

ERDÉSZETI ÉS FAIPARI EGYETEM FÖLDMÉRÉSI ÉS FÖLDRENDEZŐI FŐISKOLAI KAR

Csornai Gábor - dr.Dalia Olivér

T Á V É R Z É K E L É S

- kézirat -

Székesfehérvár

1991

Oktatási segédanyag

Felhasználása kizárólag az ELTE Programtervező matematikus szakán oktatott  
Távérzékelte felvételek elemzése tantárgyhoz.

Lektorálta: Büttner György  
FÖMI tudományos munkatárs

dr. Gerencsér Miklós  
tanszékvezető főiskolai tanár

Kiadásért felelős: az EFE Földmérési és Földrendezői Főiskolai Kar  
főigazgatója Dr. Joó István

Készült: rotaprint eljárással, 7,65 iv terjedelemben, 450 példányban,  
97 ábra és 10 táblázat felhasználásával. Első kiadás.

Nyomdai munkálatokat az EFE FFFK jegyzetsokszorosító részlege végezte.

Műszaki vezető: Marton Tibor

Törzsszám: 91 829

### Oktatási segédanyag

Felhasználása kizárólag az ELTE Programtervező matematikus szakán oktatott  
Távérzékelte felvételek elemzése tantárgyhoz.



## TARTALOM:

BEVEZETÉS . . . . .	1
1. MI A TÁVÉRZÉKELES ? . . . . .	3
1.1. A távérzékelés alkalmazásának előnyei, hátrányai . . . . .	4
2. A TÁVÉRZÉKELES FIZIKAI ALAPJAINAK ÁTTEKINTÉSE . . . . .	7
2.1. Passzív és aktív távérzékelési rendszerek . . . . .	7
2.2. Az elektromágneses spektrum távérzékelésre használt tartományai . . . . .	8
2.3. A Nap mint sugárforrás . . . . .	9
2.4. A légkör és a domborzat hatása a felvételek készítésénél . . . . .	10
2.5. Az elektromágneses sugárzás kölcsönhatása a vizsgált földfelszínnel . . . . .	10
3. FELVÉTELKÉSZÍTÉS TÁVÉRZÉKELESSSEL . . . . .	18
3.1. A különböző felvételkedészítési módok áttekintése . . . . .	18
3.2. Többsávós digitális felvételek készítése az optikai sávban . . . . .	21
3.3. Sokcsatornás képalkotó spektrométerek . . . . .	24
3.4. A mikrohullámú távérzékelés elemei . . . . .	25
3.5. Erőforráskutató műholdas rendszerek . . . . .	27
3.6. A távérzékelési felvevő rendszerek fontosabb gyakorlati jellemzői . . . . .	31
3.6.1. A felvételezésnél használt elektromágneses hullámsávok, a spektrális felbontás . . . . .	32
3.6.2. A felvételek radiometriai tulajdonságai . . . . .	33
3.6.3. Elemi földi pixelméret, terepi felbontás . . . . .	33
3.6.4. A felvétel által lefedett földfelszíndarab mérete . . . . .	34
3.6.5. A felvételek geometriai jósága . . . . .	34
3.6.6. Ismételhetség, visszatérési idő, időbeli felbontás . . . . .	35
3.6.7. Az adatokhoz való hozzáférés . . . . .	35
3.6.8. Az információkivonás, a feldolgozás nehézségei, költségei . . . . .	36
4. A TÁVÉRZÉKELT FELVÉTELEK KIÉRTÉKELÉSE . . . . .	37
4.1. A távérzékelte felvételek kiértékelésének célja, követelmények . . . . .	37
4.2. A távérzékelésben használt kiértékelési alapszerek vázlatos összehasonlítása . . . . .	38
4.3. A kvantitatív kiértékelési módszerről . . . . .	39
4.4. A távérzékelte felvételek digitális kiértékelésének jellege, fő lépései . . . . .	44
4.5. A többsávós digitális felvételek és a képpontok intenzitástere . . . . .	46

5. A TÁVÉRZÉKELT FELVÉTELEK ELŐFELDOLGOZÁSA . . . . .	48
5.1. Elemi képpontstatisztikák készítése képrészletről . . . . .	49
5.2. Radiometriai korrekció és intenzitás műveletek . . . . .	51
5.2.1. Radiometriai korrekció . . . . .	52
5.2.2. Intenzitás műveletek . . . . .	52
5.3. Távértékelt felvételek geometriai transzformációja . . . . .	56
5.3.1. A geometriai transzformáció módszerei . . . . .	58
5.4. Egy adatcsökkentő eljárás: a főkomponens transzformáció . . . . .	63
6. A KÉPELEMZÉS . . . . .	66
6.1. A képelemzés alapfeladata és a képpontosztályozás elemi megoldásai . . . . .	66
6.2. A képpontosztályozás alapproblémájának matematikai megfogalmazása a többsávós felvételekből történő tematikus térképkészítésben . . . . .	69
6.3. A maximum-likelihood és Bayes osztályozás gyakorlatban használt összefüggései . . . . .	72
6.4. A spektrális adatosztályozás használata a tematikus térképek készítésében . . . . .	75
6.4.1. Spektrális adatosztályok, clusterek az intenzitástérben . . . . .	76
6.4.2. Néhány cluster-kereső eljárás áttekintése, az eljárások kiindulási és eredményadatai . . . . .	79
6.5. A spektrális adatosztályok átfedésének, távolságának mérése, és a tematikus osztályok hibáinak előrejelzése . . . . .	82
6.6. A tematikus osztályozás pontosságvizsgálata . . . . .	85
6.7. Területi mintavételezés a nagy területek távértékeléses megfigyelésében, tanuló és teszt területek . . . . .	87
6.8. A távértékelt felvételek tematikus kiértékelésének lépései a különböző alkalmazásokban . . . . .	89
7. VÁLOGATOTT KÉRDÉSEK A KÉPELEMZÉSBŐL . . . . .	96
7.1. A tematikus térképek pontosságvizsgálatának egyes kérdései . . . . .	96
7.2. Texturális mértékek használata a tematikus térképkészítésben . . . . .	98
7.3. A kép szegmensenkénti osztályozása . . . . .	99
7.4. Összefüggés az adatok dimenziószáma és a tematikus osztályozás pontossága között . . . . .	100
7.5. Több időpontban készített felvételek feldolgozása . . . . .	102
7.6. Speciális spektrális transzformációk és ezek időfüggvényei . . . . .	103
8. A TÁVÉRZÉKELES ALKALMAZÁSAI . . . . .	106
8.1. Ipari, bányászati alkalmazások . . . . .	108
8.2. Regionális tervezés . . . . .	108

8.3. Környezetvédelem, természetvédelem . . . . .	109
8.4. Vízgazdálkodás . . . . .	109
8.5. Erdészeti alkalmazások . . . . .	110
8.6. Mezőgazdasági alkalmazások . . . . .	112
8.6.1. Talajgazdálkodás . . . . .	112
8.6.1.1. Genetikus talajterképezés, földértékelés, földvédelem . . .	112
8.6.1.2. Meliorációs tervezés, utóellenőrzés . . . . .	114
8.6.2. Növénytermesztés . . . . .	116
8.6.2.1. Mezőgazdasági üzemek növénymonitoringja . . . . .	118
8.6.2.2. Növénymonitoring megyei, országos méretekben . . . . .	121
8.6.2.3. A fő haszonnövények országos területfelmérésének, a növény- állapot meghatározásának távérzékeléses módszerei . . . . .	123
8.6.2.4. A fő haszonnövények országos hozambecslésének eredményei . .	126
9. A FÖLDRAJZI INFORMÁCIÓS RENDSZEREK ÉS A TÁVÉRZÉKELES . . . . .	131
9.1. A földrajzi információs rendszerekről . . . . .	131
9.2. FIR technikák alkalmazása a műholdas haszonnövényfelmérésben . .	135
9.2.1. FIR-rendszer és -technikák használata a képanalízis szokásos menetében . . . . .	135
9.2.2. Új, a FIR rendszert a tematikus kiértékelésbe építő osztályozási eljárások . . . . .	136

## Oktatási segédanyag

Felhasználása kizárólag az ELTE Programtervező matematikus szakán oktatott  
Távérzékelte felvételek elemzése tantárgyhoz.

## BEVEZETÉS

A 60-as évekre világossá vált, hogy a természeti erőforrásokkal takarékosabban kell bánni, mert másképpen tragikus, esetleg visszafordíthatatlan következmények jelennek meg az emberiség, a Föld életében. A természeti erőforrások, de különösen a megújulók (pl. talaj, növényzet, vizek, levegő) állapotának felvételére, majd változásainak nyomomonkövetésére **hatékony adatfelvételezési eszközre** volt szükség. A finom és a feladathoz illő környezetgazdálkodás és -szabályozás céljából a földfelszínen mérhető fizikai, biológiai, kémiai és egyéb mennyiségek **térbeli eloszlásának rögzítésére** és az összefüggéseik tisztázására ugyancsak szükség volt megfelelő technológiára. **Ennek a környezetgazdálkodási problémarendszernek kezelésére alakult ki a távérzékelés, mint az adatnyerési módszerek (és eszközök) rendszere, másrészt a földrajzi információs rendszerek technológiája, amellyel a felszínen és a térben eloszló mennyiségekkel kapcsolatos vizsgálatokat lehetett elvégezni.**

A távérzékelés, építve a légifényképezésre, de azt lényegesen meghaladva mára már nagy fejlettségi fokot ért el, és elterjedten alkalmazzák. Országok, földrészek biztonságát segíti elő az operatív távérzékelés, többek között a meteorológiai előrejelzésben, a tengeri hajózás, halászat támogatása területén, valamint az erdőtüzek figyelésével vagy nagyobb régiók növényállapotának felmérésével. A műholdas és légi felvevőrendszerek száma, az elérhető adatok mennyisége ugrásszerűen növekszik. Ma már egyre több, a harmadik világhoz tartozó állam is saját műholdas-távérzékelési programmal akar részesedni e technológia hasznából (pl. India, Indonézia, Argentína, Brazília, Kína). Az elérhető adatok mellett azok feldolgozásának technológiája is nagymértékben kialakult és már olcsón, a személyi számítógépek kategóriájában viszonylag nagy választékkal beszerezhető.

A jelenlegi operatív alkalmazásokon túl egy sor vállalkozó, nemzeti és regionális (pl. Európai Közösség, USA, Dél-Amerika, Ázsia, Afrika) program célozza meg a távérzékelés operatív bevezetését a legkülönbözőbb alkalmazási területeken.

A távérzékelés potenciális haszna óriási. Elvileg a 10-50 milliárd forint nagyságrendjébe eshet a hazai távérzékelési alkalmazások nyeresége évente! A technológia lehetséges hasznát azonban csak felkészülten, tudományosan megalapozott módszerekkel lehet elérni. A távérzékelés alkalmazása gyakran kecsegtető, egyszerűen megoldhatónak tűnik, de a megfelelő szaktudás híján

elmarad a várt eredmény. Ezt a csapdát csak a jól megalapozott tudású, felkészült szakember kerülheti el.

A kézirat a Fotogrammetria és más tárgyakban ismertetett módszereket, eljárásokat nem ismétli, de épít azok megfelelő szintű ismeretére.

## 1. MI A TÁVÉRZÉKELEÉS ?

A távérzékelés (angolul: remote sensing) kifejezés több mint 30 éves. Olyan információgyűjtési eljárás, amelynek során általában az elektromágneses hullámok közvetítésével egységes adatrendszert kapunk, leggyakrabban a földfelszínről. Az érzékelő műszerek a tárgyakról visszavert, vagy azok által kibocsátott (saját) sugárzást rögzítik. A megfigyelt objektumokról kaphatunk pontszerű mérési adatrendszert, vagy hálózatosan (képszerűen) elrendezettet. A leggyakoribb a különböző távérzékelte képszerű felvételek használata. A megfigyelt objektumok a földfelszínen kívül lehetnek a légkörben, a vizekben, a talaj így megfigyelhető rétegeiben. Lehetnek a növénytakaró vagy a fák lombzatához tartozók stb. A mérés és adatfelvételezés rendszerint több elektromágneses hullámsávban egyidejűleg történik. A többsávos légi- és űrfelvételek tipikus, nagyon gyakran használt távérzékelési adatok.

A "távérzékelte adatok" kifejezést, mint általánosabbat azért használjuk, hogy hangsúlyozzuk azt a tényt, hogy napjainkra a digitálisan rögzített felvételek használata került túlsúlyba. A digitális, tehát nem a hagyományos fényképezésen alapuló felvételek alkalmazásának túlsúlya a jövőben még növekszik. A digitálisan rögzített felvételeket természetesen képszerűen is megjeleníthetjük, a lényeges különbség az, hogy az elsődleges adatok számszerűek!

**A távérzékelés fogalmába nemcsak a speciális adatgyűjtést, de az adatok kiértékelését is beleértjük.**

Jellegzetessége a távérzékelésnek, hogy a felvételen látható objektumok felismerése, tematikus azonosítása általában nem triviális, sőt leggyakrabban valószínűségi jellegű. Sokszor éppen annak eldöntése a nehezebb, hogy "mi" a kiválasztott objektum és egyszerűbb a helyének, méretének meghatározása.

A távérzékelte adatok kiértékeléséhez, értelmezéséhez több megközelítési mód használható. Az egyik a tájékozódó, a térképekkel való összevetésen alig túlmenő "leltározó" vizsgálat-típus. A másik, amelyben a megfigyelt földfelszíni objektumokat, jelenségeket, folyamatokat számszerűen jellemző paraméterek tudományosan megalapozott meghatározása a cél: **a kvantitatív módszer.** A kvantitatív itt többet jelent annál, hogy számszerű adatokat is kapunk a kiértékelés eredményeül: azt jelenti, hogy a teljes kiértékelési módszer, a technológia a különböző felhasznált szaktudományok

eredményeire épül.

Röviden szólva tehát a távérzékelés az űr- és légifelvételek alkalmazásának technikája és tudománya.

A távérzékelés fogalmának pontosabbá tételéhez járul hozzá a fizikai alapok (2. fejezet) és a távérzékelési rendszer áttekintése (3. fejezet).

### **1.1. A távérzékelés alkalmazásának előnyei, hátrányai**

A nem megújuló természeti erőforrások felmérésénél, térképezésénél (geológiai alkalmazások), de különösen a megújuló természeti erőforrások állapotának felmérésében, állapotváltozásaik nyomonkövetésében (ún. monitorozásában) játszik különösen nagy szerepet a távérzékelés.

Van a távérzékelésnek néhány olyan tulajdonsága, amelyek különösen alkalmassá teszik az állapotfelvételezés és a folyamatkövetés megoldását e technológiával. A távérzékelés e tulajdonságainak összehasonlítását olyan egyéb mérési, adatgyűjtési és adatkiértékelési eljárással kell összevetni, amellyel az egyes feladatok ugyanolyan eredménnyel oldhatók meg. Ezek az előnyök általában a következők:

- a) **Olcsó az adatnyerés és kevés munkaerőt igényel.** A Landsat MSS, TM és a SPOT felvételek mintegy 34.000 ill. 3600 km<sup>2</sup> földfelszínről adnak információt. Ezek a felvételek digitálisan mintegy 0,02, 0,07 illetve 0,65 Ft/ha fajlagos költségért beszerezhetők. A légifényképezés ára is a néhány Ft/ha nagyságrendjébe esik. Mindkét felvételtípus előállítására és a felhasználóhoz juttatására jóval kevesebb munkaerővel lehetséges, mint pl. egy terepi adatfelvételezésnél.
- b) **Gyors adatgyűjtés, ami naprakészséget biztosít.** Mivel egy űrfelvétel néhány százezer vagy millió hektár területről néhány másodperc alatt készül, de légifelvételezéssel is néhány óra alatt néhány ezer - tízezer hektárról készíthető felvétel, az adatfelvétel rendkívül gyorsan megvégeződik. A felvételek egyidejűleg, néhány óra vagy néhány nap múlva a felhasználónál lehetnek. Ez rendkívül fontos követelmény egyes esetekben (pl. tüzek jelzésénél, növénybetegség elleni védekezésnél, árvíz esetén stb.). Azt, hogy az egyes adatgyűjtési módszerek sebessége megfelelő-e, a megfigyelt jelenség időbeli lefolyásához kell viszonyítani.



- c) **Jó térbeli, időbeli mintavételezésű adatrendszert szolgáltat.** A földfelszínhez rögzíthető, mérhető mennyiségeket úgy lehet elképzelni, mint a helyvektornak felületen folytonos függvényeit. E mennyiségek időbeli változása az előbbi függvények paraméteres (t) függvényseregével írható le. Ezen folytonos mennyiségeket (függvényeket) nem ismerjük a vizsgált területek minden pontjában és minden időpontban, csak mintavételezett értékeket kapunk a mérésekkel.

A térben pontszerű, mintavételezésen alapuló mérések helyett a távérzékelés egy sűrű szabályos rácshálózatban történő mérésnek fogható fel: a térbeli mintavételezés rendkívül jó. A felvételkészítés olcsósága, egyszerűsége, miatt a folyamathoz illeszkedő jó időbeli mintavételezés általában elérhető. A mérésekből levezethető mennyiségek statisztikai varianciája és megbízhatósága kedvező.

Általában a mérési gyakorlatban legtöbbször a pontszerű alul-mintavételezésből adódó nagy variancia, bizonytalanabb becslés okoz gondot, vagy fordítva: a kis mintavételezési hibát biztosító előírások gyakorlati követhetetlensége (pl. termésbecslésnél 5 hektáronkénti 0,5 \* 0,5 m<sup>2</sup> mintatér növényi komponenseinek lemérése).

Már itt jelezni kell, hogy a távérzékelés nagyon jó mintavételezési tulajdonsága mellett a fő nehézséget az okozza, hogy a közvetlenül mért adatokból a keresett célmennyiségeket milyen pontossággal, megbízhatósággal lehet becsülni.

- d) **Nagy területről kapunk homogén adatrendszert.** Rendkívül fontos, hogy a felvevő rendszer egyszeri adatrögzítése gyorsan, általában pillanatfelvétel-szerűen történik, jól kalibrált műszer segítségével. Az országrésznyi területekről készült felvételeken tapasztalható adatok tehát valóban a megfigyelt földfelszín állapotának eltéréseit és az esetleges környezeti (léggör, topográfia) hatásait mutatják, tehát nem a sok egyedi, eltérő mérésekből adódó szórás dominál.

A fontosabb műholdas rendszerek pontosan előírt, időben állandó hálózatban felvételezik a Földet, pontosan azonos helyi időben visszatérve. A felvételek hely szerinti vagy a többidőpontú felvételsorozat időbeli normalizálása fizikai paraméterekre így sem egyszerű feladat.

- e) A digitális felvételek számítógéppel feldolgozhatók. Ennek hiánya önmagában lehetetlenné tenné a távérzékelés gyakorlati alkalmazhatóságát. A számítógépes feldolgozhatóság viszont jelentősen egységesíti a kiértékelést, csökkenti a szubjektivitást, és nagyobb információrendszerek integráns részévé tehetők a távérzékelési alrendszerek, de legalábbis a levezetett adatok közvetlenül, jól hasznosíthatók egyéb számítógépes információrendszerekben.

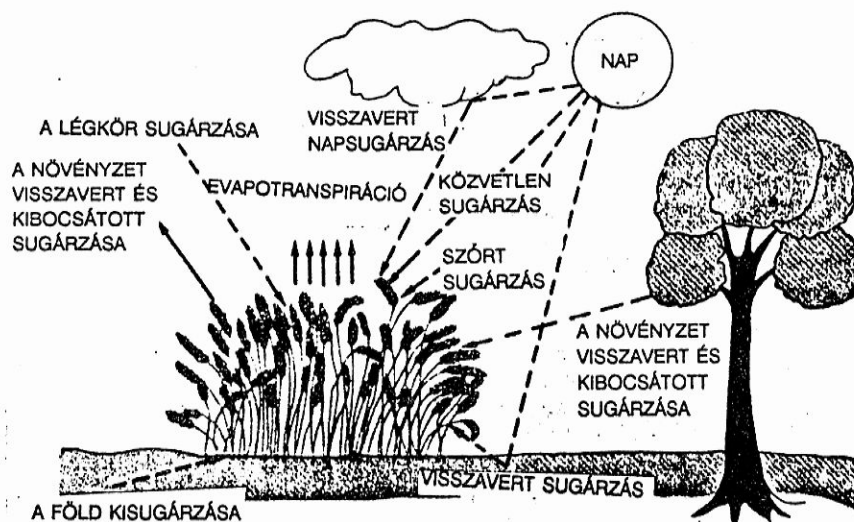
Van azonban egy olyan lényeges tulajdonsága a távérzékelésnek - főleg az adatkiértékelésnek - amelyet ugyancsak figyelembe kell venni. A felvételek részletein a tematikus tartalom megállapítása, az azonosítás jelentős szakértelmet és speciális feldolgozó eszközöket (rendszereket) igényel. A tematika megállapításának statisztikus jellege van, és így általában nem 100 %-os biztonságú. Ez a "felismerési valószínűségi érték" függ a körülményektől.

Egy-egy konkrét feladat esetén alaposan meg kell vizsgálni, hogy a távérzékelés mennyire alkalmas és gazdaságos eszköz a megoldásra.

## 2. A TÁVÉRZÉKELÉS FIZIKAI ALAPJAINAK ÁTTEKINTÉSE

A távérzékelés fizikai alapjainak részletes tárgyalása helyett itt csupán a megértéshez elengedhetetlen alapvető fogalmak és összefüggések bemutatása következik.

A távérzékelés során használt fizikai kép a következő (2.1. ábra): a Napból induló, különböző hullámhosszú elektromágneses sugarak a földfelszínre jutva ott kölcsönhatásba kerülnek a felszíni objektumokkal. A kölcsönhatás során módosult sugárzási energia-értéket a felvevőben mérjük, rögzítjük. Ezt az alapvető képet több pontján finomítani, részletezni kell.



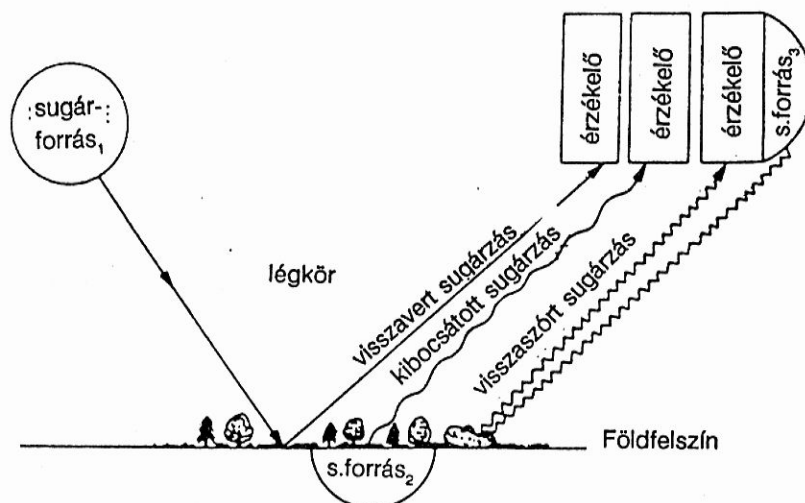
2.1. ábra: Az elektromágneses sugárforrás (Nap) - földfelszín - felvevő rendszer

### 2.1. Passzív és aktív távérzékelési rendszerek

Az elektromágneses sugárzás forrása leggyakrabban a Nap (a 2.2. ábrán az 1. forrás és érzékelő). Ilyenkor a felszínnel való kölcsönhatás után a felvevőbe jutó sugárzást visszavert (reflektált) sugárzásnak nevezzük. Gyakran a földfelszín vagy egyéb objektumok (pl. épületek) saját (hőmérsékleti) emittált sugárzását rögzíti a felvétel (2. forrás és érzékelő). Az olyan rendszereket, eszközöket, amelyeknél a Napból jövő visszavert, vagy a földfelszíni elemek saját kibocsátott sugárzásának mérésén, rögzítésén alapul a felvétel, passzív távérzékelési rendszereknek, eszközöknek nevezzük.

A 2.2. ábrán a 3. sugárforrás-érzékelő az aktív távérzékelési rendszerek lényegét mutatja. Ezeknél az elektromágneses sugárforrás és az érzékelő

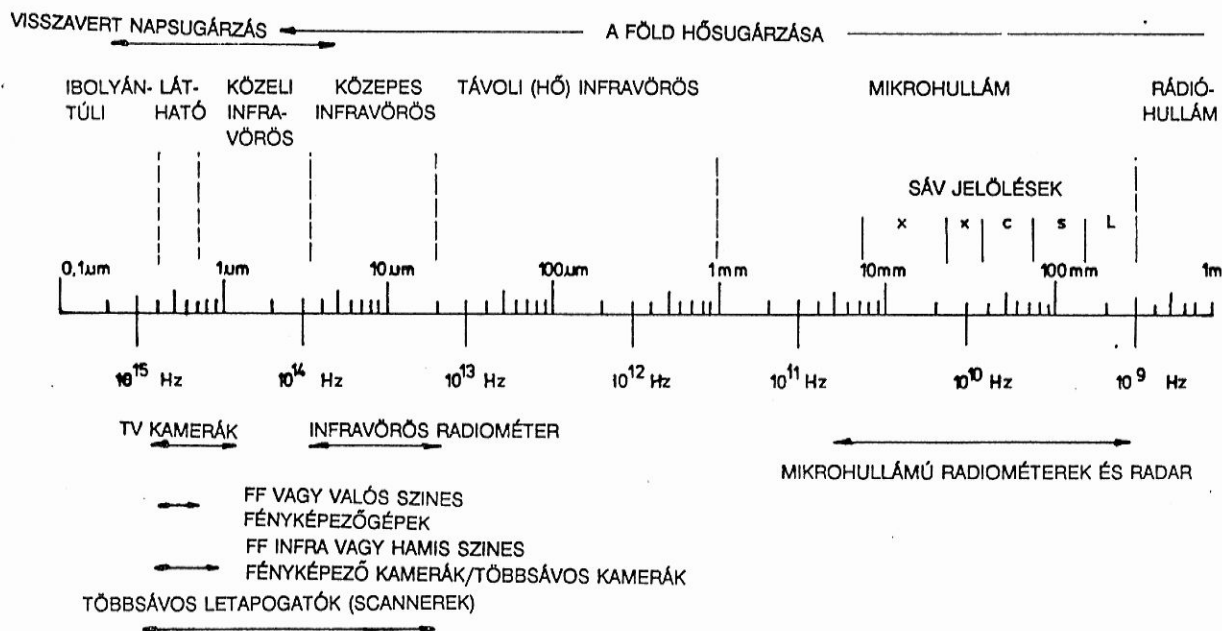
egyaránt a repülőgép vagy műhold fedélzetén van elhelyezve. Az egyre jelentősebb mikrohullámú távérzékelésnek (ld. 3.4. alfejezetet) fontos területe az ilyen aktív rendszerek (radar) alkalmazása.



2.2. ábra: A passzív és aktív távérzékelési rendszerek a különböző sugárforrásokkal

## 2.2. Az elektromágneses spektrum távérzékelésre használt tartományai

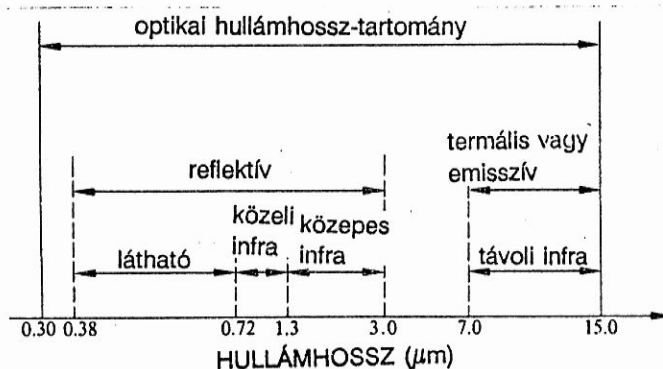
A teljes elektromágneses spektrumnak csak egy részét használhatjuk távérzékelésre (2.3.a. ábra).



2.3.a. ábra: Az elektromágneses hullámok spektruma

A különböző hullámhossz-tartományokban eltérő fizikai törvényszerűségek érvényesülnek, és különböző műszereket, érzékelőket kell használni. A jelölt tartományokat tovább szűkítik egyes zavaró jelenségek, mint például az ún. optikai sávban jellegzetes légköri elnyelések. Optikai sávnak nevezik a szakirodalomban a látható fény keskeny intervallumán túlmenő  $0,3-15\text{ }\mu\text{m}$  hullámhossz-tartományt.

A különböző elektromágneses hullámoknak a megfigyelt növényzettel, talajfelszínnel való kölcsönhatását, a behatolási mélységet eltérő fizikai folyamatok szabályozzák. Jelentős a különbség az optikai és a mikrohullámú tartomány között, mert az utóbbiban a hullám amplitudóján túl a fázisa, polarizációja is szerepet játszik a kiértékelésnél. Az optikai sávban csak az utóbbi időben kezdődtek kutatások a polarizáció figyelembevételére.

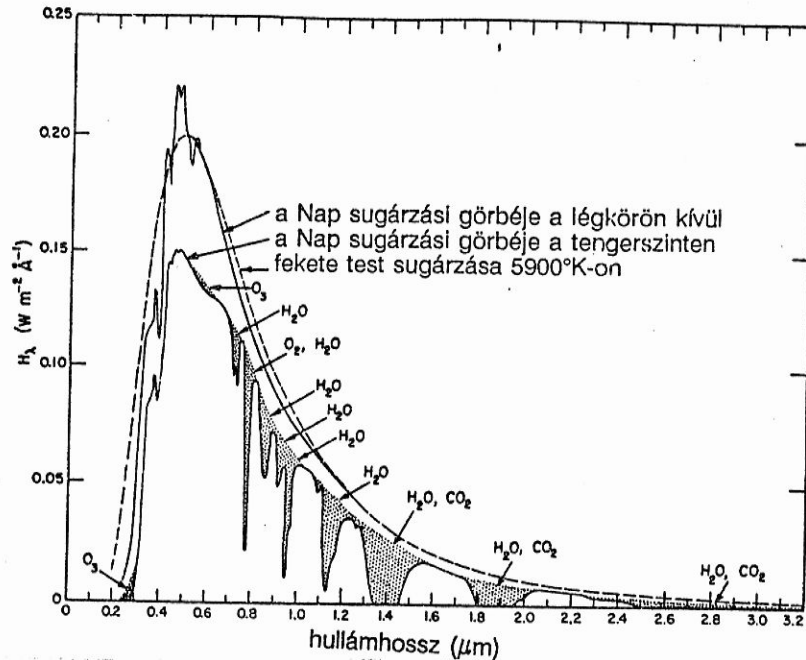


2.3.b. ábra: Az ún. optikai hullámhossz-tartomány részei

Az eddig leggyakrabban használt optikai sáv egyes résztartományainak elnevezése a 2.3.b. ábrán látható. Az operatív műholdas rendszerek nagy része ezt a tartományt hasznosítja az érzékelésnél. Míg a földfelszín megfigyelésénél  $0,3-3\text{ }\mu\text{m}$ -ig a Napból eredő sugárzás visszaverése dominál, a  $7-15\text{ }\mu\text{m}$ -es intervallumban a reflektált sugárzás már kisebb, mint a Föld termális kisugárzása.

### 2.3. A Nap mint sugárforrás

A Nap által kibocsátott energia a különböző hullámhosszakon eltérő (2.4. ábra). A közel  $6000\text{ K}$ -os felszínű Nap az ilyen hőmérsékletű fekete test sugárzását közelíti a Földet körülvevő légkörön kívüli értékek görbéje. A legnagyobb az energiafluxus a  $0,6\text{ }\mu\text{m}$  körül, a látható fény tartományában (vörös, sárga). Az energiaáram a növekvő hullámhosszal erősen csökken: a közeli infravörös tartományban átlagosan csupán harmada a közepes infravörös tartományban  $10-12\text{ }\%$ -a a látható tartományban beeső maximális energiaáramnak. Az ábra azt is jól mutatja, hogy a légkör különböző összetevői (gyakran a vízgőz) milyen jelentősen elnyelik az energiát. Ezek a jelentősebb vízelnyelési sávok (pl.  $0,9, 1,1, 1,3, 1,9\text{ }\mu\text{m}$  körül) egyben a megfigyelésre alkalmas ún. légköri ablakokat is meghatározzák.



2.4. ábra: A Nap direkt sugárzásának energiaeoszlása a különböző hullámhosszakon

#### 2.4. A légkör és a domborzat hatása a felvételek készítésénél

Mivel a forrástól a felvevőig az elektromágneses sugárzás kétszer is áthalad a légkörön, hatásait figyelembe kell vennünk a földfelszín megfigyelésekor is. Ahogy azt a 2.1. és 2.4. ábrákon láttuk, a légkör egyrészt elnyeli a sugárzás egy részét, másrészt a földfelszínhez és érzékelőhöz haladtában eltéríti (szórja). Mindkét hatás függ a légkör állapotától és a hullámhossztól. A légköri szórásból eredő diffúz sugárzás a teljes sugárzásnak (direkt Napsugárzás + szórt sugárzás) 20-70 %-a is lehet. A sugármenet mindkét ágában előforduló légköri szórás gyengíti a felvétel minőségét: kontraszt-csökkenést és intenzitás-terjedelem beszűkülést eredményez. A légköri pára, köd az optikai sávban nehezíti a távérzékelési adatok kiértékelését, ellentétben a mikrohullámú tartományban történő felvételezéssel. A távérzékelési adatok légköri korrekciója nagyon fontos, különösen a több időpontban készített felvételek együttes kiértékelésénél.

Ugyanilyen fontos tényező a domborzat. A különböző megvilágítottságú domboldalakon levő azonos borítás eltérően mutatkozik a felvételen.

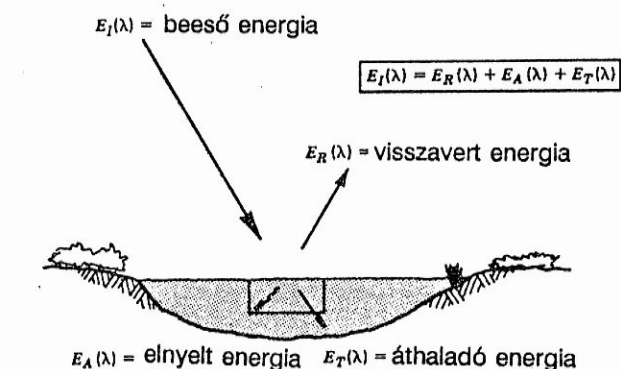
#### 2.5. Az elektromágneses sugárzás kölcsönhatása a vizsgált földfelszínnel

Ez a kölcsönhatás a legfontosabb összetevője a távérzékelés - fizikai



rendszer modelljének, mert a kölcsönhatás során megváltozott sugárzásból kívánjuk visszaszámítással, vagy következtetéssel meghatározni a vizsgált földfelszín fontos paramétereit: pl. mi van a felszíndarabon, milyen állapotban van (növény, víz, talaj), és az állapotot jellemző paramétereknek mi az értéke. Ilyen paraméterek pl. a levélfelületi index vagy talajborítás haszonnövényeknél, vagy lebegőanyag-tartalom vízszennyeződés vizsgálatánál stb.

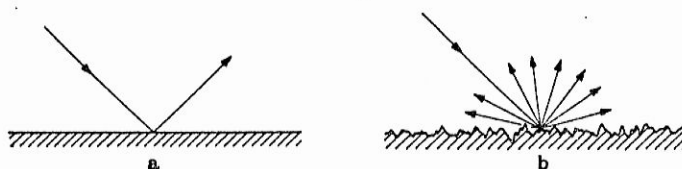
A földfelszínre jutó elektromágneses sugárzás részben visszaverődik, elnyelődik az anyagban, és egy része továbbhalad, ahogy azt a 2.5. ábra bemutatja.



2.5. ábra: Az elektromágneses energia és a földfelszín közötti alapvető kölcsönhatások (visszaverés, elnyelés, áthaladás)

Növényborítás esetében például a felső leveleken átjutott sugárzás az alsó levelekről ugyanúgy részben visszaverődik, részben bennük elnyelődik vagy áthalad. A sugárzási kép tehát rendkívül bonyolult lehet a vizsgált földfelszíni objektumon belül. Kívülről nézve azonban csupán a visszavert, reflektált sugárzás az, amit a távérzékelés eszközeivel mérni, rögzíteni tudunk.

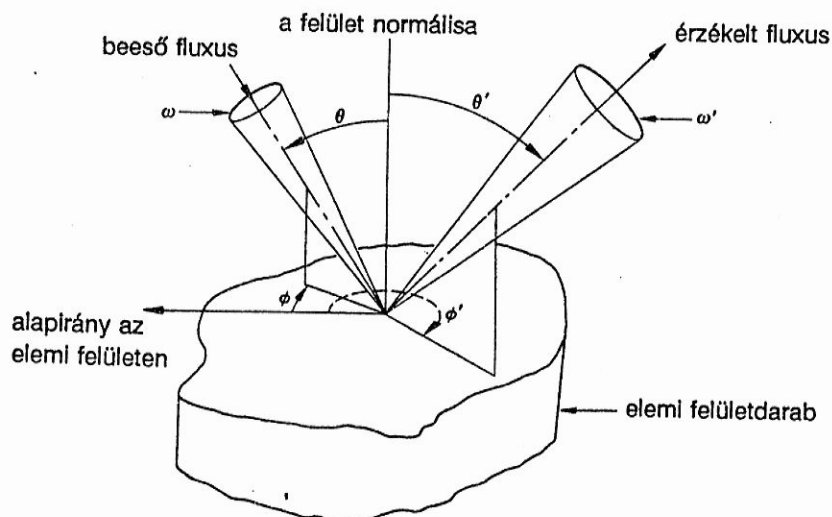
A sugárnyalábban a felszínre érkező energia általában nem a tükroknél megszokott módon verődik vissza (2.6.a. ábra), hanem minden irányban elosztva az energiát, ahogy a 2.6.b. ábra mutatja. Gyakori a kettő kombinációja: egy irányban maximális és körül eloszló a visszavert sugárzás.



2.6. ábra: A földfelszíni visszaverés ritkán tükros (a.), általában diffúz (b.)

Éppen ezért a kölcsönhatást egész pontosan csak akkor lehetne leírni, ha a 2.7. ábrán látható módon minden beeső sugárnyaláb esetén megmérnénk a távozó energiát a félgömb minden irányában. Természetesen ilyen sugárzáseloszlási

függvényeket csak laboratóriumi körülmények között határoznak meg, és egyelőre csak modellezésre használják fel. A sorokba vetett növényeknél (például kukorica) jelentősebb szerepe van a "megvilágítási" és "ránézési" irányoknak a sorokhoz képest.



2.7. ábra: A földfelszíni visszaverés részletes leírása:  $\theta$  - zenitszög,  $\phi$  - azimut,  $\omega$  - térszög

A gyakorlatban rendkívül hasznosnak bizonyult a földfelszínen levő különböző tárgyak, növények (objektumok) spektrális viselkedésének jellemzésére a visszaverés értéke (spektrális reflektancia):

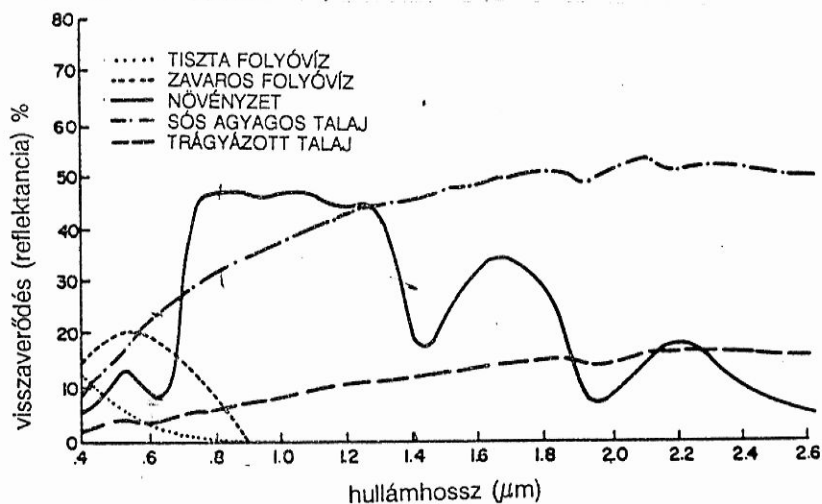
$$R_{\lambda} = \frac{E_{v\lambda}}{E_{be\lambda}}$$

azaz a spektrális visszaverési tényező egy adott hullámhosszon a beeső teljes energiának a visszavert hányadát adja meg. Ezek az értékek egy bizonyos felszíni objektum esetén a hullámhosszal változnak. A spektrális visszaverési tényezőt egy hullámhossz-tartományban megadó függvényt spektrális visszaverődési függvénynek (spektrális reflektancia függvénynek) nevezzük. Ilyen függvényeket mutat a 2.8. ábra a látható - közepes infravörös tartományban.

Jellegzetes, hogy a tiszta víz visszaverése 4-5 %, de kb.  $0,7 \mu\text{m}$ -tól gyakorlatilag nulla, ami a vizeket felismerhetővé teszi a távérzékelte felvételeken. Érdekes, hogy az illusztrációban szereplő száraz szürkésbarna talajnak a hullámhosszal nő a visszaverése, amely maximálisan 40-50%. A görbék helyi minimumai a tartalmazott víz sugárelnyelését jelzik. A zöld növényzetnél szembeötlő, hogy a látható fény tartománya után a közeli infravörösben éri el a visszaverés maximumát: 50 % körüli értéket. A

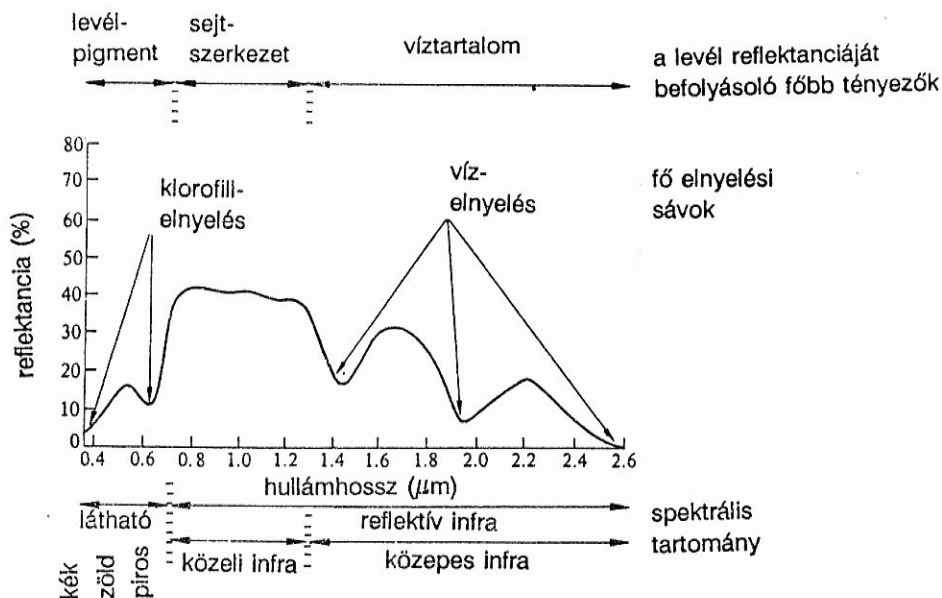


vízelnyelési minimumok itt még hangsúlyozottabban jelentkeznek.

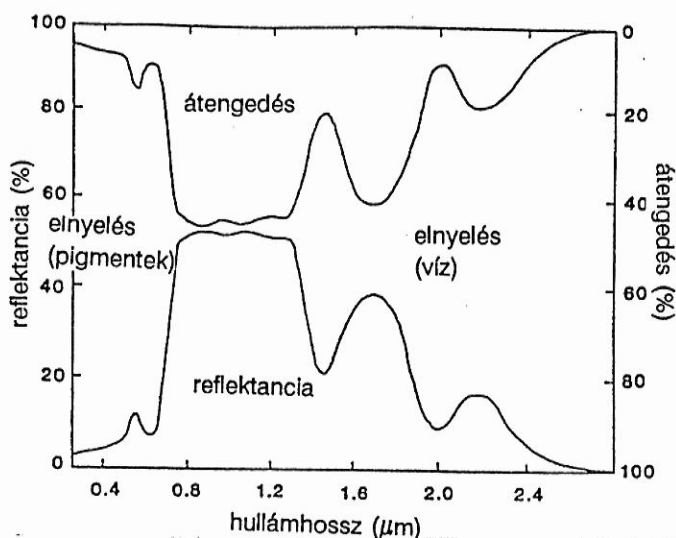


2.8. ábra: A fő felszínborítások spektrális visszaverései

A spektrális reflektancia-görbék egyes szakaszainak jellegzetes viselkedését elég pontosan lehet magyarázni. Növényzet esetén például (2.9.a,b. ábra) a látható, közeli és közepes infravörös tartományokban rendre a levelek pigmentösszetétele, a szövetszerkezet és a víztartalom a visszaverést (és elnyelést) meghatározó fő tényezők. A 0,6  $\mu\text{m}$  hullámhossz körüli helyi visszaverési minimum például a levelek klorofill aktivitásától függ, és azt jelzi, hogy az ilyen hullámhosszú sugárzást használja a klorofill a fotoszintézisben, ezért ezt a komponenst nagyrészt elnyeli, nem veri vissza.

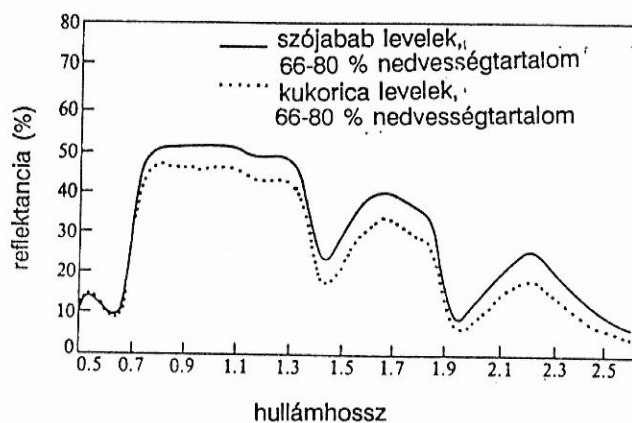
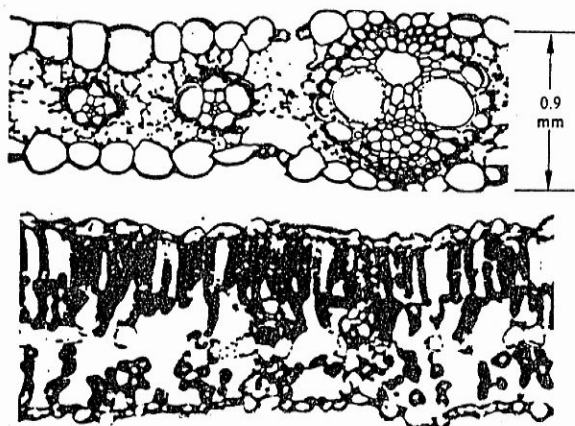


2.9.a. ábra: A zöld növényzet spektrális visszaverését meghatározó tényezők az egyes hullámhossz-tartományokban



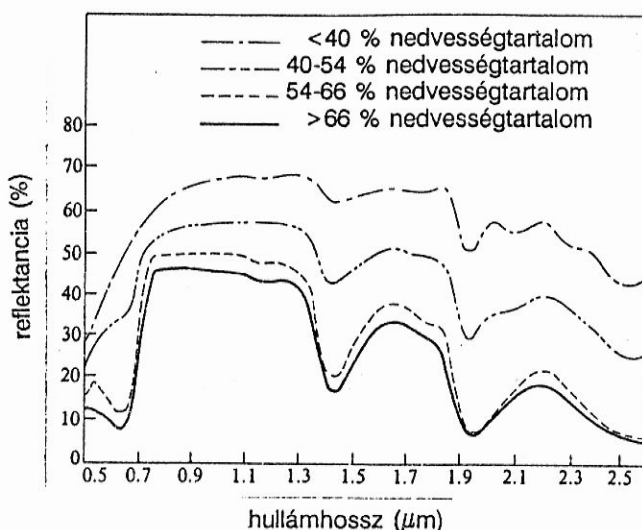
2.9.b. ábra: A zöld növényzet sugárzás visszaverése, elnyelése és átengedése

A szövetszerkezet eltéréseinek hatása látszik a 2.10.a. ábrán, míg a kukorica levelek eltérő nedvességtartalma a 2.10.b. ábra szerint tükröződik a spektrális reflektancia görbéjén.

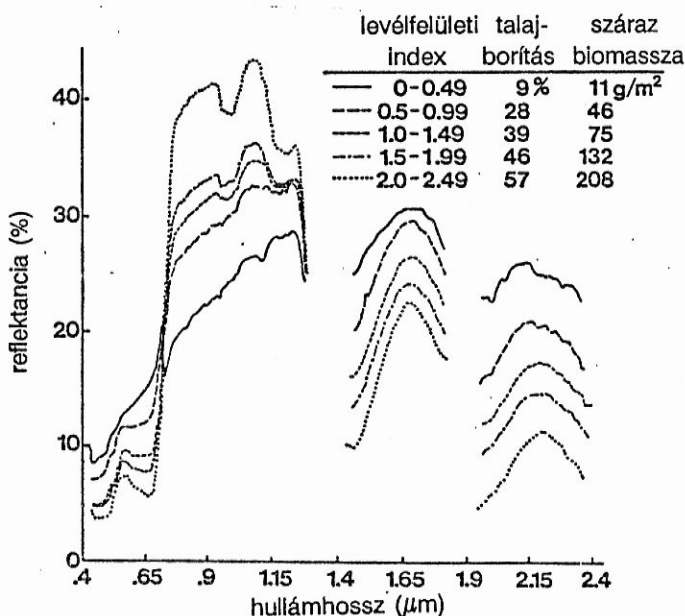


2.10.a. ábra: A kukorica és a szójabab leveleinek eltérő szerkezete magyarázza a közeli infravörös-beli eltérő visszaveréseket

Az objektumok állapotváltozása rendkívül érdekesen mutatkozik a spektrális reflektancia változásában, példánkban (2.11. ábra) a tavaszi búza fejlődését nyomonkövetve. Jól látható, hogy a gyér takarásnál lényegében a talajokat jellemző monoton növekvő görbét kapunk, majd a növekvő klorofilltartalom hogy viszi egyre lejjebb a jellegzetes helyi minimumot  $0,6 \mu\text{m}$  körül. A több levélréteg, a nagyobb levélfelület a fejlettebb növény nagyobb reflektanciáját eredményezi a közeli infravörös ( $0,7-1,1 \mu\text{m}$ ) sávban. A növekedés majdnem kétszeres. Hasonlóan sok tényező befolyásolja a talajok visszaverését (2.12. ábra).



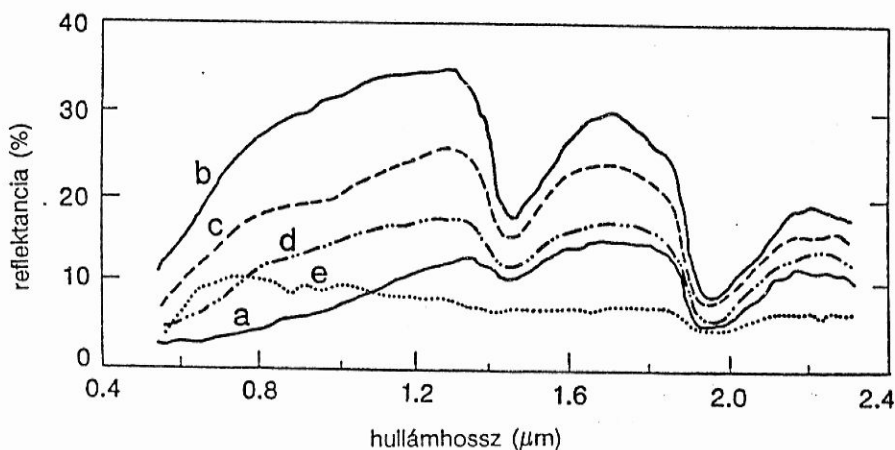
2.10.b. ábra: Eltérő nedvességtartalmú kukorica levelek spektrálisan különböző visszaverése



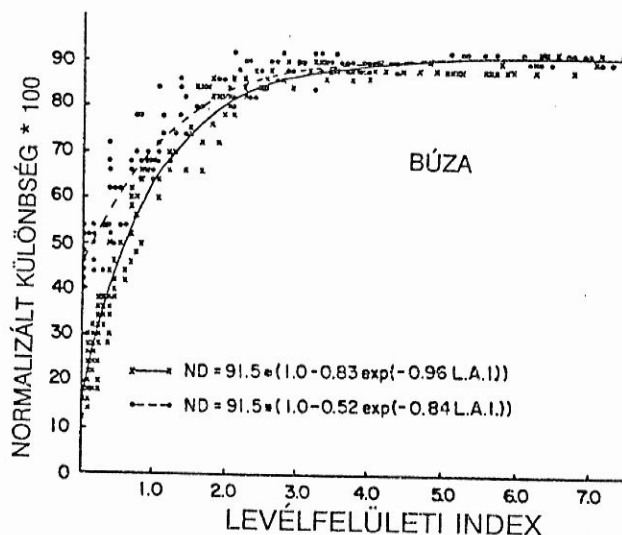
2.11. ábra: Búza spektrális visszaverése és mérhető jellemzői a kelés és a kalászosítás között

Az eddigi illusztrációk azt mutatták, hogy a földfelszíni objektum állapothatározóinak változása megmutatkozik a spektrális visszaverésben. Milyen erős ez a kapcsolat, és mennyire megfordítható, azaz inververtálható? Mennyire tudjuk például a spektrális reflektancia-függvény vagy más spektrális jellemző mérésével egyértelműen meghatározni az állapothatározókat? Egy további, a 2.11. ábrán láthatóval szoros kapcsolatban levő példa (2.13. ábra) mutatja, hogy pl. búza esetére egy, a távérzékelte adatokból levezethető spektrális mérték (az ún. normalizált különbség) milyen összefüggésben van a mezőgazdaságban fontos levélfelületi

indexszel (LAI). Az összefüggés statisztikus, de kb. LAI=2-ig eléggé egyértelmű, invertálható a kapcsolat, azaz a levélfelület becsülhető ezzel a távérzékelte jellemzővel. (Nagyobb borításnál más jellemző a jobb.)



2.12. ábra: Különböző szervesanyag-tartalmú (sza.), texturájú (tx) és vastartalmú (Fe) talajfelszínek spektrális visszaverése  
a) nagy sza., középfinom tx., b) alacsony sza., közepes Fe.  
c) alacsony sza., közepes Fe., d) magas sza., durva tx.  
e) magas Fe., finom tx.

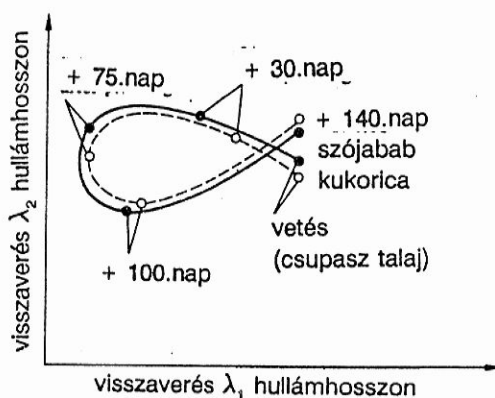


2.13. ábra: Sugárzási index és a levélfelület összefüggése búzánál

Az ideális az lenne, ha a spektrális reflektancia függvények egyértelműen azonosítanák a vizsgált földfelszíni objektumot és állapotát. Ebben az esetben csupán egy alapos, részletes spektrális adatbank kellene, amellyel összehasonlítva a távérzékeléssel nyert adatokat, a keresett földi paraméterek meghatározhatók lennének. Ez sajnos nem lehetséges, mivel különböző környezeti tényezők (pl. megvilágítás, a felvevő és megfigyelt rendszerek geometriája, a légkör és domborzat stb.) olyan jelentősen változtatják a mért spektrális reflektanciát, hogy determinisztikusan -

egyelőre - nem számíthatók ki visszafelé a kívánt földi paraméterek. A földi paraméterek -> spektrális tükröződés típusú vizsgálatok mégis nagymértékben elősegítik a távérzékelési rendszer fizikai megértését, alapul szolgálnak a különböző felszínborítás - spektrális jellemző modellekhez. Néhány éve kialakított nagyon sok csatornás (100-500) felvevőkkel történő vizsgálatok egy újabb fontos lépést jelentenek a földi paraméternek a spektrális reflektancia értékekből visszafelé történő meghatározási módszerei felé.

A spektrális visszaverés mellett nagy szerepe van az időpontnak is a felszín vizsgálatában. Ezt példázza az egymáshoz spektrálisan oly közel álló szója és kukorica (2.10.a. ábra), melyek általában elég nehezen különíthetők el a felvételeken. A vetésük utáni 30-75. napok között a legnagyobb közöttük a spektrális eltérés (2.14. ábra). A spektrális tulajdonságok mellett az időbeliséget lehet kihasználni leginkább a távérzékelés gyakorlatában, a több időpontban készült felvételi idősorok elemzésével.



2.14. ábra: A spektrális visszaverés időbeli változása a vetéstől számítva, 2 sávós felvételen

### 3. FELVÉTELKÉSZÍTÉS TÁVÉRZÉKELÉSSSEL

Ebben a fejezetben áttekintjük a távérzékelés egyik központi feladatát: a felvételkedzítést. Csak a felvételek gyakorlati felhasználásához, a kvantitatív kiértékelés megértéséhez szükséges mértékben tárgyaljuk e témakört. Részletesebb tárgyalás megtalálható a távérzékeléssel foglalkozó kézikönyvek és az ajánlott irodalom nagy részében. Az egyéb tanulmányokból ismert fényképező rendszereket sem tárgyaljuk, csupán a többsávos digitális pásztázó rendszerek elvét és adatait mutatjuk be részletesebben, a szükséges mértékben. Röviden ismertetjük az új technológián alapuló sokcsatornás pontszerű és képalakító radiométert, a mikrohullámú rendszerek elvét, és kitérünk a fontosabb műholdas felvevő rendszerekre is.

#### 3.1. A különböző felvételkedzítési módok áttekintése

A távérzékelési adatfelvételező rendszerek fő alrendszerei:

- a) az adatfelvevő (tároló és adatfeldolgozó) egység a hordozó eszközön
- b) a földre történő adattovábbítási csatorna
- c) a földi adatvételi, előfeldolgozó és archiváló rendszer.

Az egyes működő távérzékelési rendszerekben az alrendszerek rendkívül eltérőek. A földi adatvételi, előfeldolgozó és archiváló alrendszerhez a megfelelő műszaki eszközökkel felszerelt adatelosztók hálózata is kapcsolódik. Ezek juttatják el a kívánt felvételeket a felhasználóhoz.

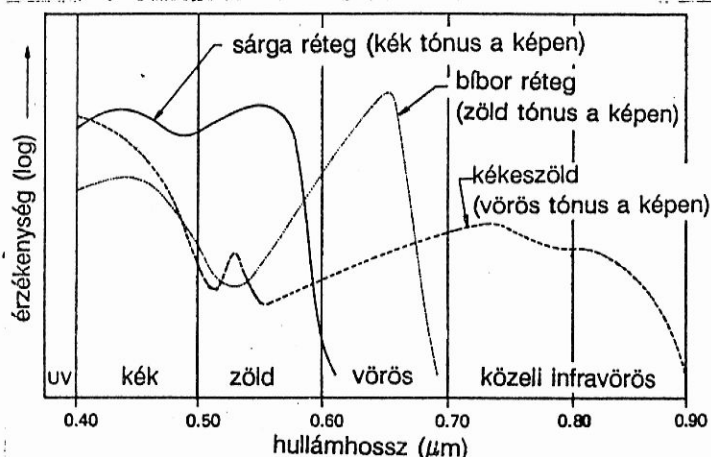
A hordozóeszközök leggyakrabban repülőgépek vagy műholdak. Bár szerepük jelentős lehet, nem térünk ki az egyéb hordozókra. Néhány műholdas rendszert tekint át a 3.5. alfejezet. Itt a három alrendszer közül a felvevőket tárgyaljuk részletesebben.

A felvevőket többféleképpen osztályozhatjuk. Az optikai sávban ( $\lambda=0,3-15 \mu\text{m}$ ) működő felvevők lényegében két fő típusba oszthatók:

- a fényképező típusú rendszerek és
- a digitális pásztázó letapogatók.

A fényképező rendszerek a látható és a közeli infravörös sáv egy részét - közelítőleg a  $0,4-0,9 \mu\text{m}$ -es hullámhossz intervallumot - használják a felvételek készítésére. A felvételeket (sávjaikat) filmre rögzítik, amit földi laboratóriumban kell előhívni, feldolgozni.

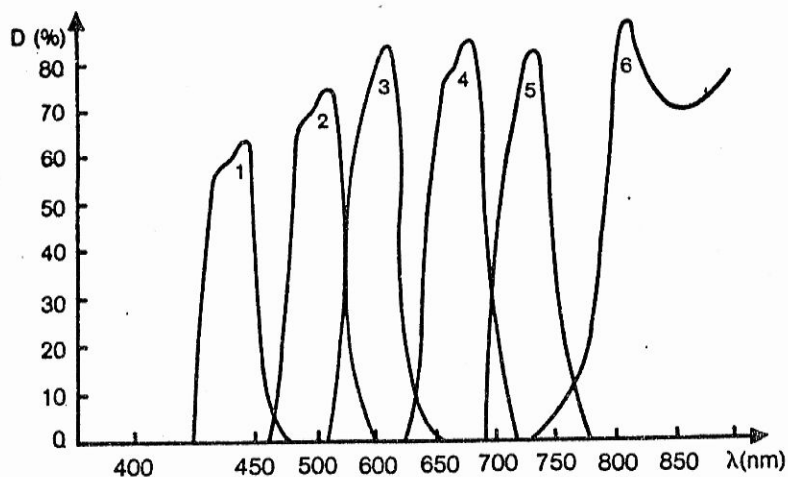
A gyakorlatban rendkívül fontos szerepet játszik a színes infravörös (angolul Color Infra Red: CIR) felvételek alkalmazása.



3.1. ábra: A színes infravörös film egyes rétegeinek érzékenysége a hullámhossz függvényében

Egy speciális eljárással készített többrétegű film érzékenységét sikerült kiterjeszteni a látható fény tartományán túl a közeli infravörös felé (kb. 0,9  $\mu\text{m}$ -ig: 3.1. ábra). Ez jelentős többletinformációt eredményez, ahogy a 2.5. alfejezet spektrális visszaverési görbéi mutatják. A CIR felvételeken még nincsenek külön felvételi sávok, a kapott (pozitív, papír) képen a növényzet a piros különböző tónusaiban jelenik meg.

A filmek szabta hullámhossz felső határt (kb. 0,9  $\mu\text{m}$ ) a többsávós (multispektrális) kamerák sem tudják meghaladni. Többsávós fényképek készítésére több kamerát szerelnek össze úgy, hogy nagy pontossággal biztosítsák optikai tengelyeik párhuzamosságát. Az egyes kamerák objektívei elé szűrőket helyeznek, amelyek az elektromágneses sugárzásnak csak egy-egy keskenyebb sávját engedik át (3.2. ábra). Ilyen többsávós kamerák például az MKF-6 (Carl-Zeiss Jena), MSK-4 (4 sávós, az MKF-6 továbbfejlesztése), a japán NAC (4 sávós) kamera.



3.2. ábra: MKF-6 6 sávós kamera felvételi sávjainak érzékenysége a hullámhossz függvényében ( $\lambda$ : nm)

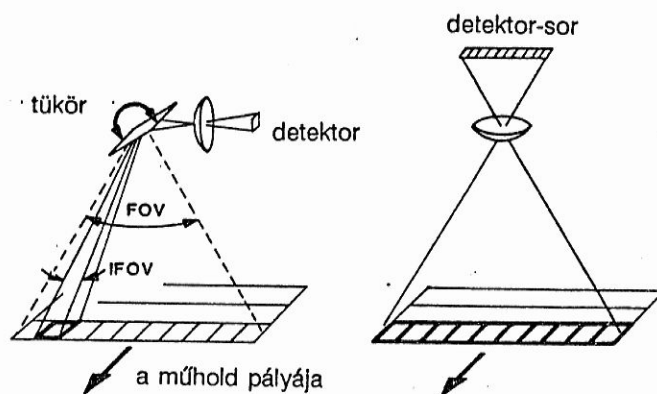
A felvételek kiértékelése leggyakrabban fotogrammetriai és vizuális interpretációs eljárásokkal, újabban esetenként digitálisan történik. A



felvételeket a nagy terepi felbontás és a csekély spektrális átfogás jellemzi. A műholdas fényképező rendszerek főleg térképészeti, geológiai alkalmazásokban használhatók, de természeti folyamatok monitorozására nem alkalmasak. A légieszközön elhelyezett kamerás rendszerek kisebb területek nagyon részletes felvételezésére és monitorozására is alkalmasak.

A fényképező rendszerekhez lehet sorolni az optikai leképezés (geometriai centrális projekció) miatt a TV-kamerás rendszereket (pl. normál, de inkább a színes infravörös felvevők). Ezeknél a felvételkedészítés általában 15-20 msec expozíciójú fényképezésnek tekinthető. Rosszabb a térbeli felbontás a felvételeken, de a gyors információszerzés miatt repülőgépre szerelve kitűnő eszköz a mezőgazdaságban, környezetvédelemben. A felvételek vizuálisan és digitálisan is kiértékelhetők.

Többsávós digitális pásztázó letapogatók már a 60-as évektől léteznek, eleinte repülőgépen, majd műhold fedélzetén működve. A pásztázók rögzítik a földfelszín repülésre merőleges sávjáról a detektorokba érkező elektromágneses sugárzás intenzitását (3.3. ábra) a különböző felvételi hullámhossz-intervallumokban.

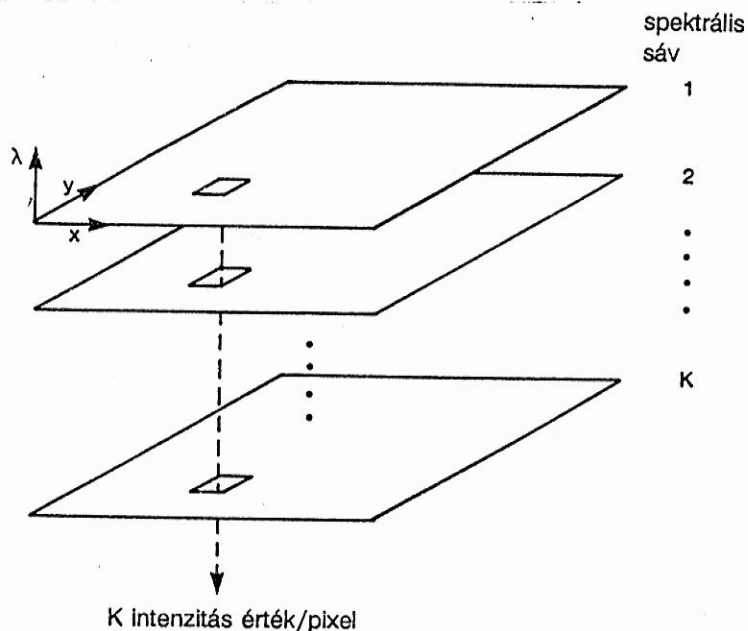


3.3. ábra: A különböző pásztázó-felvevők elve

A régebbi pásztázókban forgó tükör biztosította az elemi földdarabokról, a földi pixelekről beérkező sugarak továbbítását. A korszerűbb megoldás során egyidőben érkezik a félvezető detektorsorra egy földfelszíni csík minden földi pixeljéből az energia. E technikát alkalmazva sikerült a SPOT műhold esetén lecsökkenteni a felvett elemi terület, a földi pixel sugarát. A digitálisan készült felvételt tehát a földfelszín szabályos négyzet (téglalap) rácshoz rendelt számokból alkotott, vagy vektorok sorozatának kell felfogni (3.4. ábra). A többsávós digitális felvétel tehát egy olyan (kép)mátrixnak fogható fel, amelynek pixeljei (elemi képpontjai) azonos dimenziójú egész vektorok. A vektorok közös dimenziószáma a felvételnél



használt sávok számával egyezik. Ezeknek a számoknak, (vektoroknak) jelentését mutatja be a 3.2. alfejezet.



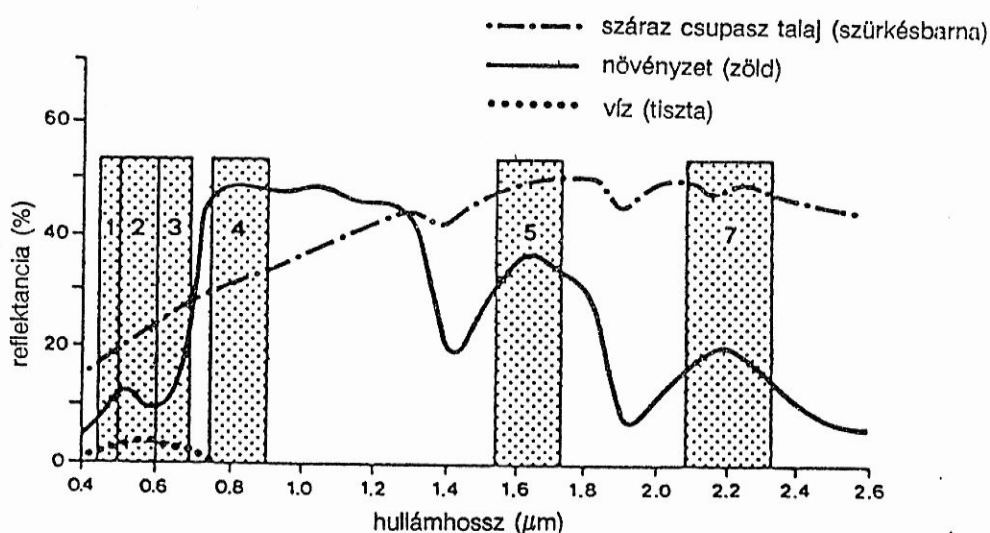
3.4. ábra: A többsávós digitális űrfelvétel három koordinátája:  $x, y$  helykoordináták, a harmadik az egyes felvételi sávokban mért sugárzás intenzitás-értéke

A digitális felvételek jól, minőségromlás nélkül tárolhatók, archiválhatók, adatátviteli csatornán továbbíthatók. A műholdak által készített felvételeket azonos időben, rádiócsatornán a földi vevőállomásokra juttatják, ahol rögzítésre kerülnek. Ugyanúgy átvihetők az adatok a földi vevőállomás és a felhasználó között. A digitális felvételek az elektromágneses spektrum szélesebb tartományát és több felvételi sávot hasznosíthatnak, mint a fényképező rendszerek. Az adatok numerikusan és vizuálisan is kiértékelhetők. A digitális felvételek jól feldolgozhatók számítógéppel, a feldolgozási módszerek fizikailag, matematikailag megalapozottak, a kiértékelés szubjektivitása kicsi.

### 3.2. Többsávós digitális felvételek készítése az optikai sávban

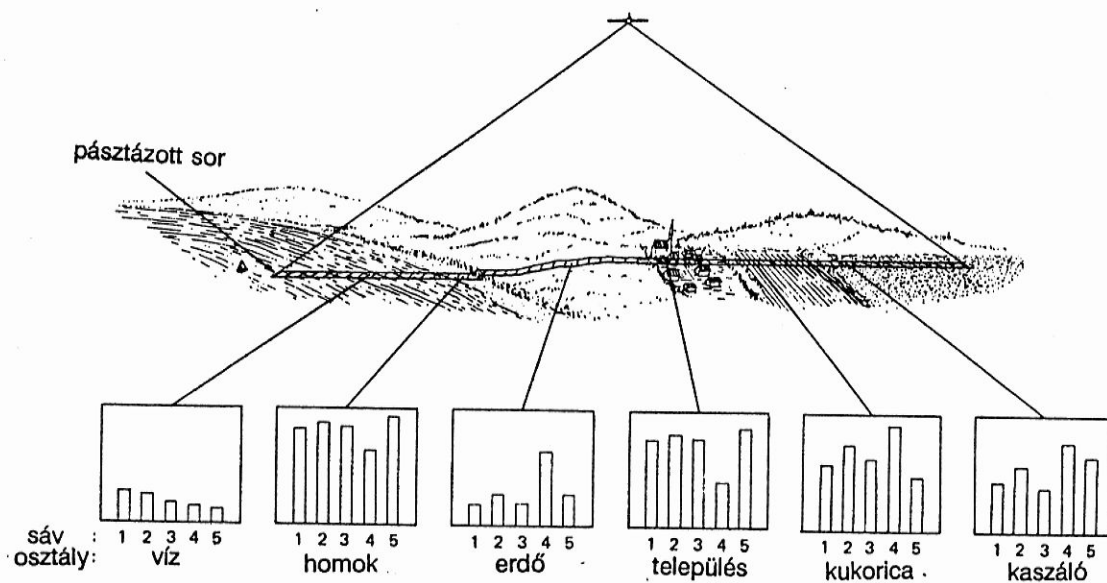
Függetlenül a többsávós optikai sávú digitális felvételező típusától, a felvételkészítés vázlatosan az alábbi módon történik. A 3.3. ábrán látható módon a haladási irányra merőleges földfelszín egy csíkjának elemi felszíndarabjairól (Landsat MSS-nél az  $\text{IFOV} = 0,09$  mrad) beérkező elektromágneses sugárzást gyűjti össze a felvevő teljes látószögén ( $\text{FOV} \approx 12^\circ$  Landsat MSS-nél) belül.

A felvevő detektorrendszerére eső elektromágneses sugárzás a sugárforrás kibocsátott energiaeloszlásának (pl. a Nap, lásd a 2.4. ábrát) és az éppen felvételezésre kerülő elemi földfelszíndarabon levő anyag/borítás spektrális reflektanciájának megfelelő energiájú lesz az egyes felvételi sávokban. (Vigyázat, a 3.4. ábrán csak a visszaverési arány van feltüntetve. Az elemi mérés (IFOV) alatt észlelt energiák a  $\Delta E(\lambda_1, \lambda_2) = R(\lambda_1, \lambda_2) * E_{\text{Nap}}(\lambda_1, \lambda_2)$  mennyiségtől függnének. A beeső energiameennyiségek az egyes sávokban tehát a 3.5. ábrán láthatóhoz hasonlóan viszonyulnak egymáshoz. Tehát a csupasz talajfelszínről kapott értékek a TM1, TM2, TM3 sávokban felülmúlják a más pixeleken levő, a növényzethez tartozó értékeket, majd a TM4-es sávban ezt a viszonyt változtatja meg a növényzet nagy spektrális reflektanciája a közeli infravörös sávban stb.



3.5. ábra: A fő felszínborítások spektrális visszaverése és a Landsat TM felvételi sávjai (itt nincs feltüntetve a 6. sáv, 10,4-12,5  $\mu\text{m}$ )

Ha tehát a felszínborításokat nagyon jól jellemző teljes spektrális visszaverődést nézzük, a felvevő ezt a függvényt mintavételezi a felvételi sávoknak megfelelő hullámhossz-intervallumokban. Így tehát minden egyes földi pixelről annyi, a felvételi hullámsávokban beeső energiaértékekkel arányos számérték áll rendelkezésre (3.6. ábra), ahány sávos a felvevő (lásd 3.1. táblázatot).



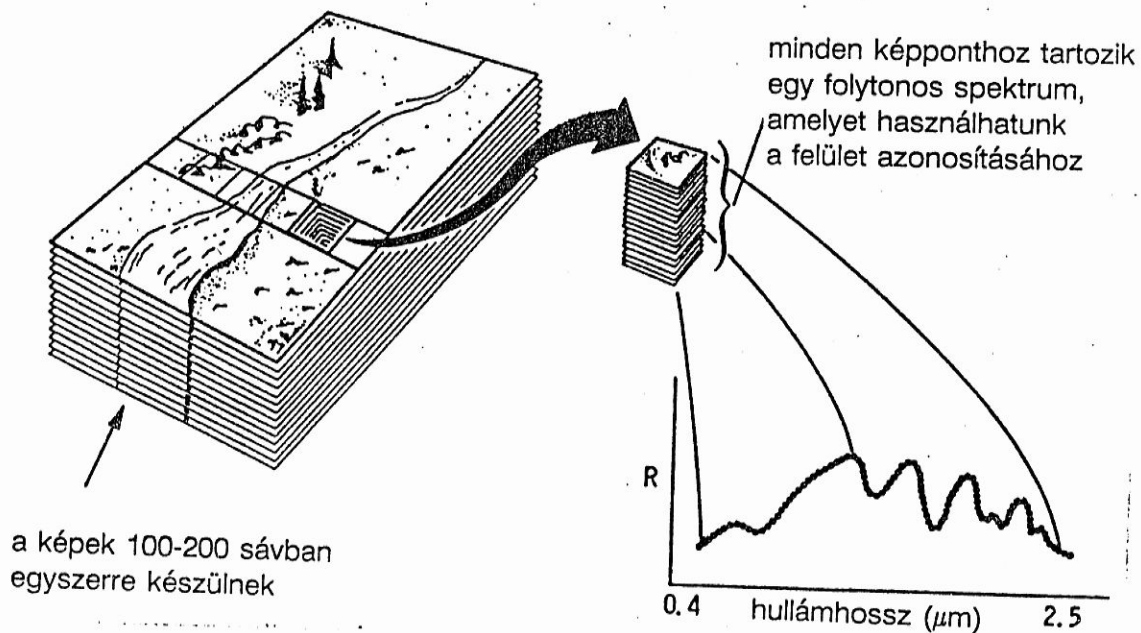
3.6. ábra: A többsávos felvevő által rögzített vektorok minden földi pixelre különbözők a felszínborítástól függően

Tulajdonság	Landsat MSS	Landsat TM	NOAA/ AVHRR	SPOT
Térbeli felbontás	80 m 0,5 ha	30 m 0,1 ha	1100 m 120 ha	20/10 m 0,04/0,01 ha
Spektrális felbontás	4 sáv	7 sáv	5 sáv	3/1 sáv
A növényzet felmérésére használható sávok	2 sáv	4 sáv (a növény- felmérésre optimális)	3 sáv	2/1 sáv
Radiometriai felbontás (kvantálási szintek)	64	256	1024	256
A felvett földterület szélessége	185 km	185 km	2700 km	60-80 km
Ábrázolt terület	34.000 km <sup>2</sup>	34.000 km <sup>2</sup>	2.000.000 km <sup>2</sup>	3600-4800 km <sup>2</sup>

3.1. táblázat: Összefoglaló táblázat a legfontosabb műholdas felvevők paramétereiről

### 3.3. Sokcsatornás képalkotó spektrométerek

A többcsatornás műholdas vagy légi felvevők a földfelszíni elemek spektrális elektromágneses energia visszaverését csak felvételi csatornánként integráltan, és mintavételezve képesek rögzíteni. A különböző felszíni elemek megfelelően pontos azonosítását úgy gondolták elérni a kutatók, hogy a spektrális mintavételezést olyan finommá teszik, hogy az már gyakorlatilag folytonosnak mondható, azaz a látható - közepes infravörös - ( $0,4-2,5 \mu\text{m}$ ) tartományt 100-500 egyforma széles csatornára bontják (10-20 nm hullámhosszú intervallumonként, ld. 3.7. ábra). A várakozás az volt - főleg a geológiai alkalmazásokban -, hogy ez a majdnem folytonos spektrum a vegyelemzés pontosságával meg tudja határozni a felszíni elem anyagösszetételét. A növényeknél stressz hatására megfigyelt, ún. kék felé tolódás, - ami a növények spektrális visszaverésének vörös-infravörös átmenetnél tapasztalt hirtelen felugrás (ld. 2.9.a. ábra) balra tolódása - kimutathatósága ugyancsak jelentős előrelépés a létező felvevőkhöz képest.



3.7. ábra: A sokcsatornás képalkotó radiométerek 100-500 felvételt készítenek egyidejűleg a földfelszínről, keskeny sávokban. Ezzel a spektrális visszaverés nagyon finom mintavételezése válik lehetségessé

Ennek az az ára, hogy a felvételen persze 100-500 (!) sáv képpontjaival kell megbirkózni. Éppen ezért e felvételi technológiánál rögtön megjelentek a "kritikus hullámhossz környékének megfigyeléseinek" és egyéb módszereken alapuló adat-csökkentési (sávcsökkentés) eljárások. Ilyen felvevők az AIS-1, AIS-2 (légi képalkotó spektrométer), és ennek újabb változatai a HIRIS, AVIRIS, PIDAS. Az 1990-es évek közepén felbocsátandó NASA EOS (Earth

Observing System - Föld Megfigyelő Rendszer), egy ezeknél némileg kisebb felbontású felvevő (MODIS), és a HIRIS fogja a következő évtized földfelszín megfigyelését meghatározni.

### 3.4. A mikrohullámú távérzékelés elemei

A mikrohullámú felvevők az 1 mm - 1 m hullámhossztartományt hasznosítják, tehát az optikai sávban használt legnagyobb hullámhosszaknak is 100-szorosa a legkisebb hullámhossz (1 mm) a mikrohullámú tartományban. Az optikai és a mikrohullámú sávbeli távérzékelés között van néhány alapvető eltérés.

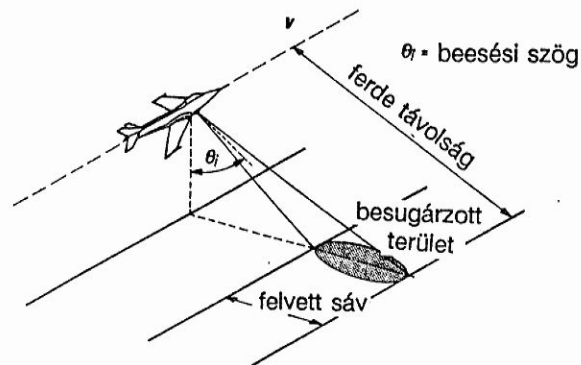
1. A mikrohullám áthatol a légkörön, gyakorlatilag minden állapotában, akár könnyű esőn, ha van, felhőn, füstön, ködön, és a földfelszínt a Nap állásszögétől függetlenül érzékeli.
2. A mikrohullám sokkal érzékenyebb a földfelszíni borítások geometriai, szerkezeti felépítésére mind makro méretben (domborzat, meredekség), mind kicsiben (talaj érdesség, növényi komponensek, ágak, szárazak, levelek mérete, alakja).
3. A víz jelenlétét nagy dinamikával érzékeli.
4. A hullámhossztól függően be tud hatolni némileg a földfelszín alá is.

Kétféle mikrohullámú rendszert ismerünk:

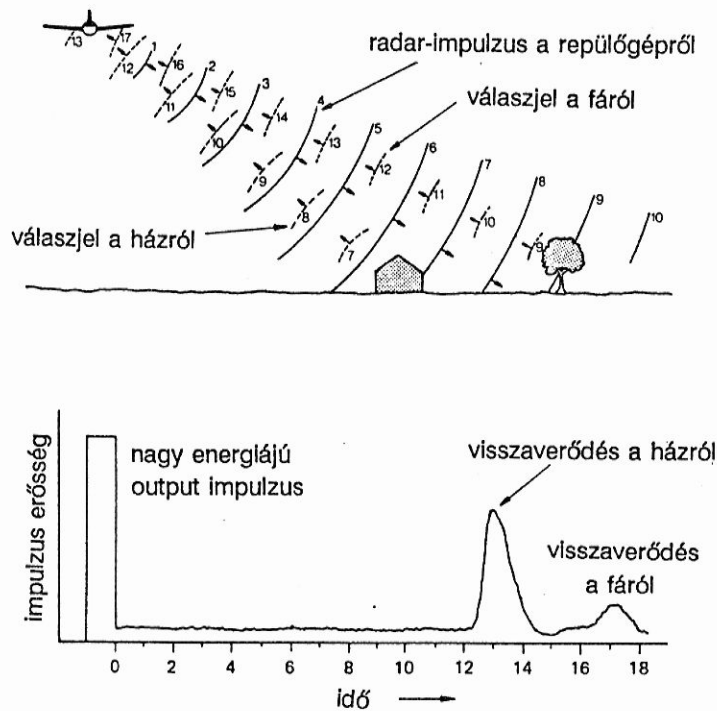
- a) aktív rendszert (radar), ahol a felvételező rendszernek saját energiakibocsátó egysége működik, és a
- b) passzív rendszereket (radiométeres mérőrendszerek), amelyek a földfelszín saját elektromágneses energiakibocsátását mérik.

Az aktív rendszerek (Radar - Radio Detection And Ranging - elektromágneses hullámmal történő kimutatás és távolságmérés) felvételezésének alapelvét mutatja a 3.8. ábra egy oldalra néző légifelvevőnél (SLAR - side looking airborne radar), és a hullámterjedés és visszaverődés megjelenését a felvevőben a 3.9. ábra. Gyakran használják a szintetikus aperturájú radarokat (SAR) főleg képet alkotó űrfelvévőkön. A radar felvevőknél nemcsak a használt frekvencia (hullámhossz), a visszavert sugárzás fáziskésése (távolságtól függ), hanem az elektromágneses hullámok polarizációja is fontos tényező. A hullámforrást és a felvevőt különbözőképpen

polarizálhatják, eszerint HH, VV, HV, VH (H: vízszintes, V: függőleges) felvételezésről beszélhetünk.



3.8. ábra: Az oldalra néző radarfelvétel (SLAR) készítésének elve

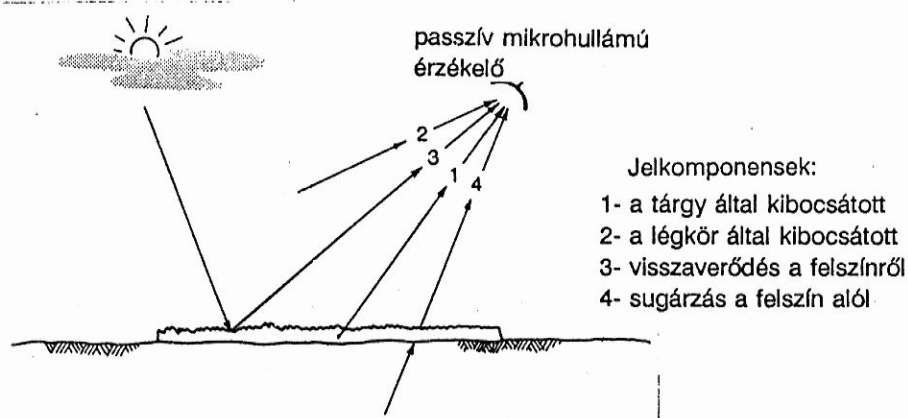


3.9. ábra: A radar-impulzus terjedésének szemléltetése a hullámfrontokkal (1-17), és a visszatérő hullámok impulzusa

A hullámok visszaverődése a felszíni domborzattól, a borítás érdekességétől és a víztartalomtól függ leginkább. Sima felszín esetén nincs (kicsi) a visszaérkező jel - tükrösen viselkedik a felszíndarab. A durvább felszín minden irányba szórja vissza a hullámokat. A víztartalommal növekszik a visszaszórás, az ún. dielektromos állandótól függ. A radar rendszerek gyakran használt hullámhossz (frekvencia) sávjainak külön neve van: Ka, K, Kn, X, C, S, L, P sávokról beszélnek. A radar rendszerek használatának technológiája rendkívül dinamikusan fejlődik.



A passzív rendszerek (3.10. ábra), a radiométerek a földfelszín többféle sugárzását együtt érzékelik. Az érzékelt mikrohullámú sugárzás mértékét nemcsak a felszín hőmérsékletétől, hanem a felszíndarab emissziós tényezőjétől, visszaverési és átengedési tulajdonságaitól is függ. Ezeket a felszín elektromos, kémiai, texturális tulajdonságai és a felvétel szöge is befolyásolja, éppen ezért olyan zajos a mérés, és bonyolult a jelek értelmezése. Leginkább a felszín alatti talajkülönbségeket, a talajnedvességet és az ásványi anyag tartalmat tanulmányozzák a mikrohullámú radiométerekkel. Az adatgyűjtés gyakran földön vagy repülőgépről történik, de jelentős passzív mikrohullámú űrfellevő rendszerek is működnek (pl. Nimbus, GOES).



3.10. ábra: A passzív mikrohullámú radiométer által rögzített sugárzás összetevői

### 3.5. Erőforráskutató műholdas rendszerek

Ebben a részben három műholdas adatgyűjtő rendszerről adunk rövid áttekintő képet. Ezek mellett sok különböző célú rendszer üzemel, amelyek néhány főbb csoportját, képviselőjét megemlítjük.

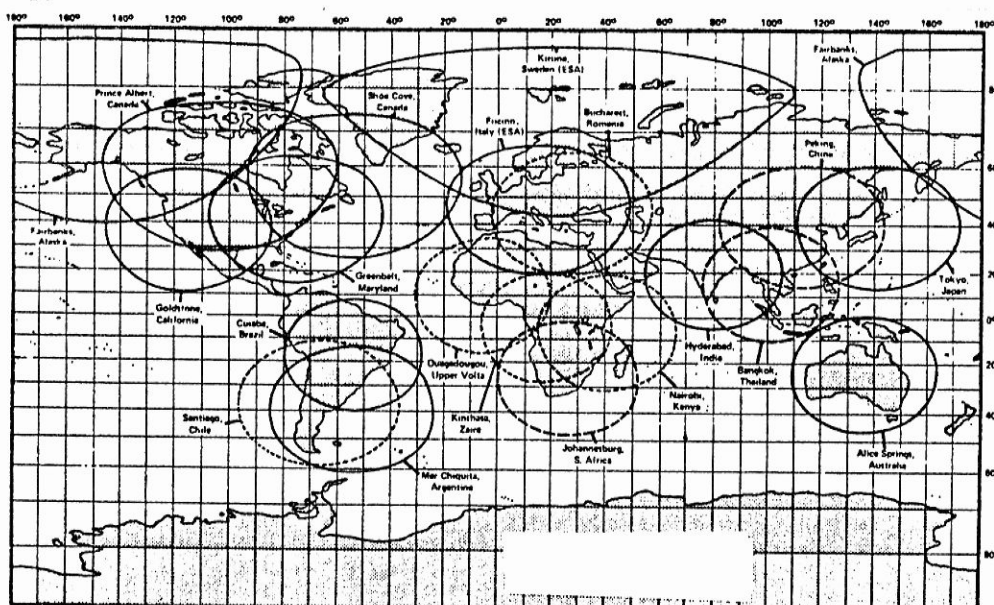
A meteorológiai műholdak geostacionárius pályán az egyenlítő fölött a Föld forgásával szinkron pályán, kb. 36000 km magasságban keringenek. A rendszer elemei az amerikai GOES, az európai METEOSAT, és a japán GMS.

A METEOSAT analóg formájú képeit az Országos Meteorológiai Szolgálatnál (OMSZ) is veszik, fél óránként egy-egy újabb képet. Hasonlóképpen meteorológiai céllal kerültek felbocsátásra az USA NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) által üzemeltetett TIROS műholdak, AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) finom radiometriai felbontású leképezőt hordozó rendszerei, melynek paramétereit alább még részletezzük.

Az első óceánkutatóra tervezett műhold a SEASAT. Ennek fedélzetén a legfontosabb mérőműszer egy radar képalkotó rendszer volt. Szintén elsősorban óceánkutatóra használják a MOS (Marine Observation Satellite) japán műholdat, de meteorológiai észleléseket is végeznek vele.

### A Landsat rendszer

A Landsat műhold rendszer (USA) első holdját 1972-ben lötték fel, akkor még ERTS (Earth Resources Technology Satellite) néven. Eddig 5 műholdat állítottak pályára, a következő, 6.-at 1992 júniusára tervezik felbocsátani. Jelenleg a 4. és az 5. üzemel. A mintegy 16 földi vevőállomással kapható képek lefedik a szárazföld zömét (3.11. ábra). Az európai vevőállomások és elsődleges adatfeldolgozó központok Fucinóban (Olaszország) és Kirunában (Svédország) vannak.



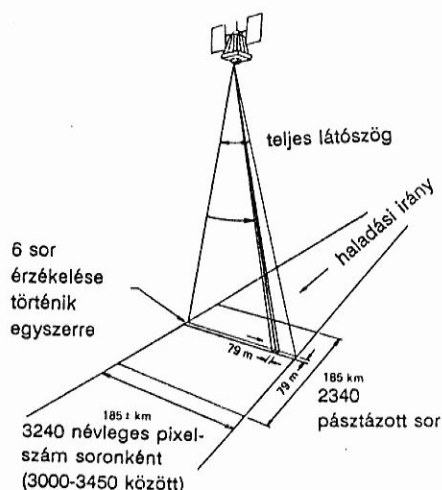
3.11. ábra: Működő és tervezett Landsat földi vevőállomások és vételi körzetek

A műhold napszinkron pályán mozog kb. 900 (700) km magasságban, és egy 185 km-es sávot pásztáz le (3.12. ábra) az útja mentén. A műhold 18 naponként ér ugyanazon földfelszíndarab fölé. Két műhold egyidejű üzemeltetésével a felvételi készítmények száma duplázzható (9 naponként). A felvételi készítmény pályarendszere (3.13. ábra) pontosan rögzített.

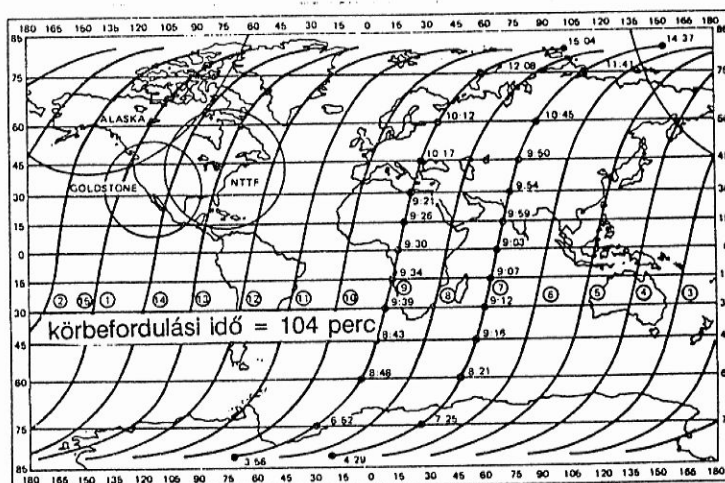
Az első három műholdon volt egy háromsávú RBV (Return Beam Vidicon) rendszer és egy négy sávú MSS (multispectral scanner) pásztázó rendszer. Az RBV rendszer három kamerája 185 x 185 km-es térségről készített képet, az első holdon még 80 méteres, a harmadikon már 30 méteres földfelszíni



felbontással, két látható és egy infravörös sávban. Az első RBV rövid ideig működött, a másodikat (ami 4 sávos volt) pedig főleg mérnöki kiértékelési célokra használták. A Landsat műholdakon az elsőtől az ötödikig az MSS, újabban, a Landsat 4-től, a TM pásztázók lettek a fő adatszolgáltatók.



3.12. ábra: Landsat MSS pásztázó felvételi geometriája



3.13. ábra: A Landsat műhold rögzített felvételi hálózata

Az MSS felvételező rendszer a kutatás és alkalmazás számára máig is használható adatokat szolgáltat. Az MSS négy spektrális sávban méri a visszavert sugárzást, két látható és két közeli infravörös sávban. A terepi felbontás jellemzésére: egy képpontnak egy 60 x 80 méteres földi terület felel meg. A sávok: két látható sáv: 0,5-0,6 (zöld), 0,6-0,7 (vörös), két közeli infravörös sáv: 0,7-0,8 és 0,8-1,1  $\mu\text{m}$ -ig. A harmadik műholdon az MSS-t kibővítették egy termális sávval (10,4-12,6  $\mu\text{m}$ ), amely azonban technikai problémák miatt igen rövid ideig működött.

A Landsat-4 és -5 műhold, az MSS mellett már egy jelentősen továbbfejlesztett többsávos pásztázót, a TM (Thematic Mapper) nevű berendezést is üzemeltet. Ennél egy képpontnak 30 x 30 méteres földi terület felel meg, és hét spektrális sávban készít egyszerre felvételt, a 6. a termális sáv, durvább geometriai felbontású a többinél, ennél kb. 120 x 120 méternek felel meg egy képpont. Egy sáv egy képpontja a 0-255 egész számintervallumban vehet fel értéket. Ez az MSS-nél 0-64 volt.

Mivel a TM mind a kutatás, mind az operatív alkalmazás számára kiemelkedő jelentőségű, így az egyes sávokat az alábbiakban röviden jellemezzük.

1. sáv: 0,45-0,52  $\mu\text{m}$ :

Úgy tervezték, hogy víztestek felszíni részeibe legyen nagyobb betekintés,

továbbá a földhasználat analízist, és a talaj, vegetáció térképezést segítse.

2. sáv: 0,52-0,60  $\mu\text{m}$ :

Elsődlegesen a vegetáció átlagos reflektancia görbéjén mutatkozó, a látható zöld sávban lévő, a reflektancia görbe két klorofill elnyelési pontja közötti csúcsának a megfigyelését szolgálja.

3. sáv: 0,63-0,69  $\mu\text{m}$ :

A legfontosabb sáv a vegetáció elkülönítésére. Alkalmas mind a vegetáció elkülönítésére, mind a vegetáción belüli különbségek jellemzésére.

4. sáv: 0,76-0,90  $\mu\text{m}$ :

A képen látható biomasza mennyiségének a kimutatásában használható, ugyanakkor segítséget ad a növényzet azonosításában, és kihangsúlyozza a növényzet-talaj és a föld-víz kontrasztokat.

5. sáv: 1,55-1,75  $\mu\text{m}$ :

Fontos a növényzet típus meghatározásában, a növényzet víztartalmának és a talaj nedvességtartalmának kimutatásában.

6. sáv: 10,40-12,5  $\mu\text{m}$ :

A termális infravörös sáv fontos a vegetáció osztályozásában és stressz analízisében, a különböző nedvességtartalmú talajok elkülönítésében, és alapja az egyéb termális vonatkozású jellemzők vizsgálatának.

7. sáv: 2,08-2,35  $\mu\text{m}$ :

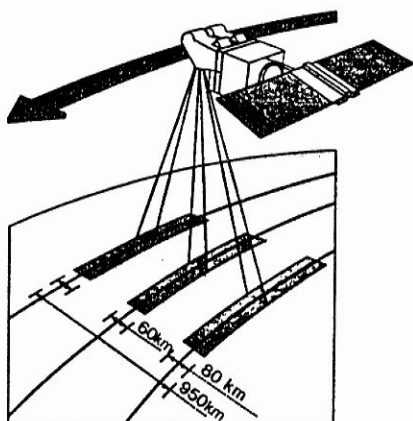
Ez a sáv a különböző kőzet formációk elkülönítésében játszik elsődleges szerepet.

A Landsat jövőbeli terveit illetően, a következő, 6. műhold a TM-nek megfelelő berendezést fog hordozni, kiegészítve egy kb. 15 méter felbontású pánkromatikus sávval, és az MSS pótlására a TM adataiból leszármaztatott adatokat terveznek továbbítani a felhasználók felé.

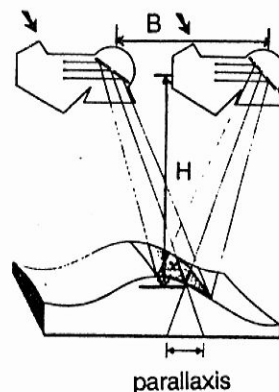
#### A SPOT műholdak

Az első francia műholdat 1986-ban bocsátották fel, SPOT-1 néven (3.14. ábra). Alkalmazási körnek ugyanazt célozta meg, mint a Landsat műholdak, a térképezés geometriai pontosságának fokozása mellett. Spektrális felbontása: 3 keskeny sáv: két látható, és egy közeli infravörös sáv 20x20 méteres

képpontmérettel, továbbá egy pánkromatikus sáv 10x10 méteres képpontmérettel. Különlegessége az oldalra tekintési képesség, amivel sztereo képpárok készíthetők (3.15. ábra). Főleg a térképészet az alkalmazási területe, de a földtani és regionális tervezési, mezőgazdasági vizsgálatokban is fontos szerepe van.



3.14. ábra: A SPOT műhold felvételi geometriája (oldalra tekintés)



3.15. ábra: A SPOT felvételek sztereo kiértékelésre is alkalmasak

#### NOAA/TIROS meteorológiai és vegetáció monitorozó rendszer

Közel poláris, nap-szinkron pályán mozognak 1450 km magasságban. A Landsathoz képest nagyobb magasságuk következtében nagyobb területet tudnak egyszerre áttekinteni, napi kétszeri képvétellel, viszont jóval gyengébb, kb. 1,1 km-es felbontással. Az AVHRR felvevő 5 csatornájának felvételi sávjai ( $\mu\text{m}$ -ben): 0,58-0,68, 0,725-1,0, 3,55-3,93, 10,3-11,3, 11,5-12,5. A digitális adatok mellett 4 km-es felbontással analóg képek is kaphatók a látható és az infravörös tartományban, ezen utóbbiakat az OMSZ-nál is veszik, ill. archiválják. Az utóbbi években a meteorológiai alkalmazás mellett megnőtt az AVHRR képek vegetáció vizsgálati jelentősége. A Landsat adatokra kidolgozott módszerek egy része átdolgozható AVHRR adatokra is, elsősorban a globális vegetáció monitorozás céljára. Jó eredményeket kaptak néhány növény hozambecslési modelljében is, AVHRR adatokat alkalmazva.

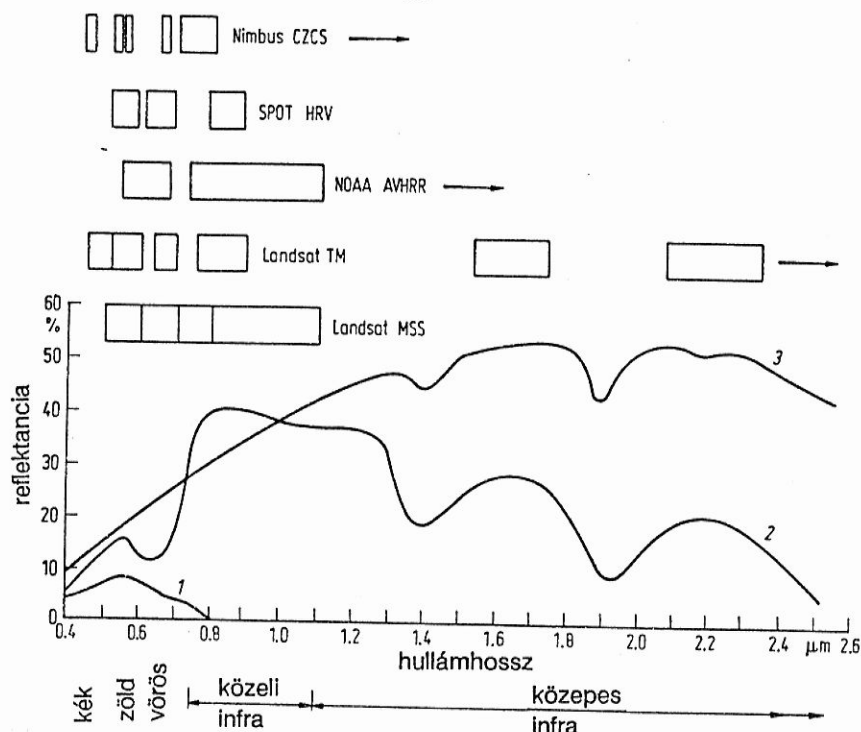
#### **3.6. A távérzékelési felvevő rendszerek fontosabb gyakorlati jellemzői**

Az előző alfejezetekben illusztrációképpen megismertünk néhány felvételezési típust és műholdas rendszert. Ezekre és a fényképező rendszerekre vonatkozó - egyéb forrásból szerzett - ismeretekre támaszkodva már összeállítható a jellemzőknek egy olyan készlete, amely a felvevő rendszerek értékelése, és egy-egy feladatban a használhatóságuk megítélését segítheti elő. Ezek a

jellemzők összefüggnek egymással, egyenkénti szabadon választásuknak fizikai és műszaki körülmények szabnak gátat. Ezek között nincs értelme egy általános fontossági sorrend felállításának, egy-egy adott feladat hatékony megoldása érdekében e jellemzőknek mind kedvezőnek kell lenni. Külön kiemelendő, hogy a felvételezés terepi, spektrális és időbeli felbontása egyformán fontos jellemzők, amelyeknek együttvéve jelent követelményt egy-egy feladat megoldása.

### 3.6.1. A felvételezésnél használt elektromágneses hullámsávok, a spektrális felbontás

A felvételi sávok száma, elhelyezkedésük, szélességük és az átfogott elektromágneses tartomány együtt az ún. spektrális felbontást jelentik, amely a felvételezés egyik legfontosabb jellemzője. A kvantitatív feladatmegoldás (ld. 4.3. alfejezetet) tudományos műszaki tervének elkészítésénél alapvető, hogy a vizsgált jelenség vagy folyamat spektrális tulajdonságait és a megfigyelésre alkalmas jellegzetes spektrális intervallumokat összevetjük az elérhető felvételek sávjaival. Ez a vizsgálat a felvevőeszköz kiválasztásának egyik döntő mozzanata.



3.16. ábra: A leggyakrabban használt műholdas felvevők felvételi sávjainak elhelyezkedése

A spektrális felbontás tehát a több, egyenként keskenyebb sávon érzékelő nagyobb hullámhossz-átfogású felvevőnél nagyobb. Ezért mondható, hogy a SPOT

multispektrális felvevőjének spektrális felbontása nem jobb a Landsat MSS-nél, és mindkettő határozottan elmarad a Landsat TM felvevőétől (3.16. ábra). A Landsat TM felvevő sávjait hosszas előkészítés után, elsősorban a növényzet monitoringjának támogatására alakították ki. Az újabban kifejlesztett és kísérleti alkalmazásba vont sokcsatornás felvevő rendszerek spektrális képességei (ld. 3.3. alfejezet) minden eddigi rendszerét felülmúlják.

### **3.6.2. A felvételek radiometriai tulajdonságai**

A felvevőkbe a földi pixelekről érkező sugárzások energiáját pontosan kell a digitális felvételek számértékeinek tükröznie. A pixel intenzitás értékeket érintő (radiometriai) tulajdonságoknak alapvető szerepe van a kiértékelésben. A felvevők egy-egy sávjában a beérkező elektromágneses sugárzás minimális és maximális értékei közötti intervallumot egyenlő részekre osztják (kvantálják). Így különböző intenzitás lépcsőjű digitális képet kapunk: a Landsat MSS felvevőnél 64, a Landsat TM és SPOT felvevőknél 256, a NOAA AVHRR felvevőnél 1024 intenzitásérték fordulhat elő. (Ezek számát a felvevő érzékelők zaja határozza meg az egyes hullámsávokban.) Ez a termális felvevőknél különösen fontos kérdés.

A másik fontos jellemző az, hogy milyen jellegű radiometriai hibák fordulnak elő, vagy jellegzetesek a felvevőre. A forgótükros felvevőnél (pl. Landsat MSS, TM) többször előfordul a sorok mentén csíkosság. A SPOT felvevőnél a detektorsor egyes elemeinek tökéletlen összekalibrálása okozhat repülés (oszlop) irányú csíkosságot.

### **3.6.3. Elemi földi pixelméret, terepi felbontás**

Fényképező rendszerekben és hagyományosan a fotogrammetriában a legfontosabb jellemzőnek a terepi felbontóképességet, a földfelszíni geometriai részletek ennél pontosabb leképezését, visszaadását tartották. A kialakult pánkromatikus vagy színes infravörös légifelvételeken bizonyos tematikát könnyen ki lehetett olvasni (interpretálni), tehát a probléma már csak a földfelszíni objektumok ennél pontosabb helymeghatározása volt. A tágabb elektromágneses spektrumot alkalmazó többcsatornás felvételeken a terepi felbontás kívánalma nem ilyen egyedülálló, bár fontos. A szükséges terepi felbontási igényt pedig a feladat szabja meg, leggyakrabban a vizsgált átlagos felszíni elemek és a földi pixel méretének aránya alapján. Egy országos haszonnövény monitoring rendszerben például értelmetlen és lehetetlen lenne 0,1-0,5 m földi pixelméretű adatrendszert kezelni.



Fordítva: a nyugat-európai országok 2-3 ha átlagos mezőgazdasági táblaméreteihez legalább a Landsat TM és SPOT felvételek felbontása volt szükséges.

A földi pixelméret csökkenése több terepi részletet eredményez, tehát a felbontás növekszik, és fordítva. Mégis vigyázni kell e két jellemző felcserélhetőségével a gyakorlatban. Bár a digitális felvételek elemi pixelén belül részleteket nem lehet elkülöníteni, még a 80 m földi pixelméretű Landsat MSS felvételen is látszanak 5-15 m széles lineáris alakzatok (pl. utak, patakok, vasút stb.). Ennek oka a környező borítások erősen eltérő visszaverése.

Egyes nagylátószögű (pl. NOAA AVHRR) vagy oldalra tekintő (pl. SPOT, SLAR-rendszerek) felvevők tényleges földi pixelmérete változhat a ránézés szögével: a nadírtól távolodva növekszik.

#### **3.6.4. A felvétel által lefedett földfelszíndarab mérete**

A felvételek nagyon különböznek a felszíni lefedésben. Egy-egy légifelvétel területi átfogása a néhány hektár - néhány száz hektár, míg az űrfelvételeké a 40.000-5.000.000 hektár nagyságrendjébe esik. A nagyobb terület előnye nyilvánvalóan a jobb áttekinthetőség, a területi összefüggések és térbeli folyamatok könnyebb megfigyelhetősége, felismerése. A műholdas rendszereknél nagyon fontos, hogy a felvételezés rögzített rend szerint egy hálózatban történik. Ilyen felvételi rendszere van például a Landsat és SPOT műholdaknak is (ld. 3.5. alfejezetet). A szigorú felvételi hálózatban a felvételek első és utolsó sora egy-egy pályán belül szabadon megválasztható, ami a vizsgált területek takarékosabb lefedését segíti elő. A szomszédos műholdpályán készített felvétel sorozati átfednek.

#### **3.6.5. A felvételek geometriai jósága**

A felvételeket különböző geometriai hibák terhelik. Ezek egy része előre ismert a felvevő tulajdonságai és a hordozó mozgása alapján: névleges hibák. A másik csoportba a felvevő és hordozó irreguláris, esetleges torzításai tartoznak. Ezek sokfélék, javításuk nehezebb. A felvevők geometriai kalibrációs adatai és a repülési adatok pontos rögzítése tehát alapvető. Különösen fontos ez a repülőgépre helyezett pásztázóknál. Ezeknél bonyolult hibajavító rendszerek csökkentik a navigációs adatok alapján a geometriai hibákat.

A műholdas rendszereknél általános, hogy a névleges hibákat a földi adatelosztó központok szolgáltatásként eltávolítják. A maradék irreguláris hibák a felvételek használhatóságát jelentősen befolyásolják.

### **3.6.6. Ismételhetőség, visszatérési idő, időbeli felbontás**

A távérzékelést leggyakrabban jelenségek, folyamatok időbeli nyomonkövetésére, monitorozásra használják. A folyamatoknak jellegzetes saját időrendszerük van. A haszonnövények növekedése néhány hónap - 1 év, a környezetszennyező anyag mozgása a percek - napok, az erózió az évek - tízévek, a növénybetegség néhány nap - hét időintervallumba esnek. A folyamatban általában többször kell felvételt készíteni, sőt gyakran fontos szerepe van az egyes fázisoknak, amikor feltétlenül fontos adattal rendelkezni. Ezért alapvető, hogy a felvételi rendszer milyen gyakran, milyen idő múlva tud ugyanarról a területről felvételt készíteni (ún. visszatérési idő). A megfigyelt folyamaton belül készíthető felvételek száma adja meg a felvételező rendszer időbeli felbontási képességét.

Összefüggés van az egyes jellemzők között. A NOAA AVHRR felvevő napi (2) felvétele egy földrésnyi területről csak úgy oldható meg, hogy csupán a képközépvonalon ad 1,1 km-es képpontokat, és attól távolodva nő a földi pixelméret. A Landsat rendszer ezzel szemben csak 6 naponként ad felvételt, 30 m-es pixelmérettel (TM). A névleges felvételezési gyakoriságot az optikai sávban csökkenti a felhősség és a pára.

### **3.6.7. Az adatokhoz való hozzáférés**

Az elkészült felvétel eljutása a felhasználóhoz különböző lehet, ami a gyors monitoring feladatokban kritikus. A sebességigény itt is a feladattól függ. A légifelvételeknél a felhasználóhoz jutás ideje 0,5-3 nap, a Landsat és SPOT műholdaknál az "adatkésés" átlagosan 14 nap (postaküldeményként), de ez 1-2 órára lecsökkenthető rádiócsatorna felhasználásával. A NOAA AVHRR adatok csaknem a felvételezéssel egyidőben állnak rendelkezésre.

Fontos jellemző az is, hogy ez az adathozzáférési idő mennyire változik vagy stabil. Jelentős tényező a felvétel ára. Ezt általában fajlagosan, 1 ha-ra vetítve adják meg. A Landsat TM felvétel 0,07 Ft/ha, SPOT többsávós felvétel 0,65 Ft/ha, a légi felvétel 4-10 Ft/ha. Az eredeti nyers felvétel ára azonban önmagában keveset fejez ki, **a felhasználó számára szükséges információ árának az információ felhasználásával szerzett haszonhoz mért aránya az igazán fontos.**



### 3.6.8. Az információkivonás, a feldolgozás nehézségei, költségei

A távérzékelt felvételek megfelelő kiértékelése általában bonyolult, szakértelmet és speciális feldolgozó eszközöket is igényel. A gyakorlatban a fotogrammetriai, vizuális és számítógépekkel segített interpretációt és a digitális képelemzést használják a felvételek kiértékelésére, az információ kivonásra. Mindkét kiértékelési módszer esetén igaz, hogy a felhasznált feldolgozó rendszerek több eltérő távérzékelt adatfajta is képesek feldolgozni. Az információkivonás nehézségei főleg a kvantitatív feladatmegoldásnál elengedhetetlen tudományos igényű modell elkészítésében, valamint a feldolgozandó adatok mennyiségében rejlenek.

#### 4. A TÁVÉRZÉKELT FELVÉTELEK KIÉRTÉKELÉSE

A távérzékelésen alapuló feladatmegoldásban az adatnyerés után a felvételek kiértékelése következik. A feldolgozás folyamata nem annyira zárt és szabványosított, mint a felvételkedészítésé: nagy szerepe van a kiértékelést végzőknek és a felhasznált kiértékelő rendszereknek. Az adatok feldolgozásának jelentős része alkalmazás-független, ezeket a lépéseket hasonlóan kell végrehajtani az eltérő feladatokban.

A feldolgozásban - ellentétben a felvételezéssel - elsősorban nem a műszeres, mennyiségi kérdések a döntőek, hanem a felhasznált módszer tudományos megalapozottsága, relevanciája, a kiértékelés valódi kvantitatív jellege. A műszeres mennyiségi szempontok csak ezek után következnek.

Támaszkodva a Fotogrammetriában szerzett ismeretekre, ebben és a két következő fejezetben főleg a felvételek kvantitatív digitális feldolgozását tekintjük át.

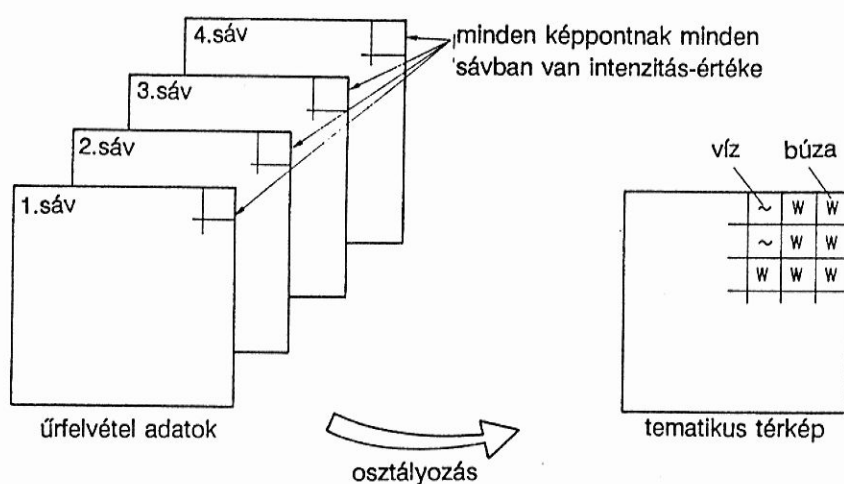
##### 4.1. A távérzékelte felvételek kiértékelésének célja, követelmények

A távérzékelte felvételek kiértékelésének célja az, hogy a szükséges többsávos, több időpontban készített, több adatforrásból származó felvételek segítségével a földfelszíni objektumok, felszínborítási elemek minél több állapothatározóját pontosan, megbízhatóan becsüljük, és a keresett célkategóriák tematikus térképét elkészítsük.

Ezek a célkategóriák minden feladatban mások. A haszonnövények területi felmérésében, térképezésében a területen található különböző haszonnövények (búza, rozs, kukorica, cukorrépa stb.), talajtérképezésnél az egyes talajtípusok, belvízfelmérésnél a nyílt belvízfoltok és az erősen vizenyős területek, növénybetegség felmérésénél a különböző károsodási fokozatban levő növényfoltok, területek, a különböző mértékű környezetszennyezés által sújtott területek, felvételi idősor alapján a különbözőképpen fejlődő növények kategóriái stb. Technikailag tehát a rendelkezésre álló távérzékelési adatrendszer minden elemi egységét (pixeljét) a célkategóriák egyikébe kell sorolni (4.1. ábra) úgy, hogy ez a lehető legkisebb hibájú legyen.

Az eredményül kapott tematikus térképpel és a felvétel-kiértékeléssel kapcsolatban az adott feladat elvárásain túl általános követelmények is megfogalmazhatók. Ezek közül a legfontosabbak az alábbiak:

- Az eredmény geometriai pontossága megfelelő, a pontosság garantált és empirikusan igazolt legyen.
- Az eredmény tematikusan pontos legyen az adott földi pixelméret által megengedett kategóriákban, **a pontosságot pixel szinten** empirikusan kell felmérni.
- Az alkalmazott kiértékelési eljárásnak a környezeti paraméterektől való függése ismert legyen, tehát a feladatot más területen, időpontban megismételve hasonlóan pontos eredményt kapjunk: a kiértékelési módszer megbízható, kiterjeszthető legyen.
- A tematikus térképhez kapcsolt numerikus (statisztikai) adatok pontosak, megbízhatók legyenek.
- Az információkivonási eljárás a feladat sajátos időskálájához képest megfelelően gyors, gazdaságos, objektív és ismételhető legyen.



4.1. ábra: A felvételkiértékelés célja: minden pixel (képelem) tematikájának, kategóriájának meghatározása

#### 4.2. A távérzékelésben használt kiértékelési alapszerek vázlatos összehasonlítása

A távérzékelte adatok kiértékelésének két alapszere ismeretes: a vizuális értelmezés (interpretáció) és a digitális képfeldolgozás. Mindkét kiértékelési módszernek vannak előnyei, hátrányai és fordítva, leggyakrabban a mindkét módszerből vett elemekből felépített hibrid, komplex eljárást alkalmaznak. Ezeket az előnyöket és korlátokat pontosan ismerve lehet a megfelelő kiértékelő eljárást felépíteni.

A felvételek szemmel történő értelmezését (az ún. vizuális interpretációt) elterjedten használják. Lényege az, hogy a felvételen látható színárnyalatokból, tónuskülönbségekből, a felvétel szabályos "szövetéből,

a texturából, a geometriai, a vonalas szerkezetek és foltok összefüggéseiből a földfelszínre vonatkozó következtetéseket vonhassunk le. Az eljárás során a gyakorlott kiértékelő több, nem a felvételtől kivont, kapcsolódó ismeretet használhat fel, ami a módszert nagyon hatékonyá, eredményessé teheti. Hasonlóan: felkészültség, tapasztalat hiányában nagy az esélye a rossz értelmezésnek. A döntő tehát a kiértékelő személy szaktudásának, tapasztalatának kritikus alkalmazása!

A vizuális interpretáció az emberi szem - agy rendszert használja az azonosításnál, míg a digitális eljárás a számítógépek megbízható pontosságát és teljesítményét, valamint a szaktudásnak a számítógépi programokba öntött, nagymértékben objektivált formáját. E kiértékelési alapszerek erősségei a 4.1. táblázatban láthatók. A táblázat világosan mutatja, hogy hibrid eljárások szükségesek a felvételek kiértékelésében. Az egyre inkább uralkodó gyakorlatban a több időpont, képsáv, felvevő és egyéb, nem távérzékelési adatok együttes kiértékelésében a vizuális interpretációval megerősített digitális eljárás a megfelelő.

Feladat	Vizuális interpretáció (szem+agy rendszer)	Számítógépes kiértékelő rendszer
Geometriai összefüggések, struktúrák felismerése	kitűnő	gyenge
Textura felismerése, azonosítása	jó	gyenge
Textura mérése	gyenge	kitűnő
Tónusok elkülönítése	közepes	kitűnő
Megbízhatóság, objektivitás, reprodukálhatóság	közepes	jó
Feldolgozási sebesség	gyenge	kitűnő
Bonyolult szakértelem, egyéb ismeretek alkalmazása	jó	közepes
Több adatforrás vagy időpont együttes kiértékelése	gyenge	kitűnő

4.1. táblázat: A vizuális interpretáció és a számítógépes kiértékelés összehasonlítása néhány alapfeladatban

#### 4.3. A kvantitatív kiértékelési módszerről

A kvantitatív feladatmegoldási és felvételkiértékelési módszer nem csupán

azt jelenti, hogy a felvételekkel a földfelszín kvalitatív leírásán kívánunk túllépni. Annál is többet jelent, hogy számszerű adatokat is kívánunk a kiértékelés végeredményéül. Azt jelenti, hogy a kiértékelés a távérzékelés és a kimutatni kívánt céladatok, azaz a földfelszíni objektumok állapothatározóinak kategóriái (pl. sávonkénti sugárzás és levélfelületi index, vagy mikrohullámú sugárzás és talajnedvesség stb.) közötti fizikai kapcsolat felderítésén alapuló eljárás legyen. Csak így remélhető, hogy a feladatmegoldásban használt módszerek más esetben is operatíván alkalmazhatók lesznek. A kvantitatív feladatmegoldás tehát egyforma igény a vizuális és a digitális kiértékeléssel szemben.

A kvantitatív feladatmegoldás leglényegesebb jellemzője a tudományos megalapozottság. Az egész folyamatnak szaktudományos modellek alapján jól megtervezettnek kell lennie.

A kvantitatív távérzékelési feladat megoldása több fő lépésből, elkülöníthető szakaszból áll. Egyesek elmaradása esetén a teljes megoldás eredménytelen lesz.

A teljes feladatmegoldás fő fázisai:

- a) a célkitűzés pontos megfogalmazása;
- b) modellek létrehozása a távérzékeléssel nyerhető mennyiségek és más mennyiségek tárolására, összefüggésére, a megfigyelt jelenségre, folyamatokra, valamint a mérés- és információ-feldolgozásra vonatkozólag;
- c) a felvétel beszerzés, adatgyűjtés és feldolgozás műszaki, gazdasági megtervezése;
- d) felvételezés, terepi adatgyűjtés (ez időben többször ismétlődik);
- e) a felvételek, egyéb adatok értelmezése, kiértékelése (és ellenőrzése);
- f) célinformáció nyerése az adatrendszerből és - sűrített formájú - átadása a felhasználónak.

Tipikus hiba, hogy gyakran elhanyagolják az első három tevékenység megfelelően alapos elvégzését (célkitűzés - adatgyűjtési terv). A célkitűzés ilyenkor nem átgondolt, részletes, gyakran csupán jól hangzó és globális. A modellezés implicit, primitív, és a fázisok kifejtése nem történik meg. Ezekben az esetekben az erőfeszítések az ismeretlen relevanciájú adatrendszer begyűjtésében, összeállításában csúcsosodnak ki. Így semmi sem biztosítja, hogy a kívánt célinformációt végül valóban megkapjuk. Kijelenthető, hogy az első három szakasz szellemi ráfordítása kritikus.

Általában a tevékenységeket nem egymás után, lineárisan kell elvégezni, hanem többszörös iterációval, fokozatos módosításokkal.

### A cél kitűzése

Bár elkerülhetetlen, hogy a cél kitűzésénél előre, nagyvonalúan tekintetbe vegyünk a megvalósíthatóságot is, a "mit" kérdést a "hogyan"-tól lehetőleg el kell választani. Szükséges, hogy a célkitűzés megfelelően egyszerű, pontos, általánosítható legyen más területre, időszakra, tartalmazzon pontos határfeltételeket, a legkorszerűbb nemzetközi és hazai eredmények figyelembevételével készüljön.

### A modellek kialakítása

Egyszerű tagolással három fő modellt kell kialakítani:

- M1. tudományos modell a jelenségek leírására,
- M2. a szükséges adatok gyűjtésének rendszermodellje,
- M3. az adatok értelmezésének, kiértékelésének, az információ-nyerésnek modellje.

A tudományos modellnek (M1) kvantitatív módon kell leírnia - lehetőleg matematikai formában - a vizsgált folyamatrendszer és annak kapcsolatait a külvilággal. Feltételezzük azt, hogy minden paramétert korlátozás nélkül lehet mérni, becsülni stb.

Az adatok gyűjtésének modellje (M2) a tudományos modellből indul ki. Az utóbbiban szereplő közvetlenül és közvetve mérhető mennyiségek területi és időbeli mintavételezési tervét a célkitűzés normatív (pl. pontosságminimum, költség stb.) előírásainak megfelelően le kell vezetni. Az egyáltalán nem mérhető - csak becsülhető - paraméterek elérhetőségének értékelése is ide tartozik. A kiinduló és levezetett adatok, valamint a céladatok közötti kapcsolat alapján a céladatokra vonatkozó hibaanalízist is tartalmazza ez a modell. **A hibaanalízis eredménye kritikus. Meghatározza, előrejelzi a megoldás esélyeit, egyes esetekben bizonyítja, hogy a feladat a tervezett módon nem oldható meg.**

Az adatértelmezési, információnyerési modell (M3) a felhasználandó módszereket és számítástechnikai rendszereket tartalmazza. Az információnyerésnél tipikus, hogy sztochasztikus és tanuló modelleket kell használni a valószínűségszámítás, a matematikai statisztika, valamint az alakfelismerés, a statisztikai döntéelmélet és a jelfeldolgozás tudományos



eredményeinek felhasználásával.

Az, hogy legtöbbször nem lehet egyszerű, analitikus modelleket használni, érthető, és környezetünk bonyolultságát tükrözi vissza. Távérzékeléssel csupán pl. a haszonnövény levélfelületével, fejlettségével kapcsolatot mutató elektromágneses energiát mérjük, és nem magukat a célparamétereket. Egyes esetekben nincs olyan megbízható módszer, mely ezt a közvetítést lehetővé tenné.

#### **A mérés, adatgyűjtés, feldolgozás terve**

Ebben a fázisban a modelleken alapuló tényleges adatgyűjtés, feldolgozás műszaki, gazdasági és szervezési rendszerét rögzítjük. Ennek alapján történik a tényleges adatbeszerzés végrehajtása. A terv a célkitűzésből és a modellekből levezetett normatív igényeket támaszt az adatgyűjtéssel szemben (pontosság, időbeliség, térbeli eloszlás, beérkezési idő, fajlagos költség stb.) és megadja a pontos utasításokat a modellezésben kialakított területi, időbeli adatmintavételezési eljáráshoz. Rendkívül fontos, hogy a terv tartalmazza az adatgyűjtés helyszíni ellenőrzésének és az adatszűrésnek az eljárásait is.

#### **Megfigyelés, mérés, adatgyűjtés**

Az adatgyűjtés rendjét pontosan be kell tartani. A területi, időbeli ismétlési követelményekből adódó adatmennyiség objektív begyűjtési nehézségeinek esetére a hivatkozott M2-modellnek kell feloldást, adaptív stratégiát adni (pl. meghatározott kevesebb ponton, meghatározott - kevesebb - kritikus időpontokban való mérés). A mérés-adatgyűjtés független ellenőrzése mellett az adatok más, vagy más forrásból jövő adatokkal való összevetése is rendkívül fontos már az információkivonás előtt is.

Gyakori a különböző okokból történő adatkiesés is. Ezek a hagyományos földi méréseknél ugyanúgy előállhatnak, mint a távérzékelés során (légtérzárlat, felhőborítás stb.).

A szükséges adatok egy részét nem kell újonnan mérni, mert már létező adatbázisokból elérhetők. Ezek érvényességét, pontosságát, megbízhatóságát ugyanúgy ellenőrizni kell, mint a többi adatét.

Az adatgyűjtés része az adatok rögzítése a megfelelően előkészített számítógépes rendszerben, és az eredeti adathordozók archiválása.



## **A megfigyelések értelmezése, a mérések, adatok kiértékelése**

Az adatok fajtái szerinti hitelesség és minőségvizsgálat után a többfajta adat önálló, vagy együttes feldolgozása következik az M3 modell alapján. Különbséget kell tenni az adatok, mérési eredmények **kvantitatív kiértékelése** és egyes megfigyelések, adatok **értelmezése** között. Sokszor, főleg a jelenségeket és a megfigyeléseket leíró kvantitatív modellek híján a megfigyeléseket csupán értelmezni lehet megközelítő és kvalitatív megállapításokkal.

**Lényeges az, hogy a kiértékelés eredménye megbízható legyen. Célszerűen pontossági, valamint megbízhatósági (konfidencia) mérőszámokat kell a (rész)eredményekhez kapcsolni. A szubjektív értelmezést igénylő fázisokban több szakértő független úton kapott eredményét kell átlagolni az értelmezésük szórásának rögzítésével.**

Az adatok kiértékelésének egyes szakaszait a részeredmények becslés-szintű ellenőrzésével zárjuk. Ehhez a más forrásból ismert vagy becsülhető integrális értékekkel való összehasonlítás jó alapot nyújthat. A feldolgozás legyen objektív. Ha ez teljes mértékben nem biztosítható, a szükséges beavatkozást, döntést, paramétermegadást felelős szakember irányítsa. A kiértékelés reprodukálható legyen.

## **A célinformáció nyerése és átadása**

A célinformáció nyerése az adatkiértékelési szakasz célja, utolsó fázisa. Elkülönített tárgyalásával célunk az, hogy felhívjuk a figyelmet arra, milyen nehézségek származnak abból, hogy a gyakorlatban az adatkiértékelést döntően más szakemberek végzik, mint akik a célinformációt felhasználják. Sok esetben az **információsűrítmény**, a célinformáció megjelenítési formája már az előző feldolgozást végző és a **hasznosító szakemberek együttes munkájával alakul ki.**

Elvileg a célinformáció átadásának lehetne egy formalizált módja, amikor a végső felhasználó teljesen meghatározná a kívánt formákat, amelyeket az adatkiértékelés előállít. Ilyenkor azonban a feldolgozó és hasznosító szervezetek (szakemberek) közötti kommunikációs csatorna gyakran erősen korlátozza a hasznosíthatóságot, és így az egész feladatmegoldás sikerét veszélyezteti. Ezért van szükség arra, hogy az előre specifikált célinformáció és megjelenési formáinak rögzítése mellett a hasznosító, a környezeti folyamatot megfigyelő és a feldolgozást végzők közösen több

megjelenítési formát állítsanak elő. Kitűnő segédeszköz ebben a fázisban a területi elemzést végző rendszer (ld. a 9. fejezetet).

#### **4.4. A távérzékelte felvételek digitális kiértékelésének jellege, fő lépései**

A többsávos űr- és légifelvételek a földfelszíni objektumokról a felvevőbe érkező elektromágneses hullámok intenzitását rögzítik. A sugárzási kép egyszerű visszaszámítása a földi paraméterek seregére (az inverzió) jelenleg gyakorlatilag lehetetlen. Ezért a statisztikai döntéselmélet tanulási módszerét lehet felhasználni a következőkben vázolt módon.

A távérzékelte felvételek kiértékelésének célja általánosan az, hogy a felvételező által meghatározott elemi felszíndaraboknak a felvételhez tartozó részeit a vizsgált osztályokba sorolhassuk. Ezek az osztályok feladatonként változnak, pl. földhasználati vagy haszonnövény-térképezésnél ezek az egyes növények, talaj, víztest, település stb. A felvételeken vannak olyan elemek, amelyeket egyetlen célosztályba sem lehet sorolni, ezek kerülnek az ún. "egyéb" osztályba.

A felvételeken a földfelszín-darab mintavételezett spektrális viselkedése van rögzítve. Ebből nem lehet egy nagy spektrális adatbankban visszafelé kereséssel a felszíni objektum kategóriáját azonosítani, mert a felvevőbe érkező spektrális jellemzőket a légkör, a domborzat és egyéb körülmények - például a terület egy részére hullott eső - módosítják.

A kiértékelésnél ezért szükséges, hogy minden tematikus felszíni osztály reprezentatív mintáinak (tanulóterület, "tananyag") helyét ismerjük. Ezeknek a felvételen tapasztalt spektrális viselkedésével azonosítjuk az egyes osztályokat. Ha feltételezzük, hogy az azonos osztályokba tartozó objektumok spektrálisan ugyanúgy viselkednek, akkor a felvétel nem ismert részeinek osztályozását megkaphatjuk.

A homogenitási feltevés nagyon erős kritérium. A gyakorlatban közelítőleg úgy teljesülhet, ha a teljes felvétel minden homogén régiójából választunk mintákat. Ez a **reprezentativitás** a távérzékelte felvételek feldolgozásának kritikus pontja.

A biztosan ismert területeket nemcsak a teljes felvétel osztályozásához, hanem az eredmények empirikus felméréséhez is használni kell ("tesztterületek"). Az optimista becslés elkerülése céljából a tanuló- és tesztterületek különbözők. Együttesen sem szabad, hogy túllépják a teljes

terület 5-10 %-át. A felvétel által lefedett maradék 90-95 % területre az ismert minta alapján következtetünk. **A tananyag és teszt adatok kiválasztása földi referencia vagy hitelesítő adatok gyűjtésével jár.** Ez idő és pénzigényes. Az optimalizálandó feladat egymással ütköző paraméterei tehát: az osztályozási pontosság és megbízhatóság, és az ismert minta nagysága.

**A kiértékelés statisztikai jellegű, és reprezentatív mintán alapuló tanulási eljárásokon keresztül extrapoláló.**

A felvételek feldolgozása két fő szakaszra bontható:

- S1) előfeldolgozás,
- S2) képelemzés (képanalízis).

Az előfeldolgozás körébe tartoznak mindazok a műveletek, amelyekkel a felvételeket előkészítjük a statisztikus, spektrális elemzéshez. Az előfeldolgozás során megtörténik:

- E1) a digitális képek bevitele a feldolgozó rendszerbe, formátum-átalakítással;
- E2) az adatok megjelenítéssel együttjáró kvalitatív értelmezése és tájékozódás a felvételen;
- E3) a radiometriai hibák eltávolítása vagy csökkentése;
- E4) a geometriai hibák csökkentése, térképi rendszerbe illesztés, vagy felvételsorozat képpontonkénti összeillesztése, geokódolás;
- E5) adatcsökkentés, lényegkiemelés korlátozott információ-csökkenés mellett;
- E6) a vizuális interpretációt segítő eljárások végrehajtása;
- E7) tájékozódó területi és képpontintenzitás statisztika számítása;
- E8) az előfeldolgozott felvételek megjelenítése képernyőn vagy filmen, papíron.

A képelemzés során az így előkészített felvételen általában összetett, iteratív műveletsort hajtunk végre. Ezen elemzés során az alábbi elemi lépésekből felépített műveletrendszert hajtunk végre (a gyakorlati lépéseket a 6. fejezetben ismertetjük):

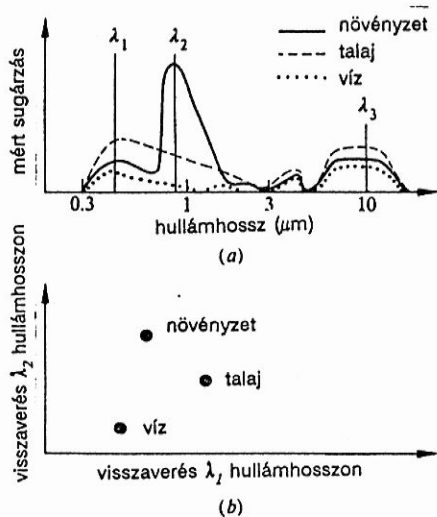
- A1) A célosztályok (kategóriák) meghatározása, rögzítése, a pontossági előírások megadása.
- A2) A referenciaadatokkal ellátott mintaterületek (tanuló és teszt területek) kiválasztása, a kategóriák spektrális jellemzőinek kigyűjtése és kiszámítása a felvétel kis, reprezentatív részéből.

- A3) A felvétel spektrális, sugárzási adatosztályokra bontása.
- A4) A spektrális és tematikus (cél) kategóriák megfeleltetése.
- A5) A spektrális kategóriák közelségének, átfedésének mérése.
- A6) A tematikus osztályok spektrális jellemzőinek meghatározása.
- A7) Tematikus osztályozás különböző képrészletekre.
- A8) A tematikus osztályozás, a tematikus térképek pontosságvizsgálata.

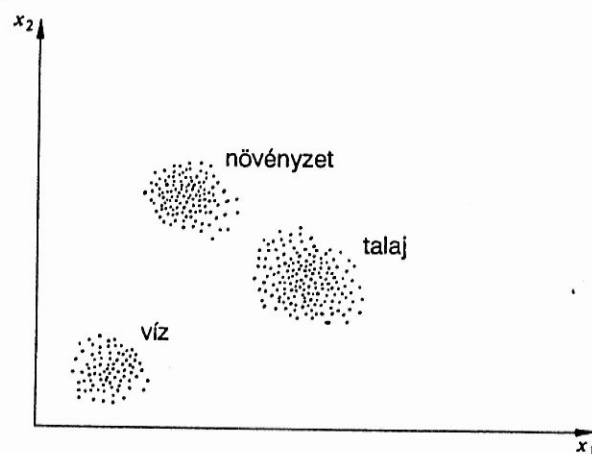
#### 4.5. A többsávos digitális felvételek és a képpontok intenzitástere

Már az előfeldolgozás egyes műveleteinek, de különösen a képelemzés fogalmainak és eljárásainak illusztrálására kitűnő eszköz az intenzitástér. Ahogy azt a 3.2. alfejezetben láttuk, a többsávos digitális kép egy vagy több mátrixként fogható fel. A mátrix sorai, oszlopai földfelszíni csíkoknak felelnek meg a térbeli felbontás méretei szerint. Az **első felfogás** szerint a **mátrix elemei vektorok**, amelyek koordinátái az adott földi pixelről az egyes sávokban a felvevő detektorába érkező elektromágneses energia mennyiségét jelzik. A **második felfogás** szerint a **több skalár mátrix** egymáshoz illeszkedik (3.4. ábra), és a földfelszín azonos eleméhez tartozó, az egyes sávokban mért sugárzási értékeket tartalmazzák a mátrixok megfelelő elemei. Így tehát egy földi pixel sugárzását az intenzitások terében egy pont jelzi. A gyakorlatban fontos, kettőnél (háromnál) több csatornás felvételek intenzitásterének geometriai ábrázolása nehézkes (lehetetlen), ezért példáinkban gyakran a kétcsatornás felvétel intenzitásterének diagramján, esetenként egydimenziós intenzitástérben mutatjuk be az egyes feldolgozási lépéseket vagy fogalmakat. A tényleges intenzitásteret és annak diagramját a rövidség kedvéért egyformán "intenzitástérnek" nevezzük.

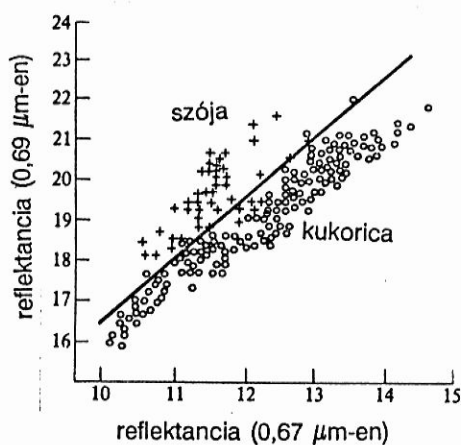
Az intenzitástérben egy pixel sávonkénti intenzitásértékei a megfelelő pont koordinátái (4.2. ábra). Az intenzitástérben már nem tudjuk, hogy az illető képpont a képmátrixban (a földi pixel a földön) hol helyezkedik el. Az egymáshoz közeli pixelek spektrálisan hasonlóak, hiszen az egyes sávokban nagyjából ugyanúgy verik vissza a sugárzást (sugároznak). Így tehát ha három, nagyjából homogén, víz, növényzet és talaj terület pixeljeit tekintjük, ezek képe az intenzitástérben tömörülő ponthalmazokkal adható meg (4.3. ábra). Ha ezek a ponthalmazok kis csomókba tömörülnek és egymástól távol vannak, az a felszíni kategóriák elkülönítését, a képelemzést könnyűvé teszi. A gyakorlatban az egyes felszínborítási osztályoknak megfelelő halmazok egymásba nyúlnak, átfednek (4.4.a,b. ábrák).



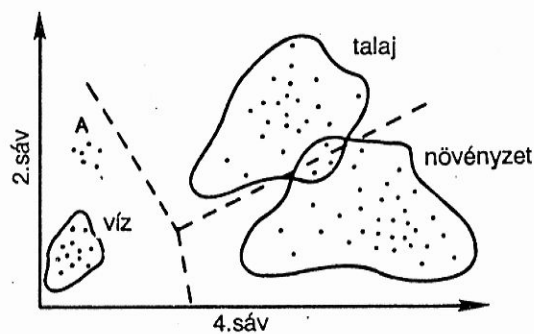
4.2. ábra: Talaj, növényzet, víz pixelek a felvételi sávok intenzitásterében



4.3. ábra: Az azonos borítású felszíndarabok intenzitásvektorai szórnak az intenzitásterben



4.4. ábra: a) Szója és kukorica átfedő intenzitásai 2 sávban



b) A különböző felszínborítások intenzitásai az intenzitásterben általában átfednek

## 5. A TÁVÉRZÉKELT FELVÉTELEK ELŐFELDOLGOZÁSA

Ebben a fejezetben a távérzékeléssel nyert digitális űrfelvételek legfontosabb előfeldolgozási problémáit és leggyakrabban alkalmazott módszereit mutatjuk be.

A műholdakról vett digitális képeket számos hiba terheli. A hibaforrások többek között az alábbiak:

- a légkör zavaró hatása (szóródás, átlátszóság, hőmérséklet-különbségek, páratartalom stb.),
- a felvevő műszer torzításai (geometriai, radiometriai),
- a műhold mozgásának szabálytalanságai, a mozgás pályájának alakja,
- a felszíni domborzatnak a reflektanciát és a felvételi geometriát megváltoztató hatása, a szomszédos területekről az átsugárzás.

A műholdképeket a földi vevőállomásokon általában korrigálják a felvevő-rendszer adatai alapján, így a felhasználónak már többnyire nem kell a durva hibák korrekciójával foglalkoznia. Ezt a korrekciót rendszer-korrekciónak nevezik. A rendszer-korrekció általában a képnek mind az intenzitás, mind a geometriai tartalmát érinti. Az elvégzett javítások főbb paramétereit a felvétellel együtt szolgáltatják.

A felvételek feldolgozása során azonban az alkalmazás számára a rendszer-korrekción túl még különböző előfeldolgozási műveleteket kell végrehajtani, melyek tartalma nagyban függ a feldolgozás céljától.

A képek intenzitásértékei különböző jellegű véletlen vagy szisztematikus megjelenésű hibákkal kevertek. A hibák eltávolítását az adott kép alapján **képhelyreállítási** (restoration) technikával végezhetjük. Az ilyen eljárások tehát fizikai, technikai modelleken alapulnak, és a felvétel **fizikai helyreállítást, hűségét** tűzik ki célul.

A **képi látvány** javítását szolgáló műveletek (enhancement) a vizuális értelmezést segítik. Ilyen jellegűek pl. a kontrasztfokozás vagy a képélesség fokozása, élkiemelés, pontszerű képhibák kiszűrése, szisztematikus képcsíkosság eltávolítása, feladatra optimális színek kompozitok készítése. Itt tehát csupán az interpretációt segítő elemeknek akár túlzó kiemelése a cél, még akkor is, ha az átalakítás az eredeti sugárzási képet megváltoztatja. Vigyázni kell, hogy az efféle átalakítások után nem végezhetjük el a **digitális képanalízis egyes lépéseit!**



A különböző időpontokban, ugyanazon földrajzi helyről készített felvételeket az együttes feldolgozáshoz azonos geometriai alapra kell hozni. Ez a közös alap lehet egy kiválasztott kép, de célszerűbben inkább a területet lefedő alkalmas méretarányú térkép.

Az előfeldolgozáshoz lehet sorolni a felvétel különböző megjelenítéseit, amelyekkel itt részletesen nem foglalkozunk. Mindenesetre a felvételek sávonkénti, színkódolt vagy színtkompozitot alkalmazó szemrevételezése, és a térképpel segített tájékozódás szükséges az előfeldolgozás folyamán is.

A vett adatok többnyire statisztikailag redundáns adathalmazt alkotnak. A fenti előfeldolgozási eljárások mellett a redundáns adatok tömörítése, lényegük kiemelése is része lehet az előfeldolgozás folyamatának.

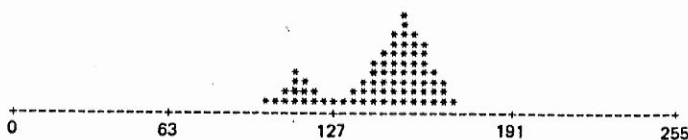
### 5.1. Elemi képpontstatisztikák készítése képrészletről

A felvételek előzetes vizsgálatához az egyes képsávokról elemi intenzitás statisztikákat számíthatunk ki. Ezeket a statisztikákat fel lehet használni a különböző előfeldolgozási műveletek paraméterezéséhez, pl. kontrasztfokozásnál vagy színtkompozit készítésnél stb.

A leggyakrabban felhasznált statisztikák az alábbiak:

#### A) Képsávonkénti statisztikák:

- képpontok száma, átlagértéke, mediánja, minimális és maximális értéke, szórása;
- hisztogram (itt fontos a táblázatos megjelenítés mellett a grafikus is, pl. 5.1. ábra).



5.1. ábra: Egy felvételi sáv intenzitásértékeinek hisztogramja

A fenti mennyiségek kiszámítása az ismert statisztikai formulákkal történik a képsáv intenzitásértékeiből és a képpontok számából.



B) Több képsáv együttes figyelembevételével kiszámolható statisztikák:

Amint láttuk (3.2. alfejezet), több (n) képsáv együttesét n-dimenziós, a képpontjai és sorai szerint rendezett adathalmaznak tekinthetjük. Ekkor egy képpont intenzitásait egy n-dimenziós vektor írja le. A képpontok intenzitás-viszonyait jellemzik az n-dimenziós statisztikák.

**Kovariancia mátrix**

Tegyük fel, hogy

- a képsávok N\*M-es mátrixok,
- az i. képsáv k. sorának l. eleme (egy képpont):  $x_{ikl}$
- a j. képsáv k. sorának l. eleme (egy képpont):  $x_{jkl}$
- az i. képsáv átlaga:  $m_i$ ,
- a j. képsáv átlaga:  $m_j$ ,

n képsáv esetén a kovarianciamátrix n\*n-es, a fenti jelölésekkel az i. sorának j. eleme:

$$\text{cov}(i, j) = \frac{1}{(N-1) * (M-1)} * \sum_{k,l=1}^{N*M} (X_{ikl} - m_i) * (X_{jkl} - m_j) \quad (5.1)$$

A kovarianciamátrix elemei a páronként vett képsávok együttes szóródását mutatják. A mátrix szimmetrikus, főtengetyében az egyes sávok szórásnégyzetei szerepelnek (5.1. táblázat).

11.83	15.71	13.34	26.39
15.71	56.18	-67.89	-116.74
13.34	-67.89	275.02	371.35
26.39	-116.74	371.35	563.36

5.1. táblázat: Többsávós Landsat felvétel kovariancia mátrixa

**Korrelációs mátrix**

A kovarianciamátrixból az alábbiak szerint származtatható:

Legyen az i. és j. sáv szórása  $S_i$  ill.  $S_j$ , ekkor a korrelációs mátrix i. sorának j. eleme:

$$\text{cor}(i, j) = \frac{\text{cov}(i, j)}{S_i * S_j} \quad (5.2)$$

Elemeinek értékei a  $[-1,1]$  zárt intervallumba esnek. A kovariancia mátrix elemeiből az egyes képsávok közötti statisztikai kapcsolat (lineáris) erősségére lehet következtetéseket levonni. A nagyon szoros lineáris kapcsolatot az 1-hez, ill. -1-hez közeli számok jelzik.

### n-dimenziós hisztogram

Számítása az egydimenziós hisztograméhoz hasonlóan, az adathalmazt alkotó elemek (jelen esetben n-dimenziós vektorok) számbavételével történik. Kettőnél magasabb dimenzióban az ábrázolása (a helyigény miatt a kiszámítása is) komoly nehézségeket okoz. Kétdimenziós hisztogramot mutat az 5.2. ábra.

intenzitás a 2.sávban	9							2	3	
	8					2	2	3	2	
	7				2	2	3	2	2	
	6				2	3	2	2		
	5			2	3	2				
	4		2	2	3	2	2			
	3	2	2	3	2	2				
	2	2	3	2						
	1	3	2							
		intenzitás az 1.sávban								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9

5.2. ábra: Kétdimenziós hisztogram táblázat

### 5.2. Radiometriai korrekció és intenzitás műveletek

A felvételkészítés során a zavaró légköri hatások és a felvevő műszer sajátosságai következtében a mért sugárzás torzításokkal terhelt. Ezeknek a csökkentésére a rendszeradatok alapján radiometriai korrekciókat alkalmaznak.

A vevőállomás által szolgáltatott digitális kép intenziásértékein további korrekciókra is szükség van. Egyrészt a hibákat nem távolítják el maradéktalanul minden képtípusról (pl. MSS képcsíkosság), másrészt a felvételek különböző célú feldolgozása más-más intenzitás transzformálási feladatokat teremt (pl. kontrasztfokozás, élkiemelés, különböző szintartalmú színek kompozitok stb.). Ez a kétféle feladatcsoport alapvetően eltér egymástól. A radiometriai korrekciók a felvétel fizikai jellemzőit kívánják visszaállítani, közelíteni a lehető legjobban. A különböző képintenzitás transzformációk viszont a vizuális képkiértékelést támogatják, és ehhez olyan intenzitás műveleteket is megengednek, amelyeknek nincs semmiféle fizikai jelentése, csupán a szemmel történő értékelést segíti.

### 5.2.1. Radiometriai korrekció

A felvételeknek a földfelszínről a felvevőbe érkező sugárzási értékeket kell hűen visszaadni. Az egyes felvételi sávokban észlelt energia intenzitása, a közeli felszíni elemek elkülönülése a felvételen, a felvevőbe jutó energia-érték és a hozzárendelt számértékek közötti linearitás, egyforma megvilágítás mellett a felvétel különböző részeinek egyforma (a szélek felé nem csökkenő) intenzitása, a pásztázó rendszerek detektorainak összekalibráltsága azok a legfontosabb tényezők, amelyekkel a radiometriai korrekció során foglalkozunk. A korrekciók fizikai, műszaki modelleket, valamint az előzetes földi és a felvételkészítés közbeni kalibrációs adatokat használnak.

Jó példa a Landsat és SPOT műhold felvevő detektorainak eltérő működéséből adódó pályára merőleges, ill. pályairányú felvételi csíkosságnak eltávolítása, csökkentése. Ha ismerjük azt, hogy a felvevő rendszer miként képezi le az egymástól különböző távolságban levő csíkokat, akkor a felvételeket ennek alapján egy, az 5.2.2. szakaszban leírthoz hasonló lineáris szűrővel korrigálhatjuk.

### 5.2.2. Intenzitás műveletek

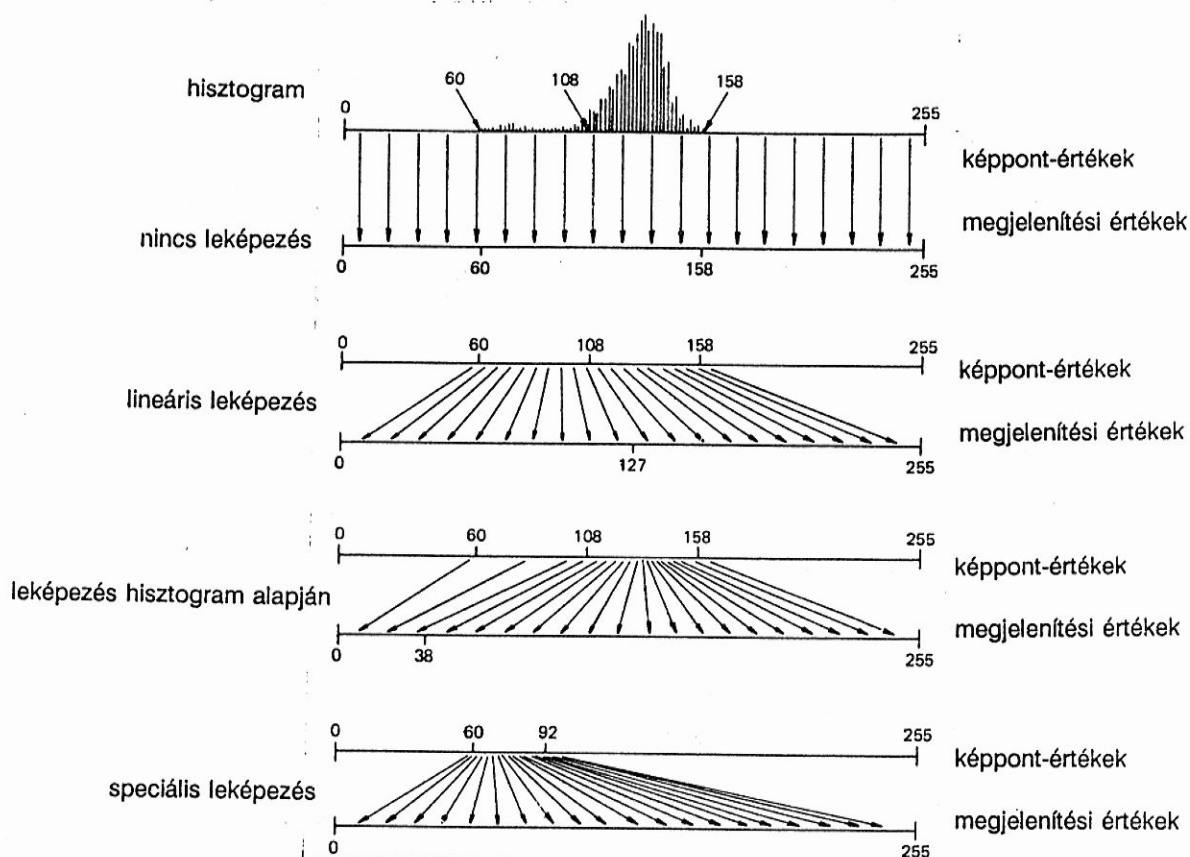
A kép vizuális értelmezését különböző képátalakító technikákkal lehet segíteni, amelynek eredményeképpen az értelmezés határfoka, pontossága lényegesen megnő. A képelemzés számára is szükséges a pontosság növelése érdekében mind a szisztematikus, mind a véletlenszerű zajok lehetőség szerinti redukálása. Erre a célra általában különböző szűrési módszereket alkalmaznak.

#### Hisztogram transzformáció

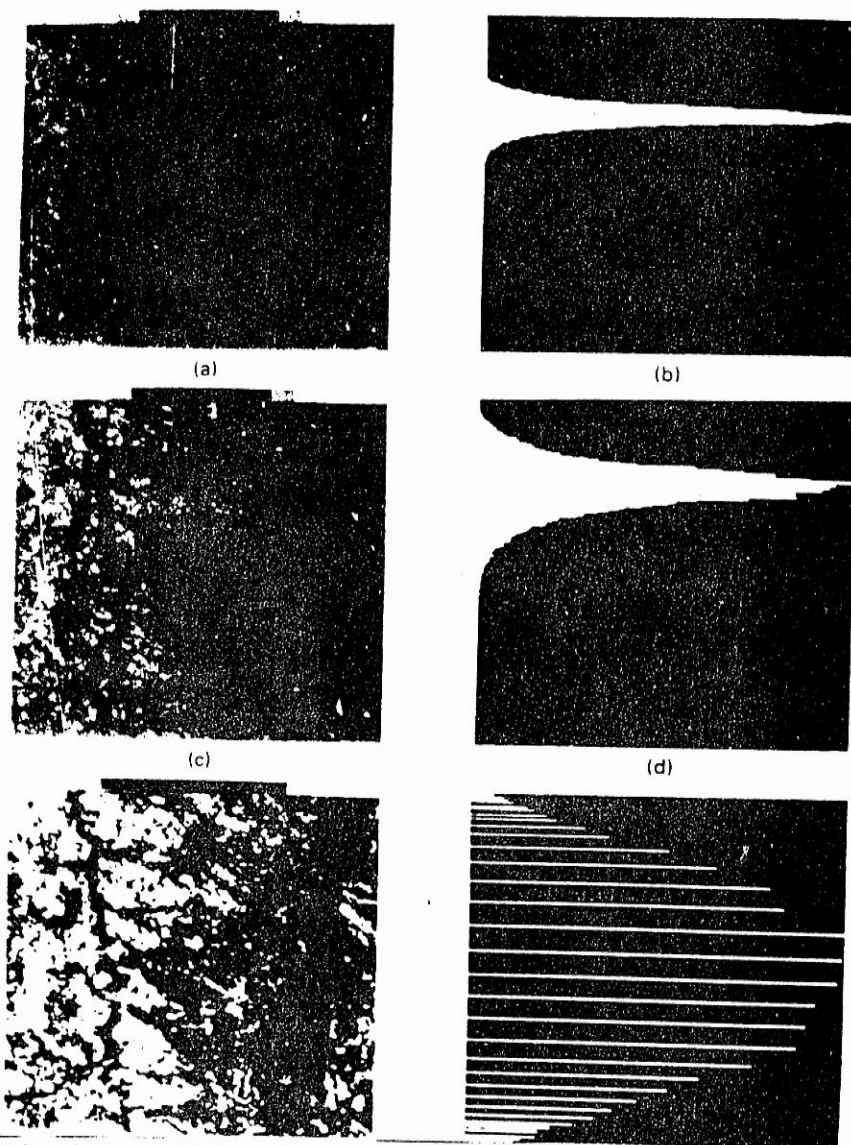
A képek nagyobb intenzitás dinamikával való kontrasztosabb megjelenítése a kép hisztogramjának transzformációjával történhet. Ez a művelet az intenzitás tartományon értelmezett leképezést hajt végre (5.3., 5.4. ábrák).

Abban az esetben, amikor a leképezést úgy konstruáljuk meg, hogy a transzformált hisztogram alakja közelítse a konstans egyenest, akkor hisztogram kiegyenlítésről beszélünk. A három komponenszt tartalmazó színek kompozitok színegyensúlyának létrehozásához azt kell elérni a hisztogram transzformáció során, hogy az egyes komponensek hisztogramja hasonló alakot vegyen fel.

Az itt bemutatott hisztogram transzformációs művelet nem környezetfüggő abban az értelemben, hogy egy képpont intenzitásának új értéke nem közvetlenül a szomszédos képpontok intenzitás értékétől függ, hanem az egész képtartalomtól, attól függően, hogy milyen látványt akarunk az eredményen létrehozni.



5.3. ábra: A digitális kép intenzitás-transzformációjával a kép dinamikáját növelhetjük

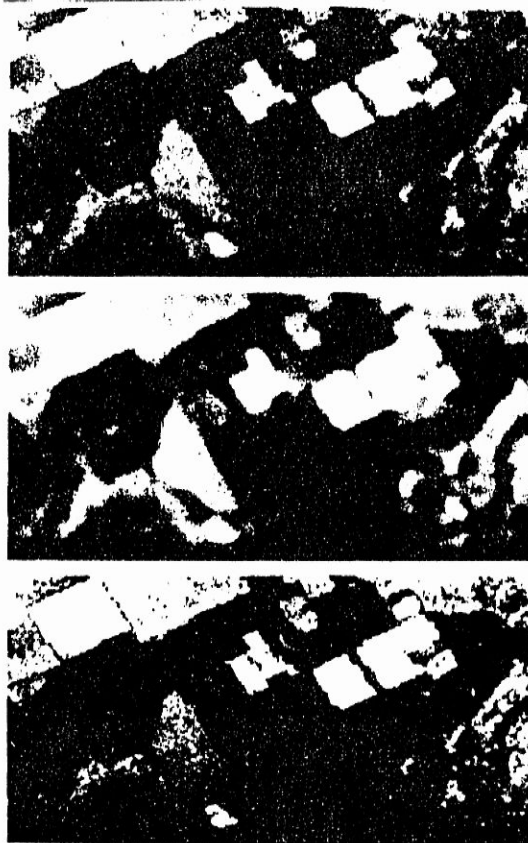


5.4. ábra: Kis intenzitás-dinamikájú felvétel (a) átalakítása hisztogram-transzformációval

### Szűrések

Környezetfüggő műveleteket tartalmaznak a szűrési eljárások. Ezeket alkalmazzák a képhelyreállításnál (különböző zajok, képhibák eltávolítása), a kontrasztfokozásban és az élkiemelésnél.

A szűrés művelete technikailag úgy történik, hogy a képen egy ún. súlymátrixot (ablakot, pl.  $3 \times 3$ -as vagy  $5 \times 5$ -ös) minden képpontra és annak környezetére ráillesztünk. A lefedett képpontokat a súlymátrix elemeivel megszorozva, és az eredményeket összegezve kapjuk az új "szűrt" képpont értéket (5.5. ábra). Ezt konvolúciós szűrésnek nevezzük. A szűrés tehát lineáris típusú.



5.5. ábra: Műholdfelvétel egy sávjának (a) konvolúciós szűréssel simított (b) és élkiemelt (c) változata

Formálisan:

$$G(i, j) = \sum_{k=-n}^n \sum_{l=-m}^m F(i+k, j+l) * M(k, l) \quad (5.3)$$

ahol  $G$  a szűrt,  $F$  a szűrendő kép,  $M$  a súlymátrix, továbbá  $i, j$  a képen,  $k, l$  a szűrő elemein fut végig. Az  $M$   $(2p+1) * (2q+1)$ -es méretű.

Néhány példa súlymátrixokra:

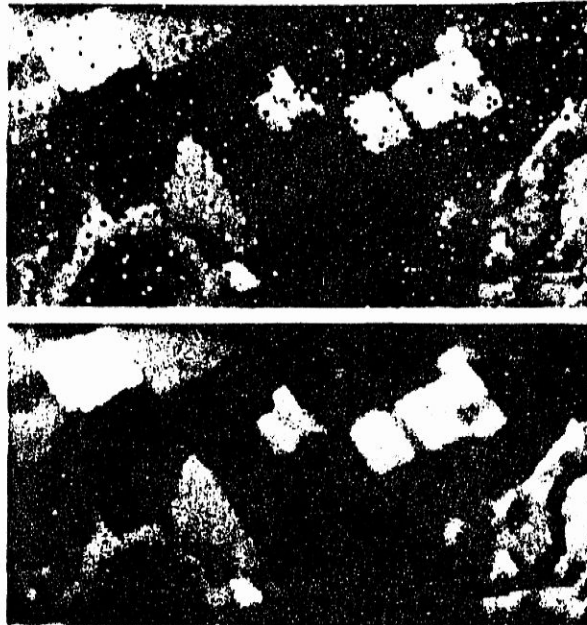
átlagoló, élkiemelő és deriváló szűrők:

1 1 1	1 0 -1	1 1 1
1 1 1	1 0 -1	1 -4 1
1 1 1	1 0 -1	1 1 1

élkiemelő:  
függőleges, vízszintes és átlós szűrők:

-1 2 -1	-1 -1 -1	-1 -1 2	2 -1 -1
-1 2 -1	2 2 2	-1 2 -1	-1 2 -1
-1 2 -1	-1 -1 -1	2 -1 -1	-1 -1 2

A mediánszűrés az ablakba eső képi intenzitások mediánját helyezi az ablak közepén levő képpont helyére (5.6. ábra).



5.6. ábra: Pontszerű zajok eltávolítása mediánszűrővel

A szűrést különböző méretű és alakú "ablakkal" is végezhetjük. Élkiemelésre a lineáris szűréseken túl egyéb, nemlineáris deriváló operátorokat is használhatunk (pl. az ismertetett medián szűrő és az itt be nem mutatott Roberts-operátor).

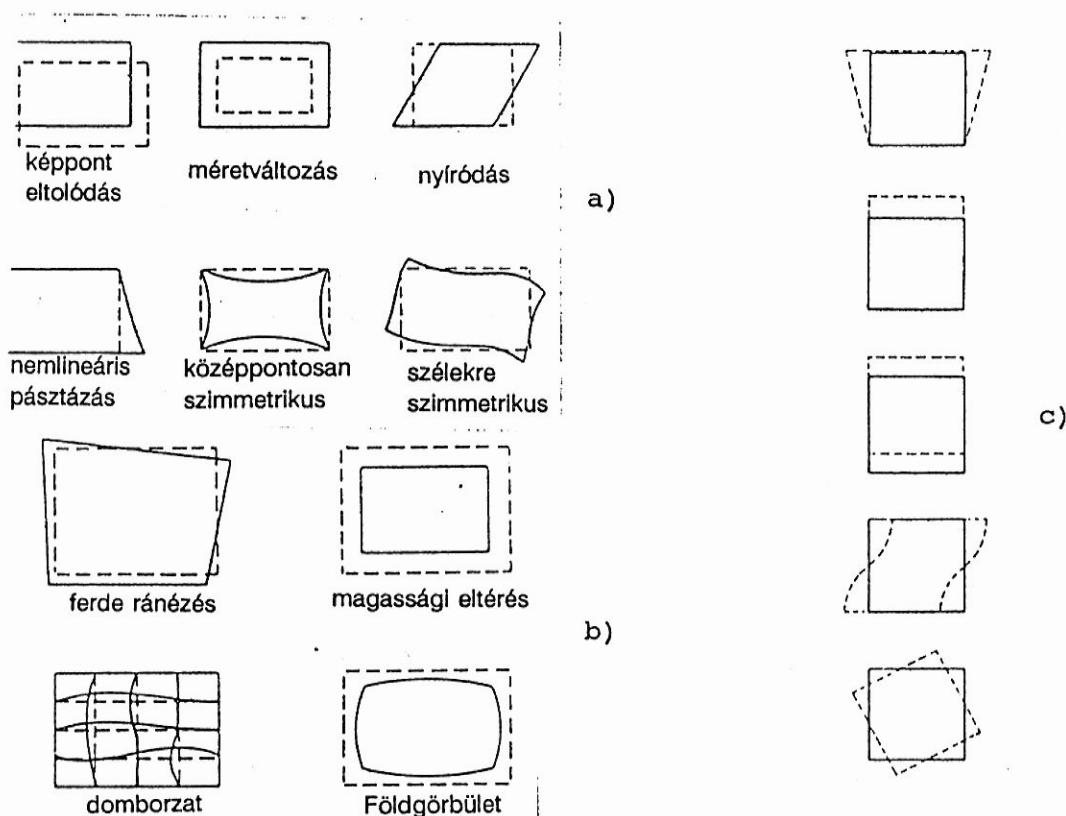
### 5.3. Távérzékelt felvételek geometriai transzformációja

A digitális képek a felvett területről rendszerint nem egy időpillanatban készülnek, hanem soronkénti letapogatással. (Kivéve pl. a vidicon kamerát használó korai Landsat RBV képeket.) Emiatt több probléma is adódik a kép geometriai tulajdonságait illetően. Az így adódó hibák azonban nagyrészt analitikusan korrigálhatók.

A jellemző geometriai hibaforrások a felvételek készítése során (5.7. ábra):

- a Föld forgásából adódó soreltolódás,
- a nagyobb látószögekből adódó panoramikus torzítás,
- a Föld görbületéből adódó képtorzítás,
- egy képsor letapogatása (pásztázása) során történő felvevőmozgás,
- a felvevőt hordozó eszköz mozgási egyenetlenségei (sebességváltozás, magasságváltozás, billegés),
- a letapogató mozgás nemlinearitása.





5.7. ábra: Különböző geometriai hibák a felvételen: a) a felvevő hibái, b) a hordozóeszköz mozgásának a névlegestől való eltéréseiből, a földgörbületből, domborzatból adódó torzulások, c) a felszínre nem merőleges felvételi irány hatásai

Mint említettük, ezen hibák nagyobb részét a vevőállomások korrigálják. (De pl. nem javítják a panoramikus torzítást a NOAA AVHRR felvételeknél.)

A **térképekhez való képtranzformálás** (például az 5.8. ábrán) nélkülözhetetlen a földrajzi információs rendszerekkel való korrekt geometriai kapcsolat megteremtéséhez. Ez egyben a geokódolt digitális térképi adatok és a feldolgozott űrfelvételek közös térbeli adatkezelő rendszerbe való helyezésének is eszköze.

Gyakori feladat az is, hogy a különböző fajtájú felvevőkkel és/vagy különböző időpontokban, eseleget különböző felbontással készített felvételeket azonos koordinátarendszerbe helyezzük az együttes vizsgálat számára (pl. többidőpontú szinkompozit felhasználásával).

A szomszédos földrajzi területekről készített, részben átfedő felvételek geometriai illesztésével ún. mozaik képeket lehet készíteni, amivel nagyobb területek (pl. országok) áttekintő térképét lehet létrehozni.



5.8. ábra: Landsat TM képsáv EOTR-be transzformálva.

A képekhez kapcsolódó digitalizált térképek koordinátáit is geometriai transzformációval illeszthetjük az űrfelvételre, azonban itt csak a koordináták transzformációjáról van szó, mert az adatok tartalmában intenzitás értékek nem szerepelnek, ill. teljesen más az adatstruktúra (a képé az ún. raster, a digitalizált koordinátáké pedig ún. vektor).

Ezeket a feladatokat az alább bemutatandó geometriai transzformációs módszerekkel lehet megoldani, a számítógéppel kezelhető digitális képeken.

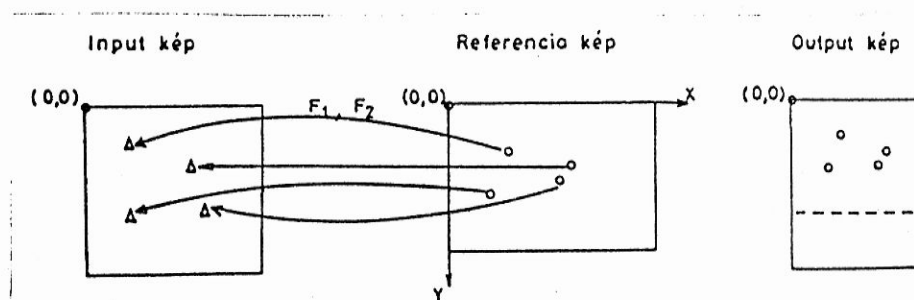
### 5.3.1. A geometriai transzformáció módszerei

#### A transzformációs függvény alakja

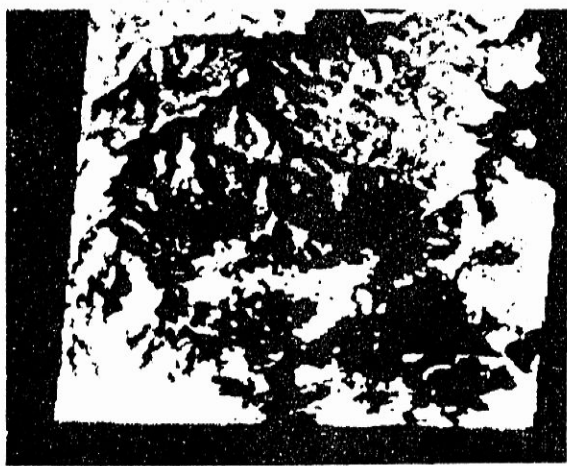
A transzformáció feladata, hogy két különböző koordináta rendszer (pl. az űrfelvétel koordináta rendszere és pl. az EOTR térkép rendszer, vagy pl. egy Landsat MSS felvétel rendszere és egy Landsat TM felvétel koordináta rendszere, vagy pl. egy hibás geometriájú felvétel és egy korrigált geometriájú felvétel rendszere stb.) között megadja a függvénykapcsolatot (ld. 5.9. ábra), és ennek segítségével a felvételt a másik koordináta-rendszerbe helyezze (pl. a térképébe).

Mivel a felvételek geometriai rendszerét jelenleg két koordinátával írjuk le, így koordinátánként egy kétváltozós függvényt szokás alkalmazni. Ez a távérzékelés gyakorlatában általában  $n$ -ed fokú polinomiális függvény, vagy ilyenek hányadosa. A tapasztalatok szerint elegendő legfeljebb 6-od fokú,

de leggyakrabban elsőfokú függvényeket alkalmazni (5.10. ábra).



5.9. ábra: Az input (transzformálandó) kép, a referencia térkép, és a referencia képhez geometriailag illesztett kép (output kép) kapcsolata



5.10. ábra: a) Lineáris geometriai transzformáció



b) Geometriai transzformáció harmadfokú polinommal

Legyen a transzformálandó kép koordinátarendszere (XY), a transzformált képé (UV).

Ekkor a két rendszer közötti kapcsolat:

$$x = F_1(u, v)$$

$$y = F_2(u, v), \text{ ahol } (x, y) \text{ (XY)-beli, } (u, v) \text{ (UV)-beli pont.}$$

$F_1, F_2$ , kétváltozós függvények (pl. polinomok).

A kétváltozós  $m$ -ed fokú polinom alakja:

$$F_m(u, v) = \sum_{k=0}^m \sum_{l=0}^k a_{kl} * u^{k-l} * v^l, \quad m=0, 1, \dots, 6$$

vagy másképpen:

$$F_m(u, v) = \sum_{j=1}^n B_j * \omega_j(u, v)$$

ahol

$$B_j = a_{kl}, \quad j = \frac{(k+1)^2 - (k+1)}{2} + k + 2 * l + 1$$

Ebből n és m összefüggése táblázatosan írva:

m	0	1	2	3	4	5	6	...
n	1	3	6	10	15	21	28	...

5.2. táblázat: Az "m" és "n" összefüggése táblázatosan

Az  $\omega_j$  -k az ún. alapfüggvények. Az  $\omega_i$  -ket, és az  $F_m$  első alakjával a kapcsolatukat az alábbi, 5.3. táblázatban szemléltetjük:

v foka → l

		0	1	2	3	4	5	6
u f o k a ↓ k	0	$\omega_1 = 1$ $B_1 (=a_{11})$	$\omega_3 = v$ $B_3 (=a_{21})$	$\omega_6 = v^2$ $B_6$	$\omega_{10} = v^3$ $B_{10}$	$\omega_{15} = v^4$ $B_{15}$	$\omega_{21} = v^5$ $B_{21}$	$\omega_{28} = v^6$ $B_{28}$
	1	$\omega_2 = u$ $B_2 (=a_{12})$	$\omega_5 = uv$ $B_5$	$\omega_9 = uv^2$ $B_9$	$\omega_{14} = uv^3$ $B_{14}$	$\omega_{20} = uv^4$ $B_{20}$	$\omega_{27} = uv^5$ $B_{27}$	
	2	$\omega_4 = u^2$ $B_4 (=a_{13})$	$\omega_8 = u^2v$ $B_8$	$\omega_{13} = u^2v^2$ $B_{13}$	$\omega_{19} = u^2v^3$ $B_{19}$	$\omega_{26} = u^2v^4$ $B_{26}$		
	3	$\omega_7 = u^3$ $B_7$	$\omega_{12} = u^3v$ $B_{12}$	$\omega_{18} = u^3v^2$ $B_{18}$	$\omega_{25} = u^3v^3$ $B_{25}$			
	4	$\omega_{11} = u^4$ $B_{11}$	$\omega_{17} = u^4v$ $B_{17}$	$\omega_{24} = u^4v^2$ $B_{24}$				
	5	$\omega_{16} = u^5$ $B_{16}$	$\omega_{23} = u^5v$ $B_{23}$					
	6	$\omega_{22} = u^6$ $B_{22}$						

5.3. táblázat: Az  $\omega_i$  -k alakjai. Az  $\omega_i$  -khez tartozó  $B_i$  együtthatók is szerepelnek a megfelelő négyzetben

### Az együtthatók definiálásának két módja:

A geometriai transzformációs függvények együtthatóinak meghatározása két módon történhet. Direkt, közvetlen módon meghatározva a leképező függvény alakját és paramétereit, vagy indirekten, illesztő (azonos) pontok (GCP: ground control point) alkalmazásával.

#### **a) Direkt, analitikus számítás és korrekció:**

Eszerint analitikus módon meghatározzuk a kapcsolatot a két koordináta rendszer között, és ennek megfelelően adódnak az alkalmas alakú leképező függvény együtthatói, vagy a korrigáló algoritmus paramétereit. Ez a direkt megközelítés. Speciális algoritmusokat alkalmaznak pl. a rendszer korrekciók elvégzésekor.

A direkt módszer másik speciális esete, amikor a kép transzformálását úgy végezzük, hogy előbb megadjuk a képforgatás szögét, a nagyítás/kicsinyítés mértékét, és az eltolás nagyságát. Ezekből az adatokból azután közvetlenül kiszámolhatók annak a lineáris polinomnak az együtthatói, amely a leképezést maradéktalanul elvégzi.

#### **b) Illesztőpontok alkalmazása:**

Ezen másik módszer szerint a két rendszerben azonos pontokat keresünk, és ezen pontok pozíciói alapján valamilyen matematikai közelítő módszert alkalmazva kiszámítjuk a feltételezett formájú leképező függvény együtthatóit. Ezt nevezzük az illesztőpontok módszerének.

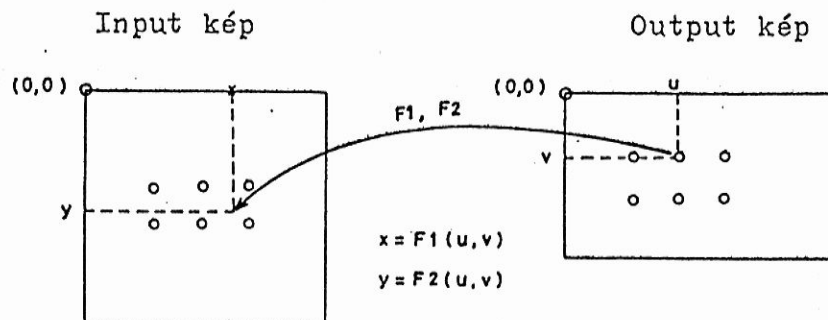
A közelítéskor feltételezéssel élünk a függvény alakját illetően, pl. feltesszük, hogy másodfokú kétváltozós polinom-pár írja le a transzformációt. A kimért illesztőpontokból (pl. képről és térképről kikeresve egymásnak megfelelő azonos pontok sorozatát) az átlagos hibanégyzet minimalizálását elvégző "legkisebb négyzetek módszere" néven ismert matematikai eljárással meghatározzuk a transzformációs függvény együtthatóit. Az 5.4. táblázat egy ilyen geometriai transzformáció maradékhibáit tünteti fel egy Landsat MSS felvétel esetén.

GCP sz.	K é p		T é r			k é p		
	Oszl. szám	Sor- szám	K-i koord.	K-i koord. becslés	Maradék hiba	É-i koord.	É-i koord. becslés	Maradék hiba
1	1909,	1473,	432279,	432230,1	49,4	836471,	836410,1	60,7
2	1950,	1625,	431288,	431418,0	-130,1	822844,	822901,4	-56,9
3	1951,	1747,	428981,	428867,9	112,6	812515,	812418,2	96,8
4	1959,	1851,	427164,	427196,9	-33,2	803313,	803359,4	-46,7
5	1797,	1847,	417151,	417170,3	-18,9	805816,	805759,3	57,1
6	1496,	1862,	397860,	397871,6	-11,2	808128,	808187,2	-59,6
7	1555,	1705,	404964,	404925,8	38,6	821084,	820962,6	121,6
8	1599,	1548,	411149,	411138,5	10,5	833796,	833857,3	-61,1
9	1675,	1584,	415057,	415129,0	-72,4	829871,	829851,1	19,8
10	1829,	1713,	422019,	421986,6	32,7	816836,	816884,5	-48,1
11	1823,	1625,	423530,	423507,8	22,0	824422,	824504,8	-83,2
Átlagos hiba K-re = 55,92 m								
Átlagos hiba É-ra = 63,06 m								

5.4.táblázat: Landsat MSS képi és térképi illesztőpontok kapcsolata és a maradékhibák, másodfokú polinom alkalmazásával

#### Újramintavételezés

Amikor a transzformáció során kiszámoljuk az egyes (u,v) output képbeli koordinátákra a megfelelő (x,y) input képi koordinátákat, akkor az (x,y) rendszerint nem képpont koordináta (5.11. ábra). Így valamilyen módszer szerint ki kell számolni, hogy mely képpont intenzitás értéke kerüljön az eredmény (output, vagy transzformált) képre. Ez a környező képpontok intenzitás értékeinek függvénye. Ezt hívjuk újramintavételezésnek.



5.11. ábra: A torz kép pontjainak intenzitásaiból interpolációval kell a korrigált képpont intenzitásértékét meghatározni

Az újramintavételezés formális tárgyalása nélkül az alábbi megoldásokat említjük meg:

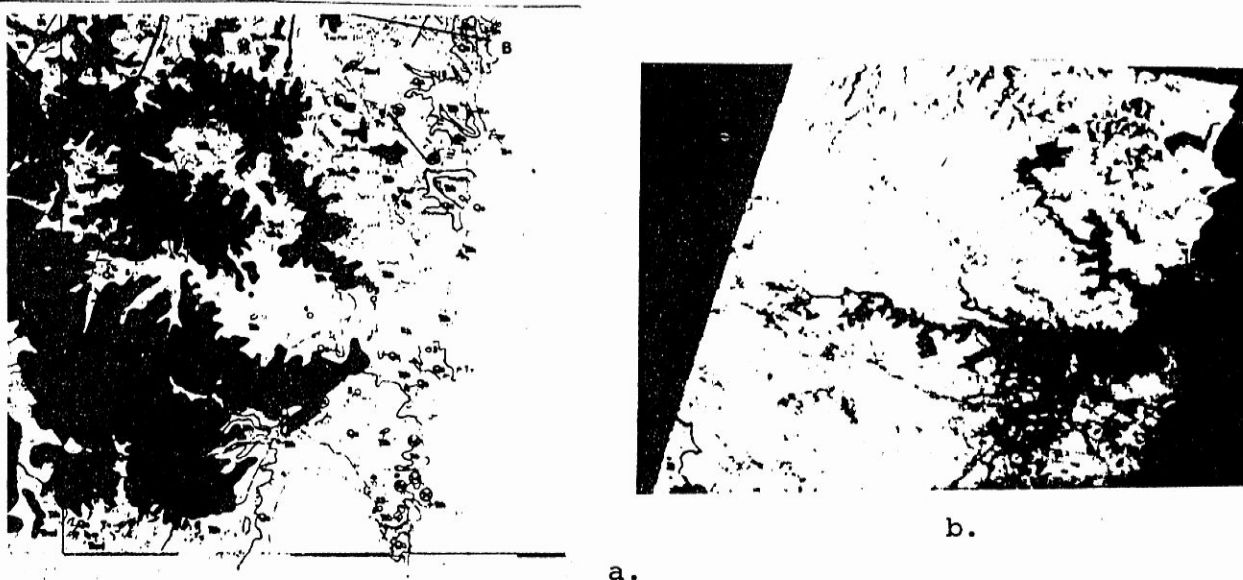
- a leképzett ponthoz legközelebbi pont intenzitás értékét választjuk (legközelebbi szomszéd módszer),
- a környező 4 pont intenzitás értékeivel a távolság függvényében



- bilinéáris interpolációval számítjuk az output intenzitást,
- kétváltozós, harmadfokú polinomot illesztünk a pont környezetére, és ezt mint súlyfüggvényt használva nyerjük az output intenzitást (körös konvolúció).

Az első esetben az input képen látható vonalak az eredeti képhez képesti erősebb elfordulás esetén kissé töredezett képet fognak mutatni. A második és harmadik módszernél egyfajta szűrést, simítást is eredményez az algoritmus az output képen, ekkor a vonalak kevésbé vagy egyáltalán nem törnek meg, azonban a kontrasztjából veszíthet a kép.

A kép térképhez illesztésének példáját mutatja az 5.12. ábra.



5.12. ábra: Térképrészlet (a.), térképhez illesztett úrfelvételrészlet (b.)

Nyilvánvaló, hogy az algoritmusok számításigénye jelentősen eltér.

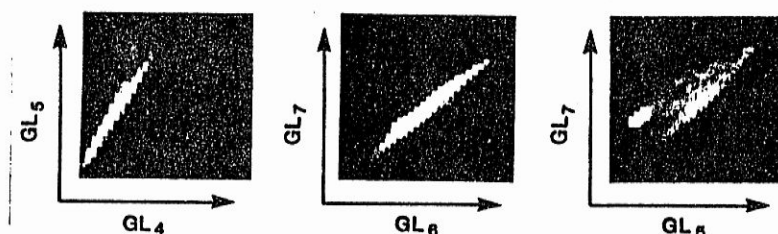
#### 5.4. Egy adatcsökkentő eljárás: a főkomponens transzformáció

A lényegkiemelés feladata úgy csökkenteni a később osztályozandó elemi adatok dimenzióját (ezzel együtt a feldolgozandó adat mennyiségét), hogy minél kevésbé csökkenjen ezzel az osztályozás pontossága. A csökkentett dimenzió a feldolgozási idő oldaláról jelentős, másrészt sok módszer csak alacsonyabb dimenziókban működik hatékonyan.

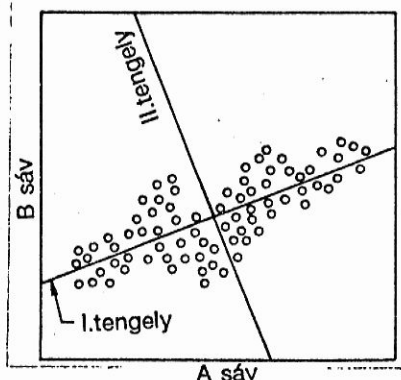
A felvételek intenzitásvektorai az intenzitástérben jellegzetesen, nem egyenletesen oszlanak el. Az egyes sávpárok is többé-kevésbé korreláltak (5.13. ábra). Ezért többször mód van arra, hogy egy intenzitás-



transzformáció után keletkező kevesebb sávval dolgozzunk. Ennek az intenzitás-transzformációnak lényegét mutatja az 5.14. ábra. Az ábrán látható (kétsávós) képpont-intenzitások az eredeti helyett egy új koordináta-rendszerben is megadhatók. Bár ennek tengelyei már nem egy felvételi sávbeli intenzitást jelentenek, az új rendszerben a 2. tengely szerepe jóval kisebb a képpontok elkülönítésében, mint az eredeti rendszerben. Ha tehát csak az új 1. koordináta tengelyt használnánk a képpontok jellemzésére, minden új 1. koordináta mentén néhány képpontot nem tudnánk szétválasztani, azaz mérhető információ veszteség jelentkezne. Ez az információ veszteség annál kisebb lenne, minél korreláltabb (lineárisabb elhelyezkedésű) az intenzitásvektorok elhelyezkedése.



5.13. ábra: A többsávós felvételek sávpárjai gyakran különböző mértékben korreláltak



5.14. ábra: A főkomponens transzformáció lényege: a transzformált koordináta-rendszer az adatokhoz illeszkedő sajátrendszer

Ennek alapján a főkomponens (vagy Karhunen-Loeve) transzformáció lényegében egy sajátérték transzformációval kezdődik. A többdimenziós intenzitásvektorok eloszlását jellemző kovariancia mátrix segítségével meghatározzuk a sajátvektorokat, sajátértékeket, és az eredeti felvétel intenzitásait a sajátvektorok által meghatározott koordináta-rendszerbe transzformáljuk. A kapott adatrendszer koordináta-párjai korrelálatlanok lesznek. A sajátértékek rohamosan csökkennek, és mivel ezek az új rendszer szórásnégyzetei, látható (ld. az 5.5. táblázatot), hogy a transzformált adatrendszer kisebb sajátértékű sávjait elhagyva, az adatrendszert úgy tudjuk csökkenteni, hogy közben a benne levő információ alig, vagy szabályozottan csökken. A felhasznált Landsat MSS felvételen tehát az első

két transzformált sávban kaphatjuk a teljes variancia (szórásnégyzet) 99,2 %-át. Más szóval ez a felvétel lényegében 2 dimenziós. Nagyon sok Landsat MSS és Landsat TM felvételnél tapasztalták ilyen értelemben, hogy lényegében 2, illetve 4 transzformált sávval ezek a felvételek leírhatók.

Spektrális sáv	Variancia	%	Fő-komponens	Variancia	%
4	74,2	12,6	1	553,3	94,1
5	249,9	42,5	2	29,9	5,1
6	219,5	37,3	3	3,7	0,6
7	44,5	7,6	4	1,2	0,2

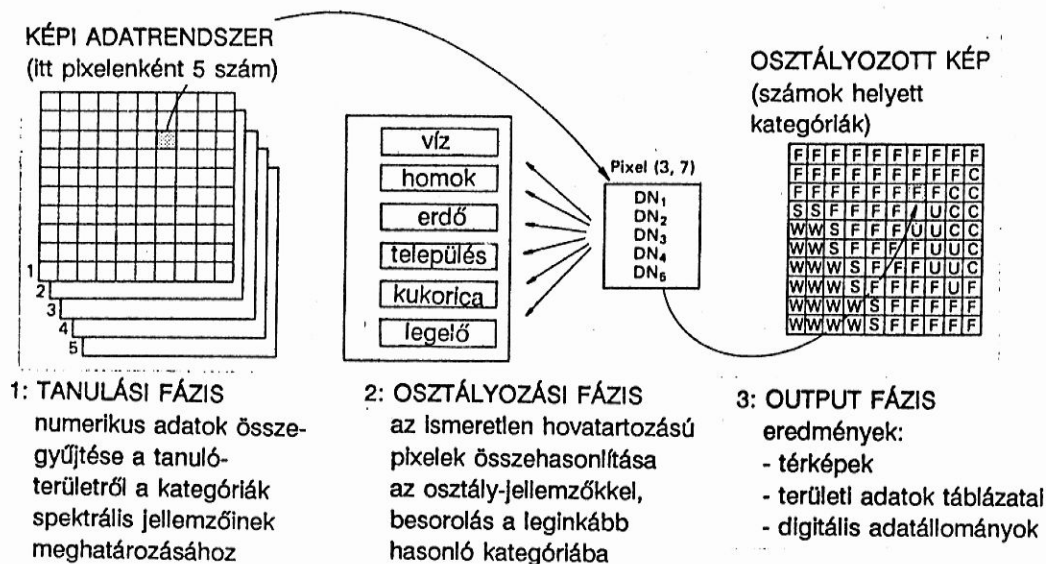
5.5. táblázat: Landsat MSS felvételi sávok és a főkomponens transzformáció utáni "sávok" varianciái

Ilyen sávcsökkentésre sokszor szükségünk lehet. A képek megjelenítésénél általában 3 sávval tudunk színekompozitot készíteni. Ezek a főkomponens transzformációval kapott első 3 sáv lehetnek. Hasonlóan fontos, hogy a sokforrású, vagy többidőpontú felvételrendszer dimenziószámát a szükséges mértékben csökkentsük a hatékony és megfelelően pontos tematikus osztályozás előtt. Ilyenkor is használhatjuk a főkomponens transzformációt. A lényegkiemelésnek természetesen több, itt nem ismertethető megoldása is létezik.

## 6. A KÉPELEMZÉS

### 6.1. A képelemzés alapfeladata és a képpontosztályozás elemi megoldásai

A képelemzés során, a megoldási modell (ld. 4.3. alfejezetet) felállításánál tisztázott módon, többsávós, több forrásból származó, esetenként több időpontban készített felvételt (a továbbiakban: többsávós felvétel) használunk kiinduló adatként. A végcél az, hogy a felvétel minden pixeljét a célkategóriák egyikéhez hozzárendeljük, a célkategóriák mintáiból kigyűjtött jellemző adatok segítségével (6.1. ábra), a lehető leghatékonyabb módon.



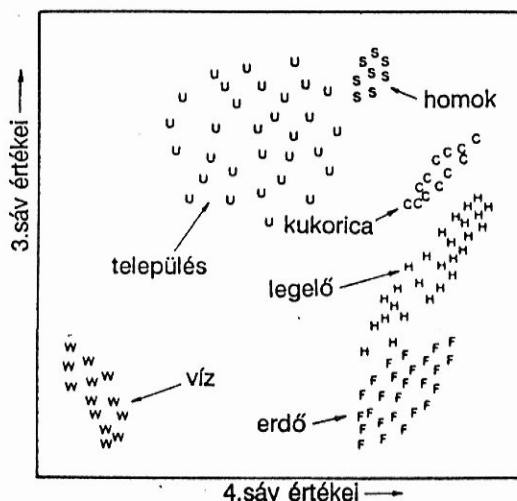
6.1. ábra: A többsávós felvétel tematikus kiértékelésének elve

Azt kívánjuk, hogy ez a tematikus osztályozás matematikailag megfogalmazható, számítógépen megvalósítható eljárás legyen, amely pontos, megbízható, viszonylag gyors és olcsó, valamint objektív, ismételhető, időben, területben kiterjeszthető. Ehhez az osztályozáshoz különböző adatokat használhatunk fel:

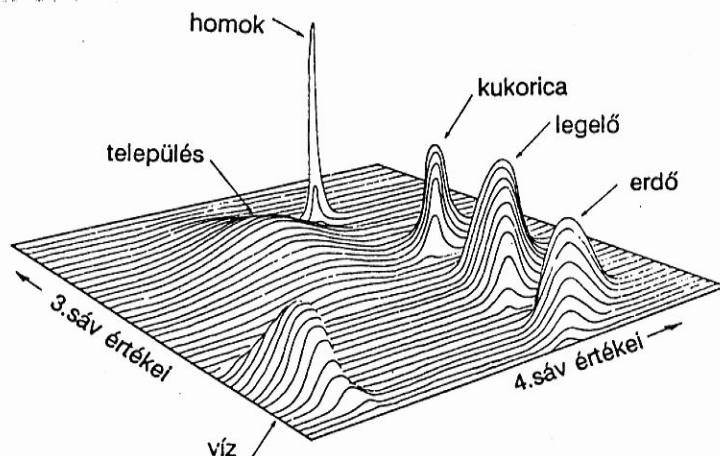
- a pixel intenzitásértékeit az egyes sávokban;
- a pixel intenzitását, környezetének textura mértékeit;
- a pixel és környezetének intenzitásvektor-rendszerét; vagy
- egyéb, nem távérzékelési adatokat, pl. talajtérképeket, előző földhasználati térképeket, felszín-magassági értékeket stb.

A továbbiakban egyelőre az a)-ban megfogalmazott esettel foglalkozunk.

Ha egy képrészletet elemzünk, az egyes kategóriák pixeljei az intenzitástérben jellegzetesen helyezkednek el (6.2. ábra). Az egyes felszínkategóriák sugárzásértékei az intenzitástérben előfordulási valószínűségi értékekkel jellemezhetők (6.3. ábra). A spektrálisan határozott kategória - az ábrán a homok - szűkebb intervallumban veri vissza az elektromágneses sugárzást, mint a spektrálisan szétszórt, kiterjedt település osztály. Ez érthető: ez utóbbiban sokkal több felszínborítási és sok különböző visszaverő elem van.



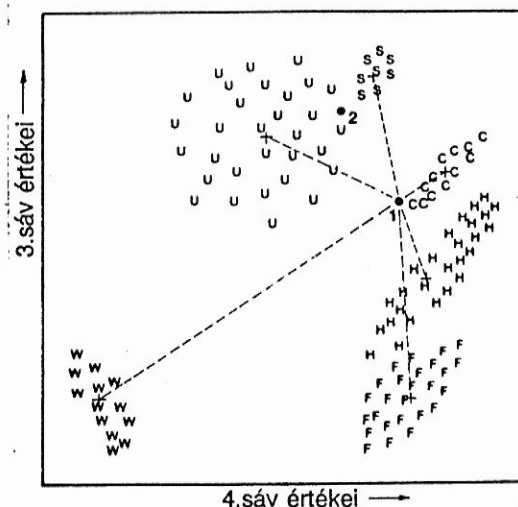
6.2. ábra: Az egyes célkategóriák képpontjai az intenzitástérben



6.3. ábra: Az egyes kategóriák intenzitásvektorai jellegzetes valószínűség-eloszlást mutatnak egy-egy térrészben

Néhány elvileg egyszerű eljárás jól mutatja a képpont-osztályozás alap gondolatát és nehézségeit.

Ha az ismeretlen hovatartozású képpontot az intenzitástérben legközelebbi középpontú osztályhoz soroljuk (6.4. ábra), láthatjuk, hogy a 2-vel jelzett képpont a "homok" osztályhoz kerül besorolásra, pedig intuitíve a település kategóriához tartozónak vennénk. Ha módosítjuk az eljárást, és a legközelebbi szomszéd osztályába soroljuk a képpontot, akkor is több hiba léphet fel (pl. elnyúlt "vékony" osztályok).

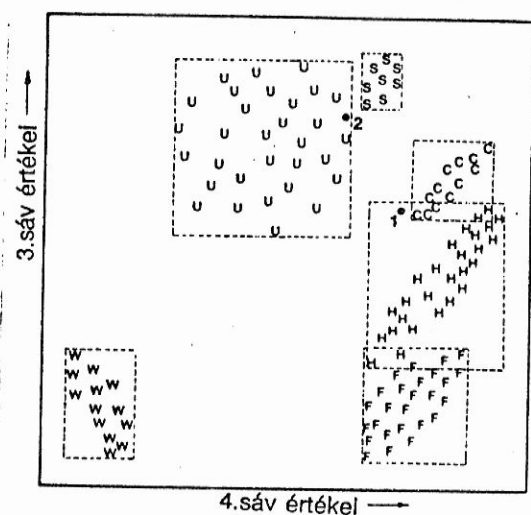


6.4. ábra: A "legközelebbi középpont" osztályozás

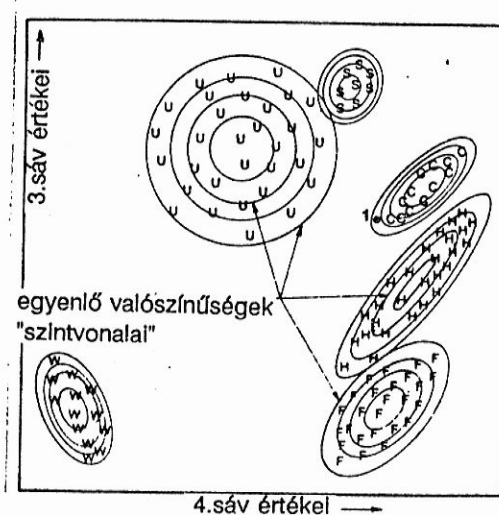
Ezt javítva a legközelebbi k-pixel osztályához ( $k$  - adott szám) sorolva az ismeretlent, már jobb eljárást kapunk. A baj az, hogy sem az osztály centruma, átlagvektora, sem külön az elemek vagy egy csoportjuk nem jellemzik önmagukban jól a tematikus osztályt a spektrális térben.

Ha ezen javítani akarva az ún. (hiper) tégla (vagy doboz, box) osztályozási módszert tekintjük (6.5. ábra), itt viszont a burkoló, a koordináta-tengelyekkel párhuzamos oldalú téglák nem írják le jól az osztályokat, azoknak az intenzitástérbeli eloszlását (szembetűnő a H, F, C osztályoknál). Az átfedő régiókban a döntés feloldására kell kiegészítést tenni. Vegyük észre, hogy a jelölt (1, 2) pixelek besorolása más lesz a vázolt két egyszerű eljárásban.

Az osztályozás pontosságához szükséges tehát, hogy az osztályhoz tartozó pixelek intenzitásainak gyakoriságát, valószínűség- eloszlását figyelembe vegyük. A 6.3. ábrából kiindulva megrajzolhatjuk az egyes osztályokban az azonos valószínűségek szintvonalait (6.6. ábra). Hasonlóan a szintvonalas térképhez, a beljebb eső zárt vonalon belüli vektorok gyakoribbak, mint az azokon kívüliek az illető kategóriában. Ha most egy pixelt oda sorolunk, amelyik osztályban az ilyen vektor gyakrabban fordul elő, azaz magasabb értékű szintvonalon belül van, akkor a maximum-likelihood (legnagyobb valószínűségi) osztályozási módszer alapjához jutunk.



6.5. ábra: A hipertégla vagy box osztályozás



6.6. ábra: A maximum-likelihood osztályozás elve és a valószínűségi szintvonalak

Megjegyezzük, hogy a normális eloszlás-függvény szintvonalai (3 és többsávos felvételnél: szintfelületei) ellipszisek (ellipszoidok ill. hiperellipszoidok).

## 6.2. A képpontosztályozás alapproblémájának matematikai megfogalmazása a többsávos felvételekből történő tematikus térképkészítésben

### Kiindulás:

Adott egy többsávos felvétel. Ez általános kifejtésben az illusztráló feladat egy haszonnövény-térképezés legyen. Ekkor a kategóriák pl.  $\omega_1$  - búza,  $\omega_2$  - kukorica, ...,  $\omega_{15}$  - település.

- a1) Rögzítettük a kívánt célkategóriákat.  
 $\omega_i$ ,  $i=1, \dots, M$ , ahol  $M$  a kategóriák, osztályok száma
- a2) Ismerjük az egyes osztályokon ( $\omega_i$ ) belül a különböző pixelek vektorainak ( $\underline{x}$ ) eloszlását:  
 $p(\underline{x}|\omega_i)$ ,  $i=1, \dots, M$ .  
Tehát tudjuk, hogy mely intenzitásértékeket az osztályon belüli pixeleknek hány százaléka vesz fel ("mennyire tipikus, kedvelt érték").
- a3) Tudjuk, hogy milyen az egyes osztályok előfordulási aránya a teljes képrészleten:  
 $P(\omega_i)$ ,  $i=1, \dots, M$ .  
Ezeket elég becsülni, ami gyakran megtehető egyéb, vagy előző adatok alapján. Ha például egy adott megyére végezzük a térképezést, kiindulhatunk az előző évek összterületi statisztikáiból:  $P(\omega_1)$  - a búza területi aránya az előző évben a megyében stb.
- a4) Ha az osztályozás során rosszul dönt az eljárás, abból pixelenként veszteség származik:  
 $\lambda(\omega_j, \omega_i)$ ,  $i=1, \dots, M$ ,  $j=1, \dots, M$   
legyen az elemi veszteség abból, ha egy  $\underline{x} \in \omega_i$  pixelt az  $\omega_j$  osztályba sorolunk. Ez az adatrendszer tehát egy mátrixszal adható meg, ami nem feltétlenül szimmetrikus.

### Feladat:

Az adott a1-a4 feltételek mellett keressünk olyan eljárást, ami optimális, számítógéppel megoldható, és tág körben, eltérő külső feltételek mellett



használható.

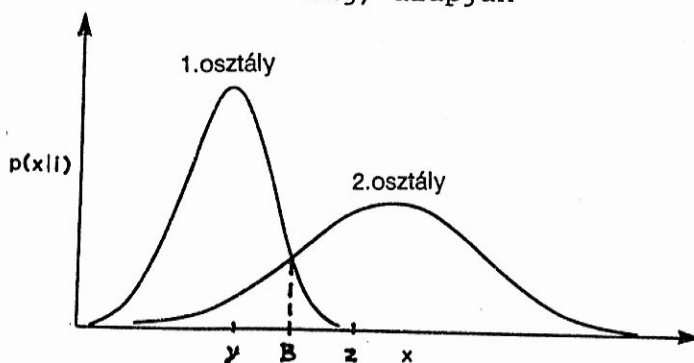
### Megoldások:

Az egyszerűség kedvéért tekintsünk egy egydimenziós esetet két osztállyal. Mivel ez az eljárás általános, nemcsak képpont-intenzitásokra vonatkozik, a jobb érthetőség céljából jelölje most  $x$  az évfolyam hallgatóinak testmagasságát. Az 1. és 2. osztály jelölje a lányokat, illetve a fiúkat.

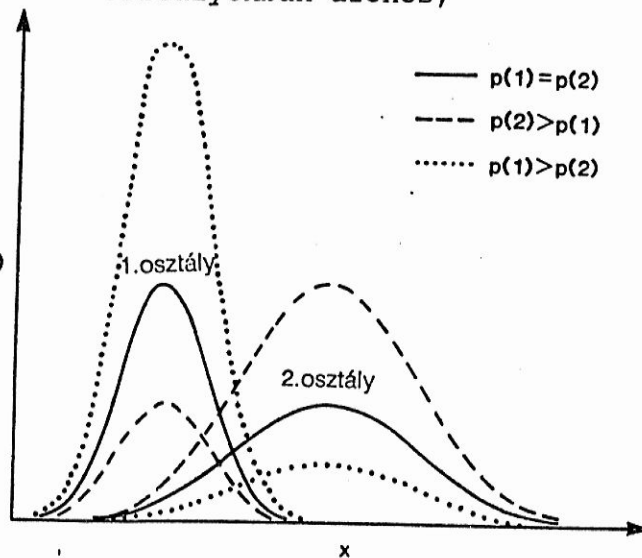
A 6.7.a. ábrán azonos számú ( $P(1)=P(2)=0,5$ ) fiú és lány magasság eloszlásai  $p(x|\omega_1)$ ,  $p(x|\omega_2)$  látszanak. Kivehető, hogy a fiúk átlagosan magasabbak, de jobban szóródnak magasságaik. Ha most egy ismeretlen hallgatóról testmagassága alapján el kellene dönteni, hogy mi lehet, akkor az  $y$  magasságút lánynak ( $\omega_1$ ),  $z$ -t fiúnak gondolnánk ( $\omega_2$ ), mert ezeket a magassági értékeket ilyen gyakoriság szerint veszik fel a megfelelő csoportok. Látszik, hogy a döntési határ a  $B$  értéknél van. Téved az eljárás minden  $B$ -nél alacsonyabb fiúnál és magasabb lánynál, mégis ez a  $B$  érték a legjobb határ, bármely más értéknél több lenne a hibás osztályozás.

Ha ezután a fiúk, lányok létszámait megkértszerezzük, elfelezzük vagy fordítva a megfelelő döntési helyzet és határok a 6.7.b. ábrán láthatóan változnak.

6.7. ábra: Osztályozás egy mennyiség (testmagasság) alapján

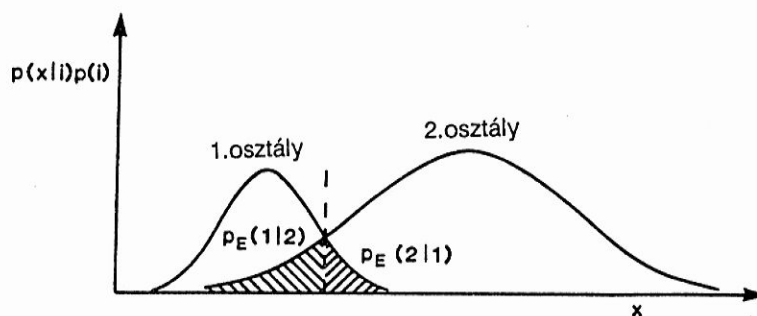


a) ha az elemek száma az osztályokban azonos,



b) ha az elemek száma eltérő

Az is látható, hogy az osztályozási hiba arányos a 6.8. ábrán sávozott görbe alatti területekkel:  $p_E(1|2)$  jelzi az  $\omega_2$ -be tartozó  $\omega_1$ -be soroltakat,  $p_E(2|1)$  a fordítottját.



6.8. ábra: A téves osztályozások számát, a hibát a sávozott területek adják

Ezt a döntéstípust nevezzük maximum-likelihood döntésnek, az így működő osztályozót maximum-likelihood osztályozónak. Általánosan tehát ha

$$P(k) * p(\underline{x} | \omega_k) > P(i) * p(\underline{x} | \omega_i) \quad (6.1)$$

minden  $i=1, \dots, k-1, k+1, \dots, M$ ,

akkor  $\underline{x} \rightarrow \omega_k$ , az  $\underline{x}$  vektort az  $\omega_k$  osztályba soroljuk.

Belátható, hogy ez a döntési, osztályozási eljárás okozza a lehető legkevesebb hibát, melléosztályozást. Más szóval **a maximum-likelihood osztályozás optimális a hibák valószínűsége szempontjából.**

Itt nem határoztunk meg speciális elemi  $\lambda(\omega_j, \omega_i)$  veszteségeket. Itt  $\lambda(\omega_i, \omega_i)=0$ ,  $i=1, \dots, M$  és  $\lambda(\omega_j, \omega_i)=1$ ,  $i=1, \dots, M$ ,  $j=1, \dots, M$ ,  $j \neq i$  volt, azaz a melléosztályozások azonosan és szimmetrikusan rosszak:

$$\Lambda = \begin{bmatrix} 0 & 1 & . & . & . & 1 \\ 1 & 0 & & & & 1 \\ . & & & & & . \\ . & & & & & 1 \\ 1 & . & . & . & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (6.2)$$

Sok esetben nem ilyen egyszerű a  $\Lambda$  veszteségmátrix. Gyakran szükség van az eltérő  $\lambda(\omega_j, \omega_i)$ -re. Például egy súlyosabb betegség szűrővizsgálatánál nem közömbös, hogy egy beteget minősít az eljárás egészségesnek, vagy egy egészségest betegnek. Ha  $\omega_1$  az egészségeseket,  $\omega_2$  a betegeket jelöli,  $\lambda(\omega_2, \omega_1) < \lambda(\omega_1, \omega_2)$ ,  $\lambda(\omega_1, \omega_1) = \lambda(\omega_2, \omega_2) = 0$ .

Ha azt kívánjuk, hogy az osztályozási hibákból álló összes veszteség a lehető legkisebb legyen, eljutunk a Bayes-döntéshez, a Bayes-osztályozáshoz.

Ha egy  $\underline{x}$  vektor besorolásáról van szó, és azt az  $i$ . osztályba soroljuk, az ebből adódó veszteség:

$$L_x(i) = \sum_{j=1}^M \lambda(i, j) p(\omega_j | \underline{x}) \quad i=1, \dots, M \quad (6.3)$$

ahol  $p(\omega_j | \underline{x})$  annak valószínűségét adja, hogy egy  $\underline{x}$  vektor az  $\omega_j$  osztályba tartozzon. A feltételezett ismert mennyiségekkel kifejezve a következő kifejezést kapjuk:

$$L_x(i) = \sum_{j=1}^M \lambda(i, j) p(\underline{x} | \omega_j) P(\omega_j) / p(\underline{x}) \quad (6.4), \text{ ahol}$$

$$p(\underline{x}) = \sum_{j=1}^M p(\underline{x} | \omega_j) P(\omega_j) \quad (6.5)$$

Az osztályozó tehát akkor Bayes-optimalis, ha egy adott  $\underline{x}$  vektort abba az  $\omega_i$ -be sorol, ahol  $L_x(i)$  a legkisebb. (6.4) segítségével is belátható, hogy a maximum-likelihood osztályozás a Bayes-osztályozás speciális esete a veszteségek (6.2) szerinti megválasztásával.

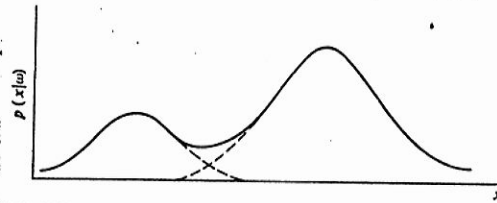
Kiemelendő, hogy a 6.1., 6.2. alfejezetekben tárgyaltak általános érvényű összefüggések, nem függnek a tematikus osztályok intenzitásainak valószínűségeloszlásaitól, sőt az  $\underline{x}$  vektor és  $\omega_i$  osztályok tartalmától sem.

### 6.3. A maximum-likelihood és Bayes-osztályozás gyakorlatban használt összefüggései

A 6.2. alfejezetben felsorolt a1-a4 kiindulási feltételeket és adatokat a gyakorlatban általában további megszorításokkal alkalmazzuk. A vizsgált tematikus célosztályokhoz (a1) egyet hozzáveszünk, amibe azokat a képelemeket soroljuk, amelyek az M osztály egyikébe sem sorolhatók. Ez az "egyéb" osztály, amit néha "nem osztályozott pixelek" vagy "visszautasított pixelek osztálya" névvel jelölnek.

Az egyes osztályokhoz tartozó pixelek sugárzásvektorainak valószínűségeloszlását megadó  $p(\underline{x} | \omega_i)$ -k az N-dimenziós térben ( $N$ =sávszám) értelmezett függvények, amelyeknek a teljes térre vett integrálja egységnyi. Ennek általános megadása azt jelentené, hogy a Landsat TM felvételek esetében a létező  $256^7 \approx 10^{18}$  sugárzási ( $\underline{x}$ ) vektor gyakoriságát kellene megadni, ami lehetetlen. Igaz, hogy egy-egy tematikus osztály általában az intenzitástérnek csak egy kis részére terjed ki, de ezt felhasználva is

csupán kevés sávszám mellett lehet gyakorlatilag használható számítógépes reprezentációt találni. Mivel a felvétel egy homogén területének pixeljei közelítőleg normális intenzitás-vektor eloszlást mutatnak, célszerű ezt a feltételezést a gyakorlatban alkalmazni ellenőrzés mellett. Akkor is használhatjuk az ezzel a feltételezéssel levezetett formulákat, ha az osztályok eloszlásaira ez csak közelítőleg igaz. Néhány durva eltérésnél is mód lehet a több normális eloszlás súlyozott összegével (keverékeloszlás) közelíteni az osztály eloszlását (6.9. ábra).



6.9. ábra: Bonyolultabb eloszlás is közelíthető normális eloszlások súlyozott összegével

A normális eloszlású osztályok valószínűségi sűrűségfüggvénye  $N$  csatorna esetén:

$$p(\underline{x} | \omega_i) = (2\pi)^{-N/2} |\Sigma_i|^{-1/2} \exp\left[-\frac{1}{2} (\underline{x} - \underline{m}_i)^T \Sigma_i^{-1} (\underline{x} - \underline{m}_i)\right] \quad i=1, \dots, M \quad (6.6)$$

A kitevőben szereplő másodfokú alakban a paraméterek az  $\omega_i$  osztály jellemző is:  $\underline{m}_i$  az osztály átlagvektora,  $\Sigma_i$  az osztály kovariancia mátrixa,  $|\Sigma_i|$  ennek determinánsa. Ez utóbbi az eloszlás alakját, kiterjedését határozza meg. Így pl. egy osztály eloszlását a Landsat TM felvételek esetén  $10^{18}$  adat helyett 7 (átlagvektor) és 28 (a szimmetrikus kovarianciamátrix) értékkel le lehet írni.

A  $P(i)$  osztályelőfordulási valószínűségekre (az osztály a priori valószínűsége) az osztályozók nem nagyon érzékenyek. Ha durva becslés sem áll rendelkezésre, szokás ezeket egyenlőnek tekinteni.

A (6.1) helyett az alábbi függvényeket kell a maximum-likelihood osztályozásnál vizsgálni:

$$g_i(\underline{x}) = \ln P(\omega_i) - \frac{1}{2} \ln |\Sigma_i| - \frac{1}{2} (\underline{x} - \underline{m}_i)^T \Sigma_i^{-1} (\underline{x} - \underline{m}_i) \quad i=1, \dots, M \quad (6.7)$$

Amelyik osztályban egy adott pixelre ( $\underline{x}$ ) ez maximális, oda tartozik ez a pixel a legvalószínűbben.

Amikor még a legnagyobb  $g_i(x)$  is kicsi - például a 6.11. ábrán az átfedések tartományában -, a pixelt egyik osztályhoz sem soroljuk. Ezt egy küszöbérték megadásával érjük el.



6.10.a. ábra: Landsat MSS felvételrészlet (1981. júl. 17-én készült) tematikus osztályozásának eredménye. Az osztályozás maximum-likelihood módszerrel történt



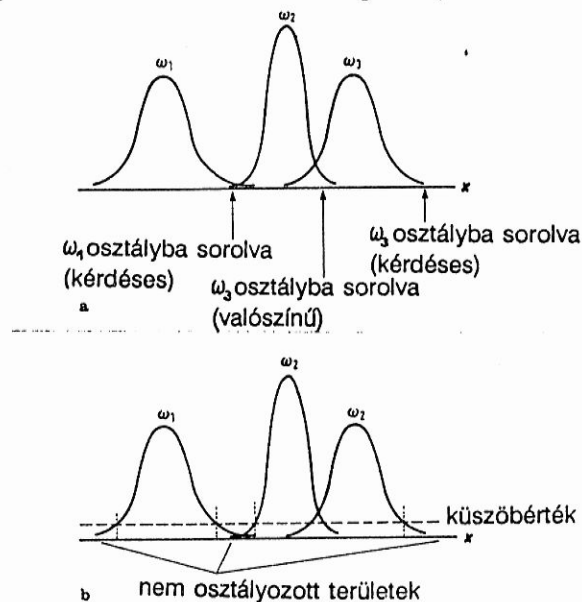
6.10.b. ábra: Ugyanennek a felvételrészletnek osztályozási eredménye. A tematikus osztályozás Bayes-módszerrel történt

A normalitástól még jobban eltérő eloszlás esetében is jól működik a maximum-likelihood osztályozó. Mivel az osztályozási pontosság nem nagyon érzékeny a normalitás megsértésére, ezért tág körben alkalmazható eljárás. A maximum-likelihood osztályozási módszerrel készített tematikus térképrészletet találunk a 6.10.a. ábrán.

A Bayes-osztályozásnál szintén élhetünk a normális eloszlás által nyújtott egyszerűsítéssel, az adott  $x$ -re a (6.4) kifejezések kiszámításával. A melléosztályozásokból származó elemi veszteségek mátrixának megadása a



felhasználó érdekei szerint történik. Mivel ez erősen számításgényes osztályozás, általában a maximum-likelihood eljárás után, a tévesztési eredmények elemzése után célszerű a Bayes-osztályozást alkalmazni (ld. a 6.6. alfejezetet). Ehhez a 6.1. táblázathoz hasonló veszteségi mátrixot adhatunk meg. A megelőző maximum-likelihood osztályozás gyakori, vagy nem kívánatos osztályozási hibáinak megfelelő helyekre nagyobb veszteségi értékeket megadva, azokat visszaszorítjuk (6.10.b. ábra).



6.11. ábra: A nagyon kis valószínűséggel valamely osztályhoz tartozást kizáró küszöbérték és hatása

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	1	15	15	15	15	8	10
2	2	0	15	15	15	15	8	10
3	6	7	0	1	2	2	8	20
4	6	7	1	0	1	1	8	20
5	6	7	3	2	0	1	8	20
6	6	7	3	2	1	0	8	12
7	7	8	15	15	15	8	0	8
8	30	30	20	20	20	7	10	0

Osztályok:

- 1 - búza<sub>1</sub>
- 2 - búza<sub>2</sub>
- 3 - kukorica<sub>1</sub>
- 4 - kukorica<sub>2</sub>
- 5 - kukorica<sub>3</sub>
- 6 - kukorica<sub>4</sub>
- 7 - cukorrépa
- 8 - település

6.1. táblázat: Veszteségi mátrix a Bayes-osztályozáshoz

#### 6.4. A spektrális adatosztályozás használata a tematikus térképek készítésében

Az osztályozáshoz az egyes kategóriák paramétereit ( $\underline{m}_i$ ,  $\Sigma_i$ ,  $i=1, \dots, M$ ), a felvételtől nyerjük, az egyes kategóriákat ábrázoló képrészletek pixelvektoraiból történő becsléssel. Látszólag minden adat rendelkezésre áll, mégsem végezhetjük el rögtön az osztályozást a teljes felvételre,



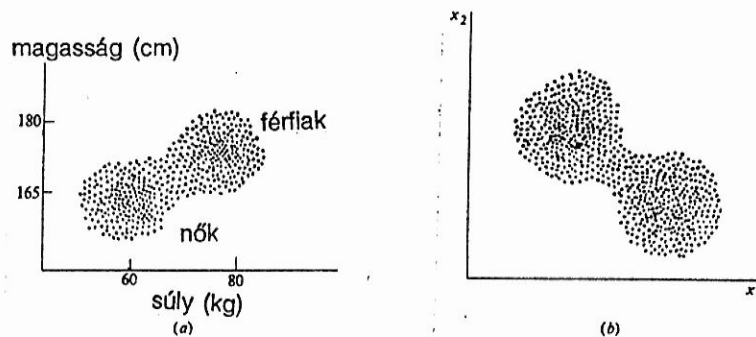
mivel:

- az egyes osztályok normalitása, vagy azoknak normális elosztást közelítő alosztályokra bontása és
- a minták reprezentativitása a teljes kategória-rendszerre nem biztosított.

A spektrális adatosztályok automatikus kimutatása ezeknek a megoldásában segít.

#### 6.4.1. Spektrális adatosztályok, clusterek az intenzitástérben

Láttuk, hogy az intenzitástérben egy tematikus osztály pixeljei csoportosulnak, és a csoport elkülönül egy másik osztály csoportjától. Ez a természetes adattömörülés egy tematikus osztályon belül is előfordulhat, sőt véletlenül több tematikus osztály egyenként kis gyakoriságú vektorai is alkothatnak jelentősebb adatcsoportosulást (6.12. ábra). Ezeket az adatcsoportosulásokat angolul clusternek (ejtsd: klaszter) nevezzük. Rövid magyar kifejezés híján többször használjuk majd ezt a tömörebb elnevezést is.



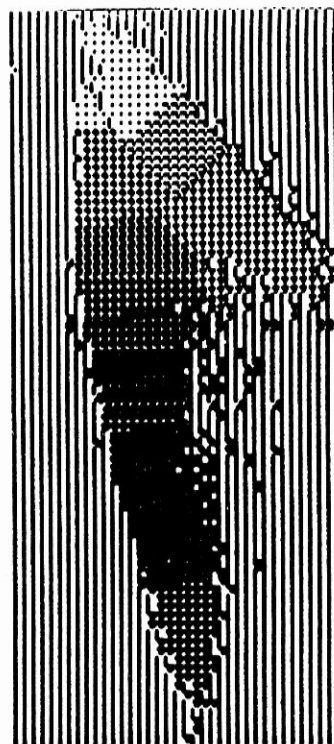
6.12. ábra: Az adatok természetes csoportjai a clusterek

Az egyes tematikus osztályokon belül fellépő adattömörülések magyarázata az, hogy az illető kategória több változatban, többféleképpen sugározva van jelen a földfelszínen. Növényfelmérésnél például a búza kategória intenzitásvektorai a talajtól, a megelőző esőktől, a fajtától, a vetési időponttól és a műveléstől függően több homogén, spektrálisan hasonló (cluster) csoportra bomolhatnak. Éppen ezért egyes eljárásokban az egyéb ismeretek alapján reprezentatívnak gondolt mintát kategóriánként alávetik a cluster-kereső eljárásnak. Ez nem más, mint a 6.9. ábrán láthatóhoz hasonlóan összetett osztály spektrális alosztályokra bontása. A spektrális alosztályok a  $p(\underline{x}|\omega_i)$  függvény lokális maximumának környezetei. Ki kell emelni, hogy a gyakorlati clusterkereső eljárások az adott kép intenzitásvektorai halmazának egy nem átfedő részhalmazokra bontását végzik

el, mint a 6.13.b. ábrán látható.



6.13.a. ábra: Landsat MSS felvételi részlet Nádudvar környéki részének kétdimenziós hisztogramja

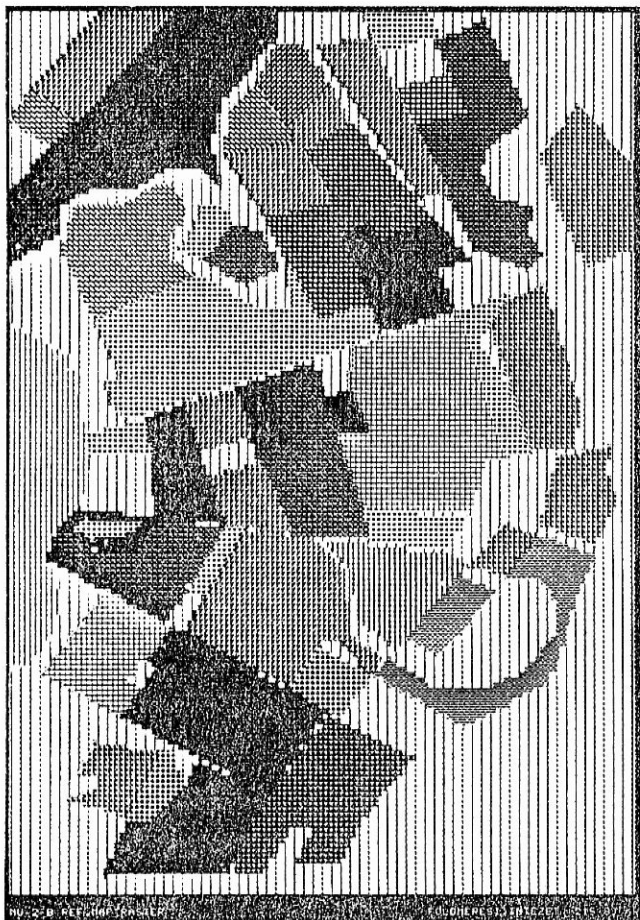


6.13.b. ábra: Az intenzitássteret így darabolja fel a cluster-kereső eljárás

A spektrális adatosztályok és a tematikus osztályok viszonyának megértéséhez vegyük szemügyre a 6.14.a, b. ábrákat. Az alföldi település mezőgazdasági üzemének 1981. évi vetésszerkezete mellett a terület Landsat MSS felvétel alapján készített spektrális sugárzási térképe (cluster-térképe) látható. Ezen a különböző spektrális sugárzási adatosztályhoz tartozó képpontok (és így a megfelelő elemi földfelszíndarabok) különbözően vannak jelölve. Látható, hogy egy-egy tematikus osztály, pl. egy tábla, többféle sugárzási adatosztályból áll, és fordítva, több tematikus osztályban is megjelenik ugyanaz a spektrális adatosztály. Ez a viszony még világosabban látszik egy Landsat TM spektrális adatosztályozása után az egyes clusterek és tematikus osztályok elhelyezkedésére vonatkozóan a 6.15. ábrán. A lehetséges viszony tehát:

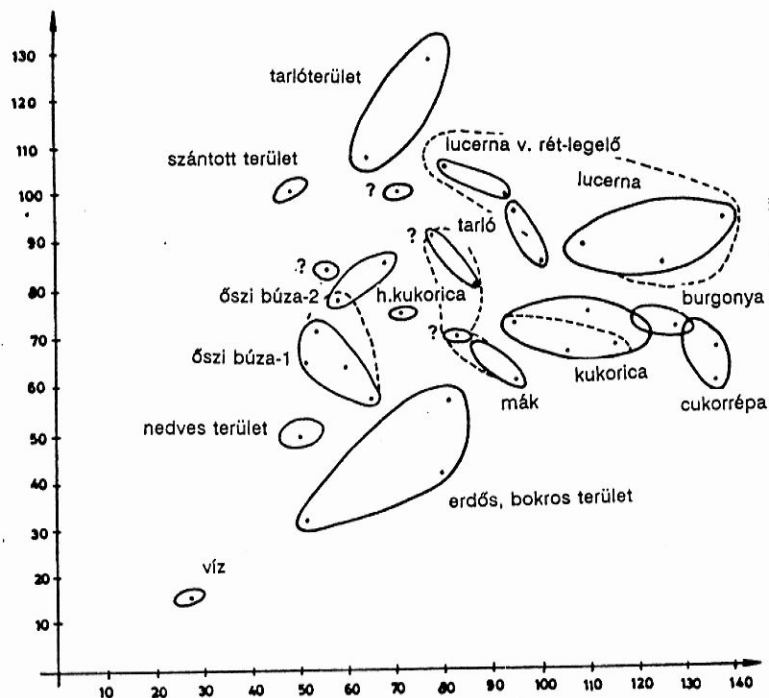
- a) egy spektrális adatosztály megfelel egy tematikus osztálynak,
- b) több spektrális adatosztály "épít fel" egy tematikus célosztályt,
- c) egy spektrális adatosztály több tematikus célosztályban is fellép.

A gyakorlatban az a) típusú egy-egyértelmű megfeleltethetőség igen ritka, leggyakoribb a b) eset. A c) típusú clusterhez tartozó pixelek okozzák az osztályozási hibákat, hiszen spektrálisan nem különböznek az ide eső különböző felszínborítások. E viszony tisztázása az ún. "tanulás" része, amihez tehát ismert kategória-minták szükségesek.



6.14. ábra: Nádudvar környéki  
mezőgazdasági terület  
a) vetésszerkezete  
1981-ben,

b) spektrális sugárzási adat-  
térképe (cluster-térképe)  
az 1981. júl.17-i állapot  
Landsat MSS felvétel  
alapján



6.15. ábra: Landsat TM felvételrészlet spektrális és tematikus osztályainak megfeleltetése (a clusterközéppontok ponttal jelezve)

#### 6.4.2. Néhány cluster-kereső eljárás áttekintése, az eljárások kiindulási és eredményadatai

Ezen eljárások vázlatos megadása segíti lehetőségeik és korlátaik megértését a távérzékelte felvételek gyakorlati kiértékelése során. Az eljárás három jellegzetes alaptípusát tekintsük:

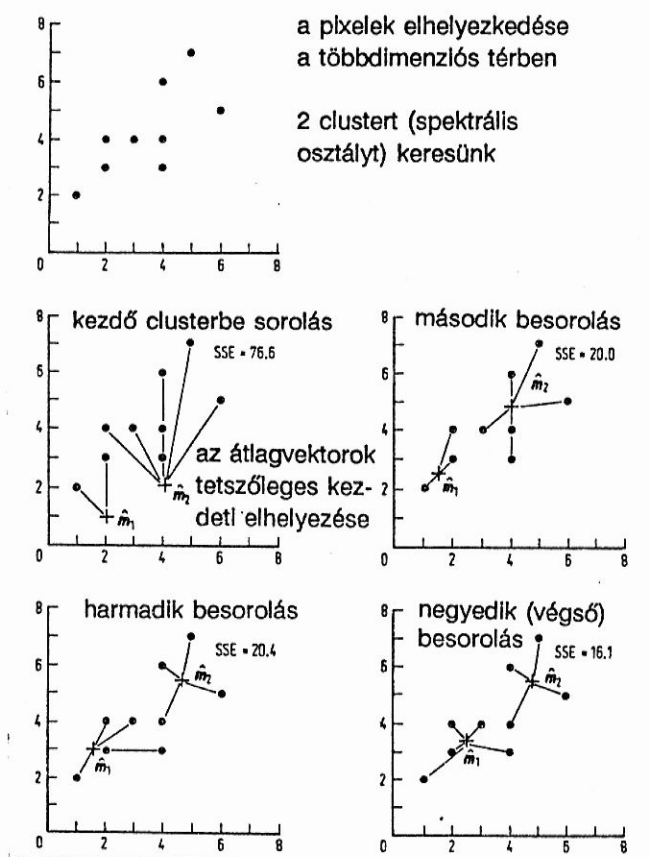
- c1) az ISODATA típusú eljárások,
- c2) a többdimenziós hisztogramok elemzésén alapuló eljárások,
- c3) a gráfelméleti alapú módszerek

Az ISODATA cluster-kereső eljárás célja olyan adatosztályok megtalálása a kép összes képpontjának halmazában, amelyek egymáshoz közel vannak, tehát az, hogy a

$$SSE = \sum_{C_i} \sum_{x \in C_i} (x - c_i)^2 \quad (6.8)$$

a lehető legkisebb legyen az adott darabszámú  $C_i$  cluster mellett. Az eljárás iteratív lépései jól követhetők néhány elemre a 6.16. ábrán:

- iso1) Kiválasztunk megfelelő számú cluster középpontot (az intenzitástérben egyenletesen, vagy más módszerrel).
- iso2) Minden képpontot a hozzá legközelebbi clusterhez (középponthoz) sorolunk be.
- iso3) Kiszámítjuk az új középpontokat (átlagvektor).
- iso4) Megvizsgáljuk a clusterek változását (vagy középpontjaik mozgását). Ha ez nagy  $\rightarrow$  újra iso2-vel folytatjuk.
- iso5) Kialakultak a csoportok.

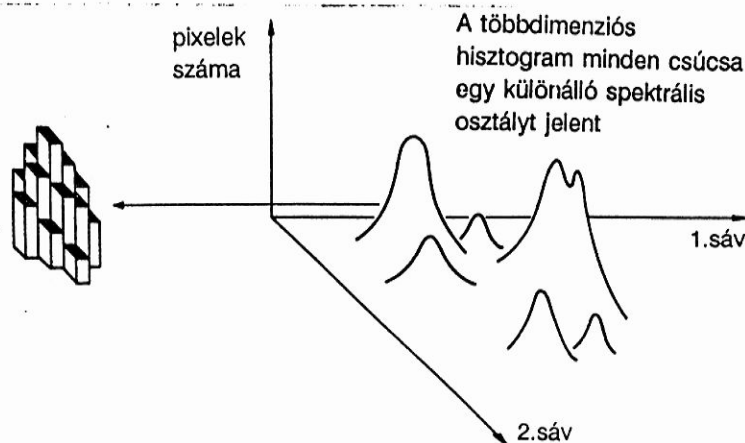


6.16. ábra: Az ISODATA iteratív cluster-kereső eljárás lényege

A valóban alkalmazott eljárások sokkal bonyolultabbak, azokban többféle megszorítást tehetünk a clusterek méretére, elemszámára, összevonhatunk közeli clustereket, szétvághatunk túl nagyokat stb. Nagyon gyakran alkalmazzák ezt az eljárást a különböző képfeldolgozó rendszerekben.

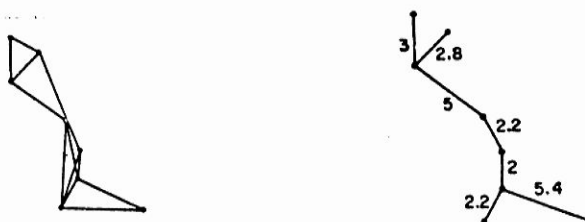
A többdimenziós hisztogramok elemzésén alapuló eljárásoknál először az egyes intenzitás-vektorok előfordulási gyakoriságát kell meghatározni. Ennek az

N-dimenziós (N: sávszám) hisztogramnak a tárolása - mint láttuk 6.3. alfejezetben - bonyolult feladat, ezért ezek az eljárások csak kis N-re (N=3-5) működnek hatékonyan. Egy kétsávós digitális felvétel valódi hisztogramjának részletét és egy idealizált folytonos intenzitásvektor gyakoriság-függvényt mutat a 6.17. ábra.



6.17. ábra: A hisztogramok helyi maximumai környezetének megkeresését végzik egyes cluster-kereső eljárások

A gráfelméleti módszerek abból indulnak ki, hogy a képpont-intenzitások mindegyike mindegyik másikkal össze van kötve (teljes gráf), és az élek hossza az összekötött képpontvektorok távolsága. Ebből a teljes gráfból kiválasztható egy minimális feszítőfa, amelynek élhossz-összege a legkisebb (6.18. ábra). Ezután a leghosszabb élek kívánság szerinti elhagyásával oszthatjuk részekre az intenzitásvektorok halmazát. Ezek és a többi gráfelméleti eljárás csak viszonylag kis elemszámú adat csoportosítására használható, például képrészletek, homogén képszegmensek vagy éppen clusterek további csoportosítására.



6.18. ábra: Cluster-keresés minimális feszítő fa módszerrel  
a) a képpont-intenzitásokat összekötő (majdnem teljes) gráf  
b) a minimális élhossz összegnek megfelelő feszítő fa

A spektrális adatosztályokat megkereső eljárások kiinduló és eredmény-adatai a következők:



Kiindulási adatok:

- i1) a többsávos felvétel kiválasztott részletei;
- i2) a kiértékelést végző szakember által megadott paraméterek (pl. hány clusterre bontsuk az intenzitásteret, konvergenciára, a clusterek méretére vonatkozó előírások).

Ezeket az adatokat a területről, a célkategóriákról való áttekintő előzetes ismeret után lehet megadni. Ha pl. a terület haszonnövény-felmérése a feladat 20 kategóriával, és feltesszük, hogy a környezeti paraméterek (talaj, domborzat, művelés stb.) miatt ezek átlagosan 3-3 spektrális osztályra bonthatók, 60-70 cluster elkülönítését kell kitűzni. A szükséges paraméterek megadásához távérzékelési szakismeretre és az adott alkalmazásban szerzett gyakorlati tapasztalatokra is szükség van.

#### Eredmények:

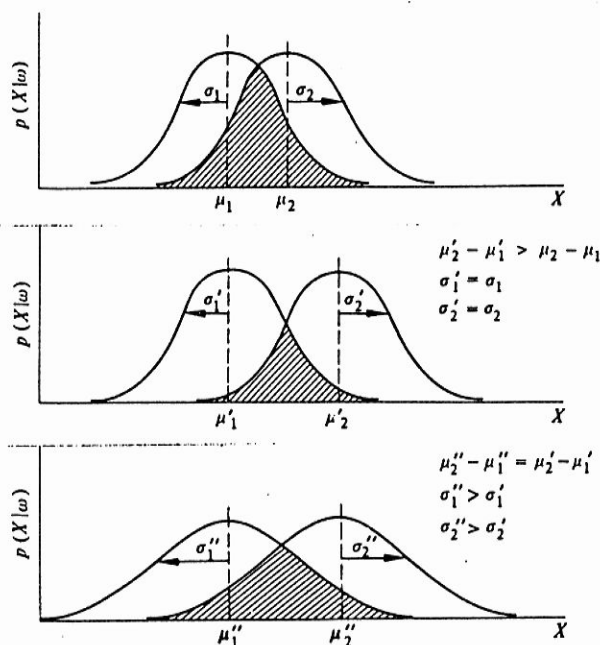
- o1) Az egyes spektrális adatosztályok statisztikai jellemzői: elemszám, az intenzitás-vektorok átlaga, kovariancia mátrix.
- o2) A clusterek egymástól vett távolságai (halmaz-távolság, ld. a 6.5. alfejezetet)
- o3) Spektrális térkép vagy cluster-térkép, amelyen az egyes képpontok spektrális osztályai jelennek meg, kódolva (színnel, karakterrel stb.).

A clusterezés végső soron a felvételen jelen levő spektrális adat sokféleségének csökkentésére szolgál. A ténylegesen megjelenő 10.000 - 1.000.000 különböző sugárzási vektor helyett a jól tömörülő 10-100 nagyságrendű részhalmazok együttes kezelését teszi lehetővé. Ezen kisebb számú spektrális adat (o1) teszi lehetővé a célkategóriáknak a tematikus osztályozásban szükséges minta alapján történő osztályozását az o2, o3 adatok és a referencia adatok alapján.

#### **6.5. A spektrális adatosztályok átfedésének, távolságának mérése, és a tematikus osztályozás hibáinak előrejelzése**

A számítógépes eljárással megkeresett spektrális adatosztályok az adott kép intenzitásvektorainak diszjunkt részhalmazai (ld. 6.13.b. ábrát), tehát ezek önmagukban nem fednek át. Láttuk azonban (6.3. alfejezetben), hogy ezeknek a clustereknek a képpontonkénti megadása lehetetlen, ezért a relatív gyakoriság-függvényeiket valamely eloszlásfüggvény-osztállyal (leggyakrabban a normális eloszlással) közelítjük. Az így jellemzett adatosztályok

átfedése, közelsége okozza majd a tematikus osztályozásnál a hibát (ld. 6.8. ábra). A nagyobb átfedés nagyobb tematikus osztályozási hibát okoz. Célszerű tehát a clusterek és ugyanígy a tematikus osztályok távolságát azzal mérni, hogy az osztály valószínűség sűrűségfüggvényei vagy empirikus relatív gyakoriságfüggvényei mennyire kevéssé fednek át. Az átfedést mind az átlagvektorok távolsága, mind a szórások befolyásolják (6.19. ábra).



6.19. ábra: Az adatosztályok átfedése és így az osztályozási hiba (a) függ az átlagok távolságától (b) és a szórástól (c)

Az átfedések mérésén alapulnak az alábbi cluster-cluster vagy osztály-osztály távolságdefiníciók. A kép adatterének spektrális adatosztályait kereső eljárások (ld. a 6.4.2. szakaszt) ezeket a távolságokat is kiszámítják. Ezeknek meghatározását csak a pontosság kedvéért adjuk meg, a hangsúly ezek jellegén és az osztályozási hibával való összefüggésükön van.

### Divergencia

$$D(i, j) = \int_{\underline{x}} [p(\underline{x} | \omega_i) - p(\underline{x} | \omega_j)] \ln \frac{p(\underline{x} | \omega_i)}{p(\underline{x} | \omega_j)} d\underline{x} \quad (6.9)$$

ahol az integrál kifejezésben szereplők az  $\omega_i$  és  $\omega_j$  osztályok vagy clusterek valószínűség sűrűségfüggvényei. Az integrálást a teljes intenzitástérre kell elvégezni.

Normális eloszlás esetén

$$D(i, j) = \frac{1}{2} \text{tr}[(\Sigma_i - \Sigma_j)(\Sigma_j^{-1} - \Sigma_i^{-1})] + \frac{1}{2} \text{tr}[(\Sigma_i^{-1} + \Sigma_j^{-1})(\underline{m}_i - \underline{m}_j)(\underline{m}_i - \underline{m}_j)^T] \quad (6.10)$$

ahol  $\underline{m}_i, \underline{m}_j$  az osztályok átlagvektorai,  $\Sigma_i, \Sigma_j$  a kovarianciamátrixai, és  $\text{tr}$  a főátlóbeli elemek összegét képző operátor.

Hasznos és gyakran használt mérték a transzformált divergencia:

$$D_T(i, j) = 2 * (1 - \exp(-\frac{D(i, j)}{8})) \quad (6.11)$$

Jeffries-Matusita (JM) távolság

$$J(i, j) = \int_{\underline{x}} [\sqrt{p(\underline{x}|\omega_i)} - \sqrt{p(\underline{x}|\omega_j)}]^2 d\underline{x} \quad (6.12)$$

ami normális eloszlások esetén a

$$J(i, j) = 2(1 - e^{-\alpha}) \quad (6.13) \quad \text{alakú lesz, ahol}$$

$$\alpha = \frac{1}{8} (\underline{m}_i - \underline{m}_j)^T \left\{ \frac{\Sigma_i + \Sigma_j}{2} \right\}^{-1} (\underline{m}_i - \underline{m}_j) + \frac{1}{2} \ln \left( \frac{(\Sigma_i + \Sigma_j)^{1/2}}{|\Sigma_i|^{1/2} |\Sigma_j|^{1/2}} \right) \quad (6.14)$$

Hasonlóan használják az ún. Mahalanobis és a Bhattacharyya távolságokat is.

A felsorolt cluster-cluster és tematikus osztály-osztály távolságokat a gyakorlatban több alkalommal használjuk a tematikus osztályozás előkészítésében:

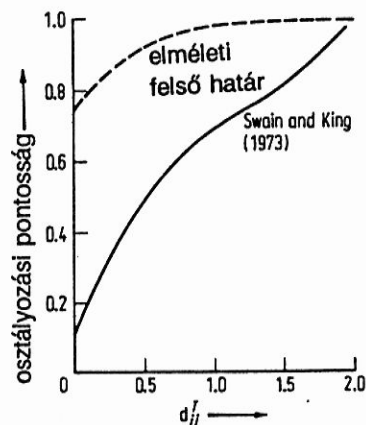
- a) a spektrálisan kiterjedt tematikus osztályok alosztályokra bontásánál,
- b) a tematikus osztályok spektrális osztályokból történő felépítése során (ld. a 6.8. alfejezetben az L10-es lépést),
- c) a tematikus osztályok spektrális keveredésének és a várható osztályozási hibáknak előre becslésében.

Kimutatták 2 osztály esetére, hogy:

$$P_E > \frac{1}{8} e^{-D(i, j)/2} \quad (6.15)$$

tehát az osztályozási hiba valószínűsége nagyobb, mint a két osztály közötti

távolság transzformált divergenciával megadható értékének az exponenciális kifejezése. Gyakorlati mintán, mintegy 3000 normális eloszlású osztálypárt használva, a hiba felső határára is lehetett mérőszámot adni (6.20. ábra).



6.20. ábra: Az osztályozási pontosság és az adatosztályok távolságának (transzformált divergencia) összefüggése. A felső határt elméleti, az alsót gyakorlati becsléssel kapták.

Hasonlóan kimutatható, hogy

$$\frac{1}{16} (2 - J^2)^2 \leq P_E \leq 1 - \frac{1}{2} (1 + \frac{1}{2} J^2) \quad (6.16)$$

ahol  $J$  a két osztály közötti Jeffries-Matusita távolság.

Ezeknek a távolságoknak jó hasznát lehet venni akkor is, ha egy többidőpontú, többsávós felvétel-rendszerből kell kiválasztani a tematikus osztályozáshoz használandó sávokat. Ilyenkor az egyes osztályok mintáit alapul véve azokat a sávokat és időpontokat hagyjuk meg, amelyeknél az átlagos vagy a minimális osztály-osztály távolság a legnagyobb.

#### 6.6. A tematikus osztályozás pontosságvizsgálata

A távérzékelte felvételek elemzéséhez és a tematikus térképkészítéshez elkerülhetetlenül hozzátartoznak a tematikus osztályozási hibák. Ezek a hibák nem emberi mulasztás, pontatlanság következményei, hanem a különböző földfelszíni objektumok hasonló vagy azonos spektrális tulajdonságainak következményei. Alapvetően fontos ezért a kvantitatív elemzésben, hogy a tematikus osztályozási eredmény pontosságáról ismereteink lehessenek. A pontosságvizsgálatban az ismert földi referenciaterületek adatait hasonlítjuk össze a tematikus eredménytérképpel. Ebben az alfejezetben csupán a pontosságvizsgálat eszközeit mutatjuk be. A pontosságvizsgálat szerepét és felhasználási módját a 6.8. alfejezetben találjuk.

A digitális feldolgozásban a földi referencia adatokat térképre visszük, ezt digitalizáljuk, majd a digitális referenciatérképet (pl. 6.14. ábra) képpontonként összevethetjük a tematikus eredménnyel. Ebből kapjuk a pontosságvizsgálat két eszközét:

- a) az osztályozás tévesztéseinek mátrixát,
- b) a hibahelyek térbeli eloszlását, a hibatérképet.

A tévesztési mátrix (6.2. táblázat) egyes soraiba a referenciaosztályok képpontjainak az osztályozás utáni megoszlása kerül. A "főátlón" kívüli elemek jelzik a hibás besorolást, a sorok összege a kategória referencia képpontjainak számát, az oszlopoké az osztályozás eredményében megjelenő képpontszámot. Legtöbbször a kategóriában eltalált elemek arányszámát veszik találati aránynak, azaz az ún. elsőfajú hibákat (kihagyás) veszik figyelembe. Hibát jeleznek a kategória oszlopában a főátlóban levőtől eltérő elemek is: a máshonnan ide osztályozottak, a másodfajú hibák (beválogatás) kerülnek ide. Az oszlopok száma a "nem felismert" eredménykategóriával több a sorokénál.

a t é o n s y z l t e á g l e y s	az osztályozás eredménye									pix.	hiba	talá- lat%
	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
1	706	28	0	0	0	0	0	10	6	750	44	94
2	10	389	0	0	0	0	0	4	22	425	36	92
3	0	0	184	4	0	3	0	0	3	194	10	95
4	0	0	0	371	46	2	0	0	0	419	48	88
5	0	0	0	29	370	21	0	60	0	480	110	77
6	9	0	0	0	4	802	0	46	0	861	59	93
7	0	0	27	0	0	0	907	0	55	989	82	92
8	11	0	1	45	117	45	0	280	7	506	226	55

Jelkulcs: 1-búzatarló (talaj), 2-búza, 3-kukorica<sub>1</sub>,  
4-kukorica<sub>2</sub>, 5-kukorica<sub>3</sub>, 6-kukorica<sub>4</sub>,  
7-cukorrépa, 8-település, 9-nem felismert

6.2. táblázat: Osztályozási pontosság vagy tévesztési táblázat egy Landsat MSS képrészlet osztályozásából

A tévesztési mátrix rendkívül fontos eszköz a képelemzésben. Nemcsak a pontosságot, hanem a különböző téves osztályozások tendenciáit is jól mutatja. Ezeknek ismeretében többször szükség lehet a tanulóterületek újra kiválasztására, a referenciaadatok ellenőrzésére, a kategóriák spektrális összetevőinek felülvizsgálatára stb. Ha ezekkel már elértük a legjobb eredményt, az ezt követő Bayes-osztályozással még tovább javíthatjuk a találati arányt. Ehhez a  $\Lambda$  veszteségi mátrixnak az empirikus tévesztési mátrix adatain alapuló megadása szükséges (ld. 6.3. alfejezetet). A tévesztési táblázat az osztályozási hibák összegzése, nem ad útmutatást

arra, hogy a felvétel (vagy a megfelelő földterület) mely részén, milyen jellegű hibák lépnek fel.

A hibák területi eloszlására nyújt felvilágosítást a **hibatérkép** (6.21. ábra). Ezen a találatot és a különböző téves osztályozásokat külön kódok vagy különböző tónusok jelzik. A hibatérkép rendkívül hasznos eszköz, mivel a csoportos osztályozási hibák a referencia adatok hibáit, vagy a tematikus osztályozás előkészítésének (a "tanulásnak") fogyatékosait is gyakran megmutatják.



6.21. ábra: A tematikus osztályozás hibatérképe

#### 6.7. Területi mintavételezés a nagy területek távérzékeléses megfigyelésében, tanuló és teszt területek

Láttuk, hogy a távérzékelte felvételek kiértékelésének jellege statisztikus, mintavételezésen alapuló és extrapoláló (ld. a 4.4. alfejezetet). Az egyes célkategóriák spektrális jellemzőit egy-egy területi mintából számítjuk ki, és a továbbiakban ezeket használjuk a kategóriák spektrális leírásaként, azonosítójaként. Kérdés, hogy az adott kategóriaminták és így ezek spektrális adatai mennyire reprezentálják az egész vizsgált területet.

A kiértékelendő felvétel által átfogott területen egy sor olyan környezeti tényező változik, amely befolyásolja a rögzített sugárzási értékeket és mégsem ezeket a tényezőket akarjuk megfigyelni, hanem egy célkategória-rendszert. Vegyük példának a nagyterületű haszonnövény felmérést, térképezést és az egyes növények területi értékeinek meghatározását. A teljes vizsgálati területen változnak a távérzékelte adatokat felsoroló különböző környezeti tényezők: a talaj, domborzat, a növények fajtája,



vetési időpontja és művelése, a talajnedvesség, közeli eső okozta területi eltérések, és a terület feletti légkör állapota és a felhősség. Ezeknek együttes hatása miatt az egy célkategóriába tartozó földfelszíni elemek spektrálisan jelentősen eltérnek egymástól. A kategóriánkénti ideális mintakiválasztás tehát megkívánja, hogy felbontsuk a célterületet olyan részekre, amelyekben a befolyásoló környezeti tényezők állandóak, és minden ilyen régióban külön kellene a tematikus osztályozást végrehajtani, majd az eredményeket egyesíteni. Az így összegyűjtött mintákat együttesen reprezentatívnak mondjuk, ha felölelik az összes környezeti tényezők együttesének és a célkategóriáknak összes lehetséges változatát.

A gyakorlatban ennek az eljárásnak különböző változatait használjuk. Itt egy gyakran alkalmazott módszert mutatunk be:

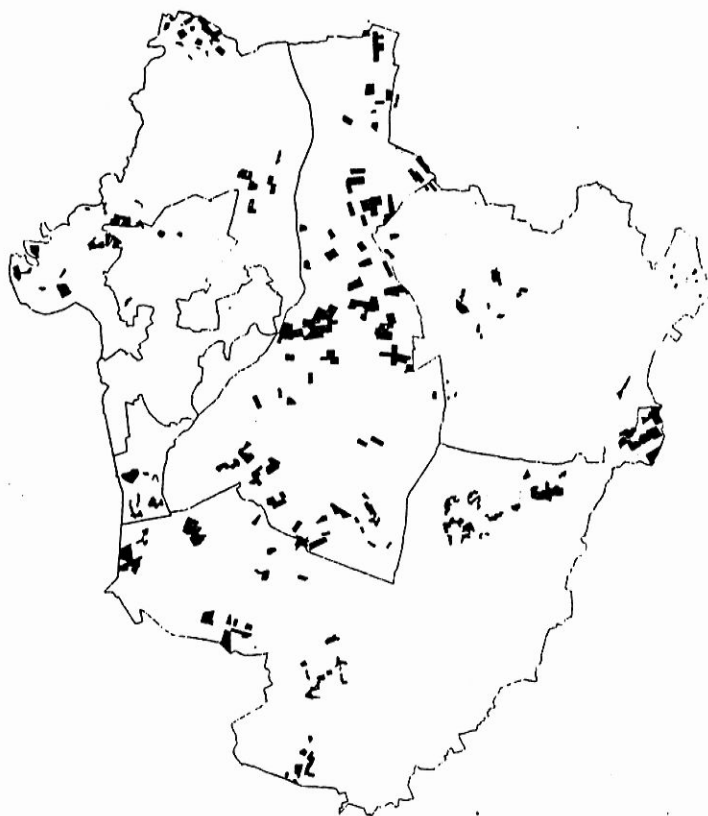
- M1) Az ismert (térképezett, adatokkal meghatározott), időben kevésbé változó környezeti adatok és a felvétel áttekintő tanulmányozásával és a felhősség megállapításával meghatározzuk a homogén régiókat (statisztikai réteg vagy stratum). A fenti példában talajtérképet, tájhatárokat alkalmazunk ebben a lépésben.
- M2) A homogén régiókból - lehetőleg szétszórva - kiválasztjuk a mintaterületeket. Ezekről ezután referencia adatokat szerzünk be, hogy minden kategória képviselve legyen. Az M1-ben kimaradt környezeti tényezők hatásának leválasztását a spektrális adatosztályokra bontással tehetjük meg.

Az itteni M2) helyett gyakran véletlen kiválasztás alapján történő statisztikai regresszióval oldjuk meg a kategóriák területbecslését. Ilyenkor a földfelszínen kiválasztott mintaterületek földi és a távérzékelési adatokból készített tematikus térképadatainak statisztikai összefüggéseit elemezzük és terjesztjük ki az egész célterületre.

A kétlépéses mintaterület-kiválasztás eredményeképpen (6.22. ábra) a teljes célterület 2-4 %-át használhatjuk referenciaként. A referenciaterületek kiválasztása rendkívül fontos és kritikus lépés a teljes távérzékelési feladat megoldásban.

Az ismert hovatartozású (kategóriájú) mintaterületeket, a referencia területeket két részre osztjuk, tanuló és teszt területekre. Az ezekhez tartozó felvétel-részletet vagy ezek kategóriák szerint csoportosított képpont intenzitás-vektorait és a levezetett spektrális jellemzőket tananyagnak, tesztanyagnak nevezzük. A tananyagot a tematikus osztályozás

előkészítésében, a célkategóriák spektrális jellemzőinek meghatározására használjuk.



6.22. ábra: Megyei haszonnövény-felmérés referencia (tanuló + teszt) területei az egyes régiókban

A tananyag szükséges elemszáma kategóriánként attól függ, hogy milyen osztályozó eljárást használunk, és a kategóriák várhatóan mennyire fednek át az adattérben. A kívánt elemszám erősen függ a felhasznált felvétel sávszámától. Nem-paraméteres hisztogram alapú osztályozóknál általában több tanuló képpontra van szükség, és paraméteres - a normális eloszlás feltevését használó - maximum-likelihood osztályozásnál osztályonként legalább  $10 \cdot N$  pixel szükséges. Itt  $N$  a sávszám, így pl. Landsat MSS ill. TM felvételeknél 40, ill. 70 képpontnál kevesebbet nem szabad használni. Pontosabb osztályozási eredmény eléréséhez többet célszerű. A tananyag mérete, a sávszám és az elérhető osztályozási pontosság érdekes összefüggésben van egymással, amit a 7.4. alfejezetben találunk.

#### 6.8. A távérzékelte felvételek tematikus kiértékelésének lépései a különböző alkalmazásokban

A távérzékeléssel nyert adatok felhasználásán alapuló feladatok megoldásának

menetét csak itt, az egyes részfeladatokban használt módszereknek, eljárásoknak az 5., 6. fejezetekben történt áttekintése után lehet ismertetni.

A felhasználás során szükséges egyes lényeges, gyakorlati szempontokat szintén ebben az alfejezetben adunk meg. Az eljárások haszna függ a konkrét feladattól. Az itt bemutatott feladat végrehajtási lépések egy eljárás idealizált vázlatának tekinthetők. Ez a gyakorlatban sokkal kevésbé lépésről-lépésre haladó, sok benne a visszalépés, ismétlés, korrekció. A megoldás menete többször iteratív, hurkolt, és ezt feladatonként számtalan olyan tényező egyszerűsítheti, bonyolíthatja, amelyeket nem lehet általánosan tárgyalni.

#### L1. A célkitűzés, megfogalmazása

Egész pontosan rögzíteni kell a célt: mit akarunk felmérni, kimutatni. (Ezt nem szabad a megoldás módjával összekeverni). Ez a fázis a célosztályok rendszerét rögzíti, a kimutatásuk pontosságára vonatkozó elvárásokkal, de az eredmények megjelenési formájára, az átfutási időre és költségekre vonatkozóan is megkorlátozásokat ad.

#### L2. A feladat elemzése, modellalkotás, tervekészítés

A célkitűzés után a fizika, szaktudományok és a matematika eszközeivel meg kell vizsgálni, hogy a feladatban szereplő jelenség, folyamat paraméterei hogy mérhetők, becsülhetők a távérzékeléssel rögzíthető spektrális-időbeli adatok segítségével. Létre kell hozni a mérés és adatgyűjtés modelljét, és az adatgyűjtés, feldolgozás és ellenőrzés részletes tervét (ld. 4.4. alfejezetet). Nagyon fontos, hogy a lehetséges alternatív, nem távérzékeléses eljárásokat is összevethessük a távérzékelésen alapulóval. Ide tartozik a pénzügyi terv elkészítése is.

#### L3. A felvételek kiválasztása

Ezután a területnek, és a feladat spektrális, terepi és időbeli felbontási igényeinek megfelelő felvételeket kell kiválasztani és beszerezni. Gyakran fordul elő azonban, hogy az elemzés (L2) során fontosnak, kritikusnak talált időpontokban az adat nem használható az adatforrás hibája, felhőborítás, erős pára vagy más okból. Ilyenkor alternatív adatok felhasználását kíséreljük meg, amely a modellalkotást, tervekészítést visszamenőleg módosítja. A felvételek egy-egy részének felhőssége még nem feltétlenül

hiúsítja meg a használatukat. Végeredményben általában egy felvételi idősort használunk fel.

#### L4. A felvételek közös térképi rendszerhez illesztése

Itt az 5. fejezetben leírtak alapján, lehetőleg az adott felvételtípushoz illeszkedő transzformációval, elvégezzük a felvételek térképi illesztését. Ennek eredményeképpen minden felvétel minden képpontjának ismert és garantált pontossággal megadhatók a térképi koordinátái, és fordítva. Az illeszkedési maradék- (átlagos) hibának jóval kisebbnek kell lennie a képelem méreténél. Az illeszkedési hibák felvételi idősor kiértékelésénél, főleg a homogén területek határai mentén eredményeznek kevert adatosztályú pixeleket, és ezekkel rontják a tematikus osztályozás pontosságát.

#### L5. A felvételek átfogó statisztikai vizsgálata, áttekintése, tájékozódás

A térképhez illesztett felvételeken először általában a topográfiai térképek felhasználásával történő tájékozódás, a települések, tájegységek, régiók, folyók, tavak, erdők, utak, vasutak felismerését, azonosítását végezzük el. A felvételek szemlélése közben egy sor, a vizuális áttekinthetőséget javító eljárást is alkalmazunk (ld. az 5. fejezetet). A szemlélés másik célja a feltűnő, zavaró, akadályozó tényezők számbavétele, pl. nemrég esett eső hatása, felhősség, pára, hónyomok stb. (Megjegyzendő, hogy a mintaterületek kiválasztásában (L6) már a felvételek szemlélésével nyert információt is felhasználjuk.) Egyes topográfiai elemek felhasználásával elkészítjük a terület nagyított színtkompozitját, amely jó munkaeszköz a teljes kiértékelésnél.

Megvizsgáljuk a teljes kép vagy a teljes feldolgozandó képrészlet intenzitásviszonyait a hisztogramok, átlag és szórásértékek, és a korrelációs vagy kovarianciamátrix segítségével. Nagy tapasztalattal már ezekből is levonhatunk egyszerűbb megállapításokat pl. a terület növényzetének általános állapotára stb. A korrelációs vizsgálatok és a főkomponens transzformáció (ld. az 5.4. alfejezetet) szükség esetén az adatredukciót, a sávkiválasztást segíthetik.

#### L6. Mintaterületek kiválasztása

Itt a 6.7. alfejezetben leírt kétlépcsős területkiválasztás egyes lépéseit járjuk végig. Először a teljes célterület kisebb homogén tartományokra, régiókra (statisztikai réteg, strátum) bontását végezzük el, majd azokon

belül határozzuk meg a mintaterületeket. A mintaterületek kiválasztásánál a legfontosabb az, hogy jól reprezentálják a célosztályoknak a különböző környezeti és egyéb paraméterek mellett előálló összes (spektrális) változatát, és az, hogy az adatgyűjtés hatékonyan megoldható legyen. Ezért a mintaelemek egymáshoz közeli földfelszíni együtteseit, csoportjait részesítjük előnyben. Ebben a fázisban tartalékterületeket is ki kell jelölni, hogy a sikertelen vagy rossz adatok mellett maradjon elegendő referencia a kiértékeléshez.

E részfeladat végeredményeképpen rendelkezésre áll a teljes vizsgált terület felmérési strátumainak térképe, és azon belül a tervezett referenciaterületek térképe. Ezen referenciaterületeket használjuk majd a "tanulásra" és a tematikus feldolgozás ellenőrzésére ("teszt").

#### L7. A szükséges referencia adatok beszerzése és bevitele a feldolgozó rendszerbe

Ez általában a leghosszabb, a leginkább munkaigényes és legköltségesebb lépés a feladatmegoldásban. A szükséges földi paraméterek mérésére, begyűjtésére szigorú, pontosan szabályozott eljárást kell kialakítani, hogy a gyűjtést végző különböző csoportok adatai egyformán használhatók legyenek. Az adatgyűjtés ellenőrzését is meg kell oldani. A beérkezett adatokat a nyilvántartás után általában több lépésben ellenőrizni kell. A rossz "referencia adatok" rendkívül meghamisíthatják a teljes feladatmegoldást, hiszen a távérzékeléssel nyert adatok kiértékelésének jellege a mintákon történő tanulás, vagy kalibrációból kiinduló kiterjesztés.

Egyes földi paraméterek begyűjtésében kiemelkedően hatékonyan használható a légifényképezés. A korlátot csupán az jelenti, hogy mely paramétereket lehet egyértelműen megszerezni a felvételekből.

A referenciadatokat a számítógépes feldolgozó rendszerbe visszük. A különböző adatokat általában ún. földrajzi információs rendszerben (ld. a 9.2. alfejezetet) tároljuk. Így a táblázatos és a térképi adatokat (pont, vonal vagy felület), valamint az ezekhez köthető számszerű adatokat egységesítve, hatékonyan tudjuk kezelni, felhasználni.

A hibavizsgálatot leggyakrabban a számítógépes adatrendszeren végezzük. A nyilvánvalóan hibás és hiányos adatokat (területeket) kizárjuk a referencia adatok közül, és átszerkesztjük az L6-ban készített referenciatérképet, módosítva a tanuló és teszt területeket is.



#### L8. A tanuló területek spektrális adatanalízise

A teljes tematikus kiértékelést, így ezt az eljárást is, az előbb kiválasztott régióként, strátumonként végezzük. A tanulóterület képpontjain automatikus spektrális adatosztályozást hajtunk végre. (Ritkán, amikor kevés, vagy az adattérben jól elkülönülő tematikus osztállyal van dolgunk, elegendő a tematikus referencia kategóriáinként kiszámítani a képpontintenzitás-vektorok különböző statisztikáit. A kapott spektrális adattérkép és a clusterek statisztikáinak, és egymástól vett távolságainak elemzésével már képet kapunk az adatfelbontás jóságára. Ennek alapján az eljárást megismételhetjük.

#### L9. Az adat és tematikus osztályok összefüggéseinek megállapítása

A referencia és spektrális adattérkép összevetésével kiszámítjuk a clusterek megoszlását az egyes kategóriákban. Ebből kiderül, hogy mely clusterek tartoznak kizárólag (vagy dominánsan) egy kategóriához, melyek többhöz, és azokban milyen gyakoriságban fordulnak elő. Az egyes kategóriák egyes mintáinak az ettől való eltérését vizsgálni kell: ez gyakran hibás referenciaadatot mutat ki, máskor szükségessé teszi a spektrális adatmegoszláshoz illeszkedő tematikus alkategóriák használatát. Ezek az alkategóriák néhányszor pontosan meghatározhatók tematikusan is (pl. növény térképezésnél fejlettségi alosztályok), ezért fontos, hogy ezeknek a tartalmi azonosítása is megtörténjen.

Az alkategóriák felvételével a tematikus osztályok spektrálisan egyértelműbbek, kisebb szórásúak lesznek, és ennek következtében kisebb lesz a velük kapcsolatos tematikus osztályozási hiba is. A feladat végén ezek szükség szerint összevonhatók, vagy külön szerepeltethetők, tehát az eljárás a felhasználó előtt rejtve maradhat.

#### L10. A tematikus osztályok spektrális adatjellemzőinek összeállítása

Az eredetileg meghatározott tematikus kategóriákat és a feldolgozás közben szükségessé vált alkategóriákat a továbbiakban egyaránt kategóriáknak, (tematikus) osztályoknak nevezzük. Ebben a lépésben az a cél, hogy a tematikus osztályozás előtt a szükséges bemenő adatokat összeállítsuk, a maximum-likelihood osztályozónál például az osztályok átlagvektorát, kovarianciamátrixait. Ezeket az előző lépésben meghatározott adatokból, az osztályokat felépítő clusterek megfelelő adataiból, valamint az osztályban tapasztalt gyakoriságaik arányában súlyozással számíthatjuk ki. Ez



lényegében annak az alkalmazása, hogy egy összetettebb osztályt, azaz az osztályt leíró valószínűségi sűrűségfüggvényt összerakhatunk normális eloszlások sűrűségfüggvényeinek súlyozott összegeként.

Vigyázni kell azonban arra, hogy az előző lépésekben (L8, L9) kialakított clusterek közül a csak az egymáshoz közel levők lehessenek az osztályt felépítő komponensek. Itt rendkívül hasznosak a megismert (ld. 6.5. alfejezet) cluster-cluster távolságok.

Az osztályok spektrális adataival egy részletes vizsgálatot végezhetünk az egymástól vett távolságaikat tekintve (ld. 6.5. alfejezetet). Így mód van a későbbi osztályozási hibák előjelzésére. Ha ezek a hibák nagyok, akkor legtöbbször az L8 lépésre térünk vissza, megkísérelve a kisebb clusterekre bontást, és később a több alosztály használatát. Sokszor ezek is hatástalanok, ekkor a több időpont, vagy egyéb jellemzők bekapcsolása segíthet.

#### L11. A tematikus osztályozás elvégzése a tanuló területre

Az osztályozáshoz szükséges  $P(i)$  osztály-előfordulási valószínűségek más adatforrások adataiból becsülhetők, a Bayes-osztályozásban használt veszteségi mátrixot a felhasználó adja meg. A maximum-likelihood eljárás alkalmazásánál használt visszautasítási küszöböt magasabbra (szigorú) tesszük.

Az osztályozás eredményét megvizsgáljuk, és a pontosságot felmérjük. A tanulóterületen mért pontosság nem tekinthető mindenütt érvényesnek. A pontosság a kép más részein általában ennél gyengébb. Ha már ez a tévesztési mátrix is elfogadhatatlan eredményt mutat, vissza kell térni a tanulás elejére (L8-ra). Csak jó eredmény esetén végezhetjük el a következő lépést.

#### L12. A tematikus osztályozás kiterjeszthetőségének vizsgálata a teszt-területen

Az osztályozást elvégezzük a referenciaadatokban különválasztott teszt területre is. Itt is elvégezzük a pontosságvizsgálatot. Ha ez jelentősen rosszabb eredményt mutat, ez azt jelenti, hogy a tematikus osztályoknak a tanulóterületekről összegyűjtött spektrális adatai nem jellemzik elég jól a kategóriát, tehát nem reprezentatívak. Ennek feloldása megint visszalépést igényel L8-ra vagy L6-ra.

L13. A tematikus osztályozás elvégzése az egész régióra,  
pontosságvizsgálattal

Ha a teszt területeken végzett próbaosztályozás megfelelő, az egész régió tematikus osztályozását végzhetjük el. Az egész régió pontosságvizsgálatát az előző lépésben már elvégeztük, így annyi tévesztési mátrix és hibatérkép áll rendelkezésre, ahány strátumra bontottuk a teljes vizsgált területet.

L14. Az eredmények megjelenítése képi, térképi és táblázatos formában

A régiónkénti tematikus térképeket digitálisan összevonva megkapjuk az egész célterület tematikus térképét. A pontossági adatokat egyesítve megkapjuk a teljes célterületre vonatkozó pontosságot, ami ilyen formában egy átlagolt eredmény. A régiónkénti adatok a pontosság hely szerinti változására is jelzést adnak. A képpontszámokból az egyes kategóriák által elfoglalt területet is kiszámítjuk, és táblázatosan megjelenítjük.

A tematikus eredményt képszerűen, jelkulccsal megjelenítjük. Ezen az egyes célkategóriák különböző jellel, tónussal, színnel vannak kódolva. Erre gyakran ráhelyezzük a topográfiai térkép néhány - főleg vonalas - tematikáját.

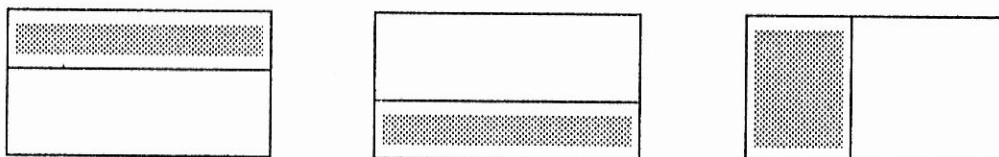
Az eredményt értelmezzük, és a lehetőség szerint összevetjük más forrású, az eredményeinkkel összefüggésben levő adatokkal.

## 7. VÁLOGATOTT KÉRDÉSEK A KÉPELEMZÉSBŐL

A távérzékelte felvételek teljes feldolgozásának általános kérdéseit áttekintettük az 5., 6. fejezetekben. Ezeken túlmenően a gyakorlati feladatmegoldásnál felmerül több olyan kérdés, probléma, amelyeket nem lehetett a módszerek bemutatásába ágyazva ismertetni. Ezek közül néhányat ismertetünk ebben a fejezetben. A bemutatásra kerülő illusztratív problémák azonban bevilágítanak a kvantitatív távérzékelési feladat-megközelítés sokoldalú eszköztárába.

### 7.1. A tematikus térképek pontosságvizsgálatának egyes kérdései

P1) A 6.6. alfejezetben ismertetett pontosságvizsgálati eszközök: a tévesztési mátrix és a hibatérkép a referenciatérkép és a tematikus térkép pontonkénti összevetéséből készülnek. Ez egy nagyon szigorú pontosságfelmérés. Semmiképpen sem lenne helyes, ha a távérzékelésen (vagy bármilyen más eljáráson) alapuló tematikus térképkészítéssel az egyes kategóriáknak a célterületen kapott területét vetnénk csupán össze a valamely más forrásból nyert területértékekkel. Például egy 100 ha-os területen 40 hektár víz és 60 hektár szántó van. Ha egy eljárás pontosan ugyanezen területértékeket eredményez is, még lehet teljesen hamis (7.1. ábra).



7.1. ábra: A tematikus térkép helyessége nem ellenőrizhető az osztályok területével

A pontosságvizsgálat tehát csak képelemenkénti összehasonlítás alapján végezhető. A valójában képpontonkénti hibaeloszlást mutató empirikus tévesztési mátrixok gondatlan használatával a példához hasonló durva hibát követünk el, ha a pontosságot a sorok (a kategória összes referencia képpontja) és a megfelelő oszlopok összegének (az illető kategóriába osztályozott összes képpont) összehasonlításával helyettesítjük. E helyett a mátrix összes elemének tanulmányozása ad megfelelő felvilágosítást. A helyesen osztályozott képpontoknak a referencia kategória képpontjaihoz való aránya is gyakran használt mutató.

Mindenképpen külön tanulmányozandók az első és másodfajú hibák is. Még így is kérdés, hogy a tapasztalt osztályozási pontosság mennyire érvényes a nem vizsgált területeken, azaz: mennyire reprezentatív a teszt terület az egész felvételen.

P2) A képpont-osztályozási és a felhasználó számára fontos tematikus hiba különböző.

A pontosság-vizsgálatot a tematikus térkép és egy ideális referenciatérkép (ld. a 6.14.a. ábrát) összehasonlításával végezzük. A felhasznált referenciatérkép nem tükrözi vissza a felszín inhomogenitásait. Egy mezőgazdasági táblán például lehetnek gyomfoltok, talajinhomogenitásból eredő eltérő borítású részek, belvizes foltok stb. Ezeket a referenciatérképek általában nem veszik figyelembe. Kísérletképpen elvégezve úgy a pontosságvizsgálatot, hogy a terepi inhomogenitásokat is figyelembe vettük, a 6.2. táblázatból a 7.1. táblázat lett. Ez azt jelenti, hogy a távérzékelte adatokat felhasználó tematikus osztályozó teljesítménye rendkívül jó lehet a felszín leírására. A szokásos módon készített pontossági/tévesztési táblázatok tehát nemcsak az osztályozási hibát tartalmazzák, hanem a terepi eltéréseket is.

a t é o n s y z l t e á g l e y s	az osztályozás eredménye									pix.	hiba	talá- lat%
	1	2	3	4	5	6	7	8	9			
1	1329	0	0	0	0	0	0	0	0	1329	0	100
2	0	676	0	0	0	0	0	0	0	647	0	100
3	0	0	944	0	0	0	0	0	0	944	0	100
4	0	0	0	283	0	0	0	0	0	283	0	100
5	2	0	0	0	771	0	0	84	2	859	88	98.1
6	16	2	0	0	0	1178	0	46	4	1246	68	94.5
7	0	0	10	1	0	0	1523	1	15	1550	27	98.2
8	0	0	0	17	124	54	0	557	14	766	209	72.7

Jelkulcs: 1-búzatarló (talaj), 2-búza, 3-kukorica<sub>1</sub>,  
4-kukorica<sub>2</sub>, 5-kukorica<sub>3</sub>, 6-kukorica<sub>4</sub>,  
7-cukorrépa, 8-település, 9-nem felismert

7.1. táblázat: A 6.2. tévesztési táblázat így alakul át, ha a terepi inhomogenitásokat nem tekintjük osztályozási hibáknak

Minden feladatban sajátosan kell tehát a tévesztési mátrixból a tényleges pontosságot levezetni. A haszonnövények területfelmérését megelőző növényterképezésben valóban hibának tekintendők a tévesztési mátrix diagonálistól eltérő elemei, hiszen a kipusztult vagy gyomos folt is az adott tábla területéhez tartozik. Növényfejlődés vizsgálatnál vagy

termésbecslésnél a tényleges inhomogenitási helyeken fellépő tévesztést nem szabad hibának tekinteni, mert azok éppen a fejlődés és terméshozam problémáit jelzik.

A földhasználati, vetésszerkezeti felméréseknél tehát a tematikus térképről többféle módon eltávolíthatjuk a kategóriák tartományában levő pontonkénti, vagy néhány pontból álló inhomogenitásokat:

- a) vizuális áttekintéssel a legtöbb esetben kiszűrhetők az elszórt inhomogenitások;
- b) számítógéppel segített utófeldolgozási, tematikus szűrési módszerek is felhasználhatók.

A b) esetben a képpontonkénti eljárással elkészített tematikus eredménytérkép minden képpontját egy környezetével együtt vizsgálhatjuk (7.2. ábra), és ha a környezetben az egyik osztály gyakorisága nagy, a képpontot is oda soroljuk. E többségi simítás mellett még sok hasonló, az osztályoktól függő logikai szűrés, az elszórt hibák csökkentését megoldó eljárás létezik. Ezek az eljárások az ún. környezet- (kontextus-) függő osztályozások legegyszerűbb változatai (lásd még a 7.3. alfejezetet).

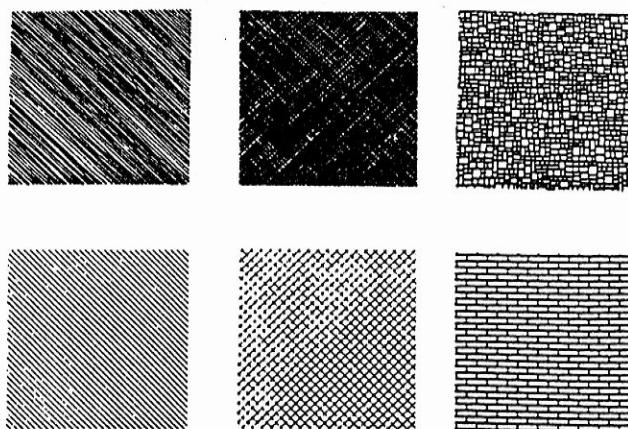
eredeti osztályozás			osztály	pixelszám	módosított osztályozás		
A	A	A	A	6	A	A	A
A	C	B	B	1	A	A	B
C	A	A	C	2	C	A	A

7.2. ábra: A pontonkénti tematikus osztályozás után végrehajtható egy környezetfüggő tematikus újraosztályozás az elszórt hibák csökkentésére

## 7.2. Texturális mértékek használata a tematikus térképkészítésben

A képpontok és a megfelelő földfelszíni elemek tematikus kategorizálása nemcsak a különböző elektromágneses hullámhossz-tartományokban (felvételi sávokban) beérkező sugárzási intenzitásokat rögzítő vektorok alapján történhet. Egy elemi földfelszíndarab jellemzésére figyelembe vehetjük a környező képpontok sugárzási viszonyait is, vagy az adott földi pixel sugárzásának időbeli értékeit is. A pixel környezetének szabályos intenzitás változása a textura. Különböző texturákat mutat a 7.3. ábra. A textura

megfogalmazása a képpont körzetében levő egyéb képpontok intenzitásaival történik. A különböző mértékek abból indulnak ki, hogy egy adott intenzitású pixel környezetében milyen gyakori a különböző azonos vagy eltérő intenzitás. Ha a különböző, itt nem ismertető mértékeket hozzákapcsoljuk a képpontok intenzitásainak vektorához, a tematikus osztályozásnál egyes esetekben pontosság javulást érhetünk el (6-8 %).



7.3. ábra: A textura a kép sajátos, szabályos intenzitás változásainak rendszere

A texturális jellemzők használhatóságát nagyon körültekintően elemezni kell.

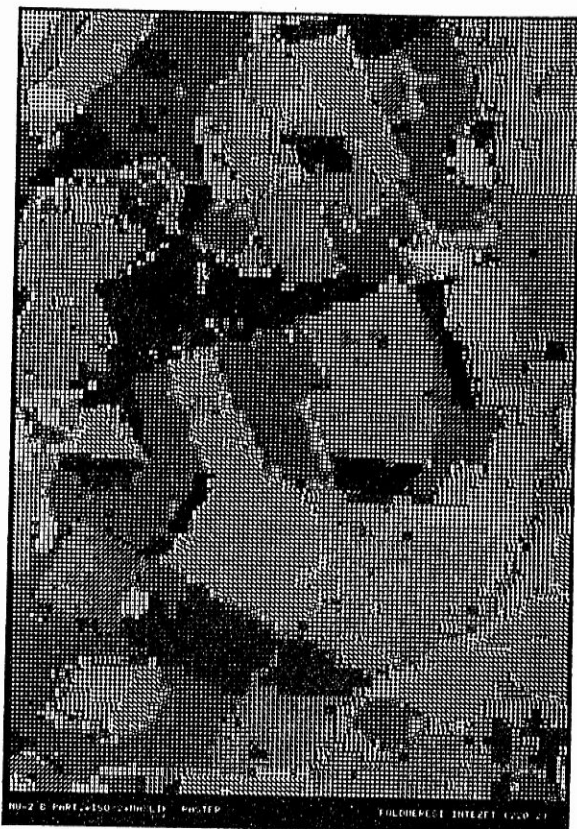
### 7.3. A kép szegmensenkénti osztályozása

Mint láttuk, a tematikus osztályozásnál általában érdemes figyelembe venni egy képponton kívül a környezetét is. Sok alkalmazásnál a földfelszín nagyobb homogén foltok együtteseként írható le, pl. mezőgazdasági, erdészeti alkalmazásokban. Ezekben sokkal több a homogén felszíndarabban levő képpontok száma, mint a régiók peremén levőké, sokkal valószínűbb tehát, hogy egy képpontot követő azonos kategóriájú, mint fordítva. Ha tehát a felvétel homogén szegmenseit határozzuk meg előbb, akkor ezeket a képrészleteket együtt is osztályozhatjuk. Ebből várhatóan nagyobb osztályozási pontosság adódik, hiszen ezek a szegmensek az elszórt inhomogenitásokat egyszerűen beolvasszthatják.

Az ilyen eljárások lényege az, hogy egy homogenitási kritériummal összefüggő szegmenseket határozzunk meg, majd ezekkel mint elemi objektumokkal dolgozunk tovább. Clusterezést és tematikus osztályozást is végrehajtunk. A szegmenseknek azonban nemcsak az átlagvektorát használjuk, hanem másodrendű statisztikáikat is (pl. kovarianciáikat).



Ha a vizsgált területen a homogén régiók mérete többszöröse (20-100-szorosa) a földi pixelméretnek, ezek az eljárások jóval (8-10 %-kal) pontosabb eredményt hoznak (7.4. ábra). Ezen eljárások módosított változatát mutatja be a 9.2. alfejezet.

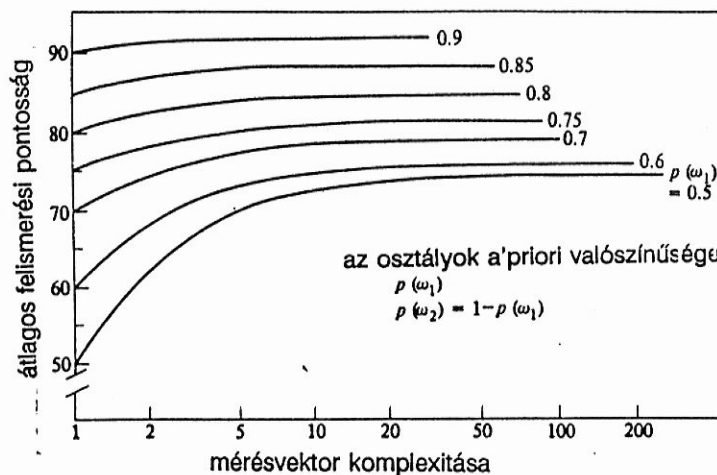


7.4. ábra: Tematikus térképrészlet Landsat MSS űrfelvétel képszegmensenkénti osztályozásával

#### 7.4. Összefüggés az adatok dimenziószáma és a tematikus osztályozás pontossága között

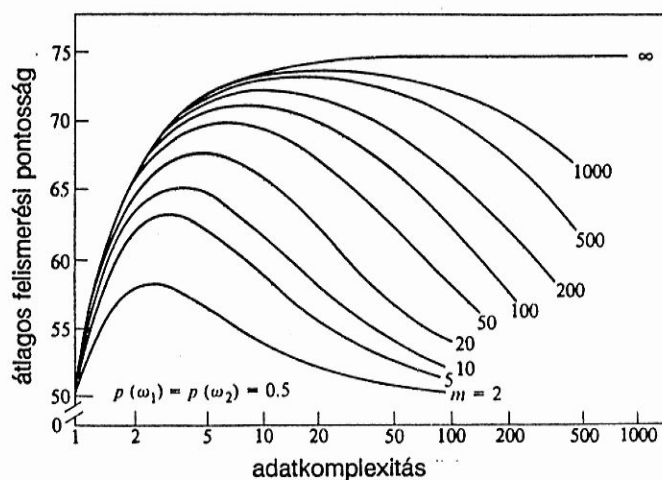
Ha a tematikus osztályozás elkerülhetetlen hibáit csökkenteni akarjuk, kézenfekvőnek tűnik az, hogy a sávok számát, vagy a felhasznált felvételek, időpontok számát növeljük. Azt gondolhatjuk, hogy a vizsgált földfelszíni elemekre vonatkozó több információ alapján pontosabb lehet a döntés. Ez az elképzelés a tanuláson alapuló statisztikai döntéseknél bizonyíthatóan hamis.

Ha két tematikus osztályt vizsgálunk különböző a priori valószínűséggel, akkor az osztályozási pontosság valóban javul a mérési adatvektor összetettségével (7.5. ábra). Itt a mérési adatvektor összetettségét mérjük a  $K^N$  számmal, ahol  $K$  az egy sávban használt intenzitás számértékek száma (a detektorba érkező energia kvantálási szintjeinek száma),  $N$  a sávszám.



7.5. ábra: Összefüggés az átlagos osztályozási pontosság és a mérési adatvektor komplexitása között végtelen tananyag esetén

A 7.5. ábrán látható monoton pontosságnövekedés azonban csak végtelen elemszámú tananyag mellett áll fenn. A gyakorlat véges elemszámú tananyagai - tehát az egy kategóriából referencia adatként felhasználható véges képpontszám mellett (7.6. ábra) az osztályozási pontosság nem növekszik monoton módon a mérési adatvektor komplexitásával, hanem egy maximum után csökken. Ez azt jelenti, hogy adott számú sávonkénti intenzitás-szint mellett a felhasználandó sávszámnak optimuma van. Hiába növeljük tehát a sávok vagy időpontok számát egy adott ponton túl, ez már az osztályozási eredmény romlásával jár.



7.6. ábra: A gyakorlatban, véges tananyag mellett az osztályozási pontosságnak optimuma van bizonyos adatkomplexitás mellett

A jelenségnek az a magyarázata, hogy a rögzített elemszámú mintából a nagyobb dimenziószámú vektortérben az egyre több statisztikai jellemzőt egyre bizonytalanabban tudjuk becsülni. Ez tehát egy fontos összefüggés az

osztályozó teljesítménye, a dimenziószám és a tananyag elemszáma között. Egy olyan fontos összefüggés, amit a gyakorlatban sokszor nem vesznek figyelembe.

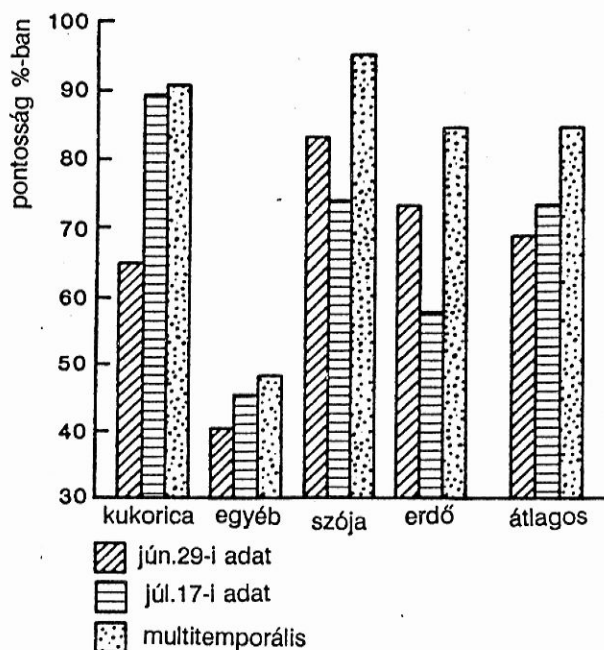
#### 7.5. Több időpontban készített felvételek feldolgozása

A célkategóriák spektrális átfedései miatt a melléosztályozás csökkentésére gyakran még az állapot felméréshez is (országos haszonnövény felmérés évente május 30-ra, erdő kataszter stb.) használunk több időpontból származó felvételeket. Így kívánjuk kihasználni azt, hogy egyes időpontokban a vizsgált terület célkategóriái jobban elkülönülnek spektrálisan egymástól (ld. 2.14. ábra).

A több időpontban készített felvételek együttesét (multitemporális adatrendszer) többféleképpen is feldolgozhatjuk.

- a) Az időpontokat külön-külön kiértékeljük, majd az eredményeket a feladathoz illő logikai megfeleltetés szerint összevonjuk. (Egyes eljárásokban az osztályok a priori gyakoriságát az előző időpont tematikus eredményéből becsüljük.
- b) Az egyes időpontok adatait egyesítjük - szükség szerint csökkentjük a dimenziószámot (ld. 5.4. alfejezetet) - majd az így kapott adatrendszert egy lépésben kiértékeljük.
- c) A több időpont spektrális értékeihez egy modell segítségével egy görbét illesztünk, amely az egyes földi pixelek időbeli spektrális viselkedését rögzíti, s ezután ezeknek a görbéknek a paraméterei lesznek az osztályozásban használt bemenő adatok.

A b), c) esetekben a felvételeket fizikailag közös alapra kell hozni, a Nap-állásszög és a különböző légköri hatások eltávolításával, csökkentésével. Rendkívül fontos a különböző felvételek képpontonkénti összeillesztése 0,2 pixel vagy kisebb hibával. Ezekkel a módszerekkel a 7.7. ábrán levőnél (a) módszer) általában jelentősebb javulás érhető el. A c) csoportba tartozó, speciálisan a haszonnövény felméréseknél használt eljárást mutatja be a 7.6. alfejezet.



7.7. ábra: A többidőpontú felvételek alapján általában nagyobb tematikus pontosság érhető el, mint egy feltétel alapján

#### 7.6. Speciális spektrális transzformációk és ezek időfüggvényei

A távérzékelte felvételek eredeti sávjaiban mért intenzitásértékek helyett sokszor használtak különböző sávkombinációkat, ún. spektrális indexeket, legtöbbször a vizuális áttekintés segítésére. Először a felvételi sávok intenzitásainak hányadosát képezve próbáltak jól használható mennyiségeket levezetni.

Leggyakrabban

$$R_{IR,R} = \frac{I_{IR}}{I_R} \quad (7.1)$$

azaz az infravörös és vörös hullámhossztartományban érzékelt intenzitások arányát használták. Landsat MSS és NOAA AVHRR felvételek esetén ez

$$R_{IR,R} = \frac{I_4}{I_2} \quad \text{illetve} \quad I_{IR,R} = \frac{I_2}{I_1} \quad (7.2)$$

ahol  $I_j$  a  $j$ . sávbeli intenzitásérték. (Az 5. Landsat műholdon az MSS felleve sávjainak számozása már: 1-4.) Ha összevetjük a csupasz talaj és a növényzet spektrális jellegzetes visszaverési görbéit (2.8. ábra) látható, hogy ez az érték - éppen a kétféle felszín eltérő viselkedése miatt  $1 < (R_{4/2})_T < 2$ ,

viszont  $(R_{4/2})_N \gg 1$  növényzetre, tehát nagyon jó az elkülönítésükre. További előny, hogy némileg csökkentik a domborzatból (megvilágításból) adódó különbségeket. Ezek a sávarány-indexek jók lehetnek elkülönítésre kisebb helyen, kevés növényosztály mellett.

A normalizált különbségindexet a

$$ND = \frac{I_{IR} - I_R}{I_{IR} + I_R} \quad (7.3)$$

kifejezéssel adjuk meg, a Landsat MSS sávjaaira ez a

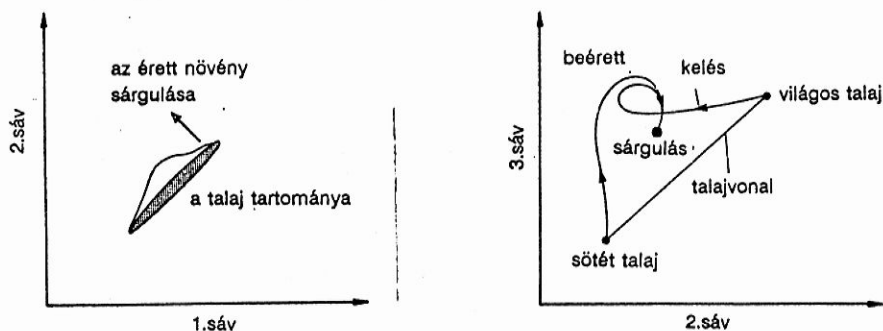
$$ND_4 = \frac{I_4 - I_2}{I_4 + I_2} \quad (7.4)$$

kifejezés, aminek kicsit módosított formáját hívjuk transzformált vegetációs indexnek:

$$TVI = \sqrt{ND_4 + 0.5} \quad (7.5)$$

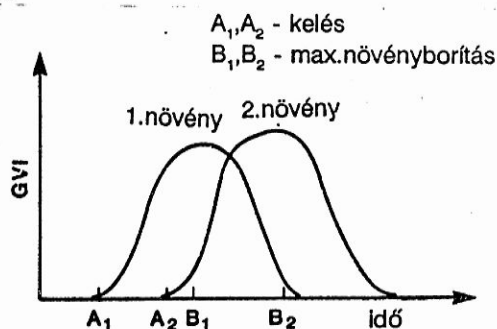
Belátható, hogy ezek egymással ekvivalensek, azaz csak számértékben térnek el egy-egy képpontra, de egymással egy-egyértelműen megfeleltethetők.

Míg a megelőző indexeknek jobbára a vizuális kiértékelésnél van szerepe, nagyon érdekes a Kauth-Thomas (K-T) intenzitás-transzformáció, amelyet széleskörűen használunk a növénymegfigyelésnél. Ennek lényege az alábbi. Ha egy nagyobb mezőgazdasági területet figyelünk, melyen csupasz talajfelszín is látható foltokban, akkor a talajfelszínhez tartozó képpontok a 7.8.b. ábrán látható ellipszisbe esnek az intenzitástérben, míg a zöld növényzet az erre nagyjából merőleges irányban helyezkedik el. Ha a talajon kikelő növény fejlődését figyeljük (7.8.a. ábra), akkor az azoknak megfelelő pontok e térben a talajvonaltól távolodva, majd oda majdnem visszatérve jellegzetes görbéket futnak be. Az 5.4. alfejezetben ismertetett főkomponens transzformációhoz hasonló sajátérték (lineáris) intenzitástranszformáció eredménye a Kauth-Thomas (K-T) transzformált, amelynek első sajátiránya a talajvonal. (Ez az ún. világosság - brightness - nevét onnan kapta, hogy jól leírja a talajok világosságát.) Az erre merőleges irány a növényzet mennyiségét írja le, ezt zöldességnek (greenness, vigyázat ez nem a látható zöld fényben észlelt intenzitás!) nevezzük. A többi transzformált érték jelentésével itt nem foglalkozunk.



7.8. ábra: Az eredeti Landsat felvételekből a Kauth-Thomas transzformációval a talaj világosságát és a zöld növényzet mennyiségét jól leíró értékeket kaphatunk

Kiderült, hogy a zöldesség (GVI) időbeli változása (7.9. ábra) nagyon jól leírja a növények fejlődését, és az időgörbék jellegzetes pontjai megfeleltethetők fontos növény fejlettségi állapotoknak. A különböző növények jellegzetes alakú GVI(t) görbékkel írhatók le, amelyek alakja, paraméterei a növények nagyon pontos elkülönítését (térképezését) is lehetővé tették. Az elkezdett vizsgálatok azt jelzik, hogy a K-T transzformációval nyert görbe, paraméterek alapján a földrajzi helytől és időpontoktól eléggé független növény elkülönítés hajtható végre. A GVI(t) görbéknek a növényfejlődés vizsgálatban és a terméselőrejelzésben is kiemelkedő szerepe van.



7.9. ábra: A zöldesség időbeli változása két különböző növényre



## 8. A TÁVÉRZÉKELES ALKALMAZÁSAI

A távérzékelés korszerű, hatékony eszköz, még a nagy területeken, nagy dinamikával végbemenő folyamatok követésére is. Ezért világszerte rendkívül széles körben alkalmazzák. A nemzetközi alkalmazások eredményeinek hiteles áttekintése lehetetlen. Ezért először felsorolunk néhány ismertebb alkalmazási területet, majd a hazai alkalmazások köréből is főleg azokat emeljük ki, amelyeknek ismertebb, nemzetközi szinten is elfogadott eredményei vannak. A magyar távérzékelési program a hetvenes évek néhány kutatójának és úrkutatási szakemberének erőfeszítése, kezdeményezése után 1980-81-ben kapott jelentős ágazatközi támogatással indult meg igazán.

A távérzékelés a megújuló és nem megújuló természeti erőforrások megfigyelésével, folyamataik nyomonkövetésével foglalkozik.

A megújuló természeti erőforrások távérzékelése terén a legjelentősebb alkalmazási körök a következők:

- kiemelkedően legfontosabb a mezőgazdaság (a nemzetközi alkalmazási befektetések 60-70 %-át erre a területre fordítják);
- meteorológia;
- az erdőgazdálkodás;
- a vízgazdálkodás (beleértve a hófelmérést, a vízierőművek hatáskörzetének vizsgálatát, az árvízvédelmet és vízminőség vizsgálatot);
- a tengerek, óceánok megfigyelése, a halászat, hajózás segítése;
- a természetes vegetáció megfigyelése és védelme;
- környezetvédelem;
- területgazdálkodás és városfejlesztés.

A nem megújuló erőforrásokra vonatkozó távérzékelési alkalmazási kör legfontosabb területei:

- a geológia,
- a települések, erőművek hőszennyezésének felmérése.

A távérzékelésből elvileg elérhető nyereséget 1975-ben a 8.1. táblázatban láthatóan becsülték az USA-ra vonatkozóan.

Alkalmazási terület	Elvileg elérhető haszon (millió US\$/év)
Mezőgazdasági alkalmazások	1300
Erdő és legelő gazdálkodás	100
Földhasználati térképezés	50
Geológiai alkalmazások	60
Vízerőművek, árvízvédelem	50
Hó előrejelzés, riasztás	75
Riasztás, vihar előrejelzésére	150
Összesen	1800

8.1. táblázat: A távérzékelés alkalmazásából adódó elvi nyereség az USA-ban

Durva becslésként 8 US\$/lakos nyereség adódik, amiből a mezőgazdasági alkalmazások önmaguk 6 US\$/lakos évi hasznot eredményeznek. Ez a vizsgálat 1975-ben rendkívül óvatos becslés volt, csak a folyó Landsat programot vette figyelembe, és nem számolt a fejlesztések nyereség-növelő hatásával. A 80-as évek elejére az USA haszna lényegében a várakozásnak megfelelően alakult: a Landsat program mintegy 70 millió US\$/év, a Seasat 90 millió US\$/év költségei mellett az össznyereséget mintegy 800 millió US\$/év értékre becsülve átlagosan 5-szörös a megtérülés. Ez nem tartalmazza a pénzben ki nem fejezhető hasznot.

Jelenleg kevés operatív távérzékelési rendszer működik. Itt három példát említünk. Ilyen operatív monitorozó rendszernek tekinthető pl. az **időjárás megfigyelő rendszer**, amely Meteosat műholdfelvételeken alapul. A műhold félóránként sugároz felvételeket kontinensnyi területről. A képeket vizuálisan és számítógéppel elemzik, amihez földi méréseket kapcsolnak, és az így kapott eredményeket különböző hírközlő csatornákon keresztül ismertté teszik. Így a kontinensnyi, országméretű előrejelzéseket a távérzékelési módszerek nagymértékű alkalmazásával származtatják.

A **CROPCAST egy operatív termés(hozam) stressz előrejelző globális modellező rendszer**. Az aktuális és a történeti időjárás, hozam, stb. adatok összehasonlító modellezésén alapul. Az északi és déli félteke 60-60°-os szélességi övének 10 országában 11 haszonnövényt figyelt. Az elemi információs terület egységek 54x54 ill. 27x27 km<sup>2</sup>-esek. A meteorológiai

adatok egyrészt földi mérőállomásokról, másrészt műholdak segítségével 6-24 óránként kerülnek a rendszerbe. E meglepően hatékony rendszer működéséhez a nagyteljesítményű számítógépen működő területi elemző rendszer, de elsősorban a távérzékeléses (műholdas) időjárás előrejelzés nyújtja az alapot.

Hasonló hatékonysággal működik az USA-ban az erdőtüzek figyelésének rendszere.

A kutatás-fejlesztések előrehaladtával egyre több területen lesznek üzemszerűen alkalmazható távérzékelési technológiák. A hazai távérzékelési alkalmazások és kutatási-fejlesztési eredményekből történő nem teljes, nem reprezentatív válogatásban a megoldandó feladatot, annak jelentőségét, a megoldás módját, a leggyakrabban használt felvételező rendszert - ahol szükséges - a kiértékelési módszert, az elért eredményeket és azok nemzetközi értékét is érintjük. A hazai eredmények hiteles áttekintésére itt nincs mód.

### 8.1. Ipari, bányászati alkalmazások

A legfontosabb feladat az ipari létesítmények leltárba vétele és környezetük állapotrögzítése, a hatásterület vizsgálata, valamint a bányák, külszíni fejtések vizsgálata és rekultivációjuk ellenőrzése. A leltárba vétel és a hatásterület állapotfelvétele a korszerű, környezetbarát termeléshez elengedhetetlen. Leggyakrabban légifelvételeket használnak fotogrammetriai kiértékeléssel. Nagyon fontos terület az erőművek, lakóépületek hőszennyezésének felmérése, amelyet hazánkban termális pásztázóval és hőérzékelő kamerával végeznek. Ezeket a felvételeket leggyakrabban vizuálisan értékelik, de újabban lehetőség van a felvételek digitális feldolgozására is. Több erőfeszítést fordítottak a hazai ásványfeltárás és -lelőhely keresés hatékonyabbá tételére. Ebben űrfelvételekkel a törésvonalak pontosabb kimutatását, vagy az indikátor növényzet azonosítását tűzték ki célul. Nemzetközileg az ásványi lelőhelyek megkeresésében hatékonyan alkalmazzák a távérzékelés és geológiai adatok együttesét.

### 8.2. Regionális tervezés

Az ország nagyobb térségeit, régióit érintő döntések megalapozására nagyon jó eszköz a távérzékelés. A terület földhasználatának és növényzetének felmérése az egyik kiindulási alapadat. A tervezés feladata az, hogy a tevékenységek (ipar, üdülés stb.) a legmegfelelőbb területeken folyjanak a

többi szektor értékes területeinek (pl. mezőgazdasági, természetvédelmi körzetek stb.) felhasználása, háborítása nélkül.

Ugyanilyen áttekintés szükséges például az ipartelepítés, az autópályák, vasútvonalak tervezéséhez. A feladatok megoldásához vegyesen használnak űr- és légifelvételést a megfelelő digitális vagy fotogrammetriai kiértékeléssel. A Balaton környéki üdülőkörzet felmérése a távérzékelési program egyik korai részeredménye volt.

Több esettanulmány foglalkozott a települések növekedésével, a mezőgazdasági terület rovására történt terjeszkedésükkel. Ezekben légifelvételeket és űrfelvételeket használtak általában egyszerű vizuális kiértékeléssel.

### **8.3. Környezetvédelem, természetvédelem**

E robbanásszerűen fejlődő területnek különösen nehéz az áttekintése. Az egyes megyék, térségek légszennyeződésének feltérképezését célozta (űrfelvételek alapján) egy program. Több kísérlet volt zagyterek vizsgálatára, a rekultiváció megfigyelésére. Mezőgazdasági, ipari környezetszennyezés (pl. hígtrágya elfolyás, Várpalota térségének vizsgálata, ipari tevékenység nyomán járó növénypusztulás, a budapesti Városliget közlekedésből származó légszennyezés miatti károsodása stb.) kimutatásához színes infravörös légifelvételeket használtak. Ez utóbbi felmérések, a megbízható technológia kidolgozásával a legfontosabb operatív alkalmazások közé tartoznak majd.

A nemzeti parkok, védett területek növényzetének felmérése, állapotuk megfigyelése légi- vagy űrfelvételekkel rendkívül fontos. Több sikeres kísérlet folyt ezen a területen. Vegyesen űr- és légifelvételeket alkalmaztak. Várhatóan elkészül a teljes Magyarország földfelszín borításának digitális térképe az európai CORINE program keretében. Ebben űrfelvételek egységesített, rutinszerű feldolgozásával, előfeldolgozással javított alapadatból, vizuális kiértékeléssel készítenek digitális földfelszín-borítási térképet. Az így elkészülő adatrendszert egy sor vizsgálatban lehet majd felhasználni.

### **8.4. Vízgazdálkodás**

Az ún. lefolyási tényező megállapítása egy vízgyűjtőben sok mennyiség mellett a felszínen levő növényzet ismeretét is kívánja. Ezt légi- vagy űrfelvételekkel a mezőgazdasági alkalmazásoknál áttekintetthez hasonló módon

végezhetjük. A vizekben (főleg állóvizek, Balaton) levő lebegőanyag-tartalom és az algák, moszatok becslésére alkalmas klorofill koncentráció felmérése űrfelvételek segítségével is végezhető. Hasonlóan fontos volt a Balaton, a Velencei-tó és a Kis-Balaton nádas állományának értékelése. A vízi növényzet változásának rendszeres megállapítására egyszerű, gyors eljárások készültek, amelyeket 1985 óta folyamatosan alkalmaznak. Jelentős volt a víztározókban levő növényzet felmérése is (pl. Kisköre).

A víztározók hatásterületének felmérése és monitoringja légi- és űrfelvételek segítségével történik. Mindezekben mind digitális, mind vizuális, fotogrammetriai feldolgozással érték el a szükséges információ kivonását. Volt példa sokcsatornás légi pásztázóval történt felvételezésre is.

A belvizes területek felmérésére színes infravörös légifelvételezéssel, a talajnedvesség megállapítására passzív mikrohullámú radiométerrel (földfelszíni vonal mentén) több kísérlet folyt.

#### 8.5. Erdészeti alkalmazások

Világszerte sok vizsgálat történt, tapasztalat és eredmény gyűlt össze az erdőállományok felmérésével kapcsolatban. A nehezen megközelíthető terepen súlyos problémát jelent a nagy kiterjedésű erdőterületek felmérése, a fajok és állomány-típusok elkülönítése, a faállomány tömegének becslése, a megbetegedett vagy a kártevők által károsított területek kijelölése, továbbá az irtásra, vágásra kerülő területrészek értékelése, és az erdőtüzek időben történő felfedezése. A nagy területek lefedésére alkalmas légi- és űrfelvételek felhasználása sok gyakorlati problémára adott megoldást.

Trópusi erdőkben az erdőirtás mértéke ezeken a felvételeken jól követhető, ugyanis a kivágott fák, a vízvesztés miatt, a vágás után már két órával elkülöníthetők a lábon álló állománytól. Ugyancsak jól detektálható a betegségek kiterjedése és a kártevők okozta lombelváltozás, elhalás.

Európában óriási károkat okozott - és okoz ma is - a szilfavész. A legkedvezőbb tapasztalatokat kis és közepes méretarányú, színes infravörös légifelvételek elemzésével érték el. A légifelvételek alapján nagy biztonsággal ki lehet választani a megbetegedett facsoportokat, illetve az egyes egyedeket is. Több területen idősoros felvételeket készítettek, s ezzel a betegségek előrehaladását, terjedését sikerült nyomon követni. A kapott felvételek alkalmasak voltak arra is, hogy a védelemre szoruló



területeket kijelöljék, és értékeljék az alkalmazott védekezési módszerek hatékonyságát.

Hazánkban 10-15 %-os a kocsánytalan tölgyek pusztulása. Ezért statisztikus vizsgálatok történtek színes infravörös mérőkamerás felvételek felhasználásával.

Az Egyesült Államokban és Japánban a különböző fajokból álló fenyőerdők felmérése és bizonyos rovarkártétel detektálása okozta a legnagyobb erdészeti problémát a környezeti szennyezések felmérése mellett.

A nem lombhullató fenyőerdők felmérése és elkülönítése a lombhullató erdőktől viszonylag igen egyszerű feladat. A felvételeket olyan időpontban kell elkészíteni, amikor a lombhullató erdők levélmentesek. Ekkor a tűlevelűek zöld színétől a lombtalan erdők jól elválaszthatók. A fenyők faji elkülönítése már nem ilyen egyszerű feladat, de bizonyos fajok nagy biztonsággal elkülöníthetők eltérő reflexiós tulajdonságaik alapján.

Az Egyesült Államokban a nagy kiterjedésű, nehezen megközelíthető hegyi erdőterületek egészségi állapotát rendszeresen légifelvételek alapján mérik fel. A vizuális interpretációt számítógépes és műszeres kiértékeléssel egészítik ki, így az állományokban már kisebb denzitáskülönbségeket is ki lehet mutatni, értékelni. Ha a felvételeket mérőkamerával készítik el, akkor lehetőség van - a területek pontos meghatározása mellett - a fatömeg megközelítően pontos becslésére is.

A természetes vegetációnál jóval nagyobb stresszhatásnak vannak kitéve a beépített területeken található növények, fák. A kedvezőtlen hőhatások, a forgalom miatti ólomszennyeződés, a hó elolvasztására alkalmazott só, a tápanyag- és a vízhiány kedvezőtlen hatást gyakorol ezeknek a fáknek az életképességére. Ugyanakkor a meglévő fák egészségi állapotának felmérése nagyon fontos feladat, mivel ennek alapján lehet lépéseket tenni a védekezés megszervezésére. A színes infravörös technikával készített felvételek már korai károsodottsági állapotban figyelmeztető jelzéseket adnak, így ezeknek a felvételeknek a vizuális és műszeres kiértékelése igen nagy segítséget nyújt a problémák megoldásában. A külföldi tapasztalatok és a hazai fejlesztési eredmények után került sor a módszer hazai alkalmazására is.

Az erdők felmérése, a telepítések, ritkítások, kitermelés ellenőrzése ma már rutinszerű távérzékelési feladat. **Hazánkban** az erdészet a betegségek és terjedésüknek, a károsodásnak felmérését, egészségvizsgálatát, az



erdőtelepítések ellenőrzését, területrendezési tervek készítését várja a távérzékeléstől. A nagyfelbontású űrfelvételek lehetőséget adnak 1:25.000 méretarányú fototérképek készítésére, melyek hazánkban is alkalmazhatók a 10 éves periódusban történő erdőtérképezésben. A légifelvételezendő területek kijelölésével jelentős költség takarítható meg a teljes terület fényképezéséhez viszonyítva. Az 1:20.000 méretarányú erdészeti térképpel való összevetés lehetőséget ad az erdőfoltok alakjának térképi korrigálására.

## **8.6. Mezőgazdasági alkalmazások**

### **8.6.1. Talajgazdálkodás**

A talajgazdálkodásban az erózió és defláció vizsgálata, a földértékeléséhez szükséges genetikus talajtérképek elkészítése, a meliorációs tevékenység segítése azok a területek, amelyekben hazánkban eddig a legtöbb eredmény áll rendelkezésre.

#### **8.6.1.1. Genetikus talajtérképezés, földértékelés, földvédelem**

A hagyományos üzemi, 1:10000 méretarányú genetikus talajtérképek készítésekor 10-12 hektáronként tárnak fel 1-1 talajszelvényt, és ha szükséges, néhány helyen 40 cm-es félszelvényeket ásnak. A talajtérképezőnek a helyszíni munkánál úgy kell kijelölni a szelvényfeltárások helyét, hogy az jellemző legyen a térképezési egységre, és a felméréendő terület lehető legnagyobb részét reprezentálja. A talajminták laborálása után a kapott eredményt a táj tanulmányozásával értékelik. A talajhatárokat a topográfiai térképen feltüntetett szintvonalak figyelembevételével interpolálják a talajszelvényt pontok közé.

A kisméretarányú (1:100.000-nél kisebb) térképeket ezekből az alaptérképekből generalizálással szerkesztik, vagy egyes esetekben újabb talajszelvényeket tárnak fel a kívánt méretaránynak megfelelő sűrűségben (pl. Magyarország agyagásványtérképe).

A különböző talajtípusok térképezésében többnyire a látható és közeli infratartományban készült légi- és űrfelvételek használatosak. A talajok megjelenését az adott felvételen igen sok belső - a talajtól függő - és külső, a körülményekre jellemző tényező befolyásolja. Ezek együttes hatását rögzítik a felvételek. A főbb belső tényezők a talaj felszíni rétegének humusz tartalma, nedvessége, szemcseösszetétele, a másodlagosan kialakult

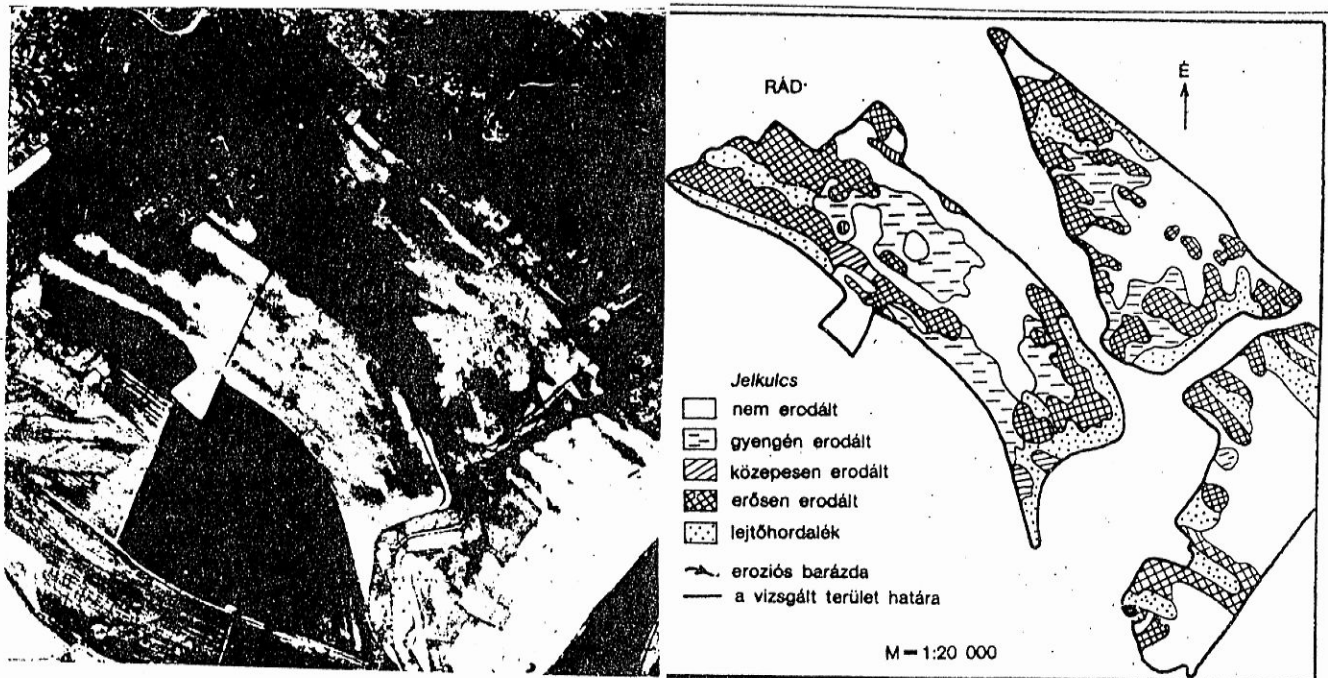
aggregátumok szerkezete, a színező vas- és alumíniumásványok és a talajművelésből, kövességből adódó felszíni érdesség.

A külső tényezők közül jelentősebbek a növényzet zöldtömege, szerkezete, fenológiai állapota, a talajborítottság, domborzat, a kitettség és a légréteg sugárzás-elnyelőképesége az adott hullámhosszokon.

A nagyméretarányú térképek készítése során a légifelvételek a következő főbb lépésekben alkalmazhatók:

- A terület áttekintése.
- A feltételezett talajhatárok a felvételen látható, mérhető interpretációs elemek elkülönítésével, szisztematikus összehasonlításával, csoportosításával húzhatók meg.
- A kijelölt talajszelvények helyszíni és a minták laboratóriumi vizsgálata után, az eredmények ismeretében végezhető el a lehatárolt foltok talajtani osztályba sorolása.

A különböző talajtípusok lehatárolásához legjobbak a színes infra és multispektrális légifelvételek, melyeken a tónus mellett a szín is információt hordoz (8.1. ábra).



8.1. ábra: MKF-6-os kamerával készített felvétel és erózió-térkép

A felvételi időpontok megválasztásában lehetőleg a növényzetmentes, fedetlen talajfelszínekre kell törekedni. Legjobbak a kora tavaszi, késő őszi képek. A képek elemzésekor a következő jellemzőket kell analizálni: szín, tónus,

szerkezet (pl. vízmosáshálózat), szövet (pl. vetéssorok), domborzat. A nem sík területek elemzésekor célszerű sztereo felvételpárokat vizsgálni.

A légifelvételek alkalmazásának előnyei:

- A talajszelvények helye optimálisan jelölhető ki, jobban jellemzi az adott termőhelyi egységet.
- Kevesebb talajszelvény is elegendő (10-40 %-kal csökkenhet a számuk).
- A talajszelvényyszám csökkenésével együtt kisebb a laborköltség, kevesebb idő is elegendő a helyszíni és a laboratóriumi munkák elvégzéséhez.
- A talajfoltok elhatárolása pontosabb.

A hazánkban lévő 2 millió 300 ezer hektár erodált terület 960 ezer hektár szikes és 512 ezer hektár homok (melynek jelentős részén pusztít a defláció) feltérképezésére, a folyamatok nyomonkövetése, illetve előrejelzése igen fontos a föld védelme szempontjából.

#### 8.6.1.2. Meliorációs tervezés, utóellenőrzés

Az üzemi és térségi meliorációs tervezéshez pontos, megbízható kiindulási adatokra, térképekre van szükség. Ennek eléréséhez a tervezés, sőt a kivitelezés több fázisában is segítséget nyújtanak a távérzékelési anyagok.

A meliorációs tanulmány és kiviteli tervek készítéséhez sikerrel felhasználható a távérzékelés módszere:

a) Az alaptérképek megszerkesztésénél az elavult sikrajzi elemek felújításához, a pontossági igényeket nem kielégítő domborzatrajz esetén a kiviteli terveknek megfelelő, akár 20 cm-es szintvonalas térkép készítésében.

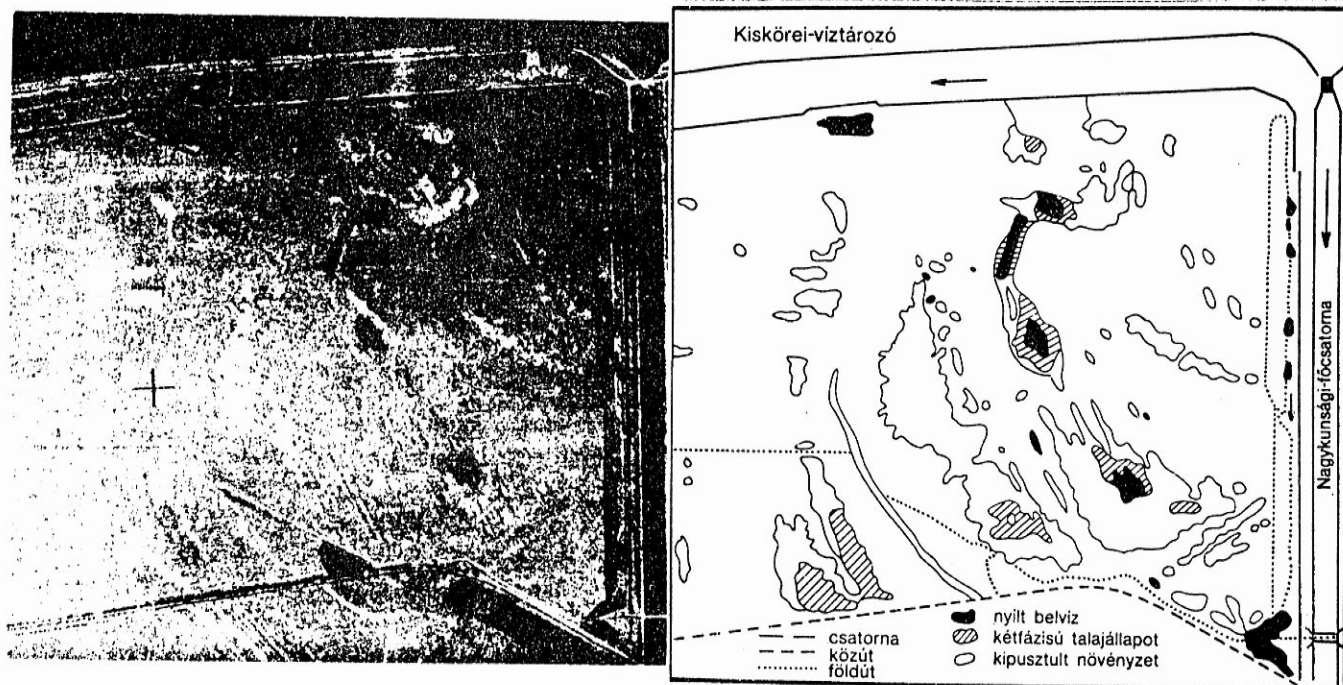
#### b) A tematikus térképek és adatok aktualizálása

Az erózióveszélyeztetettség megállapításához a vízmosások térfogatának meghatározásában elsősorban színes, színes infra vagy multispektrális felvételeket felhasználhatjuk egy adott pontra vonatkozó talaj-erodálhatóság területi kiterjesztésében a növénytermesztés, gazdálkodásmód és az alkalmazott talajvédelmi eljárások feltérképezésében nagy területen, és így a növénytermesztéstől és a talajgazdálkodástól függő tényezők megállapításában. A felmérésre fordított idő ilyen módon a felére csökkenthető a hagyományos módszerhez képest.

A vízrendszerek felderítése során a vízelvezető művek, víztározók állapotát, növényzettel benőtttségét, a parti rézsűk állapotát, a

műtárgyak környezetét, a belvíz által károsított területeket színes infra vagy multispektrális légifotókkal lehet hatékonyan felmérni.

A belvizek a mezőgazdaságilag művelt területeken elszórt foltokban jelennek meg, ezért elvezetésükre, illetve megelőzésükre sok esetben elegendő csak a céldréneezés. A teljes terület dréneezése helyett viszont csak akkor alkalmazhatunk céldréneezést, ha pontosan ismerjük a belvizes foltok (8.2. ábra) helyét és kiterjedését.



8.2. ábra: Belvízfelmérés MKF-6 légifelvétel alapján

A mértékadó belvízelöntés után készített fényképeken a növényállományban okozott károk térképezhetők fel. Erre a célra a színes infra, illetve a multispektrális légifényképekből készült színekompozitok a legalkalmasabbak.

A távérzékelés felhasználásával tehát szélesebb körben alkalmazható a meződréneezéshez képest az 1/2-2/3 arányban költségtakarékosabb céldréneezés, amely hatékonyan biztosítja a káros vizek elvezetését. Ez a következő években közel 1 millió hektár vízkáros terület dréneezése esetén 5-6 milliárd Ft beruházási költségcsökkenést eredményezhet.

- c) A légifelvételek interpretálásával kapott információk birtokában lényegesen csökkenthető (30-50 %) a terepi munka, amelynek költségvonzata jelentős.

A melioráció kivitelezése és utóellenőrzése során, a távérzékelési technológia alkalmas az alábbi feladatok végrehajtására:

a) A kivitelezési munkák nyomonkövetése

A légi- és űrfelvételek felhasználhatók a meliorációs beavatkozások ütemes megvalósításának ellenőrzésére is. Egy nagy térségben (50-100 ezer hektár) nagyon lényeges, hogy a munkák az előírt sorrendben valósuljanak meg. A kivitelezési munkák során több időpontban készült színes infra, nem-mérőkamarás légifotók rögzítik az aktuális készenlétet. Ilyen módon az esetleges hibás kivitelezés, vagy időbeli eltolódás kijavítható, kiküszöbölhető.

b) A megvalósult beavatkozások bemutatása

A beavatkozások elkészülte után a megvalósulási térkép helyett készített légifénykép pontosan tükrözi az elvégzett munkát, és lehetőséget ad a korrekciókra, ha szükséges. Például a csatornaépítés során kitermelt földanyagot legtöbb esetben a csatorna mellett terítik el a szántóföldön, ami többéves terméskiesést, illetve csökkenést okozhat.

c) A melioráció utáni folyamatok nyomonkövetése, a hatékonyság ellenőrzése

A távérzékeléssel folyamatosan lehet követni a megvalósult melioráció funkcióképességét, az esetleges hibákat felfedezve (drénrendszer eliszapolódását, műtárgy megrongálódását stb.) a szükséges beavatkozásokat rövid időn belül el lehet végezni.

A belvízfoltok pontos helyét és kiterjedését átazonosítva a térképre, a károsodott területek és a vízelvezető csövek tervezett nyomvonalai könnyen összehasonlíthatók.

### 8.6.2. Növénytermesztés

A növénytermesztés nyomonkövetéséhez, monitorozásához tartoznak az üzemi, az országos vagy a regionális felmérések:

- a belvizek, gyomosodottsági viszonyok feltérképezésére;
- a növényállapot felmérésére, a fenológiai fázisok részletes kimutatására;
- a növényfejlődés kimutatására és a terméselőrejelzésre;
- a vízellátottság és hatásainak kimutatására;
- a növényi kártevők, növénybetegségek kimutatására.



Ezek a feladatok a terület nagyságától és a feldolgozási pontosságtól függően akár űrfelvételek, akár légifelvételek alapján elvégezhetők, illetve ezeknek a módszereknek a kombinációját lehet alkalmazni.

A jelenlegi technológiai szinten a **belvizek kimutatására** a színes infravörös légifényképek az alkalmasabbak. A nyílt vízfelületeket nagyon könnyen el lehet határolni a nedves talajtól, valamint különböző növényfejllettségi kategóriákat lehet felállítani a növény pusztulási állapotának megfelelően.

A multispektrális felvételeken a **gyomosodott foltok** is elkülöníthetők. A gyomfajta megállapítása nem ilyen egyszerű.

A légifelvételek alapján a termelésből kiesett területek mérőkamerás felvételezési technika esetén pontosan meghatározhatók, nem mérőkamerás felvételezési technika esetében pedig közelítő pontossággal megbecsülhetők. Ezzel a módszerrel azonban csak néhány üzem együttes értékelése, vagy kisebb területegységek értékelése oldható meg. Nagyobb kiterjedésű területekre már csak az űrfelvételek alkalmazása a megoldás.

Ha az azonos kultúrnövénnyel bevetett táblákat mint egységeket kezeljük, jól értékelhetők a **táblák közötti fejlődési különbségek** akár az űrfelvételeken, akár a színes infravörös légifelvételeken. Ez a fizikai alapja annak, hogy egy-egy kultúrnövényt **relatív fejlettségi alosztályokba** lehet besorolni. Ezek az alosztályok még nem mutatják meg számszerűen, hogy az egyes területeken mennyi a terület-egységenkénti zöldtömeg értéke, csak arra utalnak, hogy hol nagyobb és hol kisebb az érték.

A **fejlődés- és változásvizsgálat** célja leggyakrabban az, hogy előrejelzést lehessen adni beérésről, hozamról stb. Mint láttuk, a növény sugárzás visszaverő képessége tükrözi az állapotát, és így kapcsolatban van a zöldtömeggel, a biomasszával. Ha a távérzékelte adatokból leszámaztatható mennyiség alakulását figyeljük - ismételt felvételek segítségével -, a biomassza növekedési ütemét is megbecsülhetjük. Ez a hozambecslés elvi alapja. A **pontos, megbízható, távérzékelésen alapuló terméselőrejelzés** kidolgozásához nemcsak hazánkban, de világszerte is sok feladatot kell még megoldani. Figyelemre méltó, hogy a kutatásban fejlett országokban (elsősorban az USA-ban) sincs minden fő kultúrnövényre kidolgozott eljárás, mellyel - távérzékelte és agrometeorológiai adatok segítségével - a feladat megoldható lenne.

Ki lehet választani a vízstressz alatt álló növényállományokat is.



#### 8.6.2.1. Mezőgazdasági üzemek növénymonitoringja

A hazai haszonnövény termesztés fejlesztésének jövőbeni célja és feladatai között az első helyre kerül a versenyképes ártermelés, a minőségjavítás, s e két nagy követelmény mellett a jövedelmező termelés megvalósítása. Egyre inkább a technológiai finomítások, az időbeni beavatkozások, az apróbb ésszerűsítések, a technológiai fegyelem pontos betartása, a természeti környezetbe való tudatos, tervszerű beavatkozások vezetnek céljaink eléréséhez. Ehhez a hagyományost kiegészítő, helyenként azt pótló, a jelenleginél gyorsabb információra van szükség.

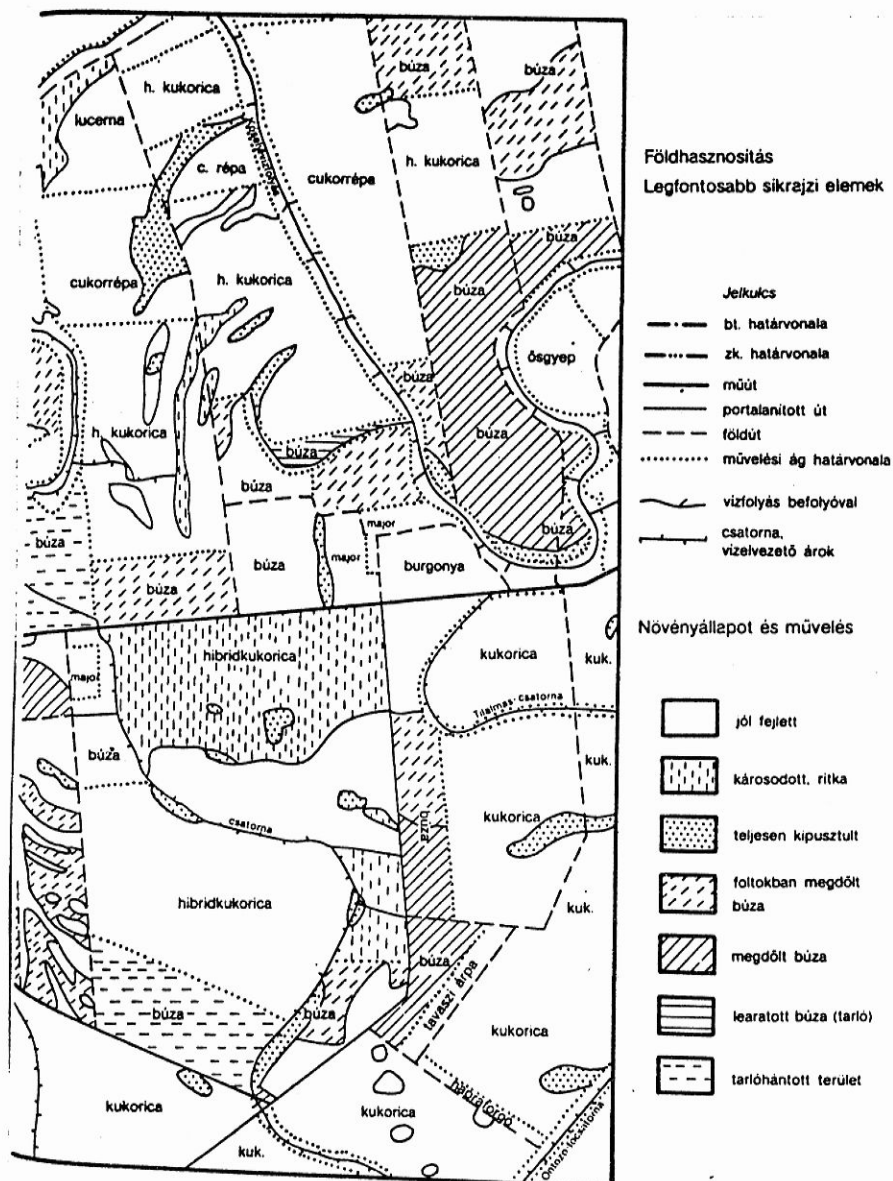
A haszonnövény termesztés lehetőségeit és korlátait alapvetően két nagy tényezőcsoport határozza meg:

- az agroökológiai adottság, amely magában foglalja az éghajlatot és időjárást, a domborzat- és talajviszonyokat, a talajok termőképességét, a felszíni és felszín alatti vízkészletek mennyiségét és minőségét;
- a növénytermesztés komplex technológiai rendszere, amely magában foglalja a biológiai alapokat (fajta, hibrid termesztési tulajdonságai, értéke), a talajművelés rendszerét, a talajerőgazdálkodás rendszerét, a vetés, a növényápolás- és védelem, az öntözés, a betakarítás anyagi és technikai feltételeit, kapacitásokat, a feladatok végrehajtásának szervezettségét és pontosságát.

A terepbejárás helyett új, az információszerzés szempontjából megbízhatóbb, eredményeiben gazdaságosabb megoldást biztosítanak a légifényképek (8.3. ábra).

A légifényképek a mezőgazdasági tábla, tömb vagy gazdaság területének egy adott pillanatbeli állapotát tükrözik, és így lehetőséget biztosítanak:

- a terület ökológiai viszonyainak, összefüggéseinek - mint részben statikus jellemzőknek - a vizsgálatára,
- a kultúrák és az ökológiai jellemzők kapcsolatainak elemzésére,
- az adott év agrotechnikai tevékenységeinek értékelésére,
- a vegetációs időszakban a kórokozók és kártevők elleni gyors beavatkozások megtételére,
- meliorációs beavatkozás üzemi tervezésére,
- a meliorációs tevékenység ellenőrzésére.



8.3. ábra: Mezőgazdasági üzem területéről készített növényállapot-térkép MKF-6 felvétel alapján

A döntések és a beavatkozások akkor eredményesek, ha a terméscsökkenés okai időben feltárhatók.

Az agroökológiai tényezők légifényképpel feltárható káros hatásai:

- káros víztöbbletek (árvíz, belvíz);
- szélsőséges időjárási tényezők (szélkár, fagykár, jégkár);
- talajhibából, rossz talajadottságból (8.4. ábra) eredő károk (sekély termőréteg, folyóvizek által lerakott hordalékkúp alakította

lefolyástalan teknők, másodlagos szikesedés).



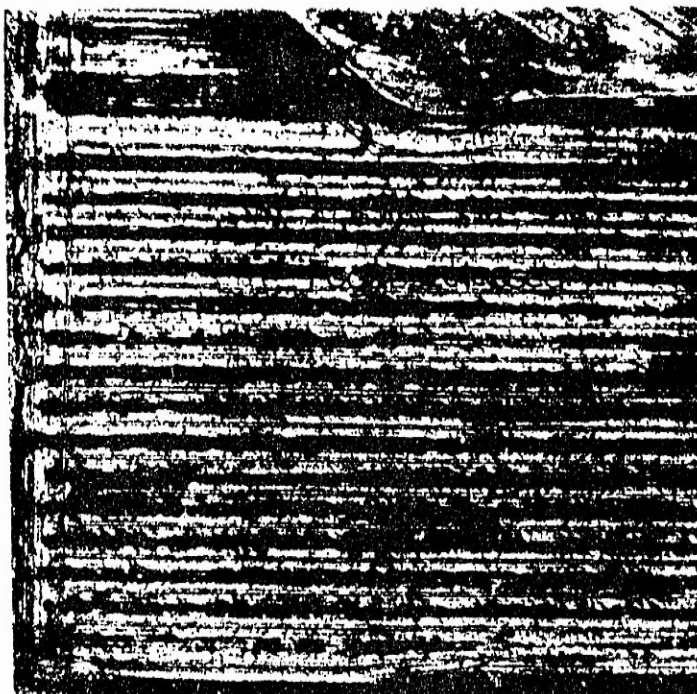
8.4. ábra: A mezőgazdasági táblán belüli eltérő talajadottságok növényfejlődési következményeinek kimutatása színes infravörös légifényképen alapján

A növénytermesztés komplex technológiai rendszerének hiányosságaiból légifényképen rögzíthető információk:

- a) Szántási műveletnél a szét- és összeszántás utólagos elművelésének hiányából eredő sávok.
- b) Vetési műveletnél: töhiány, sorhiány, vetőgép teljes fogásszélességben jelentkező töhiány.
- c) Műtrágyázásnál: földi úton végzett műveletnél a nem megfelelő szórás kép hatása (8.5. ábra), repülőgépről történő szórás esetén jelzők hiányában a szórási sávok nem megfelelő módon követik egymást, a műtrágya dózis alul- illetve túlادagolása mindkét eszköz esetében.
- d) Gyomirtás hiányosságai: vegyszer túl- és aluladagolás, a kultúra számára káros szer alkalmazása, gyomirtás elmaradása.
- e) Kórokozók és kártevők hatása.
- f) Taposáskár: a földművelés talajtömörítő hatásából eredő töhiány,

öntözőberendezés mozgatása közben keletkező taposáskár.

- g) A táblán vagy a tábla szélén tárolt, illetve elfolyt vegyszerek hatása.
- h) Meliorációs tevékenységgel kapcsolatos negatív tényezők: rosszul tervezett és/vagy kivitelezett drénrendszer, drén elzáródás, a befogadó csatornák mentén elterített terméketlen altalaj hatása.



8.5. ábra: Műtrágya túl- és aluladagolásának hatását mutatja a színes infravörös légifelvétel

#### 8.6.2.2. Növénymonitoring megyei, országos méretekben

A korszerű, versenyképes és hatékony mezőgazdaság számára kulcsfontosságú a haszonnövények állapotáról és fejlődéséről tájékoztató pontos, megbízható és naprakész adatok elérhetősége. Ezeket az adatokat országos döntésekhez az ország teljes területére, a termelő üzemek és a regionális egyesületek működéséhez a gazdálkodásuk területére kell biztosítani. A hagyományos kötelező jelentéseken, terepi szemrevételezésen és azok megyei szűrésén, összegzésén alapuló 1990-ig használt területfelmérő és állapotjelző információs rendszert át kell alakítani. A mezőgazdasági termelőegységek önállóságával egyidőben a külső és belső gazdasági kényszerek hatására az információ gazdasági értéke rendkívül megnőtt. Az időben kapott, pontos, megbízható információ az ágazati irányítás, a bel- és külkereskedelmi tevékenység által kiaknázható nyereséggé válhat. A növényekre vonatkozó

mennyiségi információt maguk a termesztő üzemek, az ágazati irányítás, a kereskedelmi szervezetek, az exportjoggal bíró egységek és érdekegyeztető szervezetek, a feldolgozó ipar, a szállítás és egy sor ágazat használhatják fel, ami egy jól szabályozott rendszer felé vezetheti az ágazatot.

Mint láttuk, a távérzékelés sok alkalmazási területe közül a legfontosabb a mezőgazdaság. Hazánkban a termés előrejelzésének hasznára évi 1,5-2 milliárd forint becslés adódott, csupán a gabonaszektorban.

Függetlenül a felvételezési módtól, a távérzékelés jelentősége abban van, hogy a felvételezett területről olyan, a felszínt folytonosan lefedő adatrendszerrel kapunk, amely statisztikai szempontból felülmúl minden terepi mintavételezésen alapuló módszert. Az adatok rendkívül olcsón elérhetők. Az alacsony költségekre jellemző, hogy az Amerikai Egyesült Államok Mezőgazdasági Minisztériuma (USDA) által végzett haszonnövény terület becslésekben az azonos pontosság érdekében a hagyományos módszer alkalmazásakor 2-15-ször annyi helyszíni mintát kell venni (ilyen mértékben nagyobb költségek mellett), mint az úrfelvétellel történő területbecslés esetén.

Az úrfelvételek rendszeres ismétlődéssel, tervezhetően és több forrásból állnak rendelkezésre. Egy-egy műholdfelvétel 40.000-500.000 km<sup>2</sup> területet is lefed 0,04-100 ha-os felbontással. Ez azt jelenti, hogy a korszerű műholdakkal még a 3-4 ha-os táblák részletei is jól megfigyelhetők egy regionális területre vonatkozó felvételen belül is. Ez teljesen új jellemző, mert nincsenek olyan hagyományos adatgyűjtési módszerek, amelyekkel regionális és táblaszintű megfigyelések egyszerre megoldhatók lennének.

Az úrtávérzékelés jelentősége egyre nő a világon. A növény megfigyelések, az időben kapott pontos, objektív információ a piacgazdaságokban közvetlen nyereséggé, haszonná váltható érték. Ezért a távérzékelési műholdak száma egyre növekszik, és a műholdak alkalmazásából már a harmadik világ országai is haszonra kívánnak szert tenni (pl. Indonézia, Kína, India). A piacgazdaságokhoz, az EK országaihoz és a világ más régióihoz való felzárkózáshoz, versenyhez elengedhetetlen, hogy a számukra rendelkezésre álló távérzékelési technológiát Magyarország is időben, haszonnal alkalmazhassa.

A regionális, országos haszonnövény monitoring fő feladatai a következők:

a) a növényenkénti vetésterület megállapítása, évente május 30-ra;



- b) évente többszöri állapotjelentés a növényekről;
- c) a növények fejlődésének nyomonkövetése szélsőséges viszonyok, veszélyek (pl. aszály) előrejelzése, a károk sújtotta terület és termés kiesés becslése;
- d) megbízható, számszerű termésbecslés.

#### 8.6.2.3. A fő haszonnövények országos területfelmérésének, a növényállapot meghatározásának távérzékelési módszerei

A célkitűzés az, hogy alkalmazható távérzékelési technológia jöjjön létre a fő haszonnövények vetésterületének pontos felmérésére. A felmérés hibája az esetek legalább 90 %-ában nem haladhatja meg a 2-4 %-ot. A felmérés a vegetációs időszak több időpontjában legyen alkalmazható. Még 5-6000 ha-os területeken, 5-10 ha-os átlagos táblaméret mellett is érje el a 92-97 %-os területi felmérési pontosságot az esetek több mint 90 %-ában.

Az eljárás nyújtson alapot a felmérési időpontban a haszonnövények állapotának országos becslésére, a területi eltérések megjelenítésével, előbb (1991-93) relatív fejlettségi elkülönítéssel, majd agronómiai jellemző mennyiségek távérzékeléssel történő becslésével.

A terület és növényállapot felmérés terepi finomsága a vizsgált területeken belül 0,1-0,5 ha-os részletességű, tehát táblarészletig, tábláig lenyúló lehet.

Az eredmények érik el az európai országok mezőgazdasági távérzékelési programjában szereplő megfelelő alprogramok teljesítménymutatóit, valamint az USA Mezőgazdasági Minisztériuma - most már több mint 11 államra és több növényre kiterjedő - felmérésének eredményeit.

Az elért eredmények több terület - agronómia, fizika, digitális képfeldolgozás, statisztikai döntéshozatal/alakfelismerés, számítástechnika - interdiszciplináris igényű, alkalmazott kutatásain alapulnak. Ennek fontosabb eredményei a következők:

- t1) Kifejlesztésre kerültek a digitális képfeldolgozás és alakfelismerés alkalmazható módszerei az űrfelvételek használatára alapuló hazai haszonnövény felmérés céljára.
- t2) Létrejött az üzemi, tábla és regionális szinten alkalmazható számítógépes haszonnövény-felmérés (és térképezés) objektív, pontos,



ismételhető és megbízható eljárásainak számítógépes programrendszere. Az eljárást összetett alföldi területen nagy referencia-adatrendszeren ellenőriztük. Az elemi táblarészletek felmérési pontossága a 90-98 % között ingadozik, ami 95-99 %-os tábla és üzemi szintű, valamint 97 %-nál nem rosszabb megyei szintű területi pontosságot eredményez.

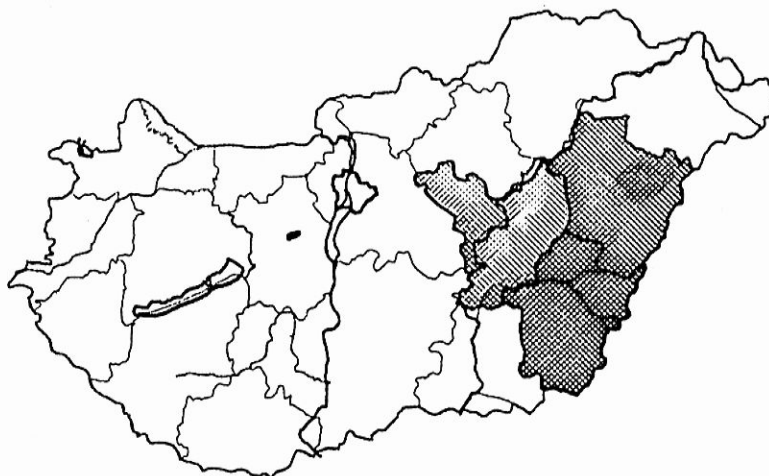
- t3) 1987-ben - 1984-es adatokkal Hajdú-Bihar megyére - Landsat MSS űrfelvételek segítségével - a számítógépes feldolgozás K+F eredményének bemutatására végrehajtott növényfelmérés területi mérőszámai az utólagos korrekció nélkül is csupán 2-5 % eltérést mutattak a KSH adataitól (8.2. táblázat). A területi hibát és eloszlását objektív módszerekkel kapjuk meg. A kísérlet bebizonyította, hogy a fő szántóföldi haszonnövényekre a kidolgozott eljárás továbbfejlesztésével egy országos területfelmérő rendszerhez jutunk, amely a számszerű termésbecslés egyik komponenseként is szolgál.

Növény	KSH tényadat (ha)	Becslés KSH megyei adatokkal (ha)	Eltérés (KSH-becsült) %	Becslés távérz. felmérés alapján	Eltérés (KSH-távérz.) %
búza	1317999	1303430,75	-1,10	1400539,99	+6,26
kukorica	1108383	1176622,01	+5,21	1182220,45	+5,71

8.2. táblázat: Országos növényterület-becslés, 3 megyére távérzékeléssel kapott területi értékek kivetítésével (30 éves korreláció alapján)

- t4) 1990-ben 3 megyényi (8.6. ábra) alföldi régióra készült területfelmérési hitelesítő vizsgálat Landsat TM űrfelvételek alapján (Hajdú-Bihar, Szolnok, Békés megyére). Ebben a KSH adataitól 0,5-12,3 %-kal térnek el a búza és kukorica távérzékeléssel becsült megyei területei. Búza esetén átlagosan 7 %-kal, kukoricánál 3,3 %-kal térnek el a távérzékeléssel és hagyományos módszerrel becsült adatok.
- t5) Kialakítottuk a növénytermesztés anomáliáinak regionális és üzemi szintű megfigyelési módszereit. Az űrfelvételek által engedett 0,04 - 0,4 ha felbontási részletességgel a terméskiesés/csökkenés helyét, területét fel tudjuk mérni mind üzemi, mind regionális méretekben.
- t6) Kialakítottuk a nagyobb területen belüli eltérő növényfejllettség kimutatásának alapvető módszereit. Ezzel a felmérés idején tapasztalható levélfelület - borítás mennyiségeivel jellemezhető

relatív fejlettségi osztályok kimutatása lehetséges.



8.6. ábra: Ürfelvételekkel több megyényi, országos növényfelmérést végezhetünk

- t7) Kidolgoztuk a haszonnövény-felmérés regionálisan/ országosan alkalmazható nagypontosságú, megbízható - tehát ismételve azonos eredményeket adó - módszereit, amelyek az ürfelvételek és ismert területi, térképi adatok (pl. utak, vasutak, településhatár) együttes feldolgozására alkalmas. A módszer a korrekció nélküli felmérés területi pontosságát 8-15 %-kal növeli (ld. 9.2.2. szakaszt). A kialakított módszer az országos haszonnövényfelmérés alapvető eszköze lehet a szükséges fejlesztések befejezése után.
- t8) Elkezdődött az országos haszonnövényfelmérés területi statisztikai mintavételezéséhez szükséges módszerek kifejlesztése, így a természeti, termesztési régiók kijelölése.

Egy sor hátralevő feladatot is meg lehet jelölni.

a) A kutatási feladatok befejezésekképpen:

- A területfelmérési módszerek kiterjeszthetőségének vizsgálata más haszonnövényekre, a búza, kukorica, cukorrépa, napraforgó után.
- A kidolgozott alternatív felmérési módszerek összehasonlító vizsgálata a területi mintavételezésen alapuló országos felmérésben.
- A felmérési módszerek tájegységtől, területtől, időponttól, a területi mintától való függésének pontos vizsgálata, és e függést lecsökkentő módszerek integrálása az alapeljárásokba.
- A felmérések pontosságát növelő előzetes trendek paraméterei (pl. táblaméret eloszlás, növénytermesztési szerkezet) alakulásának hatása,

az átalakuló agrártermelés függvényében.

- Az adott országos (regionális) felmérési pontossághoz tartozó minimális területi minta kiválasztási módszertanának kialakítása.
- Az alternatív újgenerációs űrfelvételek (SPOT - francia, MOS - Japán, Landsat-6 - amerikai) alkalmazhatóságának vizsgálata a kidolgozott módszerekkel.

b) Fejlesztési feladatok:

- A kutatás során bevált módszerek számítógépes kiértékelő programrendszerének az operatív alkalmazást támogató hatékony rendszerre való fejlesztése.
- A minimális referencia adatgyűjtés és továbbítás módszertanának és rendszerének kialakítása.
- Az űrfelvételek beszerzésének, adattovábbítási sebességének (jelenleg postaküldemény) növelése elektronikus átjátszással.

A visszamenőleges adatokon való vizsgálatok nehézsége az, hogy a más, hagyományos úton kapott felmérési eredmények ugyancsak becslést jelentenek, tehát azokkal való összehasonlítás nem minősíti objektívan a távérzékelési módszert. A hagyományos módszerek becslési eredményeinek első elfogadható szintje a megye. Ezért a kutatási eredmények országos bevizsgálása céljából az eljárások üzemi, megyei, országos területfelmérési kísérleti alkalmazásai 1993-tól megkezdődnek. Ezek során a hagyományos területfelmérési módszert és a távérzékelést egymással párhuzamosan vizsgáljuk egyszerre a területi egységek különböző hierarchikus szintjein - tábla, gazdaság, körzet, megye, ország - egy pontosan ellenőrzött részletes, objektív harmadik (pl. geodéziai) adatrendszer alapján. A kísérleti tapasztalatok függvényében az FM információs rendszerébe lehet kapcsolni az adatokat, először a hagyományos területadatok kontrolljaként, majd önállóan is.

**8.6.2.4. A fő haszonnövények országos hozambecslésének eredményei**

A pontos, megbízható, megfelelően korai számszerű termésbecslés gazdasági haszna igen nagy, és az előrejelzési hiba csökkenésével nő. Ha az előrejelzési hibát (pl. távérzékeléssel) sikerül 5,2 %-ról 3 %-ra csökkenteni, ez a Kelet-Európa régiónak a nyereségét csupán búza esetében 32-ről 43,2 millió US\$-ra (kb. 37%) növelné (1975-ös árakon!). Hazai szakértők a korai becslésből származó előnyös üzletkötés konkrét esetei alapján évente 500-700 millió forint megtakarítást vagy többlet-bevételt jeleznek csupán gabona esetében.

A világon nem ismeretes kizárólag távérzékelésre támaszkodó nemzeti termésbecslő rendszer, a becslést általában több módszerrel, párhuzamosan végzik (pl. az USA-ban: földi mintavételezésen alapuló ún. "objektív becslés" + kérdőívek, helyszíni bejárás + agrometeorológiai becslés + távérzékelés). Az USA-ban és az Európai Közösség országaiban kiemelt programot indítottak a távérzékelés szerepének növelésére. A kelet-európai régióban és hazánkban a haszonnövekedés lényegesen nagyobb, mint az USA-ban és az EK országokban.

A termésbecslés távérzékelési komponense a növényterület és a hozam (fajlagos termés) becslésén alapul. A fő haszonnövények pontos területfelmérése tehát - bár különböző eljárásokban, - végeredményben a várható termés előrebecsléséhez szükséges. (Termés = termőterület \* terméshozam). Az ismert terület alapján a várható terméshozam többféleképpen becsülhető, például

- kvalitatív módon: az időjárási eredmények figyelembevételével, azoknak a sokéves tapasztalati értékekkel való összehasonlítása alapján;
  - földi mintavételezéssel szemrevételezés útján;
  - a növényi komponensek mérésén alapuló ún. "objektív hozambecslés" alapján;
  - agrometeorológiai hozambecslési modell alapján;
- vagy az előzők valamely kombinációja útján.

A feladat célja az, hogy alkalmazható távérzékelési technológia jöjjön létre a fő haszonnövények országos, megyei termésének becslésére, a hozamok területi eloszlásának becslésével. Az első szakaszban a több időpontban készült úrfelvételek alapján kidolgozott "tisza" távérzékelési hozambecslő modellek kidolgozása és teljesítményvizsgálata szükséges. A modellek lépjek túl mind a hagyományos, mind az agrometeorológiai hozambecslés pontosságát a búza, kukorica, majd a további (először cukorrépa, napraforgó) növények esetén.

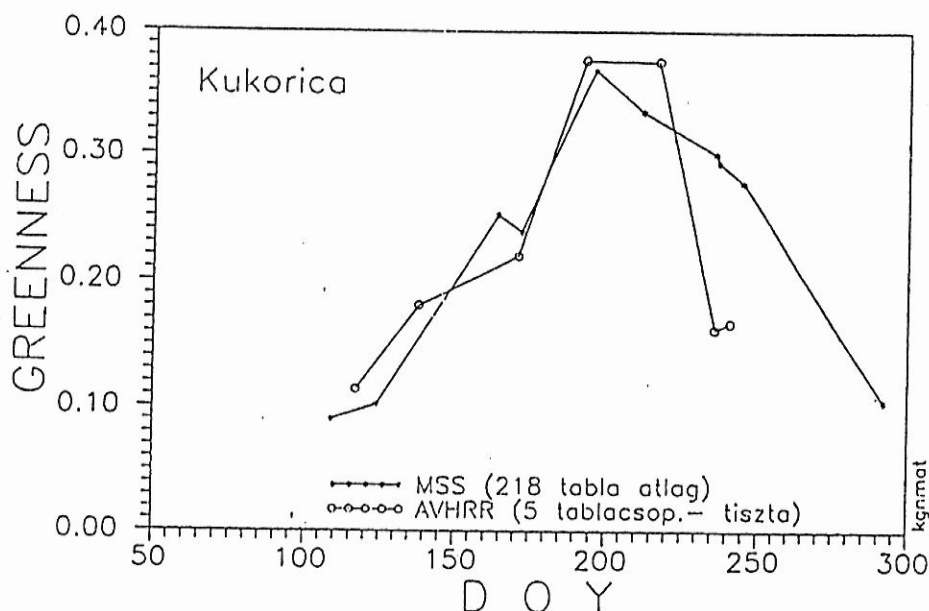
Az elért eredmények több terület együttes felhasználását igénylő alkalmazott kutatáson, egyes helyeken alapkutatási feladatok megoldásán alapul. A kutatásban szükség volt fizikai, matematikai, légkörfizikai, elektromágneses hullám terjedés elméleti, modellezési, statisztikai elméletek és módszerek felhasználására, számítástechnikai módszerek alkalmazására.

A fontosabb hazai részeredmények a hozambecslés területén:

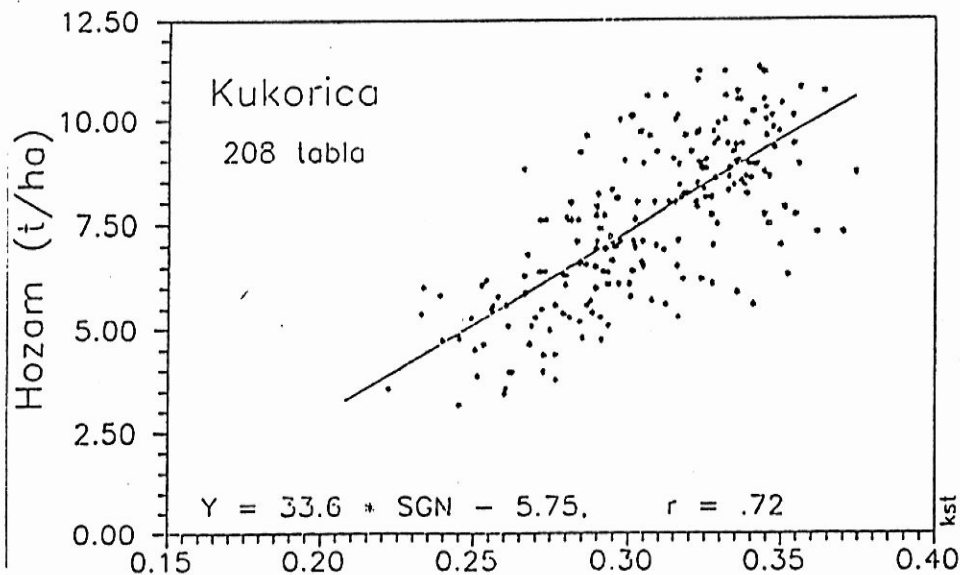
h1) Kutatási eredményként létrejöttek a több időpontban készített Landsat

MSS űrfelvételek adatainak közösen értelmezhető fizikai alapra normalizálásának, benne a légköri korrekciónak módszerei.

- h2) Táblaszintű adatok (50 búza, 50 kukorica tábla Hajdú-Bihar megyében) és Landsat MSS felvételi idősor segítségével a kutatás során több, tisztán távérzékelési modellből kiválasztásra, vizsgálatra kerültek a legjobbak. A modellek lényege az, hogy minden mezőgazdasági táblára és minden időpontra elvégezzük a fizikai normalizálást (ld. az előző h1)-et). Ezután kiszámítjuk táblánként minden időpontban az átlagos zöldesség értékét (ld. 7.6., 8.7. ábra). Ebből, és más hasonló vegetációs index kombinációjából - bizonyos súlyozással - elkészítjük a 8.7. ábra görbe alatti területével összefüggő mennyiséget, amely a távérzékeléssel becsült hozam. A becsült és a valódi hozamokat összevetve, a kukoricatáblákra a 8.8. ábrán látható összefüggést kapjuk, ami mutatja, hogy táblaszinten ez a hozam-modell még nem megfelelően pontos, bár a modellek 5-30 %-on belüli eltéréssel (a modelltől függően) megadták a földi tényadatokat. A becslés stabil volt, a táblák csoportjaira 1-2 %-os eltérést mutatott a területi átlagokra, ami nagyon jó eredmény. Vizsgálandó azonban, hogy más területre és más évekre milyen pontossággal vihető át e modell. A minta növelésével (300 búza, 300 kukoricatábla Hajdú-Biharban), a modellek további vizsgálatával hasonló eredményt kaptunk.



8.7. ábra: Hajdú-Bihar megyei kukoricatáblák zöldesség-változása időben (naptári nap) Landsat MSS és NOAA AVHRR felvételek (10 illetve 7 időpont) alapján



8.8. ábra: A tényleges táblahozam és a Landsat MSS adatsoron alapuló modellel becsült hozam összefüggése kukoricára

A 16 naponkénti Landsat és a naponta 2-4 felvételt készítő NOAA AVHRR adatok együttes használatának megalapozása a hozambecslési modellek stabilizálására, a növényfejlődés megfigyelésének időbeli felbontásának növelésével folyik.

A hátralevő feladatok közé tartozik annak kiderítése, hogy a digitális űrfelvételen rögzített sugárzási értékekből levezetett, fizikai tartalommal bíró mennyiségek (az ún. indexek) közül melyek a jó állapot- és fejlődésjelzők, melyek összetett integráljai a legszorosabb korrelációt mutatják a tényleges terméssel.

Folyik a műhold fedélzetén a mért, rögzített adatok pontosabb fizikai - agronómiai jelentéstartalmát felfedő komplex "elektromágneses sugárzás - növénytakaró" modellek vizsgálata a nemzetközi eredményekből kiindulva. Ezen modellek vizsgálata adhat lehetőséget arra, hogy az űrfelvételekből lényegében determinisztikusan ki lehessen számítani a növényzet agronómiai paramétereit.

Tovább folytatandók a kutatások a különböző adatforrásból jövő - főleg a naponta egyenként 2-szer felvételező 2 db. NOAA műhold AVHRR adatainak felhasználhatóságára, a nagyobb felbontású Landsat adatokkal való együttes alkalmazásra vonatkozóan. Ezek a vizsgálatok pontosságnövelést, költségcsökkentést és a becslés korábbi időpontját eredményezhetik. A NOAA AVHRR felvételek országos haszonnövény állapot, fejlődés indikációjára



vonatkozólag szintén alapos kutatást kell folytatni.

Ugyancsak sok munkát igényel még az integrált agrometeorológiai és távérzékelési modell kialakítása és vizsgálata, a hatékony területi mintavételezés kidolgozása az országos becsléshez.

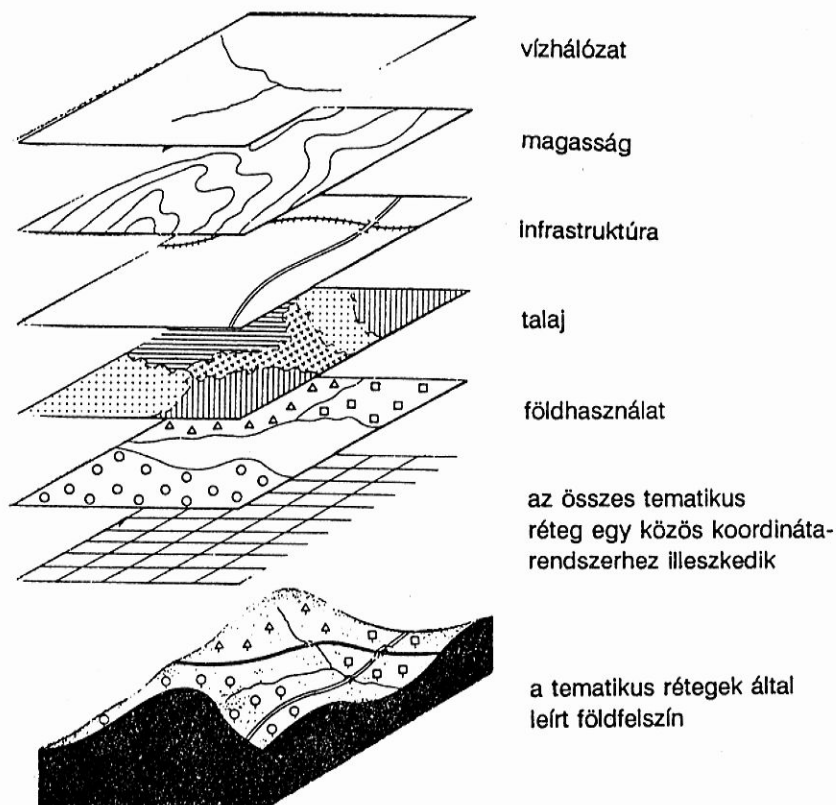
Bár a modellek fejlesztése teljesen nincs lezárva, a területi mintavételezésen alapuló, országosan alkalmazható eljárások kialakítására rövidesen sor kerül. Ennek során, már várhatóan 1994 körül lehet országos hozambecslési kísérleteket végezni búzára, kukoricára a hagyományos becslés rendszerével párhuzamosan.

## 9. A FÖLDRAJZI INFORMÁCIÓS RENDSZEREK ÉS A TÁVÉRZÉKELÉS

Ebben a fejezetben egyrészt a térbeli adatokat eloszlásukban jól kezelni tudó rendszereket (GIS) mint eszközöket, másrészt e rendszerek és a távérzékelés egymást erősítő együttműködésének egy-két lehetséges módját mutatjuk be. Természetesen a földrajzi információs rendszerekről (GIS) szóló alfejezet csak a távérzékelési és modellezési alkalmazásokhoz szükséges fogalmi áttekintést teszi meg.

### 9.1. A földrajzi információs rendszerekről

A földfelszínhez köthető különböző mennyiségeket célszerű eredeti térbeli eloszlásukban megtartani. Ha nem ezt tesszük, akkor ki kell jelölnünk valamilyen földfelszíni területegységeket, amelyekre átlagoljuk vagy összegezzük a különböző mennyiségeket. Az ésszerűbb, takarékosabb környezetgazdálkodás igényli, hogy több paraméter együttes figyelembevételével hozzuk meg döntéseinket (9.1. ábra). Az egyes mennyiségek között fennálló összefüggéseket viszont a területi átlagolás (vagy összegzés) elfedi. Ezért elengedhetetlen a felszínen eloszló mennyiségeket ily módon kezelő rendszerek használata.

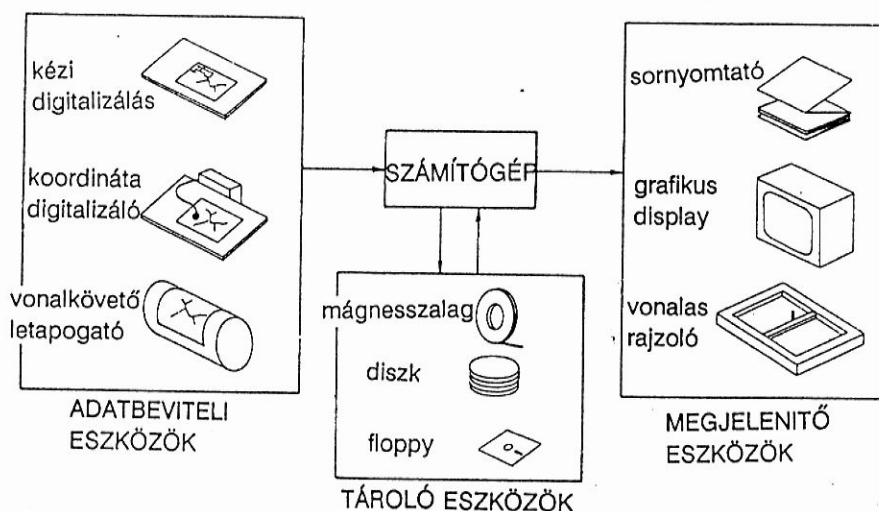


9.1. ábra: A FIR-ekkel ugyanazon földfelszínhez tartozó több tematikus információ (térképek) együttes kiértékelését végezhetjük

E szakterület (angolul: Geographic Information System, röviden: GIS) elnevezésére hazánkban a szó szerinti Földrajzi Információs Rendszerek (FIR) vagy a Területi Információs Rendszer (TIR) elnevezéseket használják. Bár a magyar elnevezések nem jól írják le a fogalmat, a továbbiakban a FIR rövidítést használjuk.

E szakasz csupán rövid betekintést kíván nyújtani a hihetetlen sebességgel növekvő jelentőségű FIR-ekbe. Nem pótolhatja a FIR-ekről szóló alapos, rendszeres ismertetéseket. Itt csupán azokat a szempontokat, tulajdonságokat és szolgáltatásokat vizsgáljuk, amelyek a távérzékelte adatok kiértékelésével kapcsolatban felmerültek.

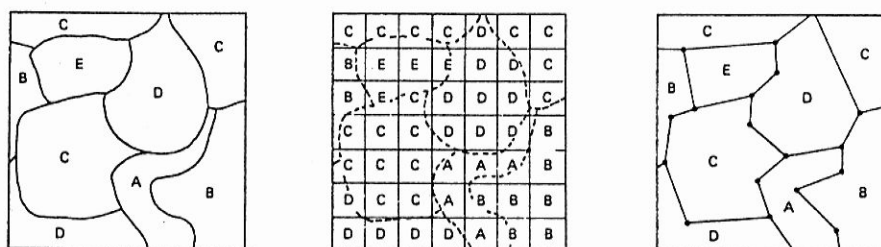
A FIR olyan belső helyazonosítást használó számítógépes információs rendszer, amelynek feladata több, földrajzi helyhez kötött mennyiség, adat együttesének tárolása, kezelése, térképezése és analízise. A FIR-ek megoldják az adatok bevitelét, a megfelelő interaktív javítást, az adatok hatékony kezelését az adatbázisban, a különböző kritériumok szerinti adatrészek előkeresését, kirajzolását képernyőre vagy papírra (filmre, áttetsző anyagra stb.) (9.2. ábra). Az adatbázisban (föld)felületi pontok, vonalak (szakaszok) és sokszögek koordinátái, és a helyileg így meghatározott alakzathoz hozzátartozó sokféle egyéb, számszerű, táblázatos vagy szöveges adatok (összefoglalóan: attributumok) vannak tárolva. A FIR kifejezés először a 60-as évek elején merült fel. Azóta, főleg a számítógépek, a digitalizálók (kézi, vagy automatikus pásztázó), a nagyméretű vonalas rajzgépek és a színes raszteres plotterek erős fejlődése miatt a FIR-ek széles körben elérhetők. Ez a tény egyrészt felgyorsította a szükséges feldolgozási módszerek, technikák fejlődését, másrészt az ilyen rendszerek és alkalmazások hihetetlen mértékű elterjedéséhez vezetett.



9.2. ábra: A FIR-ekben használt tipikus eszközök

A FIR-eket sok szempontból lehetne csoportosítani. Gyakorlati szempontból különbséget tehetünk a többféle alkalmazást támogató FIR-ek létrehozására alkalmas keretrendszerek (pl. ARC/INFO), és egy-egy jól meghatározott feladatra készített információs rendszer között. Nem tekinthetők FIR-nek azok a CAM rendszerek (Computer Aided Mapping = számítógéppel segített térképezés), amelyek térképeket, szelvényeket tárolnak, csupán a hagyományos rajzi adathordozó helyett számítógépen. Ugyanígy nem tekintenek FIR-nek pl. egy számítógépes magassági adatbázist sem. Ahhoz, hogy egy rendszert FIR-nek tekintsünk, minimálisan szükséges bizonyos analízis-képesség: legalább hely, vagy kapcsolt adatok szerinti kiválasztási, méretarányváltoztatási, bizonyos generalizálási lehetőség is.

Technikai kérdésnek tűnhet, de igen fontos, hogy a FIR-ben használt alapvető adatforma - a helyhez kötött adatok tárolására - vektoros vagy raszteres megoldású-e (9.3. ábra). Az első kategória a térképeknél megszokott módon egy-egy tematikus tartományt határvonalával ragad meg, és azt geometriailag sokszögvonallal - ami szakaszokból, vektorokból épül fel - ábrázolja.

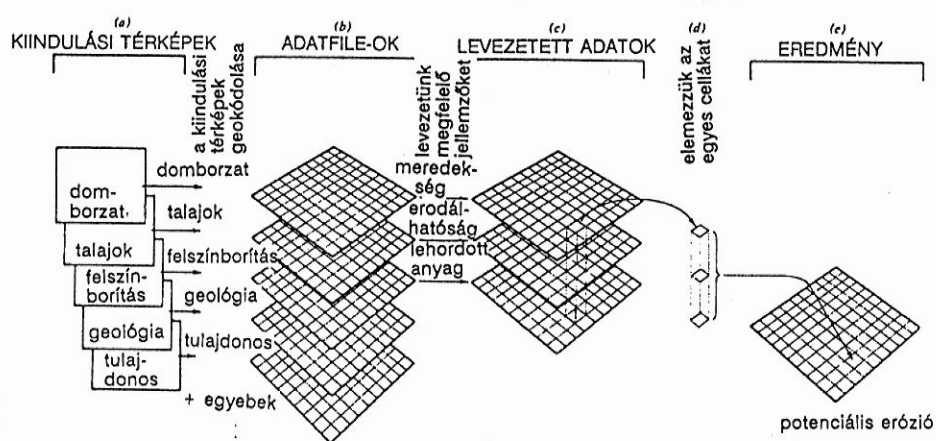


9.3. ábra: A FIR adatainak különböző rendszerű tárolása:  
a) eredeti térkép  
b) raszter kódolással  
c) poligon/vektor ábrázolásban

A raszteres adatforma a felszínadarabot úgy ábrázolja, hogy egy szabályos cellarendszernek a felszínadarabhoz tartozó celláit azonos kóddal tölti ki. Történetileg a vektoros ábrázolás jelent meg először, mivel ez a megfelelője a hagyományos térképészeti eljárásoknak. Néhány éve, részben a raszteres formájú digitális távérzékelte adatok egyre terjedő alkalmazása, részben az olcsó (már személyi számítógéphez is csatlakoztatható!) pásztázó letapogatók elérhetősége miatt a raszteres típusú rendszerek is egyre nagyobb jelentőséggel bírnak.

A raszteres forma sokkal előnyösebb a párhuzamos feldolgozás számára, amely még nagyobb mértékben készül megváltoztatni az informatikát, mint napjainkban a személyi számítógépek.

E két rendszernek más sajátosságai is vannak. Ha vonalakkal lehet legjobban meghatározni, leírni a vizsgált tematikákat - és ez a helyzet a földmérési alapfeladatoknál -, a tisztán raszteres technika esztétikai és pontossági szempontból csak igen finom raszter esetén elfogadható, ami általában gazdaságtalan. Tematikus elemzéseknél, felszindarabokhoz kapcsolódó adatoknál (pl. talajtípus, növényzet, domborzat, csapadék, terméshozam, szennyezés eloszlás, stb., 9.4. ábra) a raszteres forma összehasonlíthatatlanul alkalmasabb. Elég, ha a vektoros adatokkal elvégzendő, poligonokra vonatkozó egyszerű közös rész, egyesítés logikai műveletek rendkívüli megoldási nehézségeire gondolunk. Ezek a problémák jelzik, hogy valamiféle integrált hibrid megoldás lenne a célszerű. Ez jelenleg még nincs meg, de a különböző vektoros és raszteres FIR-rendszerek együttműködése adatátalakításokon keresztül ma már széles körben megoldott.



9.4. ábra: Példa a tematikus elemzésre: várható talaj erózió meghatározása a megfelelő adatokból

A FIR-ek fejlesztése, használata közben felmerült rengeteg elméleti kérdés, melyre külön tudományterületek kialakulása volt a válasz. Egy ilyen az, hogy miért ragaszkodunk a tematikus térképezésnél ahhoz, hogy vonalakkal határolt tartományokként adjunk meg egy kategóriát. Erdőtérképezésnél a különböző fajtájú fák koronáinak átfedésétől, a térképezési időponttól, a kiértékelőtől függően más-más határvonalat kapunk. Egy sor esetben nincs éles határvonal a kategóriák között. A térkép mégis ilyen vonalakból épül fel, amelyek azután megváltozhatatlan, abszolút falakká képesek merevedni, ha elfeledkezünk a származtatásukról. A térbeli adatok statisztikájáról (pl. a pontonkénti mérések interpolációs kiterjesztésének tulajdonságaival) a statisztikai felületekkel való reprezentálásával számos cikk és könyv foglalkozik. Ugyanezek az eszközök segíthetnek például a vektoros rendszer megfelelő pontosságot tartó raszter rendszerre való átalakításával.

Bár a különböző térképek tematikus és geometriai hibái ismertek, amíg vizuális kiértékelésnél és döntéshozásnál ezeket intelligensen figyelembe vesszük (tkp. tudunk róluk), a számítógépes feldolgozásnál főleg a sokféle helyhez kötött adat együttes kezelésénél fellépő eredeti adatforrásonkénti, és a FIR műveletekkel elért műveleti hibát számszerűen kell jellemezni. Sok esetben azonban elég nehéz analitikusan kifejezni, gyakran a forrásadatok ismeretlen vagy nem garantált hibakorlátja, máskor az analízisben használt heurisztikus eljárások hibaterjedési leírásának problémái miatt. Sok adatforrásnál a hiba jelentős lehet (10-80%!), amit gyakran gyakorlati mintán történő vizsgálattal állapítanak meg.

## **9.2. FIR technikák alkalmazása a műholdas haszonnövényfelmérésben**

A távérzékelte képeket feldolgozó rendszerek és a FIR-ek között általában aszimmetrikus a kapcsolat: a kiértékelte felvételeket a FIR-be juttatják, ahol más - nem távérzékelte - adattal együtt kerülnek további elemzésre. Kevés erőfeszítés történt fordítva: a FIR-ek alkalmazására a távérzékelte adatok feldolgozásában.

Szükség van arra, hogy a komplex adatfeldolgozó rendszer egyesítse a vektoros FIR-ek digitális térképezési és a raszteres FIR-ek erős elemző, modellező képességeit.

### **9.2.1. FIR-rendszer és -technikák használata a képanalízis szokásos menetében**

A nagyterületű felmérések, de már a módszerfejlesztés sem képzelhető el nagymértékben automatizált képfeldolgozás nélkül. Eközben sok képet, képrészletet kell a rendszernek kezelni. Egy-egy úrfelvétel vagy felvételi idősor kiértékelésekor egy nagyobb felvételnek akár néhány száz részképét kell különböző feldolgozásoknak alávetni. Ezek egy (nagyobb) részét előre ki lehet jelölni, a többit a feldolgozás részeredményeitől függően menet közben. Az előre kijelölhetőket térképpel vagy előzőleg kiértékelte úr- vagy légifelvételek segítségével adjuk meg digitálisan. Ehhez az úrfelvételek pontos térképi illesztésére van szükség. Ez azt jelenti, hogy a használt (pl. EOVS) vetületi rendszer és a kép minden pontja között egy-egyértelmű leképezés kell, hogy legyen.

Az előre kijelölhető képrészlet-határokat a FIR rendszerrel lehet megadni.



A FIR-nek nagy szerepe van a digitális határokat (pl. megyehatár) felhasználó részkép-kiválasztásban a térképhez illesztett műholdfelvételtől. Ugyancsak fontos a terület további régiókra - statisztikai rétegekre - bontása, az ökológiai-termesztési határok kijelölése és digitalizálása útján. A FIR segíti a régiók mindegyikében a tanuló és teszt területek kijelölését. A spektrális osztályozás, a cluster-detektálás után a spektrális és tematikus osztályok egymáshoz rendelése digitális referenciatérkép (DRT) alapján történik (ld. pl. 6.22. ábra). A DRT-t szintén a FIR rendszer készíti el, gyakran más számítógépes adatbázissal való összehasonlítás útján.

A régióként elvégzett osztályozás pontosságát újra a DRT más - a tanuláshoz nem használt - részeinek a tematikus térképpel való képpontonkénti összevetésével kapjuk. A pontosságvizsgálat tehát tipikusan FIR szolgáltatás. A teljes célterületre vonatkozó tematikus térképből - újra a FIR-szel - az egyes régiókra vonatkozó részt egyszerűen kiválaszthatjuk és a vonatkozó területi adatokat megkaphatjuk.

#### 9.2.2. Új, a FIR rendszert a tematikus kiértékelésbe építő osztályozási eljárások

Az űrfelvételeken alapuló nagyterületű növényfelmérés kulcsfontosságú szakasza a számítógépes képanalízis. Mivel a felmérés hatékonyságát (pontosság, megbízhatóság, feldolgozási költség, referencia adat ára) a kiértékelésben döntően ez befolyásolja, minden lehetséges módon fel kell használni, be kell építeni az elérhető integrális, előzetesen ismert adatokat. Ilyenek például a vizsgált növények relatív területarányai az egész célterületen valamely előző év statisztikai adatai alapján stb.

Ha az üzemek egyes tábláinak határai a FIR-ben vannak, egy sor újfajta osztályozási és egyéb elemzési módszer válik lehetségessé. Két új osztályozási eljárás került kidolgozásra, amelyek vagy a hagyományos pontonkénti osztályozásból indulnak ki és ehhez veszik a DRT-t, vagy eleve táblánként osztályoznak.

Az első módszerben a pontonkénti osztályozási eljárást a táblahatároknak a digitális képre helyezése követi. Ezzel minden táblán belül a többségi osztályhoz (ha a többség eléggé stabil) sorolhatunk minden képpontot. Az eljárás jól szűri a pontszerű hibákat.

A másik módszernél az egyedi képpontok helyett a teljes táblákat tekintjük a tematikus osztályozási folyamat alapegységeiként, és ezeket visszük végig a teljes képelemzési láncon. A feltétel az, hogy a tábla elég homogén legyen az intenzitásvektorok szempontjából.

Mindkét eljárás 8-15 % közötti potenciális képpontonkénti pontosság-javulást mutat a tisztán képpontonkénti eljárásokhoz képest. A módszer általánosítása - utak, vasutak, folyók felhasználására - fejlesztés alatt áll.

Ezek az eljárások csupán egyet mutatnak be a lehetséges egyéb információforrásoknak a tematikus térképezés erősítését célzó felhasználására, ami a FIR-ben elhelyezett adatok és speciális módszerek segítségével megoldható.

