő részecskék mérete, akkor a felszín megközelíti a diffúz visszaverőt.



**1-8. ábra** A diffúz és az ideális visszaverődés folyamata

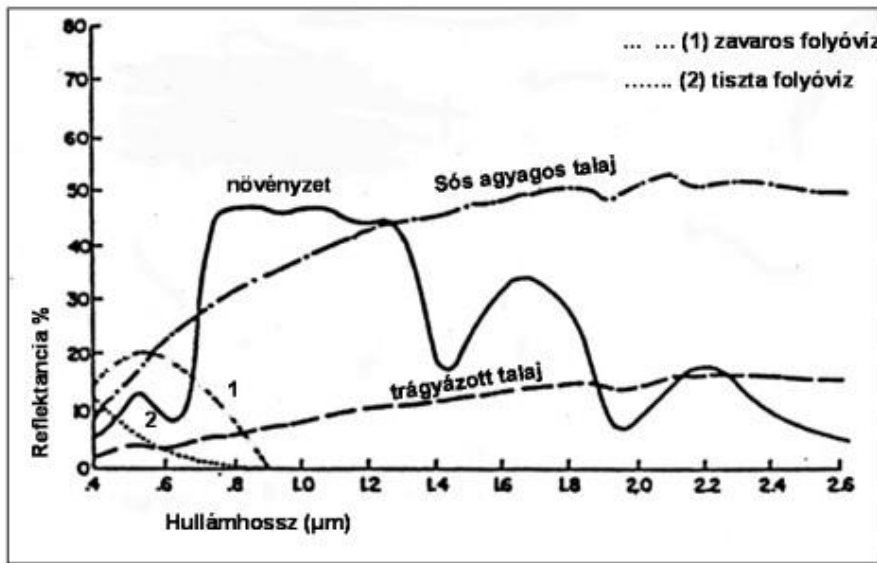
A felvételek elemzésekor a kölcsönhatás során megváltozott sugárzásból kívánjuk meghatározni a vizsgált objektum paramétereit. Ehhez szükség van a talajfelszín spektrális tulajdonságainak ismeretére. Az objektumok spektrális jellemzésére a reflektancia (visszaverési) értéket használják. A reflektancia megmutatja az adott felszínre belépő és arról visszavert energia hányadosát egy adott hullámhosszon, legtöbbször %-ban kifejezve.

$$R_{\lambda} = E_v(\lambda) / E_b(\lambda) \cdot 100$$

$R$  – reflektancia,  $E_v$  – visszavert energia,  $E_b$  – beérkező energia

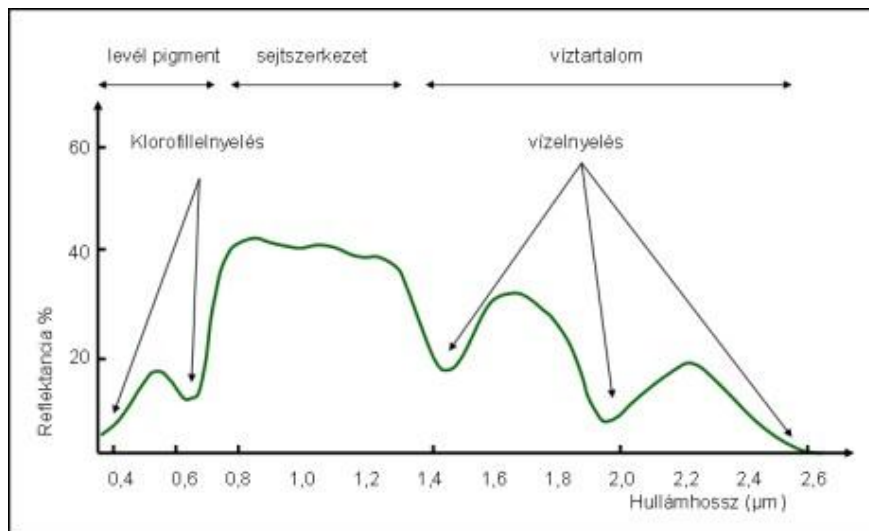
A reflektancia adatok ábrázolását a hullámhossz függvényében reflektancia görbének nevezzük. A földfelszíni borítások spektrális tulajdonságainak ismerete nélkülözhetetlen a távérzékelés gyakorlati alkalmazásához. Alapul szolgál a felvételek kiválasztásához, és a tárgyak távérzékelési módszerekkel történő részletes vizsgálatához.

A három fő felszínborítás – egészséges növényzet, csupasz talaj, tiszta víz - spektrális visszaverése (reflektanciája) az 1-9. ábrán látható. A görbék jellegzetes lefutása összefüggésben van a borítás tulajdonságaival.



1-9. ábra A fő felszínborítások spektrális reflektanciája. Forrás: Csornai G. - Dalia O, 1991

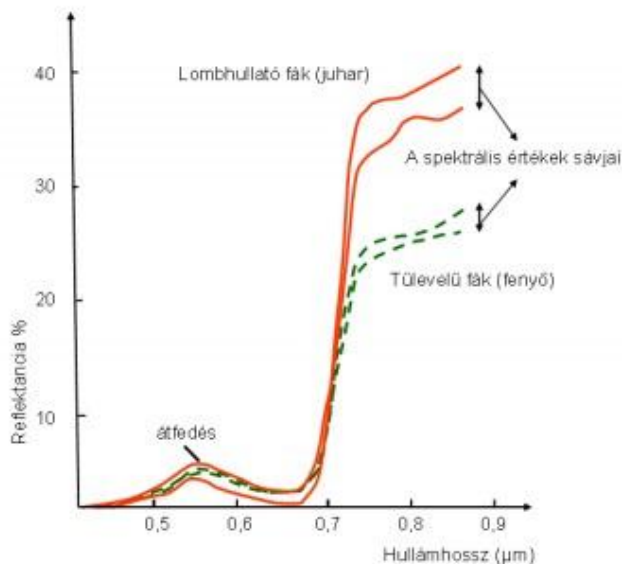
Az egészséges növényzet reflektancia görbéje a legváltozób és több jellegzetes helyi minimális és maximális érték jellemzi a lefutását (1-9, 1-10. ábra), ami a növényzet biológiai tulajdonságaival magyarázható. A látható spektrum tartományban lévő lokális minimum a levelek klorofill aktivitásától függ. A növény levelei erősen abszorbeálják a kék és a vörös fényt, míg a zöld tartományban sugárzott energiát nagyobb mértékben verik vissza, lokális maximumot eredményezve. Mivel a látható tartomány zöld sávjában legnagyobb a visszaverés, azért a szemünk az egészséges vegetációt zöld színben látja.



1-10. ábra Az egészséges növényzet reflektanciáját meghatározó tényezők a 0,4 - 2,6 μm hullámhossz tartományban (Ravi P. Gupta, 1991 után)

Ha egy növény valamilyen káros hatástól szenved (betegség, szárazság) akkor csökken a fotoszintézis üteme és lelassul a növekedése, ami a növényzet spektrális tulajdonságainak változását eredményez. A lokális minimum és maximum értékek markáns jellege mérséklődik (1-10., 1-13. ábra). A hosszabb ideig tartó stressz hatását szemmel is láthatjuk – a levelek sárgulnak, vagyis a vörös és a zöld fény hasonlóan verődik vissza. A közeli infravörös tartományban a reflektancia görbe ugrásszerű megemelkedése a levelek sejtszerkezetének tulajdonítható. Egyes fajoknál a levelek belső szerkezete különbözik egymástól, ami eltérő reflektanciát eredményez. Ez lehetőséget ad egyes fajok elkülönítésére még akkor is, ha a látható spektrum tartományban

azok nagyon hasonlítanak egymásra. Az 1-11. ábra a lombhullató és a tűlevelű fák spektrális visszaverődési görbéit mutatja. A lombhullató és tűlevelű fák sokfélesége miatt az ábrán a visszaverődést nem görbék, hanem sávok jellemzik. A reflektancia értékek alapján érthető, hogy ha a két erdőtípus elkülönítéséhez csak a látható spektrum tartományban működő szenzort választanánk, akkor az elkülönítés problémát okozna. Ebben a tartományban a görbék átfedik és keresztezik egymást, ezért a szemünk mindkét fatípust a zöld valamilyen árnyalatában látja. A két fatípus elkülönítésében segítséget nyújthat a fák korona alakjának eltérése, bár az űrfelvételeken a fák alakját, méretét, helyét nehéz mérni, főleg akkor ha a fák egymás mellett, vegyesen fordulnak elő. Mégis megkülönböztethetők, ha infravörös tartományban készült felvételeket használunk. A reflektancia értékek különbsége ebben a tartományban szembetűnő, a felvételen a tűlevelű fák jól megkülönböztethetően sötét tónusúak.

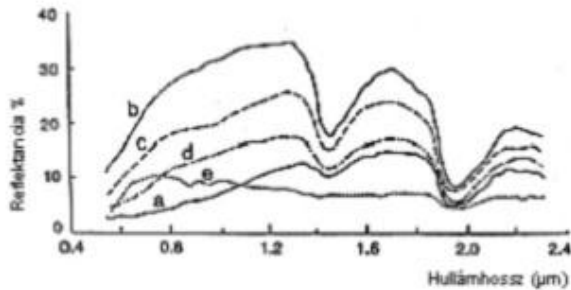


**1-11. ábra** Lombhullató és tűlevelű fák általánosított spektrális reflektancia görbéi. Forrás: Mucsi L. 2004., Lillesand T.M. 2007

A közepes infravörös tartományban előforduló helyi minimumok (1,4 és 2,7  $\mu\text{m}$ -nél) a levelekben lévő víz-abszorpció következményei. Ezeket a sávokat vízelnyelési sávoknak nevezzük. Bármilyen külső befolyás (pl. betegség, szárazság) ezeknek a jellegzetes pontoknak a változását eredményezi.

A talaj reflektanciája a hullámhosszal általában növekszik (1-12. ábra). A növekedés mértéke összefüggésben van a talaj bizonyos fizikai és kémiai tulajdonságaival. Az eddigi eredmények szerint a legfontosabb reflektanciát meghatározó tényezők a következők: a szervesanyag-tartalom, a nedvességtartalom, a talajképző kőzet, a színes vegyületek jelenléte, a talaj fizikai félesége, a szemcsék mérete, valamint sótartalma. Ezek a tényezők komplexek, változékonyak és kölcsönhatásban vannak egymással (1-12. ábra).

Általános megfigyelés, hogy a szervesanyag és víztartalom növekedés a talaj visszaverődésének csökkenésével jár a 0,4-2,5  $\mu\text{m}$  hullámhossz tartományban. A 2%-nál több humuszt tartalmazó talajoknál a humusz a reflektancia fő meghatározója. Az 1,3-1,5  $\mu\text{m}$  és 1,75-1,95  $\mu\text{m}$ -es intervallumban a reflektancia csökkenése a talajban kötött víz abszorpciójának következménye. A talaj felszínének nedvességtartalma az egyik leggyorsabban változó paraméter, ami nemcsak a talaj fizikai, kémiai, biológiai adottságaitól, de a környezeti hatásoktól is erősen függ.



1-12. ábra Különböző szervesanyag tartalmú (sza.), texturájú (tx.), és vastartalmú (Fe) talajfelszínek spektrális visszaverődése (Csornai G. - Dalia O.1991után)

a. nagy sza., középfinom tx., b) alacsony sza., közepes Fe, c) alacsony sza., közepes tx., d) magas sza., durva tx., e) magas Fe, finom tx.

A víz spektrális tulajdonsága a felszínétől, a vízben oldott illetve lebegő részecskéktől, továbbá a tiszta és sekély vizek esetében a mederfenék visszaverő képességétől függ. A tiszta víz visszaverődése a látható spektrumtartományban nagyon alacsony (4-5%) és 0,7 µm-től majdnem nulla. A lebegőanyag koncentráció, a klorofill tartalom növekedése, az algakoncentráció jelenléte a reflektancia növekedését eredményezi a teljes látható és a közeli infravörös tartományban (1-9. ábra). Ezért a távérzékelés lehetőséget ad a vizek folyamatos monitoringjára, algtömeg becslésére és más szennyeződések felderítésére.

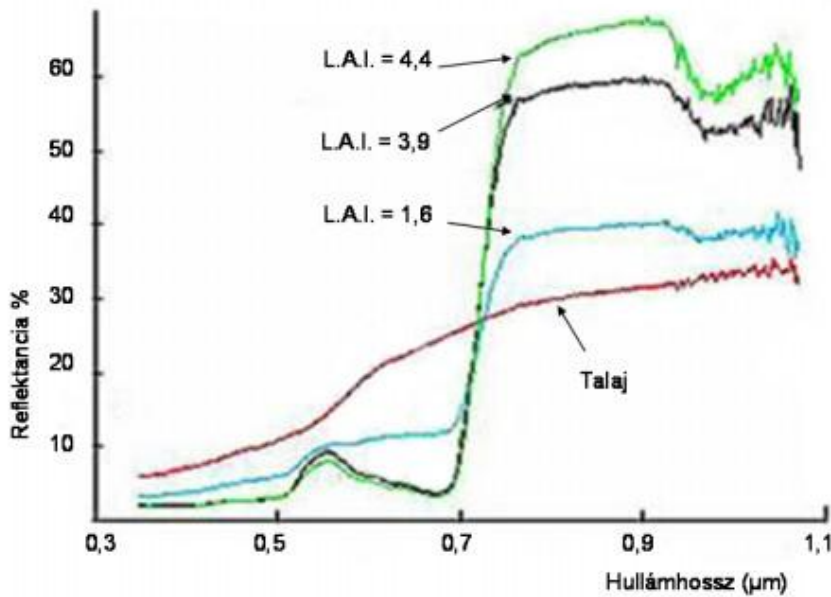
### Gyakorlati példák

A következő két példa - a reflektancia görbék segítségével - szemlélteti egy felszín spektrális tulajdonságainak változását az állapotváltozás függvényében és különböző felszíni borítások elkülöníthetőségét spektrális adatok alapján.

1. példa

A tavaszi búza fejlődési példáján nyomon követhető az, hogy egy objektum állapotváltozása hogyan jelenik meg a reflektancia változásában (1-13. ábra).





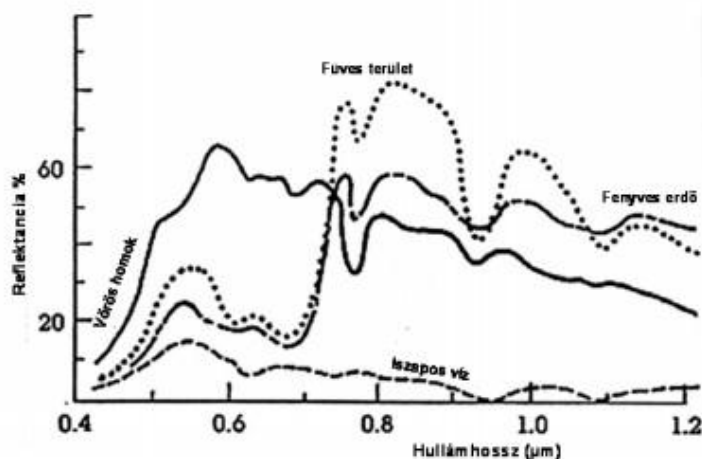
1-13. ábra Búza spektrális visszaverődése és mérhető jellemzői (L.A.I. –levélfelületi index) a kelés és a kalászás között

Az ábrát elemezve látható, hogy a búza kezdeti fejlődési szakaszában, a gyér takarásnál a reflektancia görbe lényegében a talajokat jellemző módon emelkedik. A növény fejlődésével, így klorofill tartalmának növekedésével a 0,6 μm körüli, fotoszintézisre utaló helyi minimum egyre jellegzetesebb. A fejlettebb növény a több levélréteg, a nagyobb levélfelület miatt erősebb reflektanciát eredményez a közeli infravörös tartományban.

2. példa

Az 1-14. ábrán négyféle felszínborítás reflektancia görbéje látható a 0,4 – 1,2 μm-es hullámhossz tartományban.

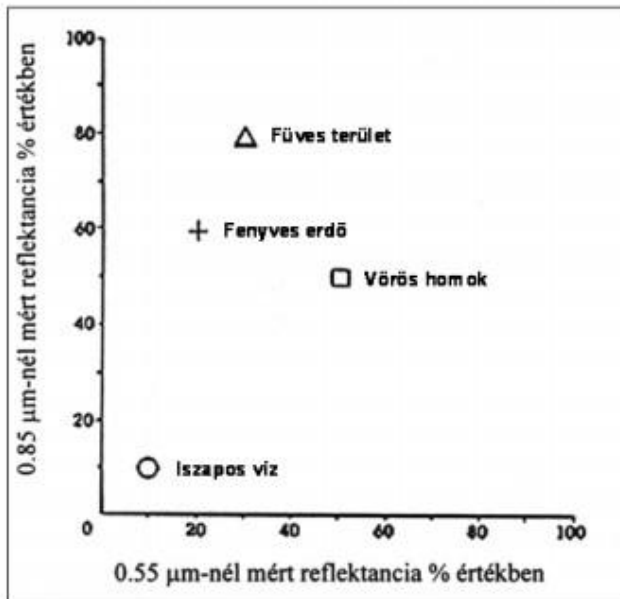
A különböző felszínborítások és az állapotuk változása az energia visszaverődés változásával jár. Így a felszínborítási kategóriák azonosításához és elkülönítéséhez nagy segítséget nyújt a spektrális tulajdonságok ismerete. Az 1-14. ábra fenyves erdő, füves terület, vörös homok és iszapos víz reflektancia értékeket mutatja a hullámhossz függvényében.



1-14. ábra Különböző felszínborítások reflektancia görbéi

Ezen adatok alapján kiválasztható az a hullámhossz vagy spektrális sáv, melyben a legnagyobb a reflektancia értékek közötti különbség. Például az egészséges füves terület a többi kategóriától legnagyobb pontossággal elkülöníthető abban a spektrális sávban, melyben a vegetáció visszaverődése nagyobb, mint a többi kategóriáé. Az 1-15. ábra fenyves erdő, füves terület, vörös homok és iszapos víz elkülöníthetőségét (szeparabilitását)

mutatja két hullámhossznál mért reflektancia értéknek megfelelően. Az érintett négy kategória a 0,55 és 0,85  $\mu\text{m}$  hullámhossznál különül el egymástól legjobban. (Kettőnél több sáv kiválasztása több dimenziós ábrázolást igényel.) A fent bemutatott összefüggések használhatók fel a távérzékelés gyakorlati alkalmazásában, a különböző felszín borítási kategóriák elkülönítéséhez és meghatározásához.



1-15. ábra Különböző felszínborítások spektrális visszaverődése két hullámhossznál

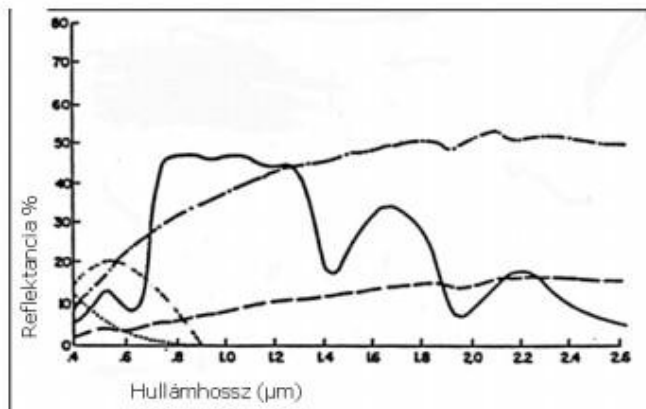
## 7. 1.7 Összefoglalás

A tananyag elsajátítása után Ön olyan ismeretekkel rendelkezik melyek szükségesek a távérzékeléses adatnyerés elméletének és ennek gyakorlati megvalósításához használt technikai megoldások megértéséhez. A földfelszín spektrális tulajdonságainak ismeretére alapozzuk a továbbiakban a képelemzés egyes kérdéseit.

### Önellenőrző kérdések

1. Mi a távérzékelés? Sorolja fel a távérzékelés elvi folyamatának elemeit!
2. Jellemezze a távérzékelésben leggyakrabban használt energiaforrásokat. Adja meg a Nap sugárzásának energia eloszlását az optikai spektrum tartományban (rajz, magyarázat)!
3. Milyen fogalmakat használhatunk az elektromágneses energia jellemzésére? Sorolja fel az optikai tartomány részeit!
4. Mit tud mondani a légkör szelektív hatásáról? Mi a légköri ablak? Milyen összefüggés van a felvételek minősége és a légköri jelenségek között?
5. Mi a célja a reflektancia vizsgálatoknak?
6. Mutassa be a három fő felszínborítás (zöld növényzet, talaj és tiszta víz) reflektancia görbéinek jellegét (rajz)! Mitől függ különböző felszínborítás reflektanciája az optikai spektrum tartományban?
7. Az alábbi ábrán látható reflektancia görbék milyen felszínborítást jelenthetnek? A válaszát indokolja!





## Irodalomjegyzék

Csornai G. - Dalia O. : *Távérzékelés. EFE FFFK jegyzet* , EFE FFFK, Székesfehérvár , 1991

Domokos Gy-né : *Távérzékelés a műszaki gyakorlatban* , Műszaki Könyvkiadó , Budapest , 1984

Lillasand T. M., Kiefer R. W., Chipman W. J. : *Remote Sensing and Interpretation* , John Wiley and Sons, Inc. , 2007

Mészáros E. : *Hogyan fedezték fel a levegőt* , Magyar Tudomány, 2005/4 426. o. , 2005

Mucsi L. : *Műholdas távérzékelés* , Libellus , Szeged , 2004

Ravi P. Gupta : *Remote Sensing Geology, 1991*

Sárközi F. : *Térinformaika elmélet oktató anyag* , Műszaki Egyetem , Budapest , 1991  
[http://www.agt.bme.hu/tutor\\_h/terinfor/tbev.htm](http://www.agt.bme.hu/tutor_h/terinfor/tbev.htm)

*Távérzékelés alapjai* , [http://ccrs.nrcan.gc.ca/resource/tutor/fundam/index\\_e.php](http://ccrs.nrcan.gc.ca/resource/tutor/fundam/index_e.php)