

TELEDETEKCJA

Właściwości spektralne roślinności



Jan Piekarczyk

Zakład Kartografii i Geomatyki

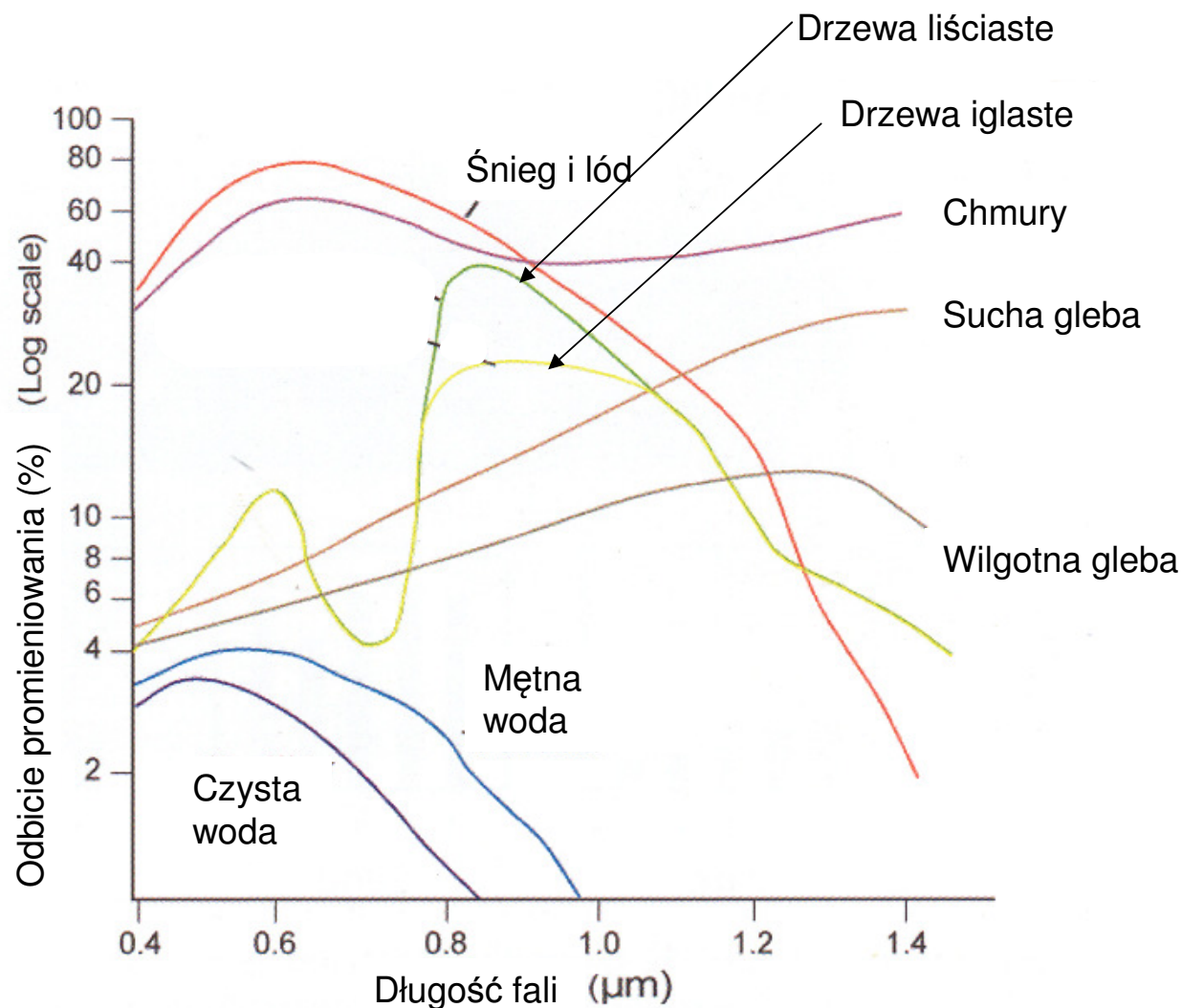
Instytut Geografii Fizycznej i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza

TELEDETEKCJA

Właściwości spektralne roślinności

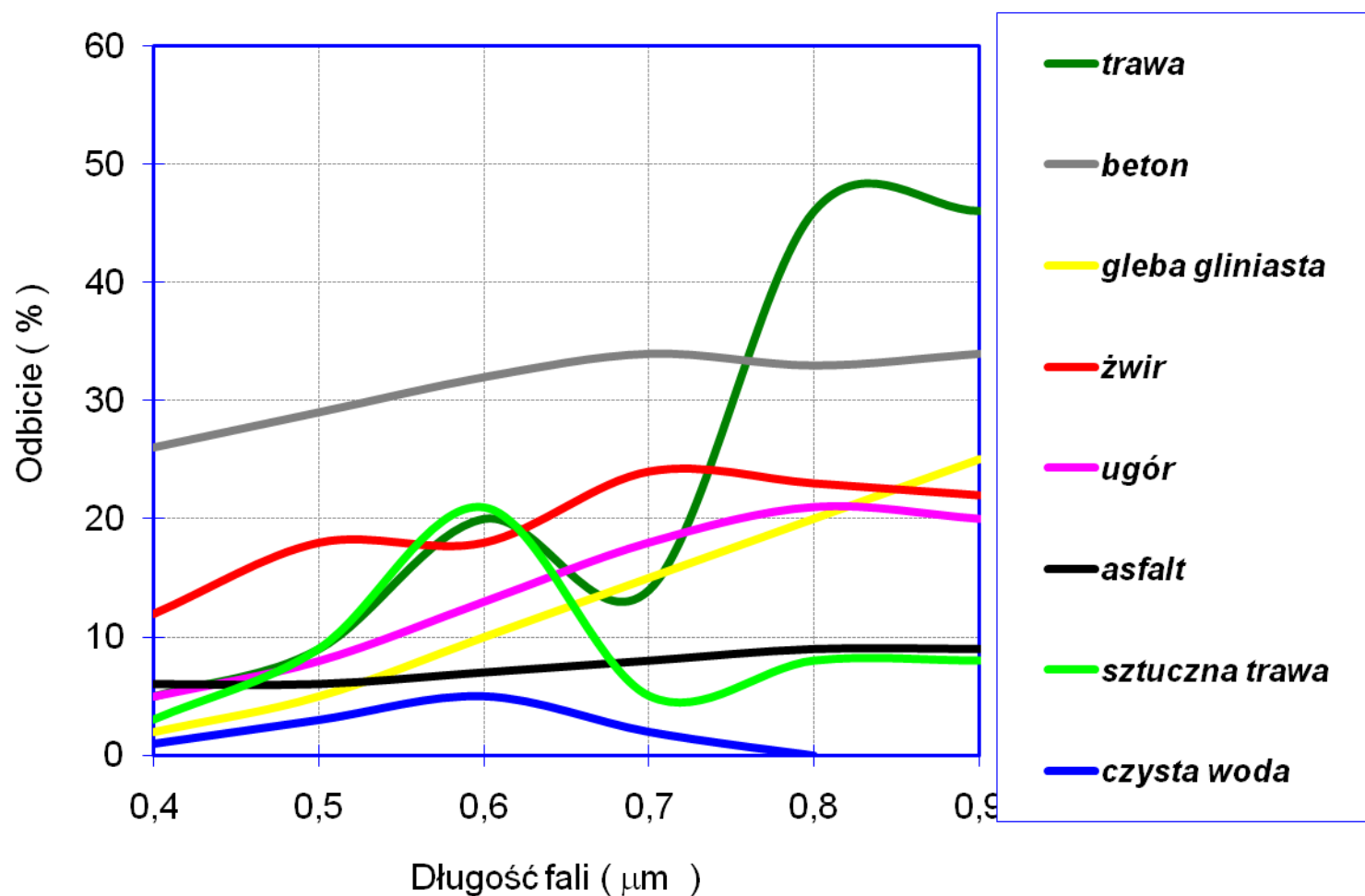
Krzywe spektralne = Charakterystyki spektralne



TELEDETEKCJA

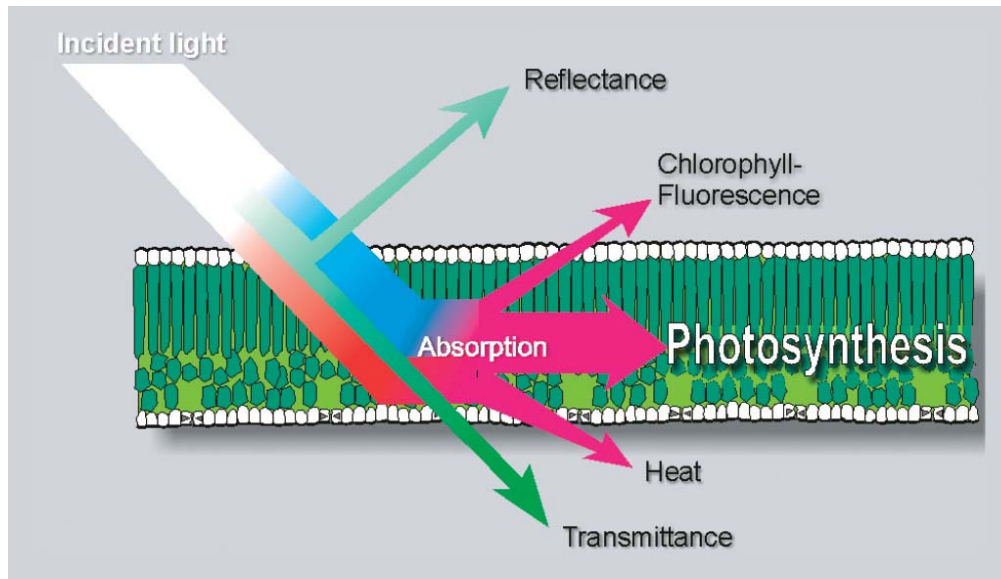
Właściwości spektralne roślinności

Charakterystyki spektralne różnych powierzchni



TELEDETEKCJA

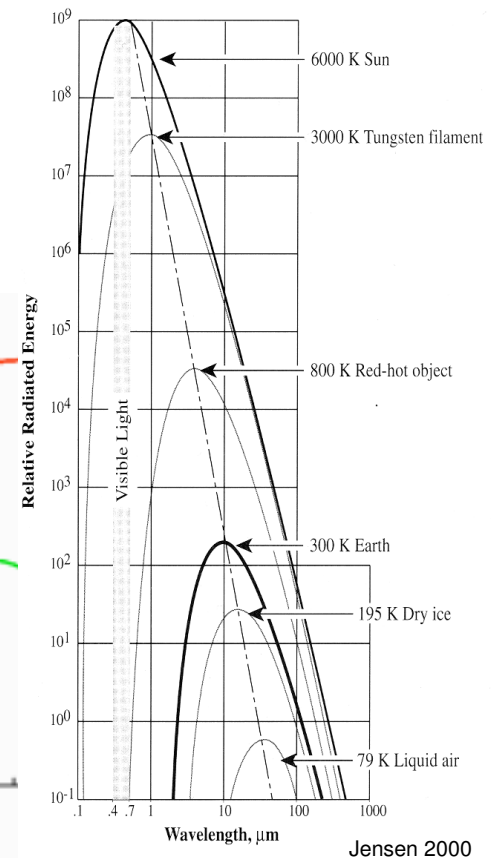
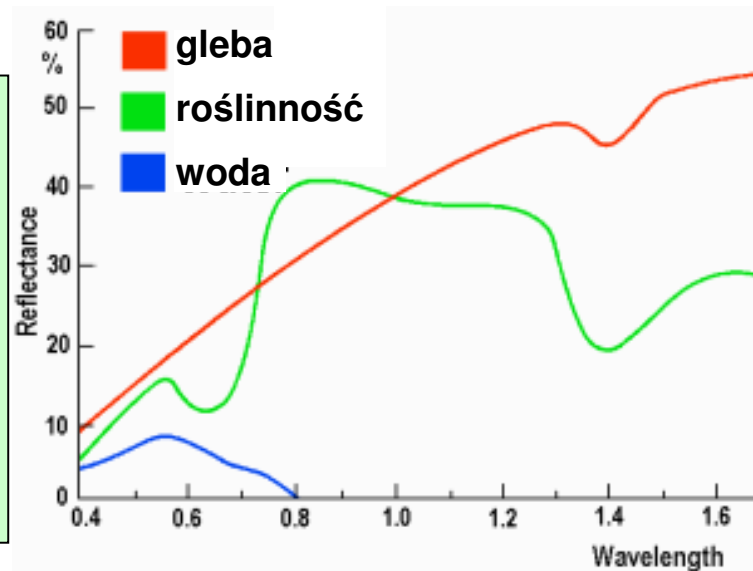
Właściwości spektralne roślinności



$$\Phi_{i\lambda} = r_{\lambda} + \tau_{\lambda} + \alpha_{\lambda}$$

Krzywa spektralna zielonej roślinności ma charakterystyczne odcinki:

- Absorpcja w zakresie niebieskim,
- Odbicie w zakresie zielonym,
- Absorpcja w zakresie czerwonym
- Wysokie odbicie w zakresie bliskiej podczerwieni (NIR)
- Absorpcja w zakresie środkowej podczerwieni (SWIR).



TELEDETEKCJA

Właściwości spektralne roślinności

ZAKRESY PROMIENIOWANIA I ICH WPŁYW NA ŻYCIE ROŚLIN

Rodzaj promieniowania	Przedział spektralny	Udział w poszczeg. rodzajach prom.			% energii promienistej Słońca	Wpływ promieniowania na życie roślin		
		całk.	bezp.	rozpr.		cieplne	fotosyntetyczne	fotomorfogenetyczne
Ultrafiolet (UV)	0,28 - 0,38	3 %	2 %	10 %	0 - 4	nieistotny	nieistotny	umiarkowany
Promieniowanie fotosyntetycznie aktywne (PAR)	0,38 - 0,71	50 %	42 %	65 %	21 - 46	istotny	istotny	istotny
Bliska podczerwień (NIR)	0,71 - 4,0	47 %	56 %	25 %	50 - 75	istotny	nieistotny	istotny
Promieniowanie długofalowe (LR)	3,0 - 100					istotny	nieistotny	nieistotny

Mechanizm kompensacyjny - lepiej wykorzystywany jest strumień promieniowania niosący mniej energii

TELEDETEKCJA

Właściwości spektralne roślinności

Kształt krzywej spektralnej zależy

w zakresie widzialnym

- od koncentracji barwników roślinnych (chlorofil)

w zakresie bliskiej podczerwieni

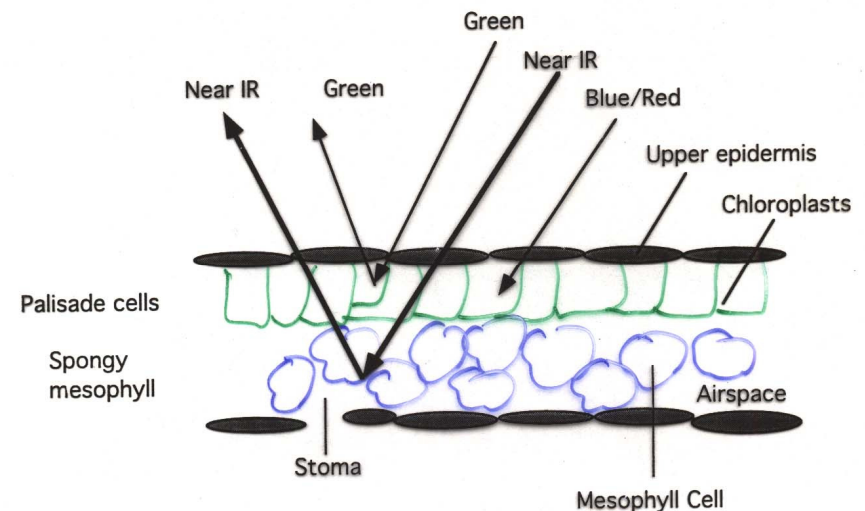
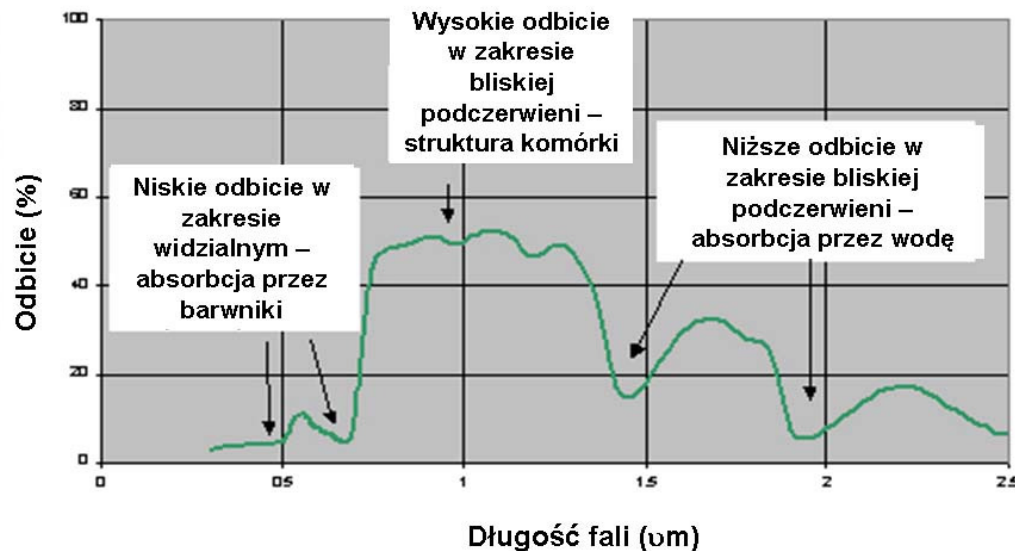
- od budowy wewnętrznej liścia
- od stopnia uwodnienia tkanek

w zakresie środkowej podczerwieni

- od stopnia uwodnienia tkanek

Planophile – liście ułożone poziomo
Erectophile - liście ułożone pionowo

Krzywa spektralna zielonej roślinności



TELEDETEKCJA

Właściwości spektralne roślinności

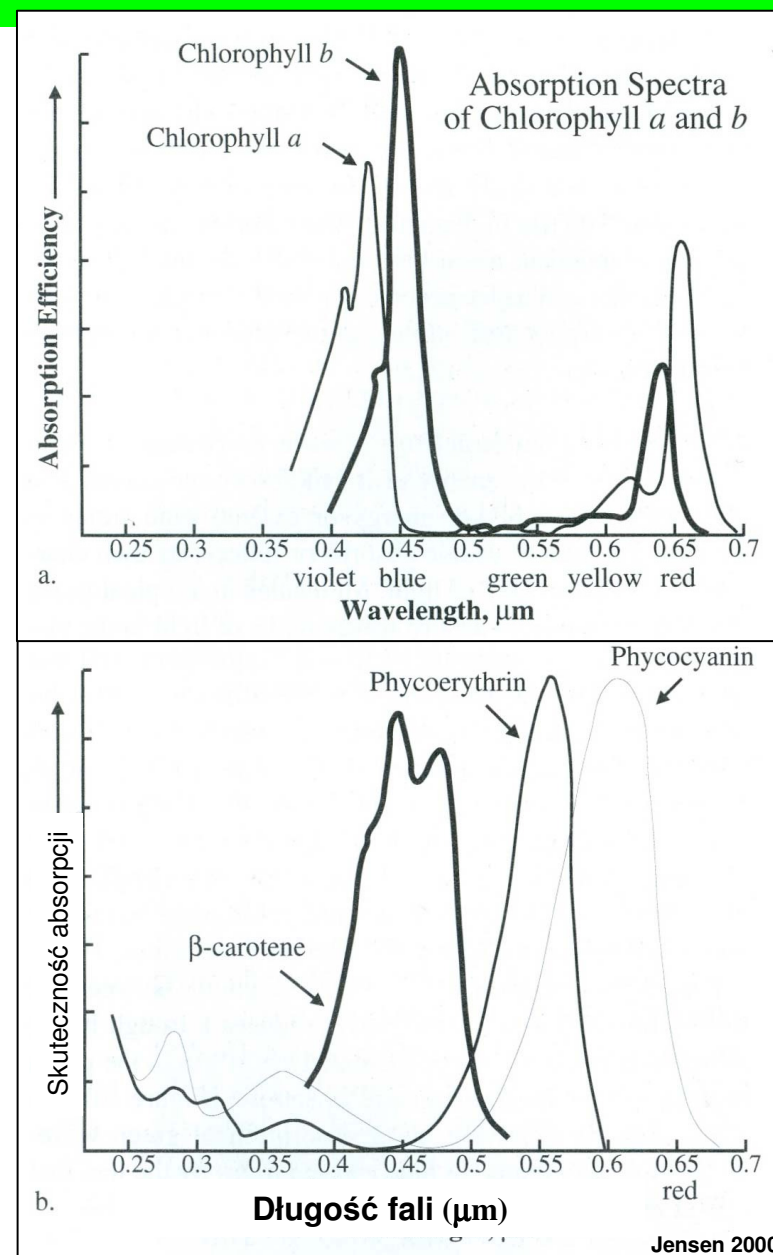
Interakcja światła widzialnego z barwnikami roślinnymi

Maksimum absorpcji chlorofilu *a*
– fale 430 i 660 nm.

Maksimum absorpcji chlorofilu *b*
– 450 i 650 nm.

*Dwa zakresy widma najbardziej przydatne do określania poziomu absorpcji przez chlorofil w liściach :
450 – 520 nm and 630 – 690 nm*

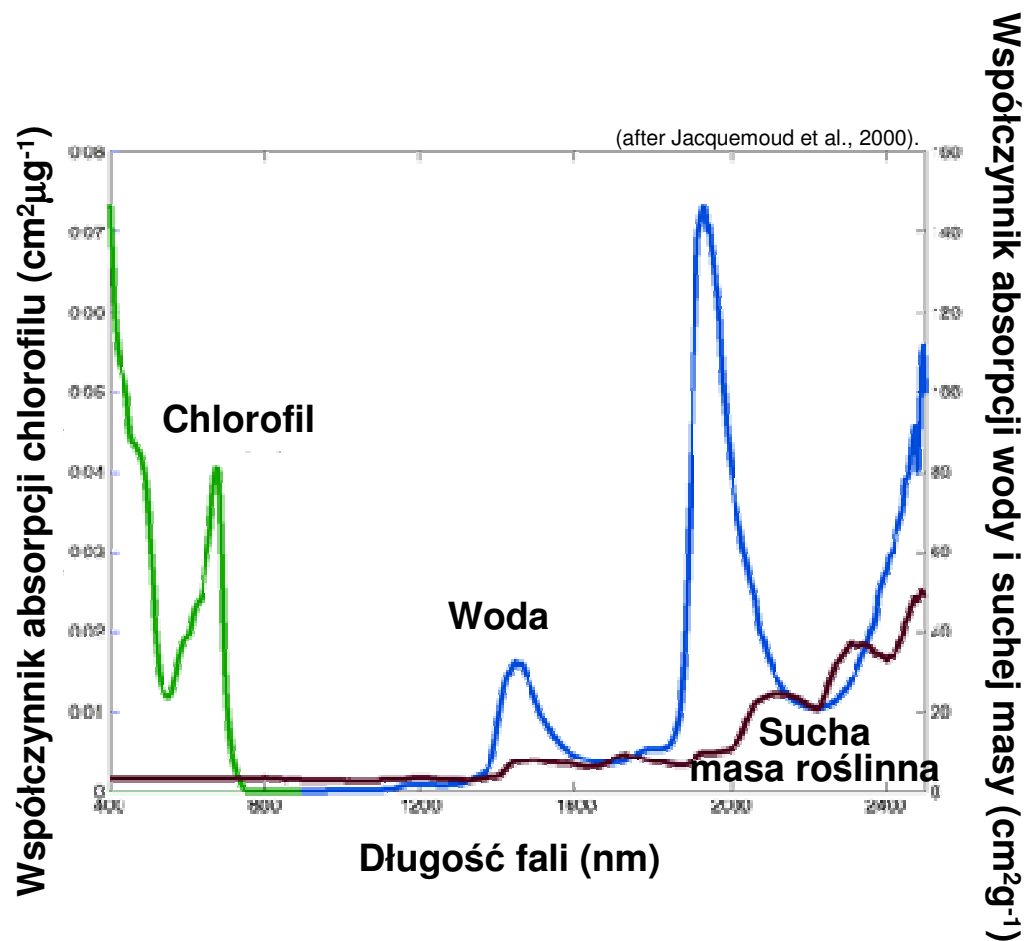
*Stosunki ilościowe chlorofili w roślinach zależą między innymi od warunków siedliskowych: rośliny **cieniolubne** mają więcej chlorofilu *b*, rośliny **światłolubne** chlorofilu *a*.*



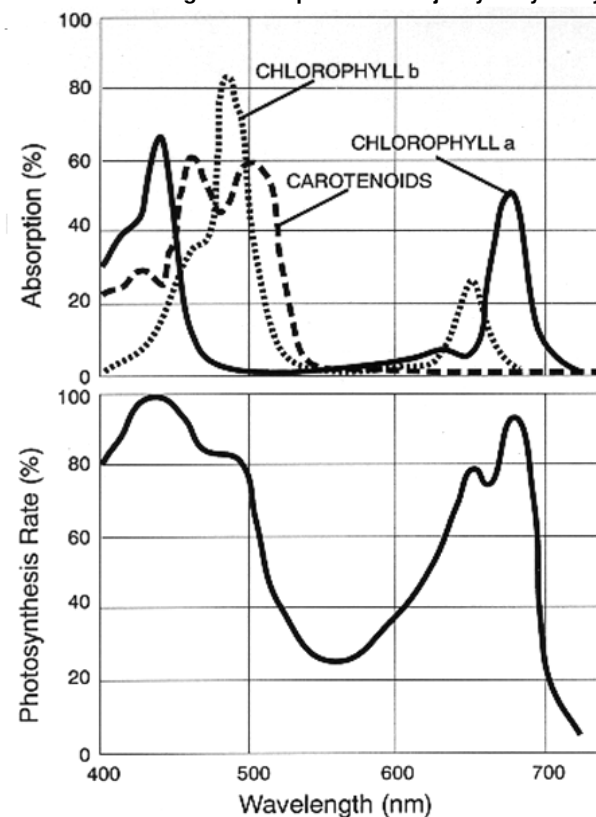
TELEDETEKCJA

Właściwości spektralne roślinności

Zakresy VIS i NIR



Źródło: ww.igf.fuw.edu.pl/meteo/stacja/wyklady/.../Wyklad6.ppt



TELEDETEKCJA

Właściwości spektralne roślinności

Absorpcja promieniowania

Najważniejsze barwniki roślinne absorbujące promieniowanie:

- cr-karoten: 420, 440, 470 nm;
- P-karoten: 425, 450, 480 nm;
- antocyjany: 400-550 nm;
- luteina: 425, 445, 475 nm;
- wiolaksantyn: 425, 450, 475 nm;

W komórkach roślinnych występuje wiele barwników i dlatego pasma absorpcji mogą być stosunkowo szerokie.

woda: 970, 1450, 1944 nm.

Absorpcja przez azot:

460, 640 i 660 nm – podobnie jak chlorofil

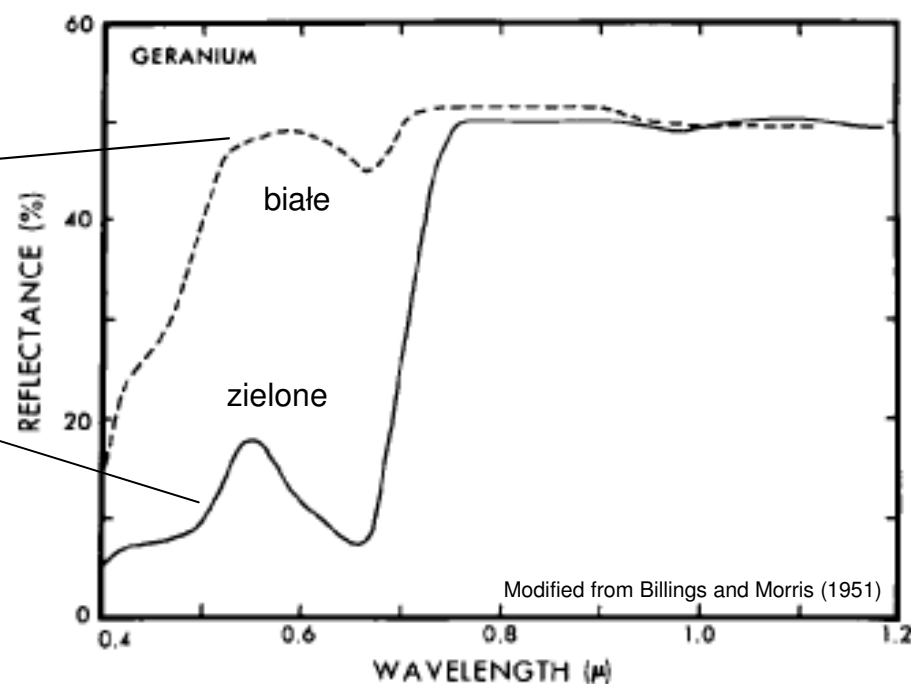
910, 1020, 1510, 1980, 2060, 2130-2180, 2240, 2300, 2350 nm –
podobne jak białka

TELEDETEKCJA

Właściwości spektralne roślinności

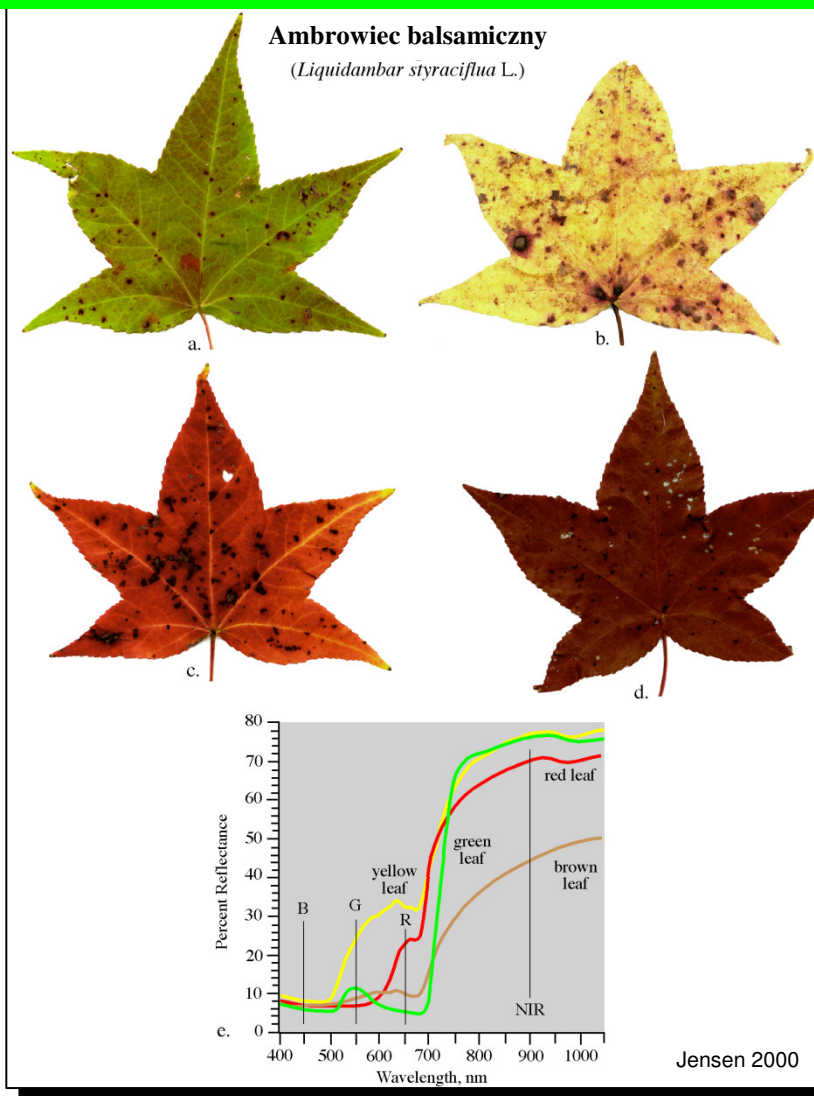
Zakresy VIS i NIR

Krzywe spektralne białych i zielonych części liści geranium



TELEDETEKCJA

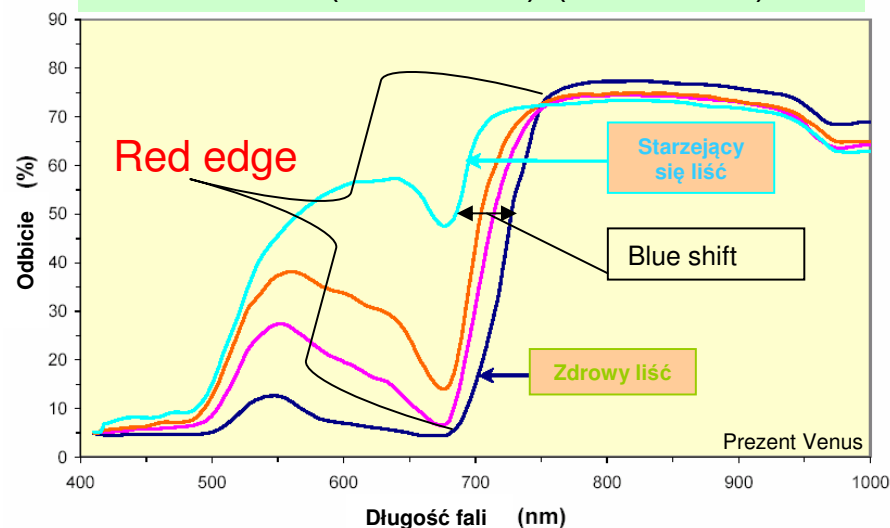
Właściwości spektralne roślinności



Charakterystyki spektralne Ambrowca
Balsamicznego (*Liquidambar styraciflua* L.)

Stres roślinny najłatwiej zidentyfikować analizując zmiany krzywej spektralnej w zakresie widzialnym (535 - 640 i 685 - 700 nm).

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$$

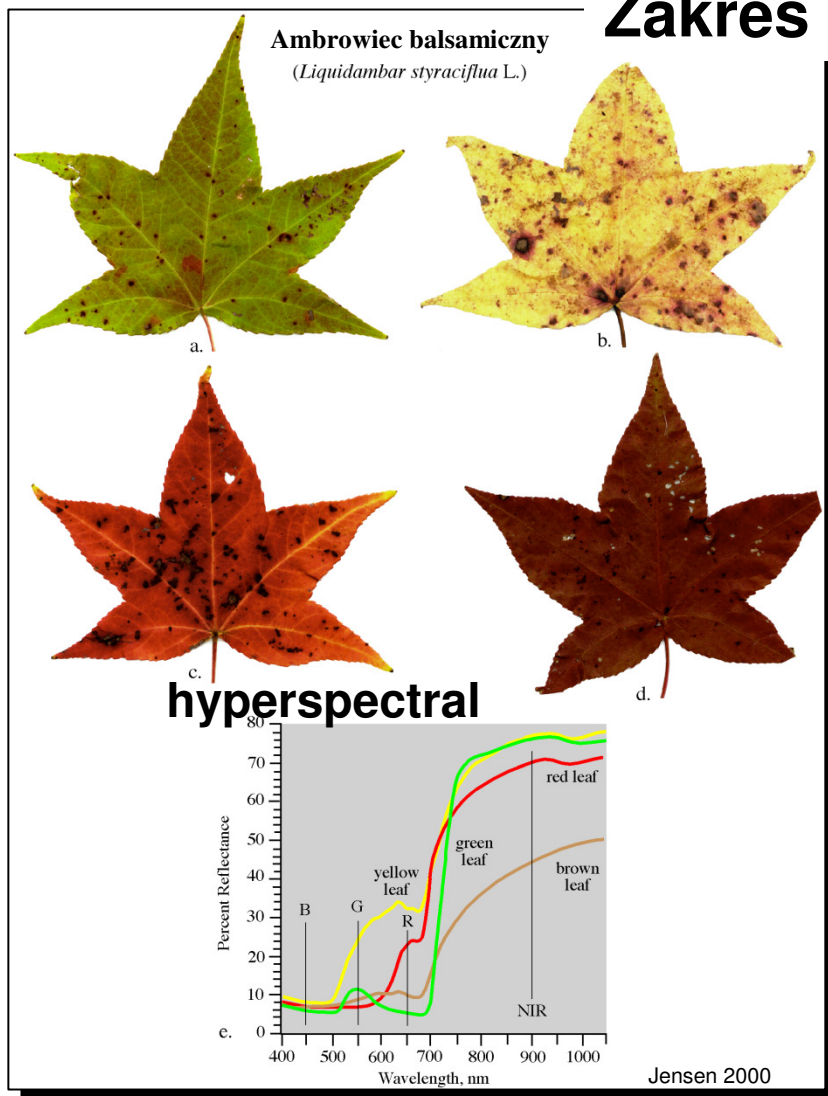


Zdjęcie w naturalnych kolorach (RGB = RGB)
N.Y. Power Authority lake. Rozdzielczość przestrz. 0.3 x 0.3 m.

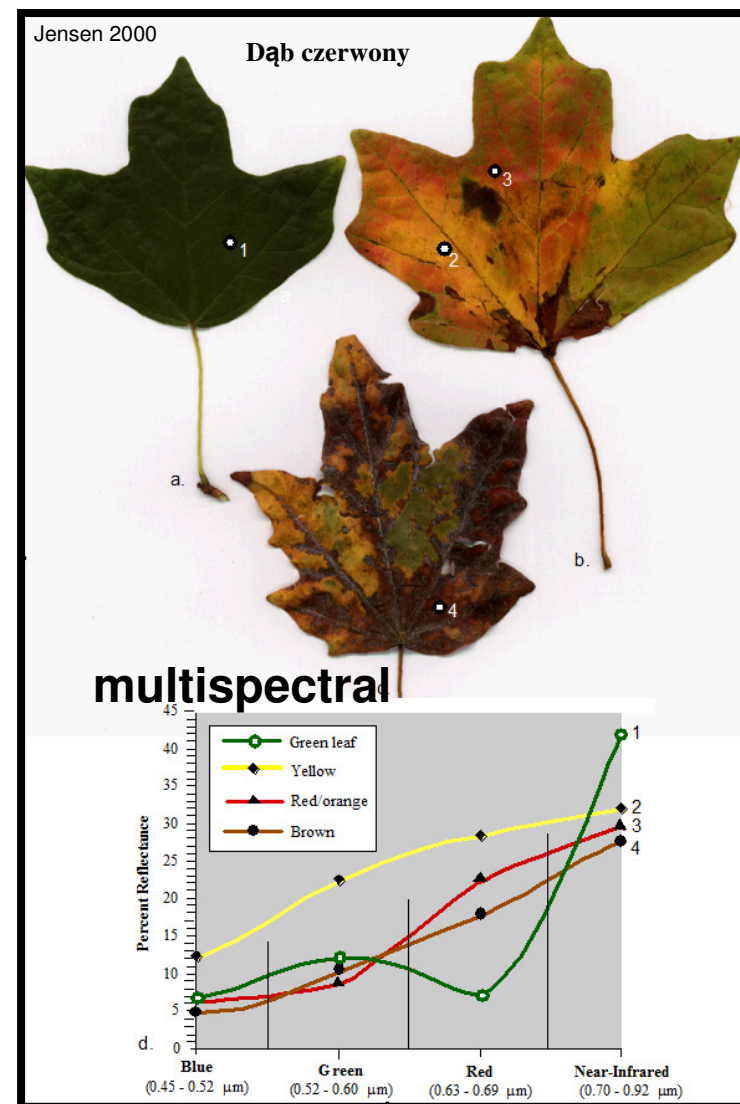
TELEDETEKCJA

Właściwości spektralne roślinności

Zakres NIR



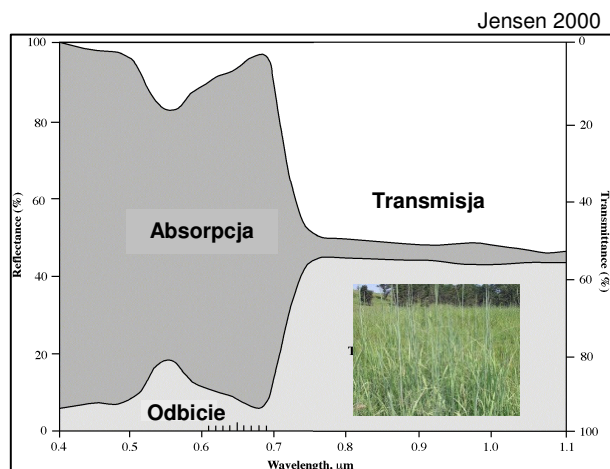
Charakterystyki hiperspektralne liści ambrowca



Charakterystyki wielospektralne liści dębu

TELEDETEKCJA

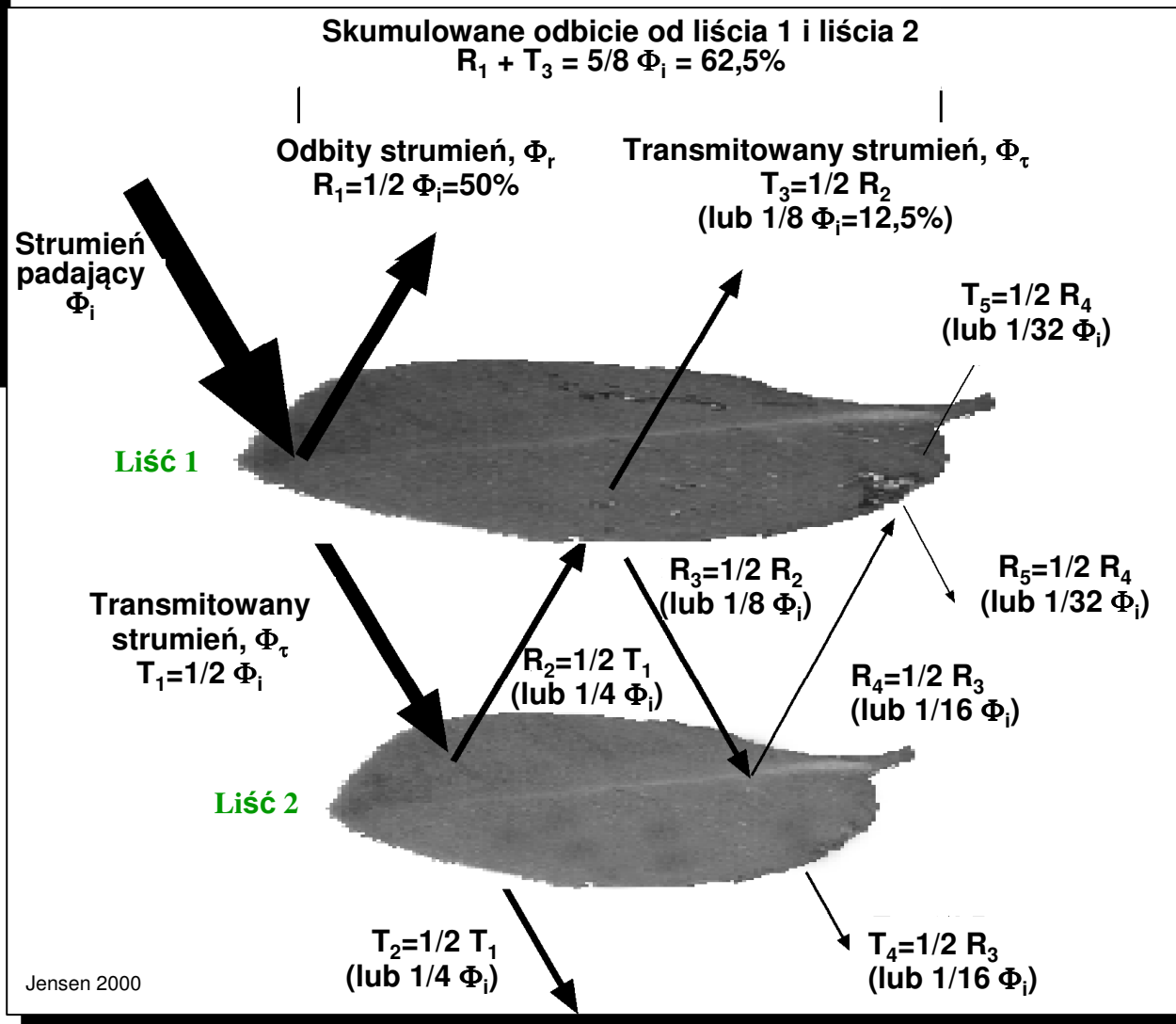
Właściwości spektralne roślinności



Hemisferyczne charakterystyki odbicia, transmisji i absorpcji trawy preriowej *Andropogon gerardii*, Big Bluestem Grass

Odbicie kumulatywne od liści – promieniowanie przenika częściowo przez liść (tzn. jest transmitowane) i może być ponownie odbite przez liść znajdujący się niżej.

Kumulatywne odbicie od rośliny z dwoma warstwami liści

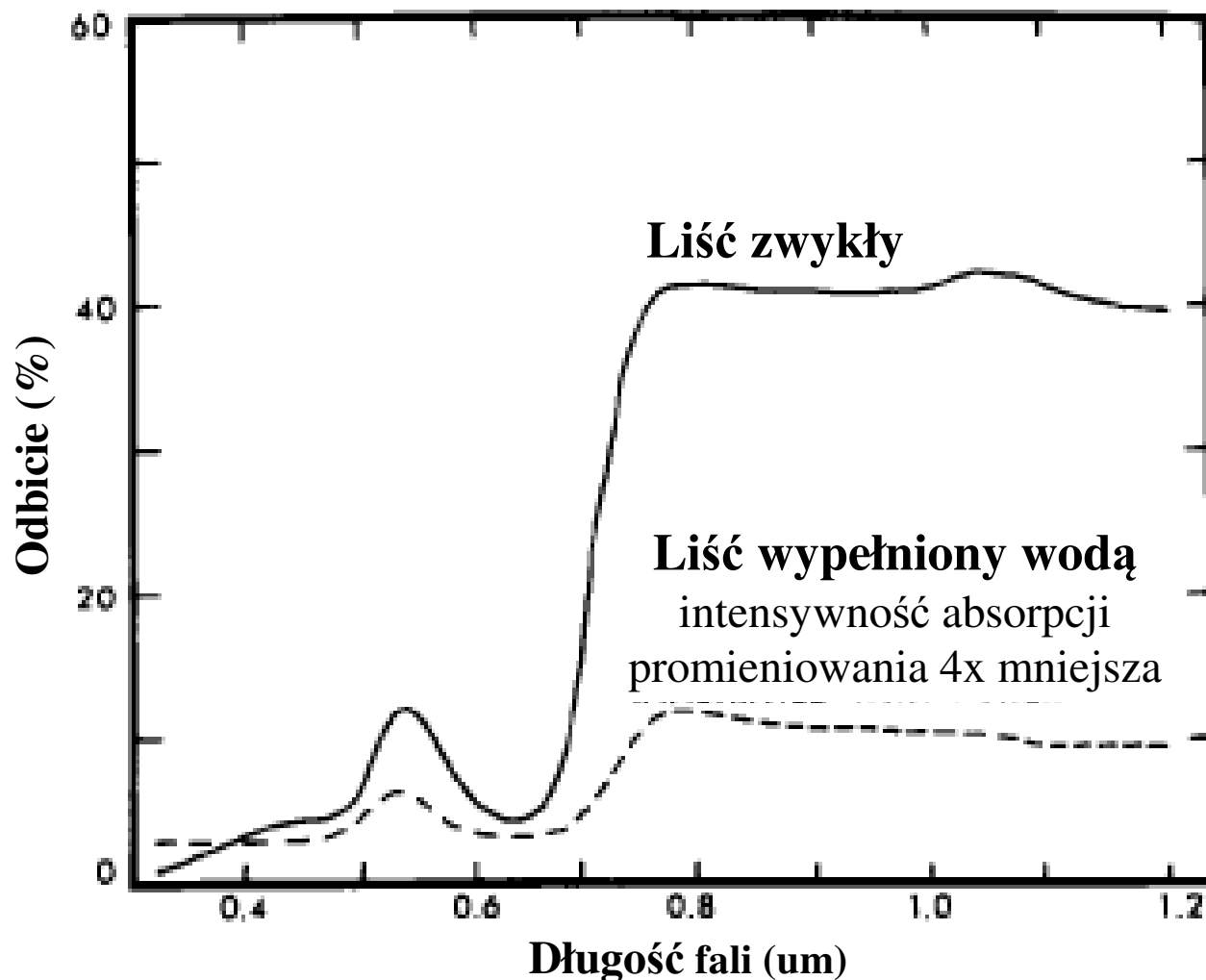


TELEDETEKCJA

Właściwości spektralne roślinności

Zakres NIR

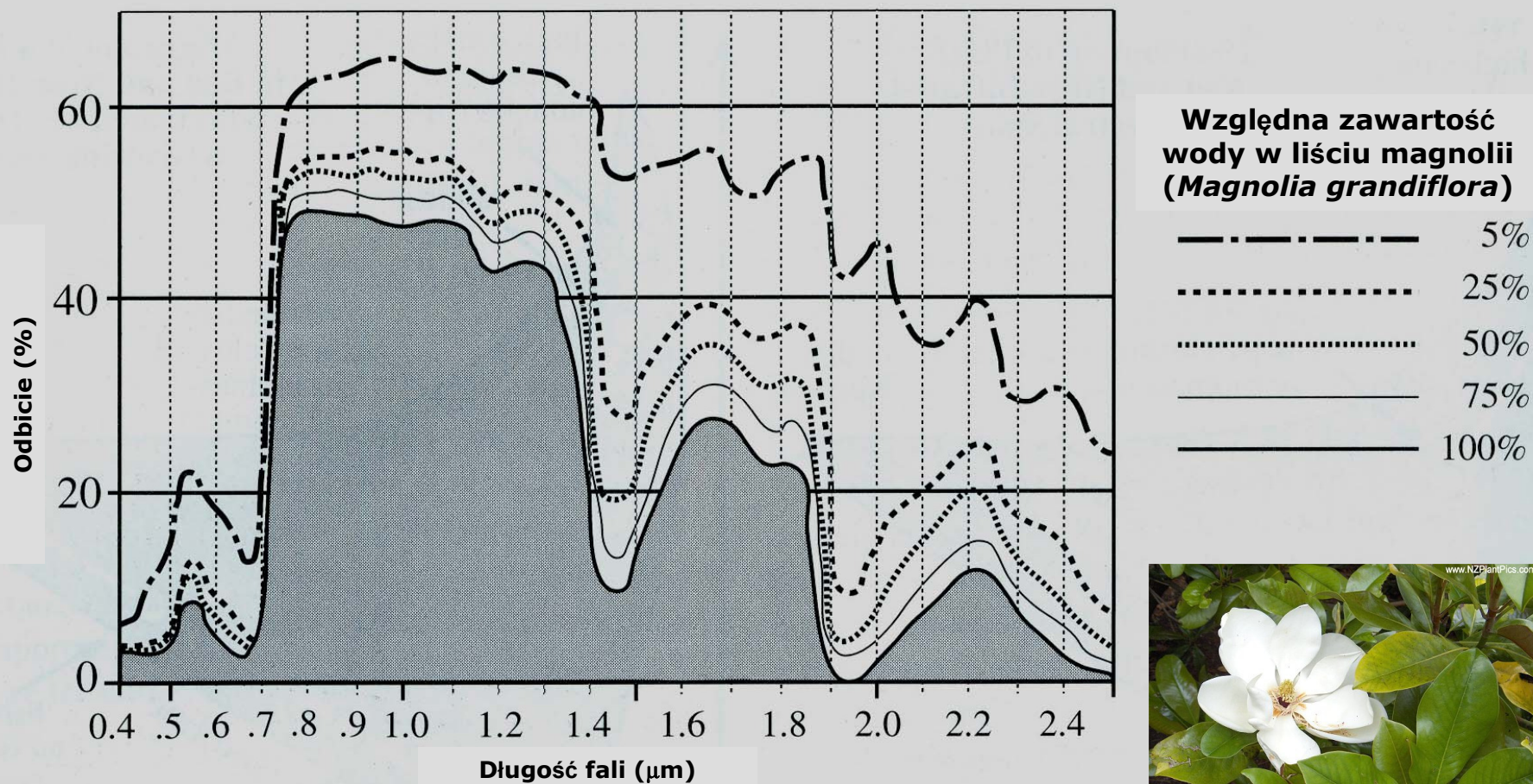
Spektralny efekt wypełnienia wodą przestrzeni międzykomórkowych liścia fasoli



TELEDETEKCJA

Właściwości spektralne roślinności

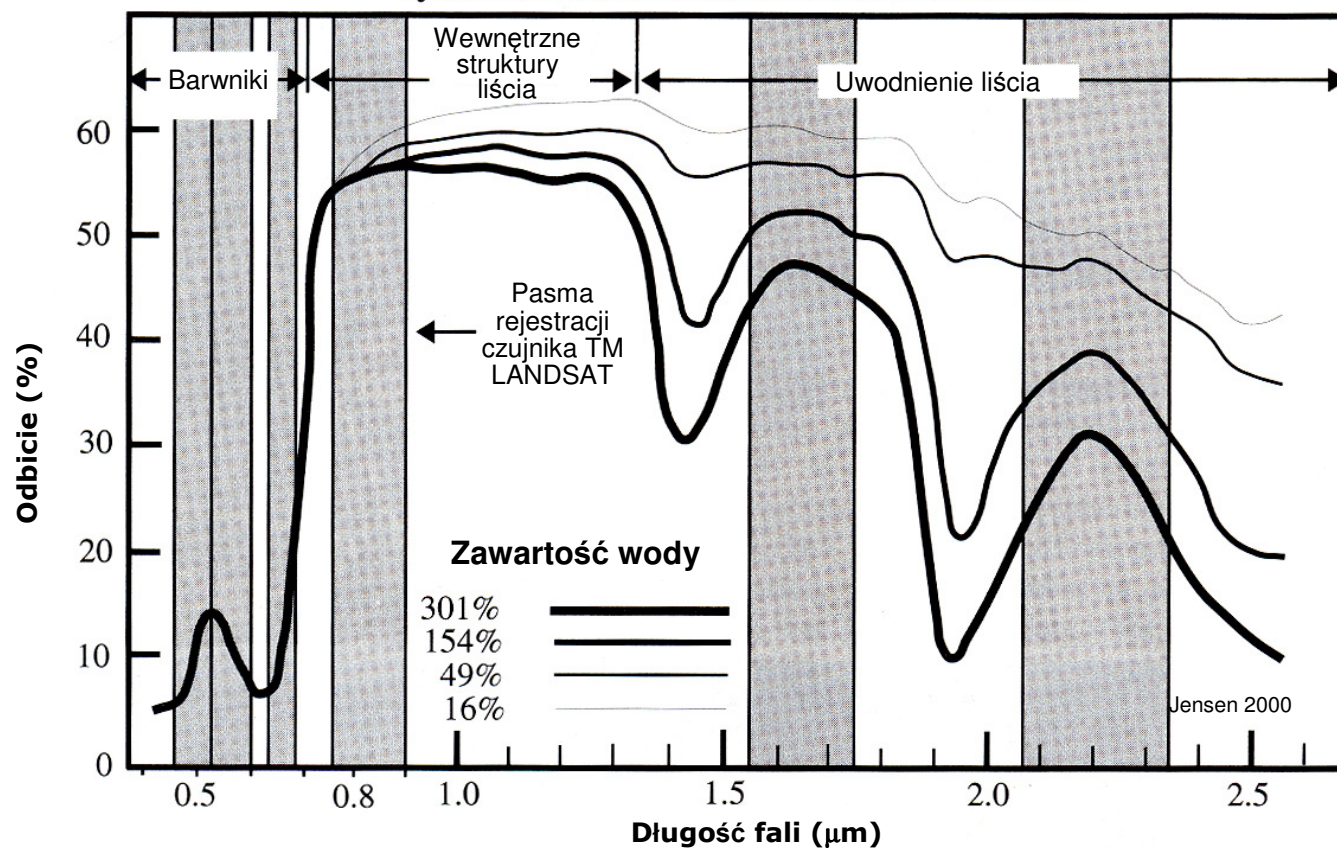
Zakres SWIR



TELEDETEKCJA

Właściwości spektralne roślinności

Odbicie od górnej powierzchni liścia platana przy różnym uwilgotnieniu



Pasma silnej absorpcji wody w atmosferze:

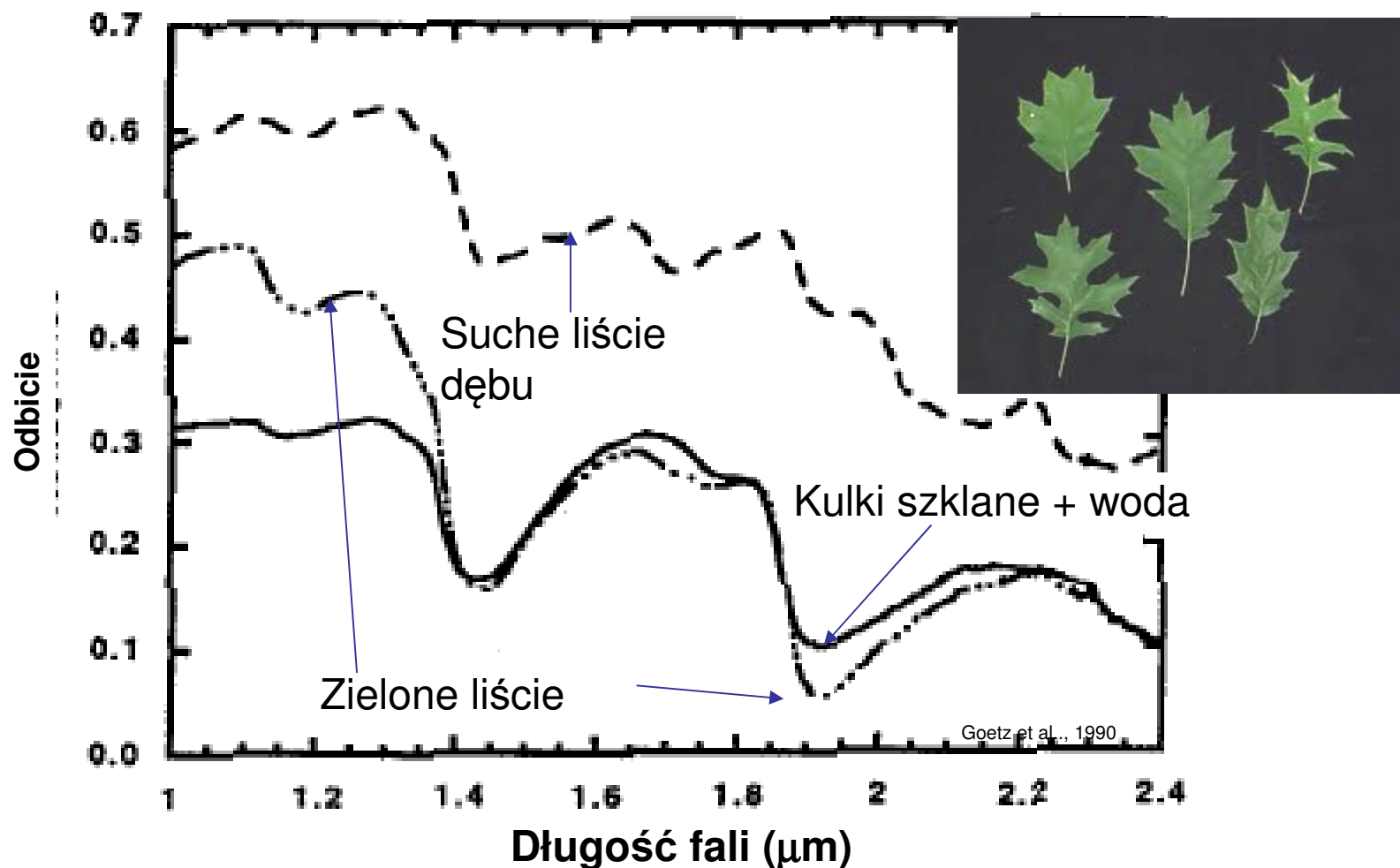
- 970, 1450, 1940 i 2700 nm,
- 980 i 1240 nm.

Wskaźnik roślinny:

$$STVI = (R_{1650} * R_{650}) / R_{850}$$

TELEDETEKCJA

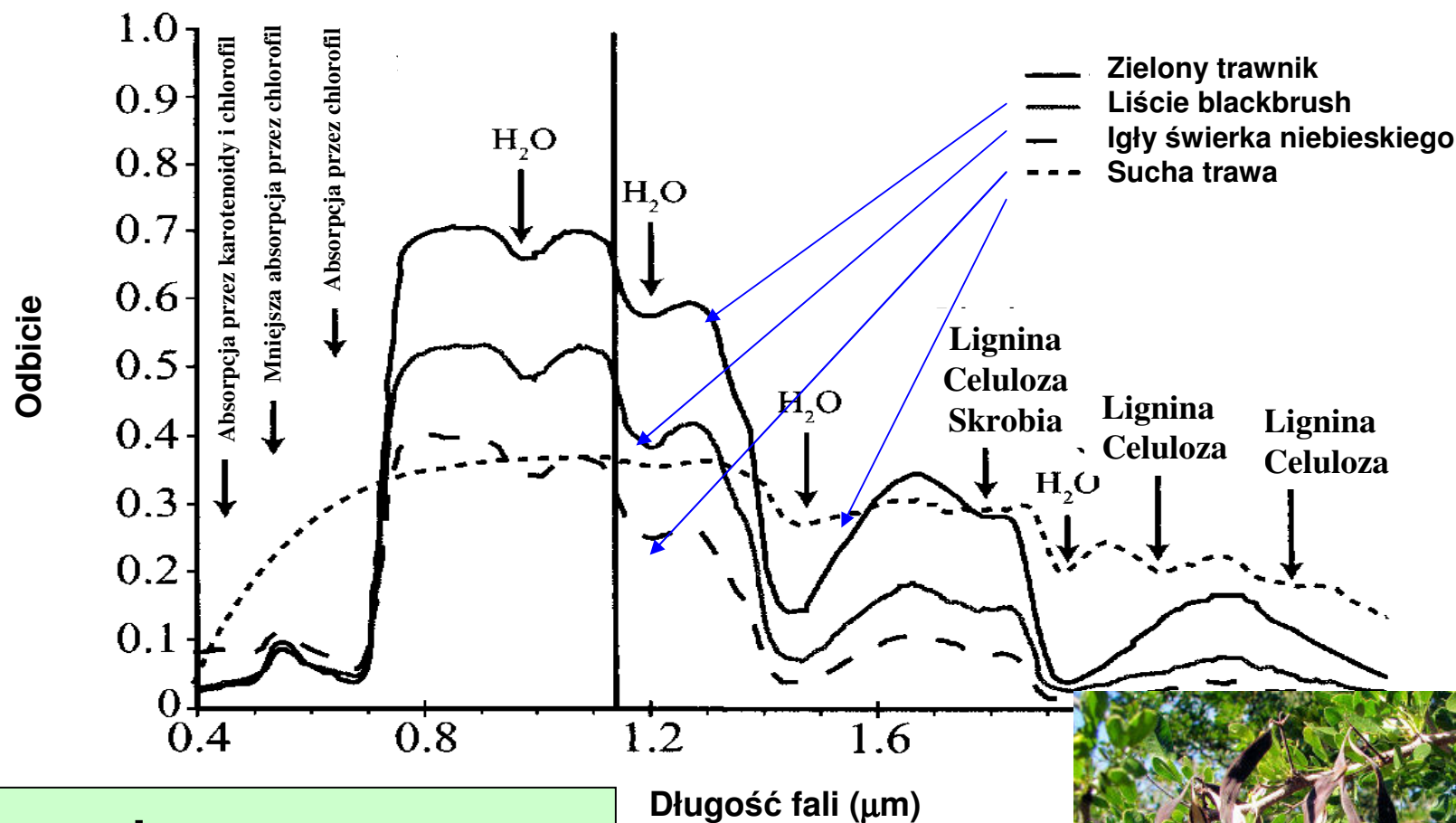
Właściwości spektralne roślinności



Krzywe odbicia zielonego i suchego liścia dębu oraz kulek szklanych z wodą

TELEDETEKCJA

Właściwości spektralne roślinności



Absorpcja przez azot:

1510, 1980, 2060 i 2180 nm

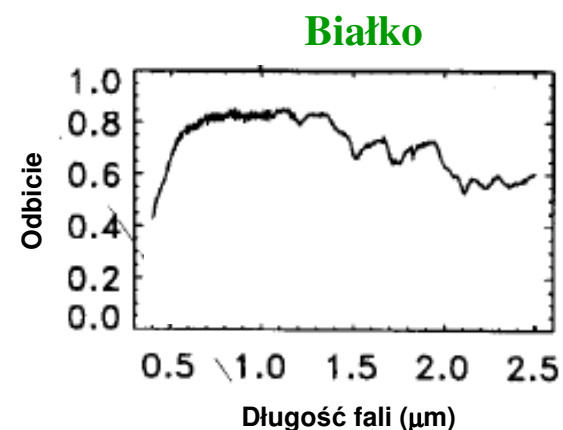
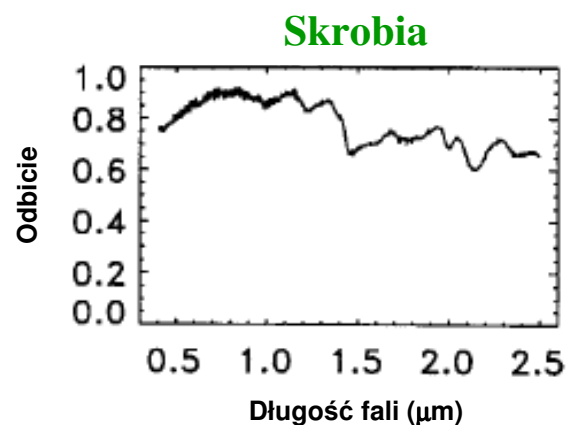
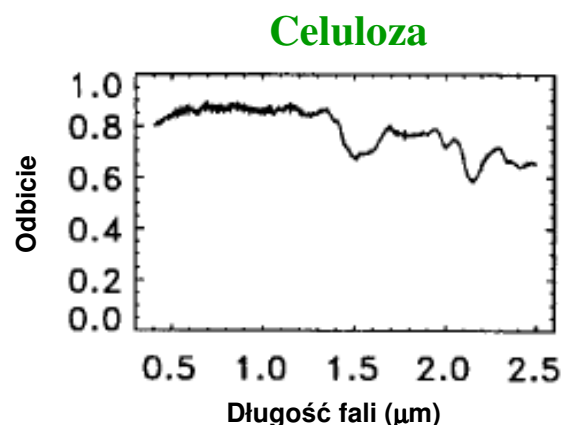
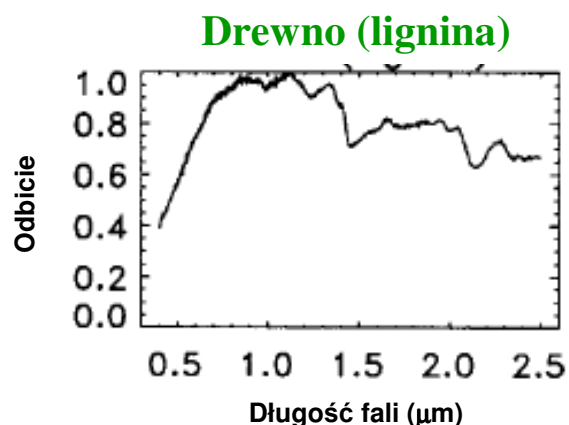
Blackbrush Acacia



TELEDETEKCJA

Właściwości spektralne roślinności

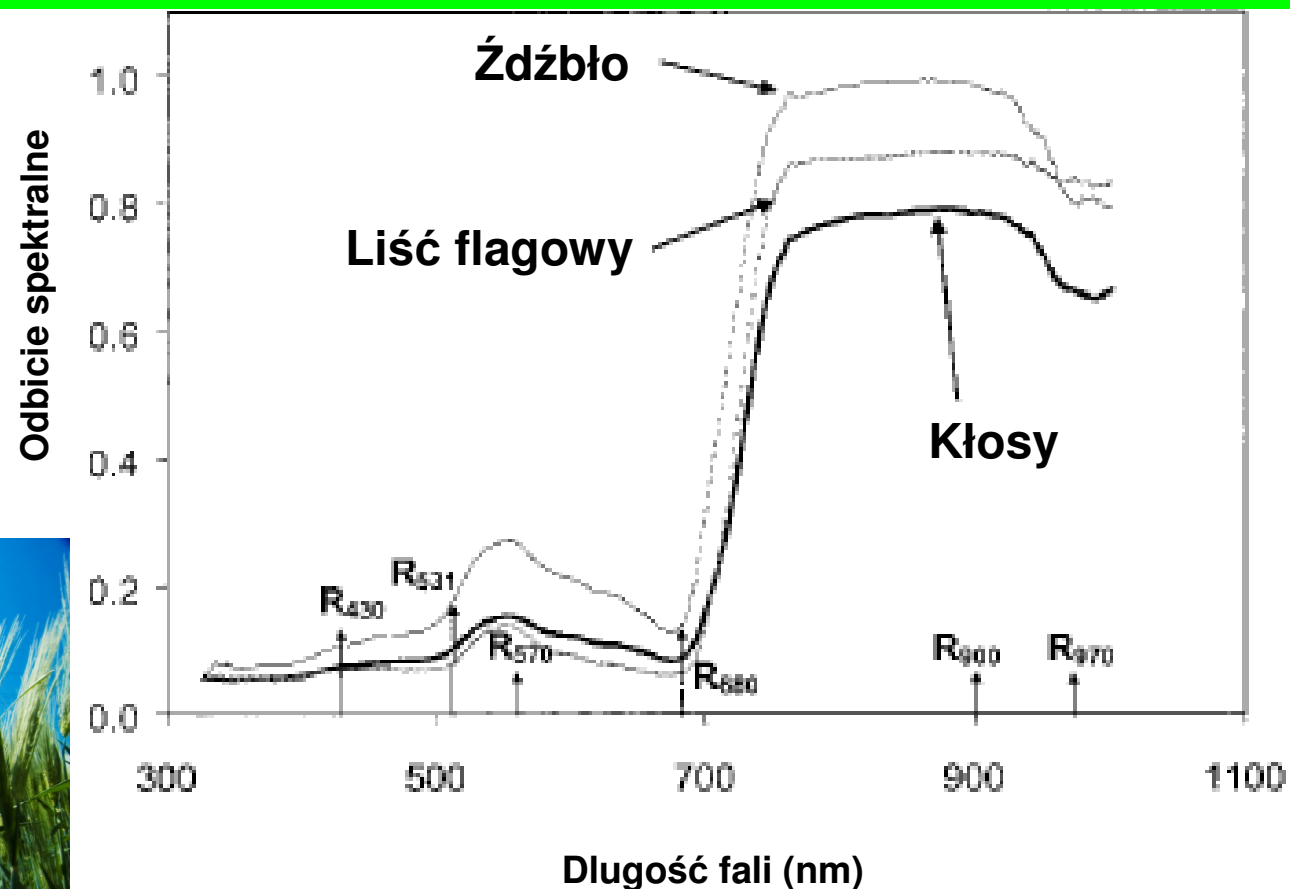
Krzywe spektralne czterech biochemicznych składników liścia, uzyskane z czystych roztworów



TELEDETEKCJA

Właściwości spektralne roślinności

Pszenica



Wskaźnik	Kłosa		Liść flagowy
SR	Żdźbło	14.8	7.1
NDVI	0.807	0.870	0.756
PRI	0.016	0.001	0.008
WI	0.850	0.950	0.833
NPCI	0.072	-0.056	0.097

TELEDETEKCJA

Właściwości spektralne roślinności

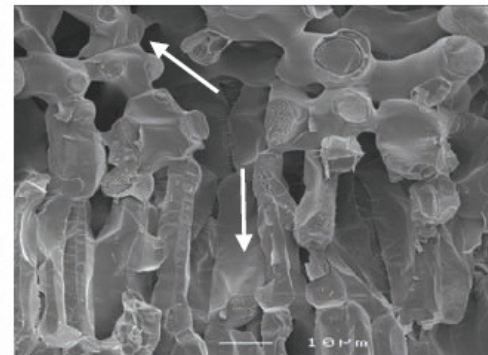
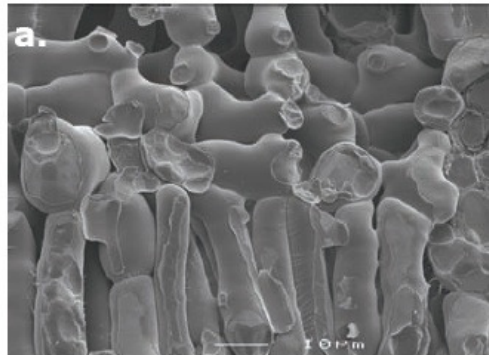
Starzenie się i stres

Liście:

2 h po zerwaniu

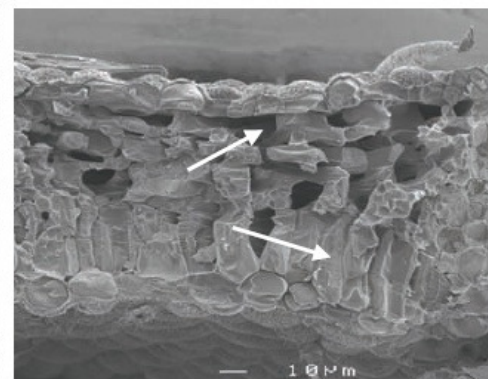
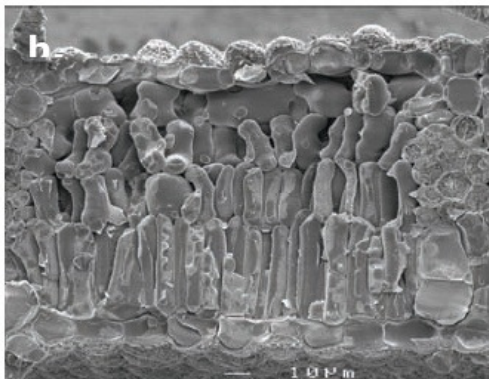
24 h po zerwaniu

Buk zwyczajny
(*Fagus silvatica* L.)

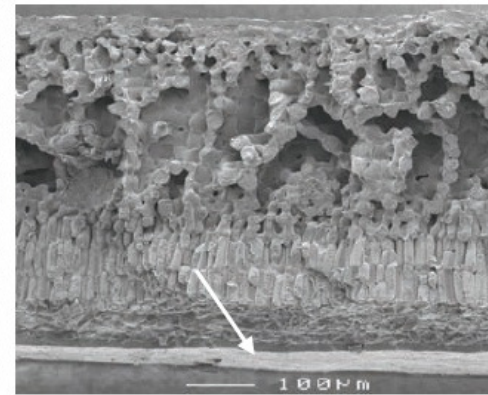
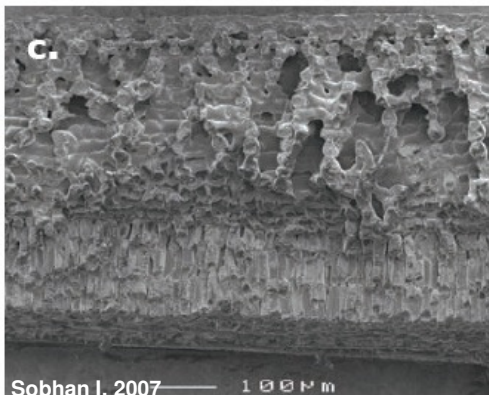


Kurczenie i
zapadanie
się komórek
mezofilu

Robinia akacjowa
(*Robinia pseudoacacia* L.)



Ostrokrzew
(*Ilex* L.)



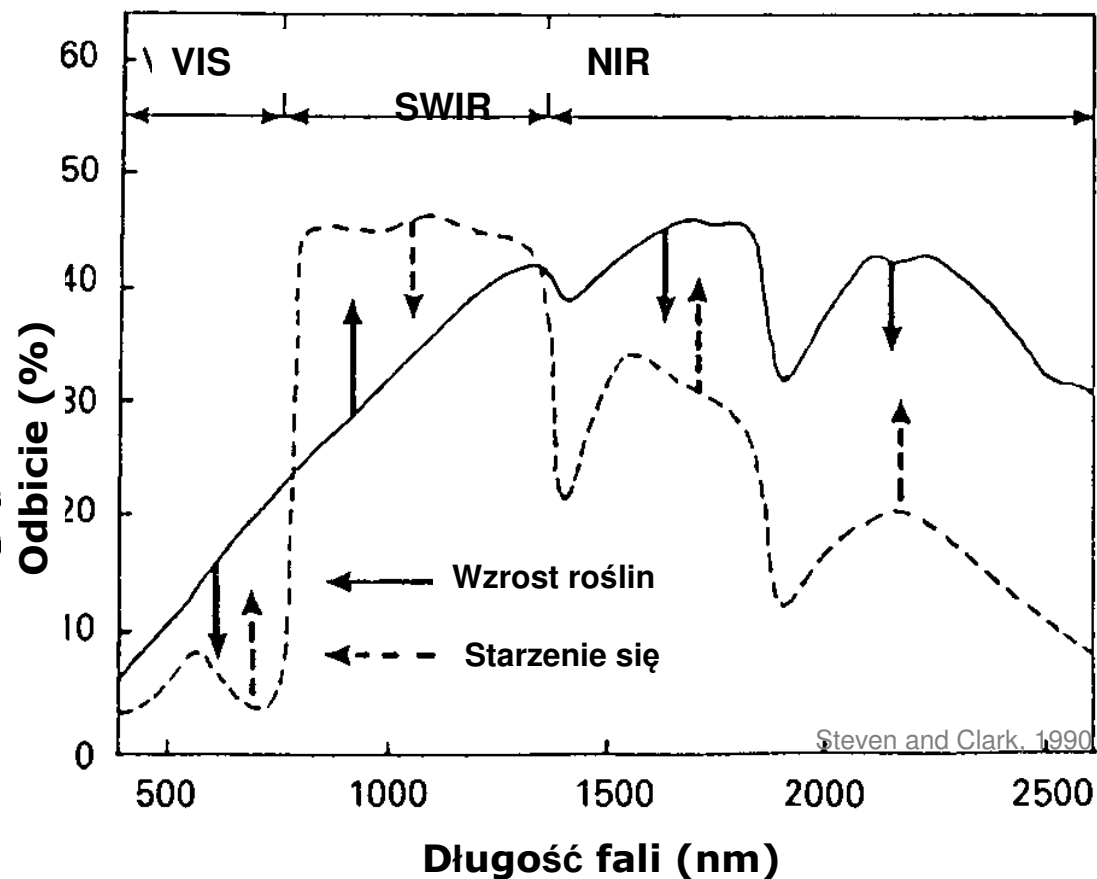
Cienka,
ochronna
warstwa
woskowa
epidermy

Sobhan I. 2007 — 100 μm

TELEDETEKCJA

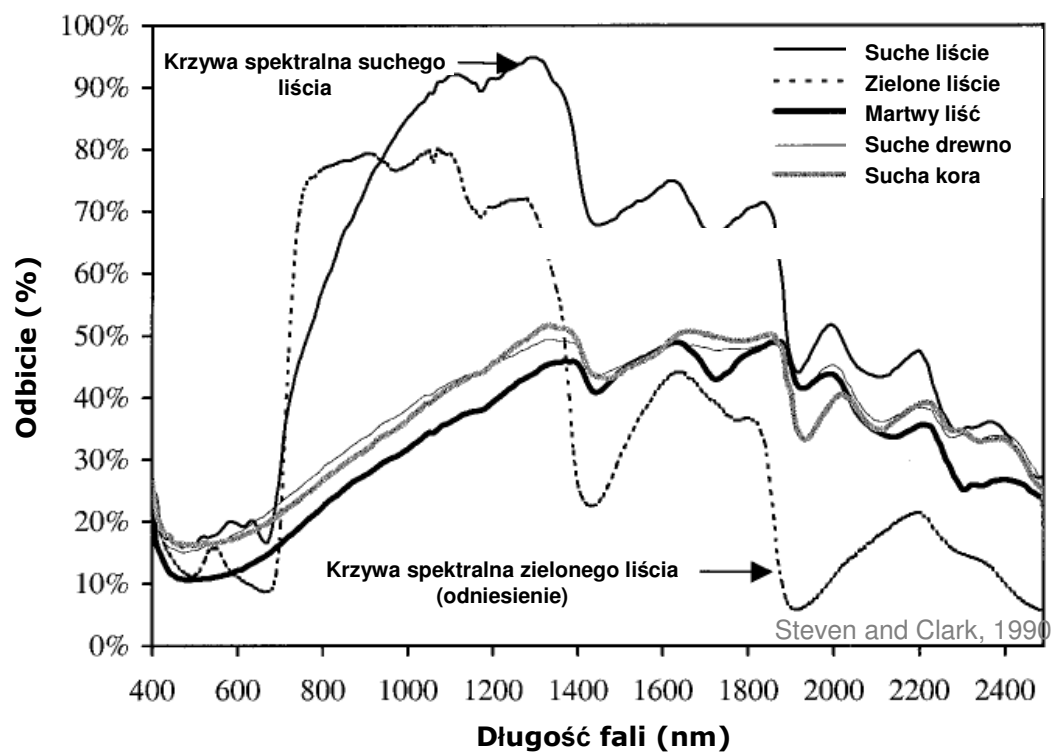
Właściwości spektralne roślinności

Starzenie się i stres



TELEDETEKCJA

Właściwości spektralne roślinności



TELEDETEKCJA

Właściwości spektralne roślinności

(Non-Photosynthetic Vegetation - NPV)

Gleba o dużej zawartości związków żelaza pokryta zielonym, suchym i wymieszanym materiałem roślinnym



(a) PV: Zielona trawa

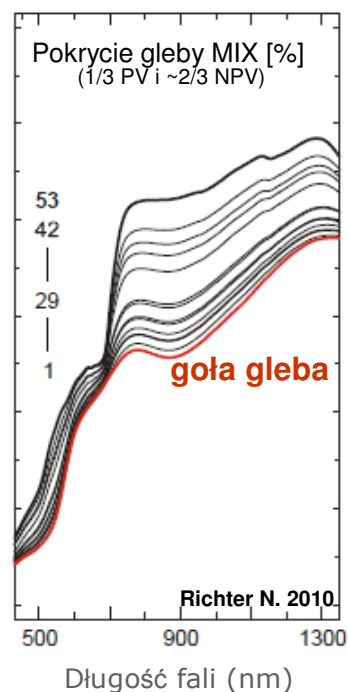
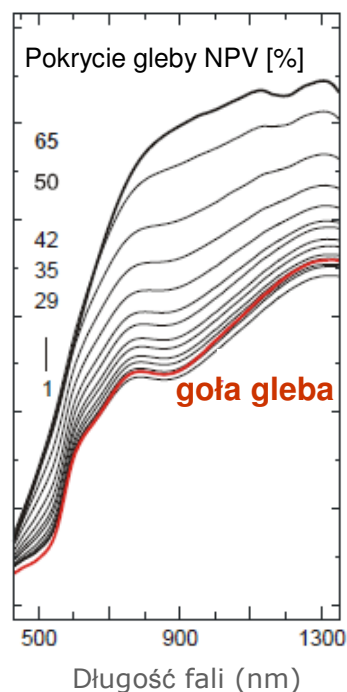
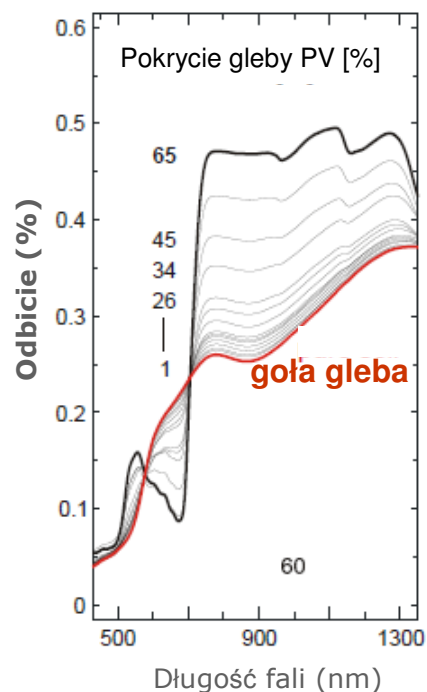


(b) NPV: Sucha trawa



(c) MIX: Mieszanina PV i NPV

Richter N. 2010



Krzywe spektralne gleby pokrytej w różnym stopniu zielonym (PV), suchym (NPV) i wymieszanym (MIX) materiałem roślinnym

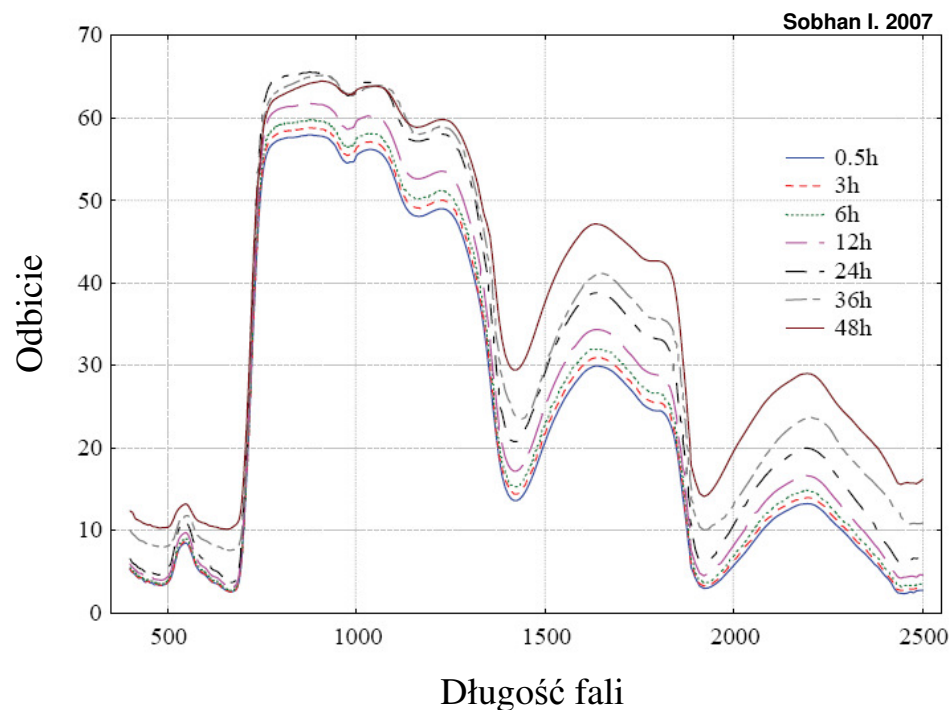
Richter N. 2010.

TELEDETEKCJA

Właściwości spektralne roślinności

Stres

Zmiany krzywych odbicia od liści brzozy brodawkowatej (*Betula pendula* Roth) w czasie 48 godz. od ich zerwania



TELEDETEKCJA

Właściwości spektralne roślinności

Wskaźniki roślinne

Wskaźniki roślinne – oblicza się na podstawie wartości odbicia promieniowania w poszczególnych kanałach i są wykorzystywane głównie do identyfikacji i oceny stanu powierzchni roślinnych :

- powierzchnia liści (leaf-area- index LAI),
- stopień pokrycia gleby przez rośliny,
- zawartość chlorofilu,
- zielonej biomasy,
- absorbowanego, fotosyntetycznie aktywnego promieniowania (APAR).

$$\text{Simple Ratio: } SR = \frac{NIR}{red}$$

Wskaźniki roślinne powinny:

- Maksymalizować wrażliwość na biofizyczne parametry roślinne (zależności liniowe, szeroki zakres warunków środowiskowych, możliwość walidacji i kalibracji wskaźników),
- Normalizować wpływ czynników zewnętrznych (warunki oświetlenia i obserwacji oraz atmosferyczne),
- Normalizować wpływ czynników wewnętrznych (zmienność tła glebowego, topografia – nachylenie i wystawa, zróżnicowanie pokrywy glebowej i udziału roślinności nefotosyntetyzującej),
- dawać możliwość odniesienia do specyficznych, mierzalnych parametrów biofizycznych (biomasa, LAI, APAR) w procesie walidacji lub kontroli jakości.

TELEDETEKCJA

Właściwości spektralne roślinności

Wskaźniki roślinne

Normalized Difference Vegetation Index: $NDVI = \frac{NIR - red}{NIR + red}$

NDVI jest wykorzystywany w różnych metodach do:

- szacowania wielkości produkcji pierwotnej różnych ekosystemów,
- określania ekoregionów,
- obserwowania zmienności fenologicznej powierzchni roślinnych,
- szacowania długości sezonu wegetacyjnego i okresów suszy.

Infrared Index: $II = \frac{NIR_{TM4} - MIR_{TM5}}{NIR_{TM4} + MIR_{TM5}}$

// jest wrażliwy na:

- zmiany biomasy roślinnej,
- stres wodny roślin.

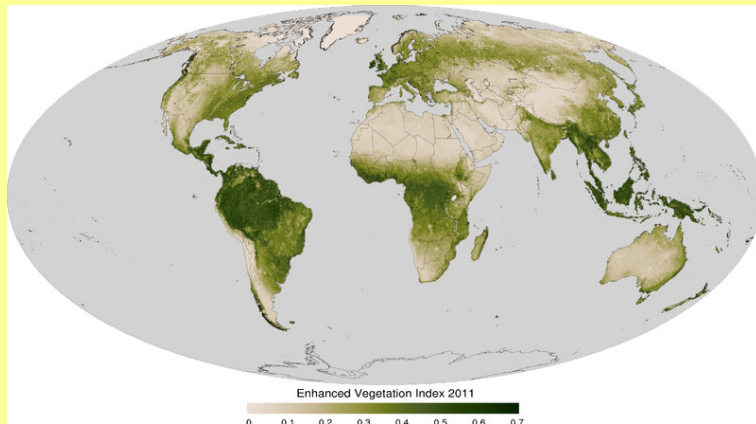
TELEDETEKCJA

Właściwości spektralne roślinności

Wskaźniki roślinne

Transformed Vegetation Index: $TVI = \left(\frac{NIR - red}{NIR + red} + 0.5 \right)^{0.5}$

Enhanced Vegetation Index:



$$EVI = G \times \frac{(NIR - RED)}{(NIR + C1 \times RED - C2 \times Blue + L)}$$

$G = 2,5$ } współczynnik wzmocnienia,
 $C1 = 6$ } współczynniki do korekcji wpływu
 $C2 = 7,5$ } aerozoli na dane w kanale czerwonym,
 $L = 1$ } współczynnik korekcji tła glebowego.

Rozkład wskaźnika EVI na podstawie danych MODIS Terra

TELEDETEKCJA

Właściwości spektralne roślinności

Wskaźniki roślinne

Soil Adjusted Vegetation Index: $SAVI = \frac{(1 + L)(NIR - red)}{NIR + red + L}$

L – współczynnik kalibracyjny gleby (minimalizuje wpływ tła glebowego i eliminuje konieczność kalibracji dla różnych gleb)

Atmospherically Resistant Vegetation Index : $ARVI = \frac{NIR - rb}{NIR + rb}$

Gdzie: $rb = red - gamma * (red - blue)$

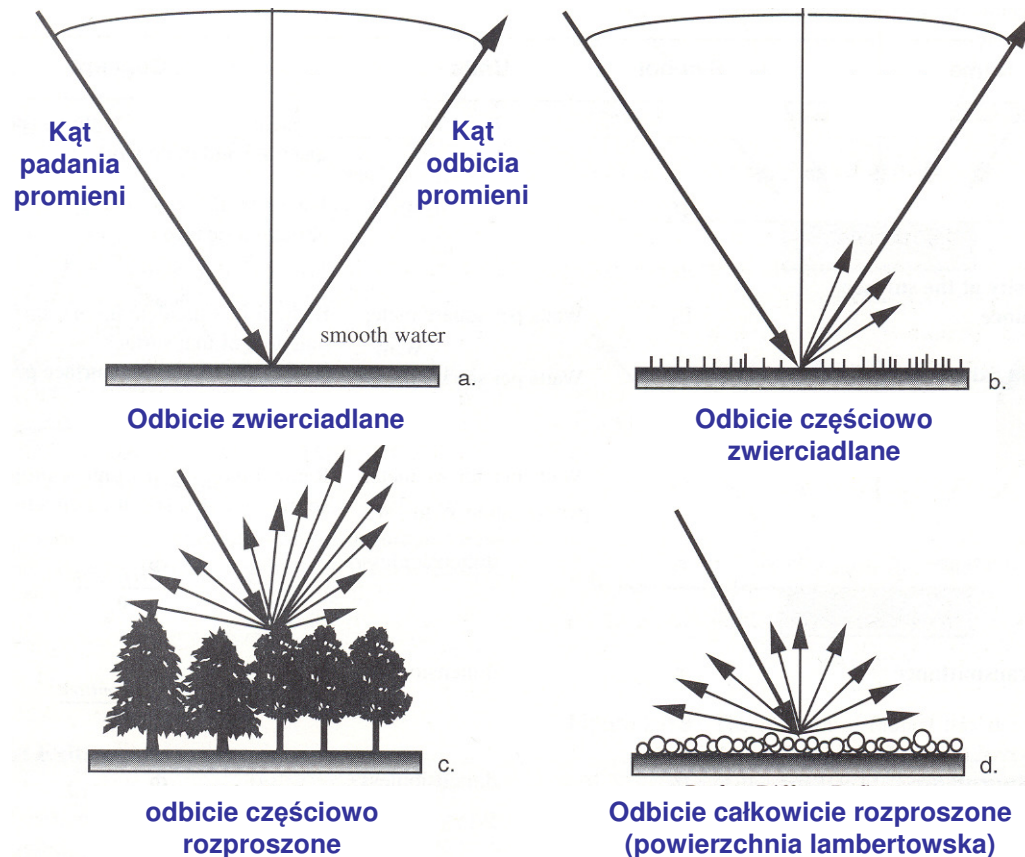
Gamma zwykle wynosi 1

TELEDETEKCJA

Właściwości spektralne roślinności

Odbicie dwukierunkowe

Odbicie promieniowania zwierciadlane i rozproszone



Sposób odbicia promieniowania zależy od:

- Szorstkości powierzchni.
- Długości fali
- Kąta padania promieni.

Jensen 2000

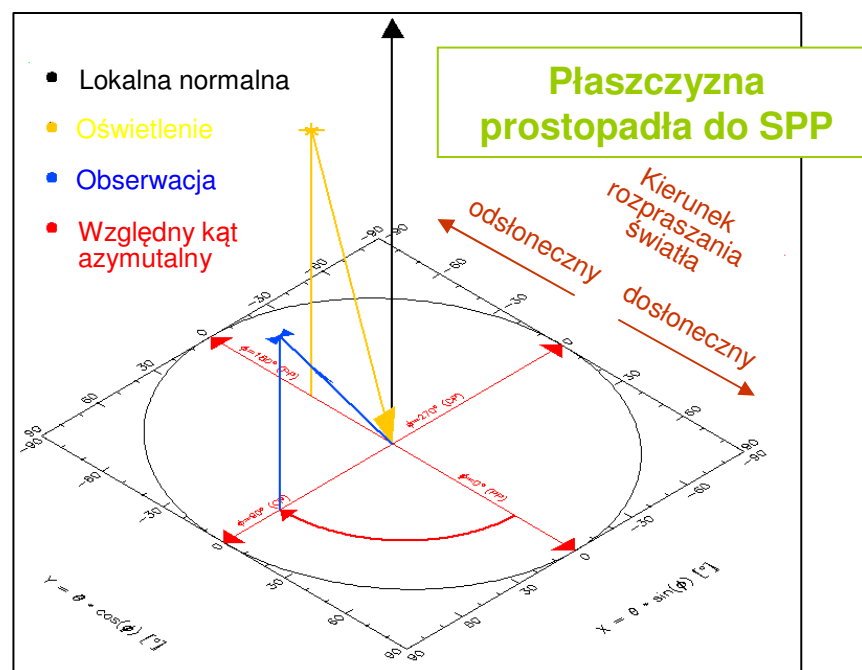
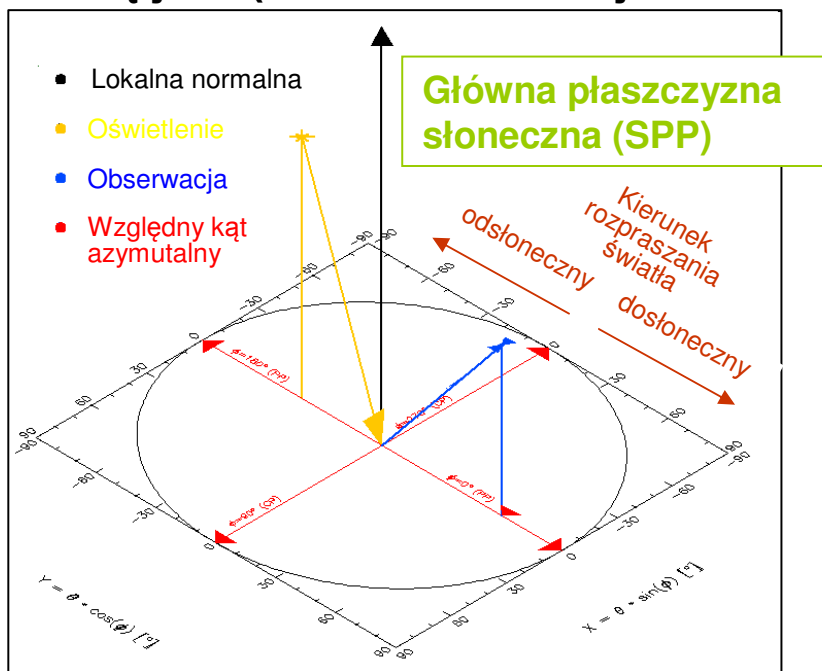
TELEDETEKCJA

Właściwości spektralne roślinności

Odbicie dwukierunkowe

Bidirectional reflectance distribution function BRDF – funkcja czterowymiarowa opisująca odbicie promieniowania od powierzchni nieprzeźrzystej.

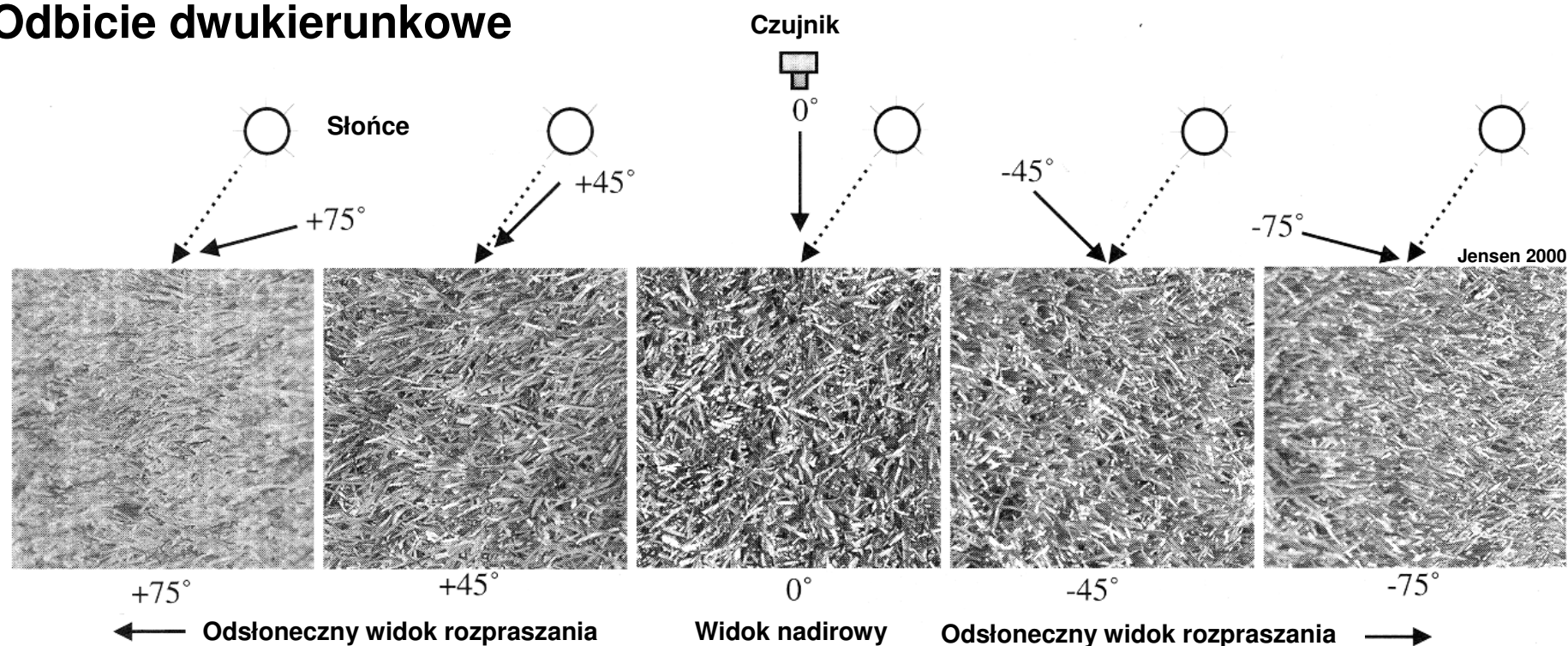
BRDF dotyczy kierunków padania i odbicia promieniowania w odniesieniu do **<normalnej>** powierzchni i opisuje stosunek ilości energii promieniowania odbitego od danej powierzchni (radiacja lub luminancja) do ilości energii promieniowania docierającego do tej powierzchni z określonego kierunku. Każdy z tych kierunków (w sumie cztery) jest opisany kątem azymutalnym i zenitalnym a jednostką jest (sr^{-1} - steradian jednostka kąta bryłowego).



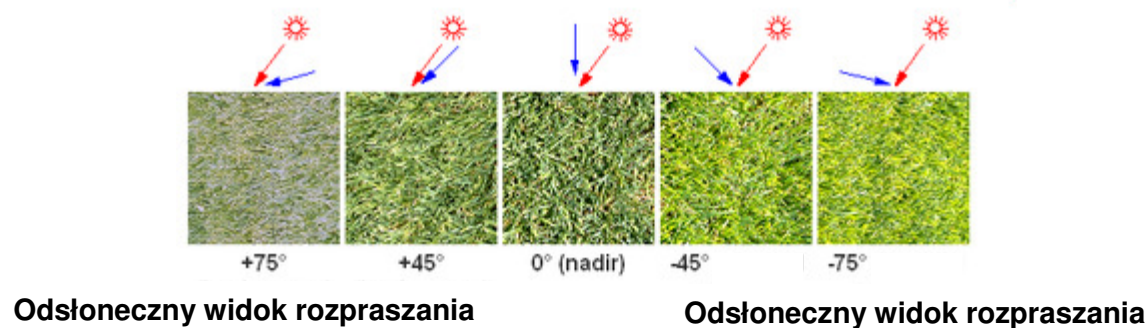
TELEDETEKCJA

Właściwości spektralne roślinności

Odbicie dwukierunkowe



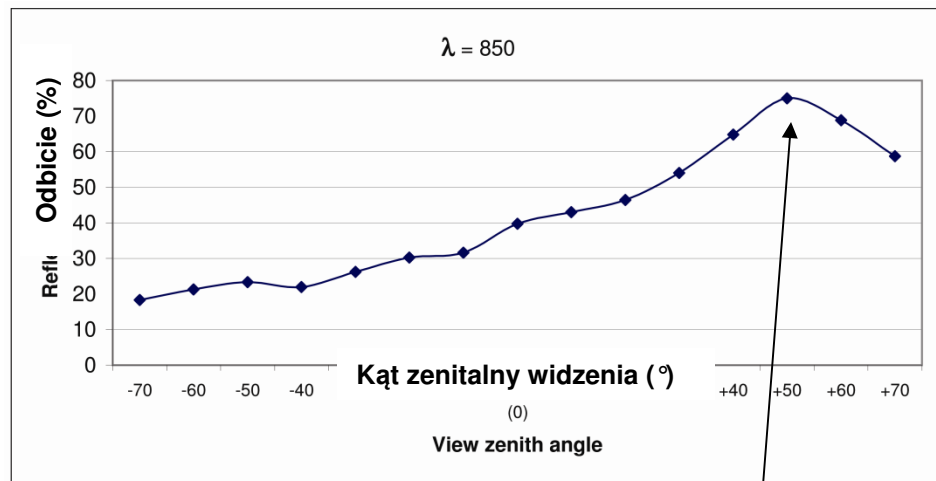
Efekt dwukierunkowości przy obserwacji trawy (*Lolium perenne* L.) pod różnymi kątami zenitalnymi w głównej płaszczyźnie słonecznej (SPP)



TELEDETEKCJA

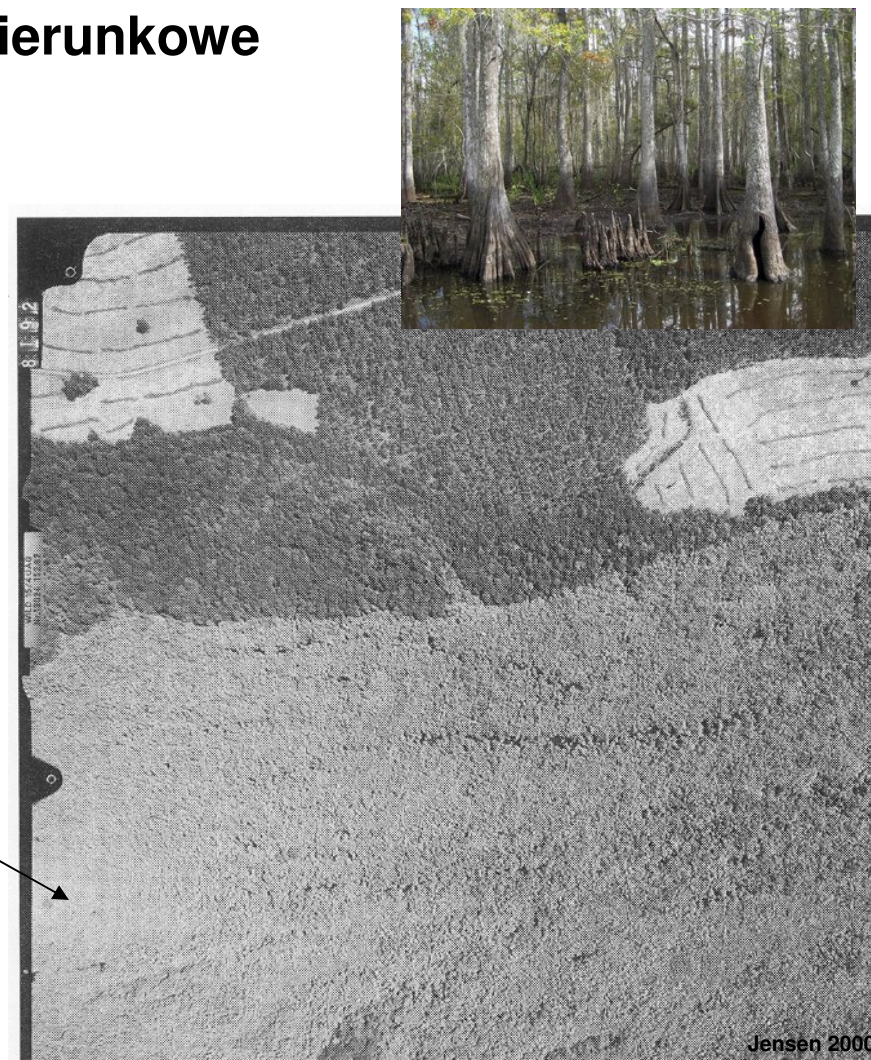
Właściwości spektralne roślinności

Odbicie dwukierunkowe



Hot spot
(cień nie jest widoczny)

Główna płaszczyzna słoneczna (SPP)
występuje, gdy źródło światła, obserwowany obiekt i czujnik rejestrujący odbicie znajdują się w tej samej płaszczyźnie (przy określonym kącie azymutalnym Słońca).

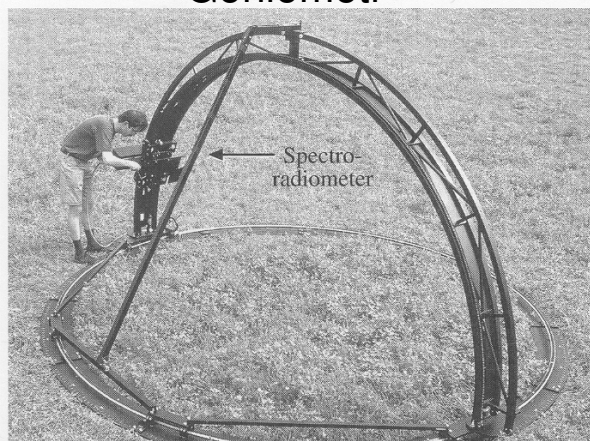


Efekt hot spot na pionowym zdjęciu lotniczym bagien Savannah River w Południowej Karolinie

TELEDETEKCJA

Właściwości spektralne roślinności

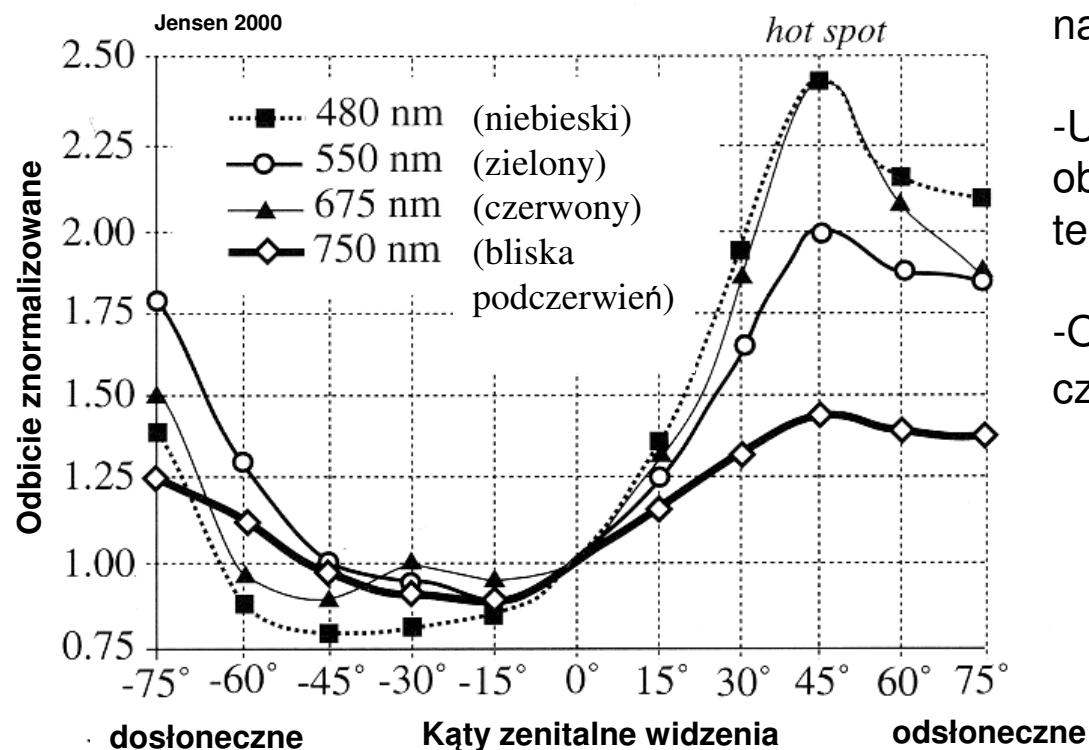
Goniometr



Odbicie dwukierunkowe – *Bidirectional Reflectance Distribution Function (BRDF)*

Efekt BRDF powinien być brany pod uwagę w celu:

- Zidentyfikowania i wyboru zakresów spektralnych, na które BRDF ma najmniejszy wpływ.
- Ustalenia kierunków oświetlenia i/lub obserwacji przy których zbieranie danych teledetekcyjnych nie jest wskazane.
- Opracowania metod, które dostosują czujnik minimalizując efekt BRDF.



Odbicie znormalizowane:

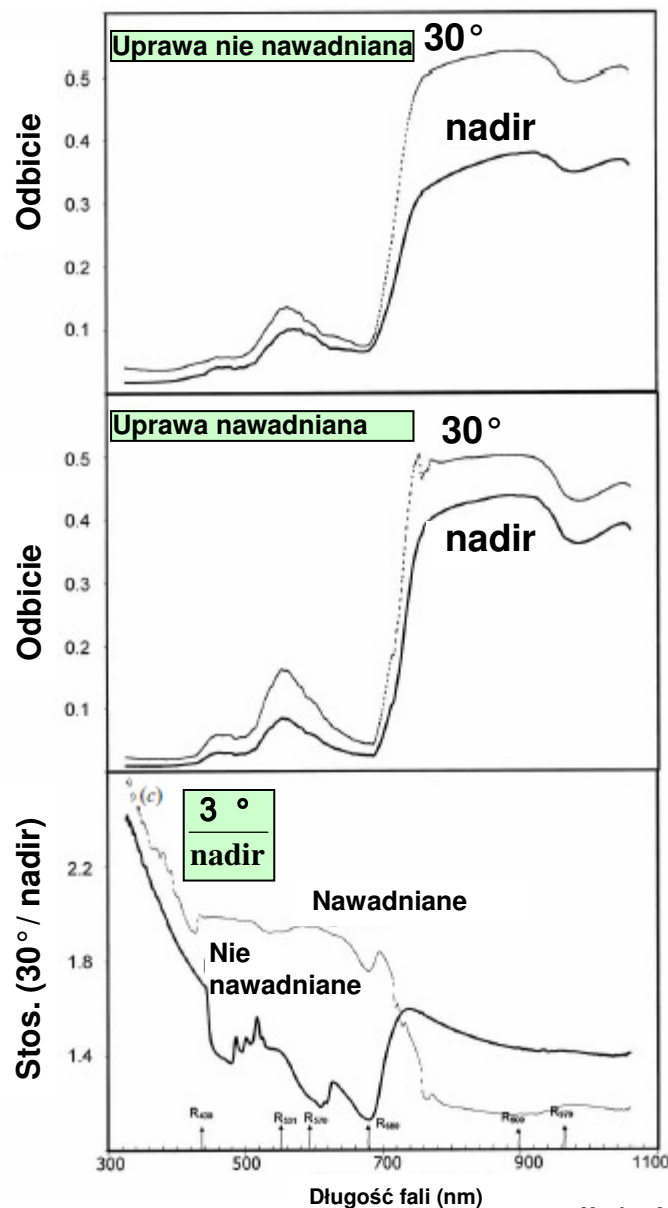
$$R_{\text{skośne}} / R_{\text{nadir}}$$

TELEDETEKCJA

Właściwości spektralne roślinności

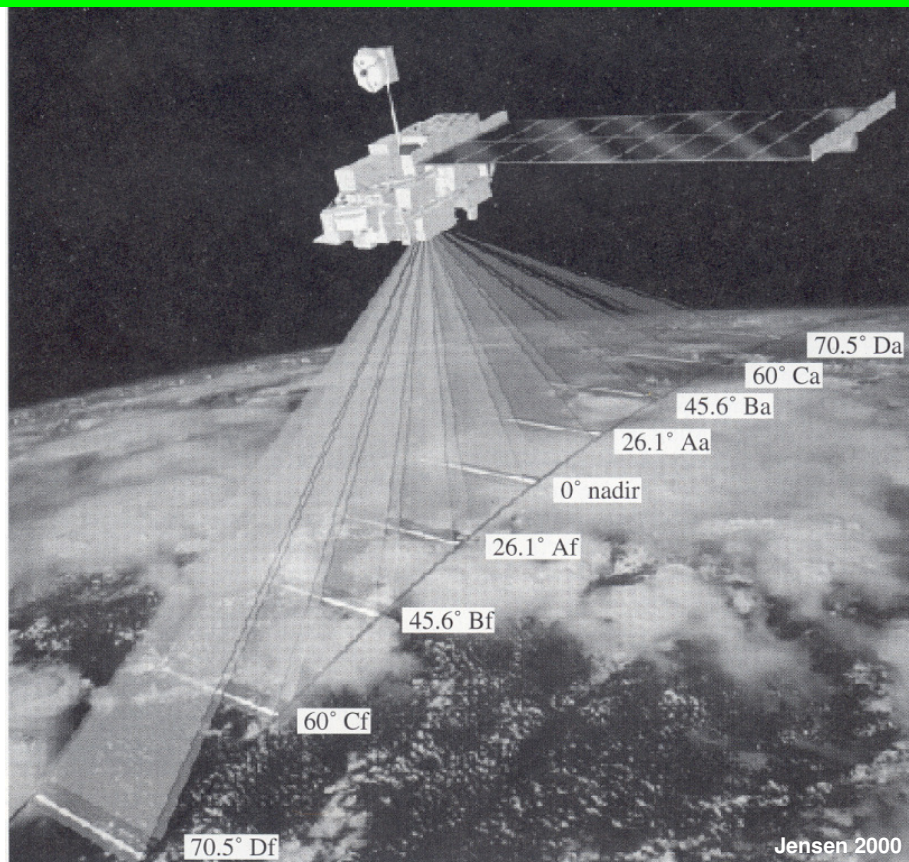
Odbicie dwukierunkowe

Odbicie spektralne w zakresie widzialnym (VIS) i bliskiej podczerwieni (NIR) zarejestrowane z kierunku pionowego 0° (nadir) i skośnego 30° (off-nadir) pola nie nawadnianego (a) i nawadnianego (b)



TELEDETEKCJA

Właściwości spektralne roślinności



Odbicie dwukierunkowe

Satelita TERRA
Czujnik: MISR - Multi-angle Imaging Spectroradiometer

Duże kąty widzenia czujnika - umożliwiają lepszą obserwację wpływu aerozoli i odbicia od chmur.

Średnie kąty widzenia czujnika – są wykorzystywane do obserwacji powierzchni lądów.

Czujniki:	Df	Cf	Bf	Af	An	Aa	Ba	Ca	Da
Kąty widzenia:	70.5°	60°	45.6°	26.1°	0°	26.1°	45.6°	60°	70.5°
425 – 467 nm									
543 – 571 nm									
660 – 682 nm									
846 – 886 nm									
	275 x 275 m	1.1 x 1.1 km	275 m x 1.1 km						

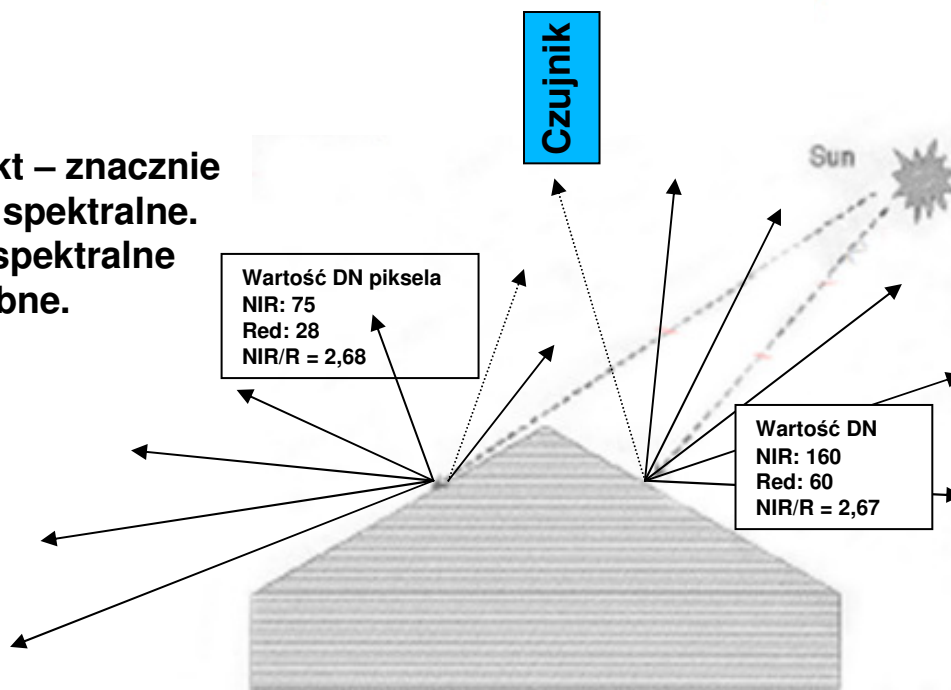
TELEDETEKCJA

Właściwości spektralne roślinności

Odbicie dwukierunkowe

Wpływ topografii na jasność obserwowanej powierzchni

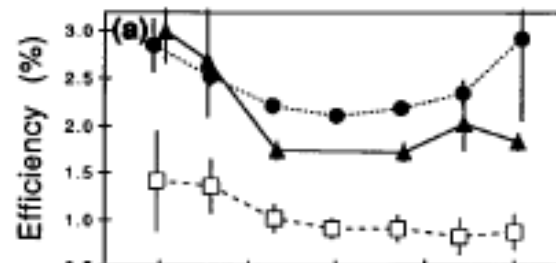
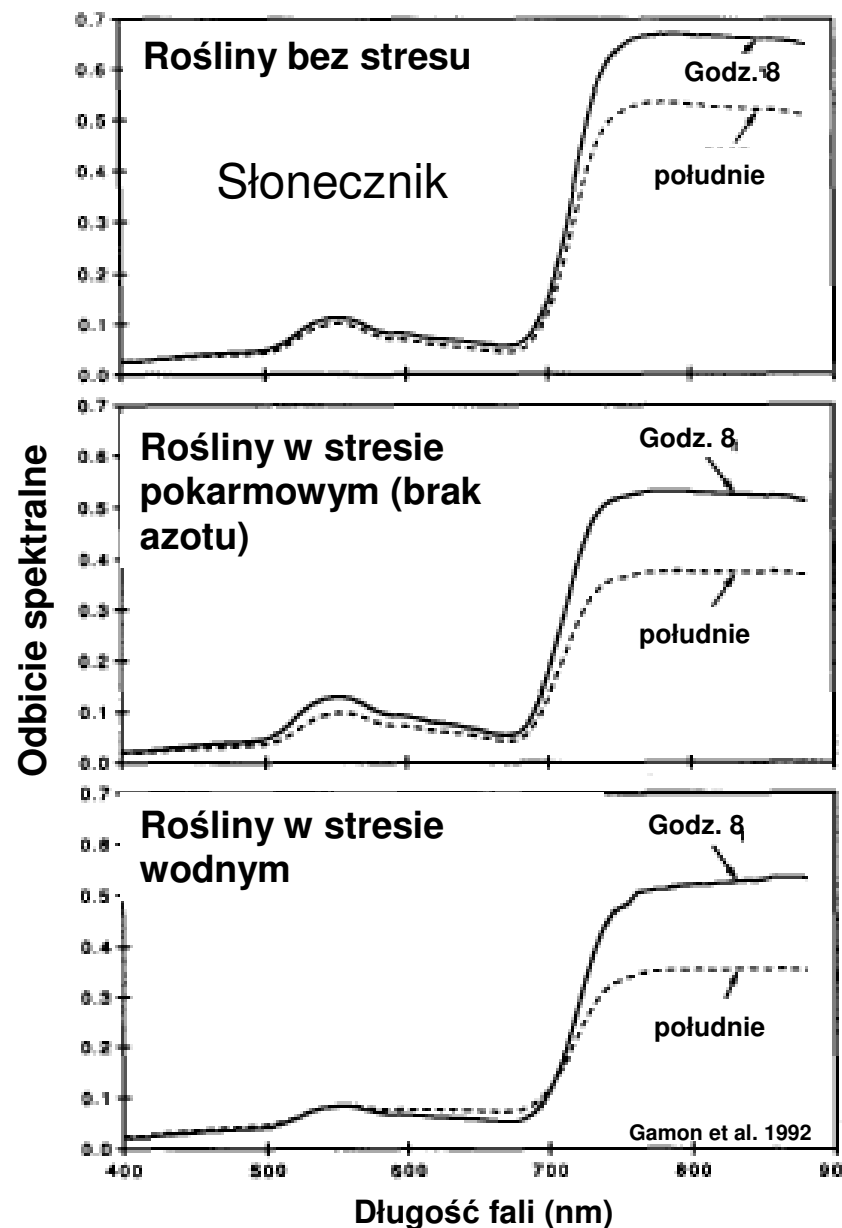
Ten sam obiekt – znacznie inne odbicie spektralne.
Wskaźniki spektralne podobne.



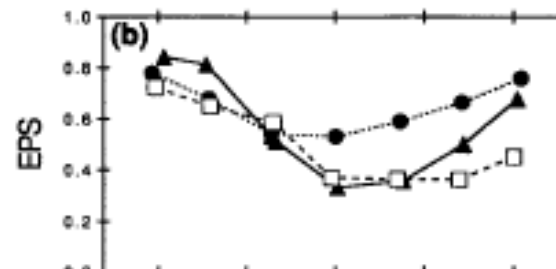
Roberts A.

TELEDETEKCJA

Właściwości spektralne roślinności



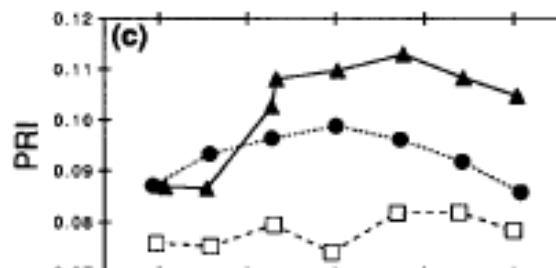
**Efektywność
fotosyntetyczna**



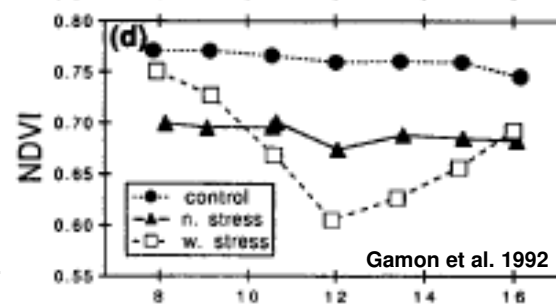
$$EPS = (V + 0.5 \cdot A) / (V + A + Z)$$

Koncentracja barwników:

V – wiołaksantyna,
A – anteraksantyna,
Z – zeaksantyna.



$$PRI = [(R_{550} - R_{531}) / (R_{550} + R_{531})]$$



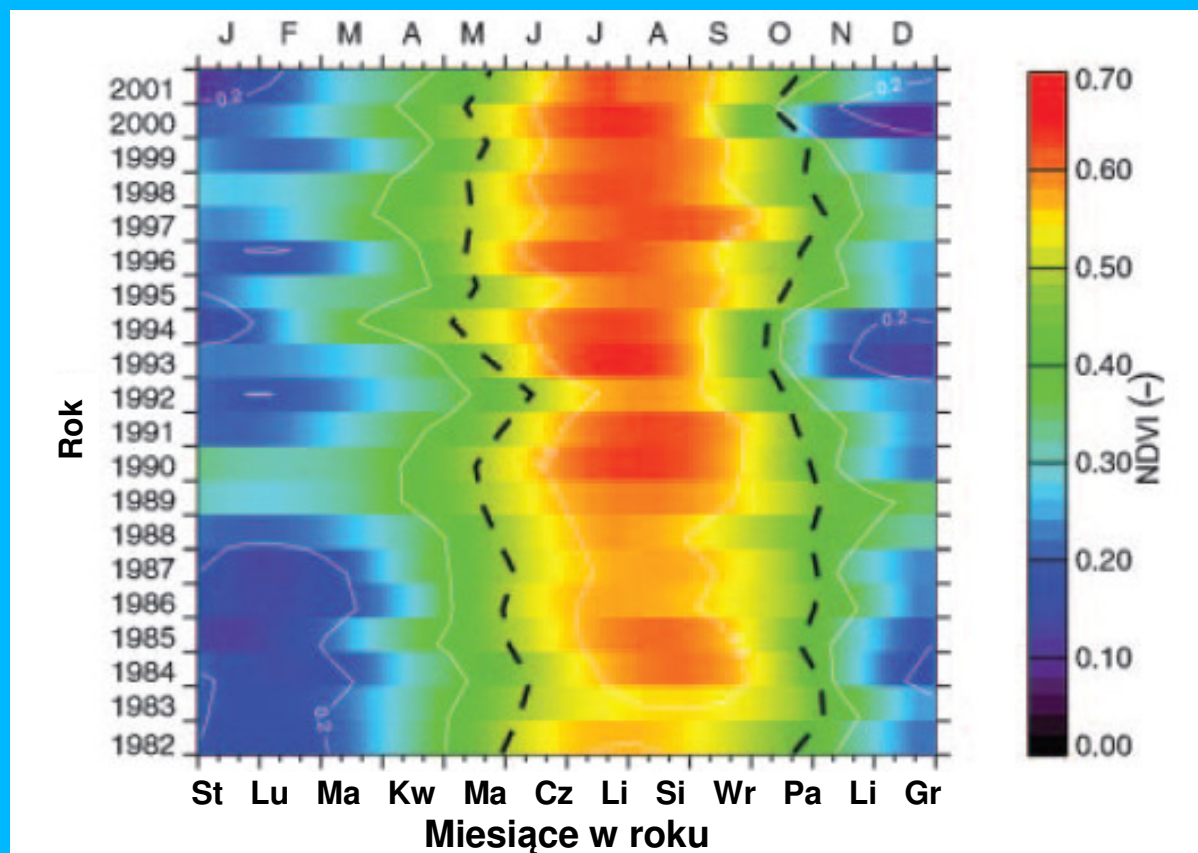
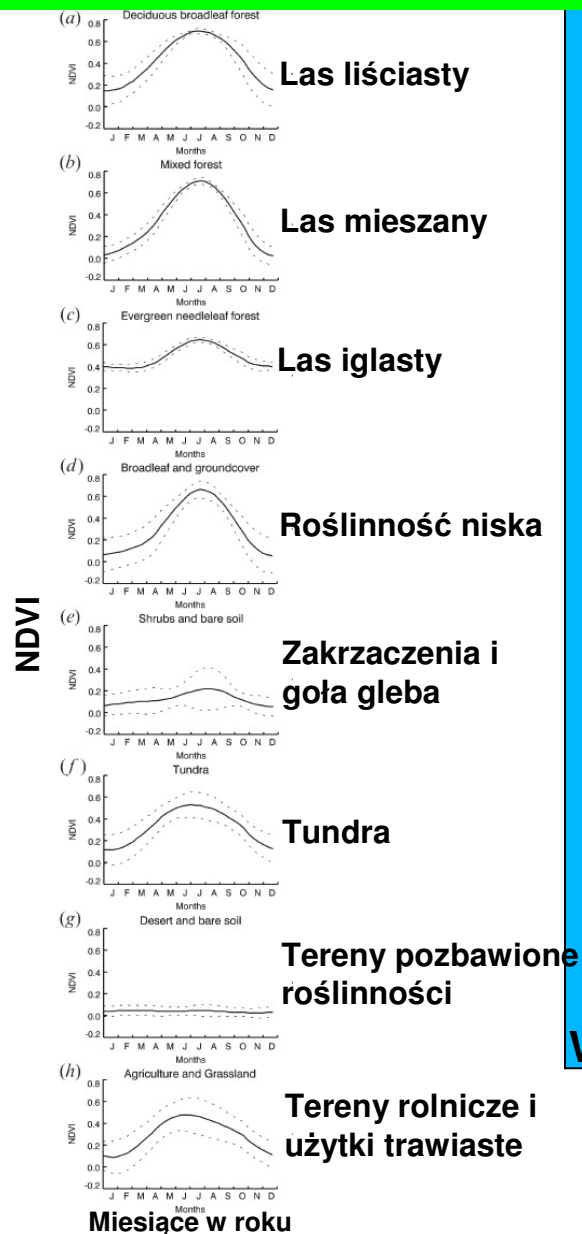
$$NDVI = (R_{NIR} - R_{RED}) / (R_{NIR} + R_{RED})$$

Czas lokalny (godz)

TELEDETEKCJA

Właściwości spektralne roślinności

Zmienność w czasie



Stockli R. & Vidale P.L. 2004

Wieloletnia i sezonowa zmienność wskaźnika NDVI z obszaru Alp

Zmienność wskaźnika NDVI różnych powierzchni w sezonie wegetacyjnym (*linia przerywana – odchylenie standardowe*)

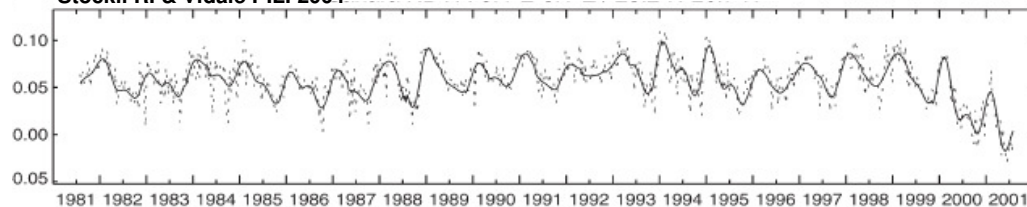
TELEDETEKCJA

Właściwości spektralne roślinności

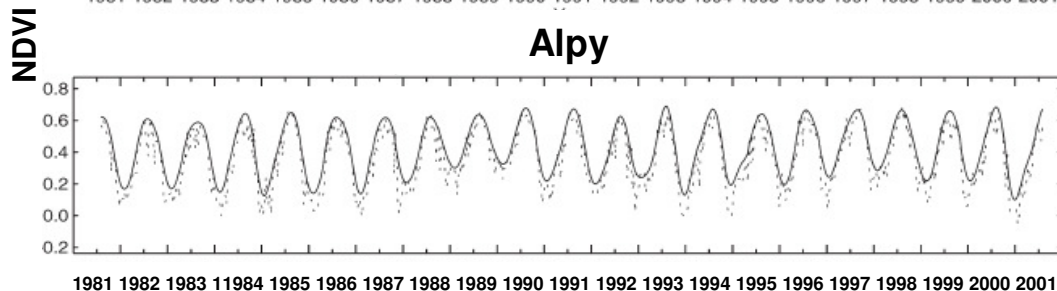
Zmienność w czasie

Sahara

Stockli R. & Vidale P.L. 2004



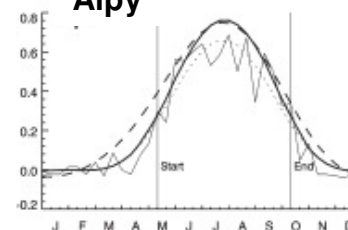
Alpy



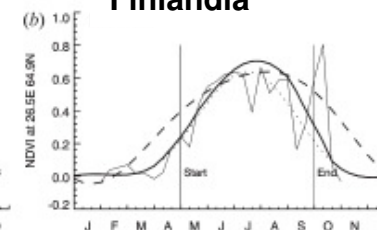
Lata

Dwudziestoletnia seria czasowa NDVI
(czujnik: AVHRR Pathfinder, satelita: NOAA)

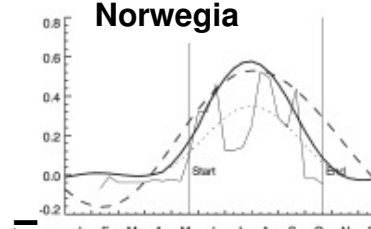
Alpy



Finlandia



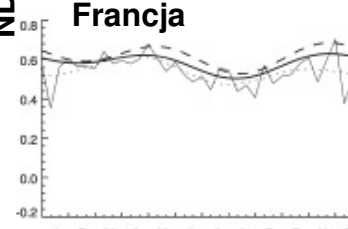
Norwegia



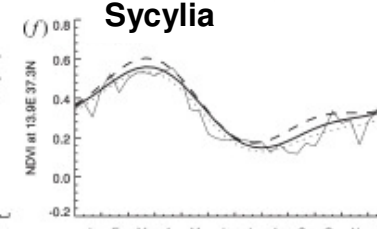
Finlandia



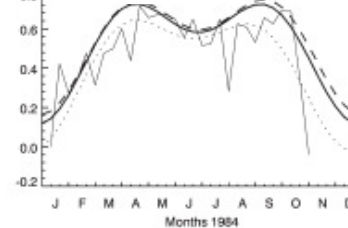
Francja



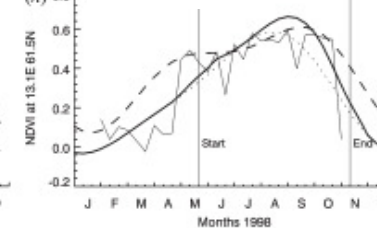
Sycylia



Irlandia



Szwecja



Stockli R. & Vidale P.L. 2004

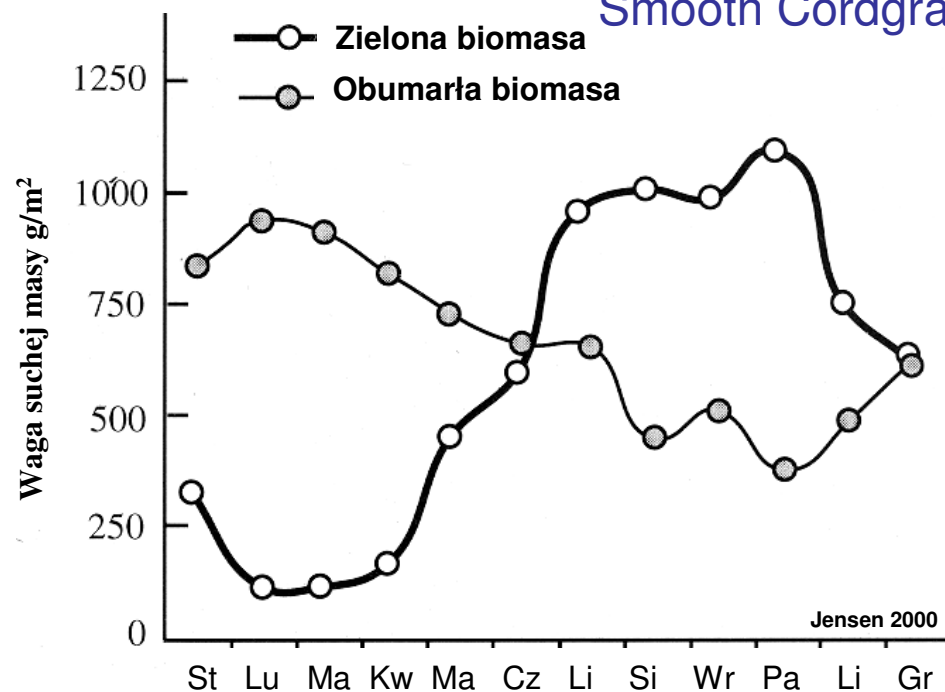
Sezonowa zmienność wskaźnika NDVI na
obszarze różnych krajów

TELEDETEKCJA

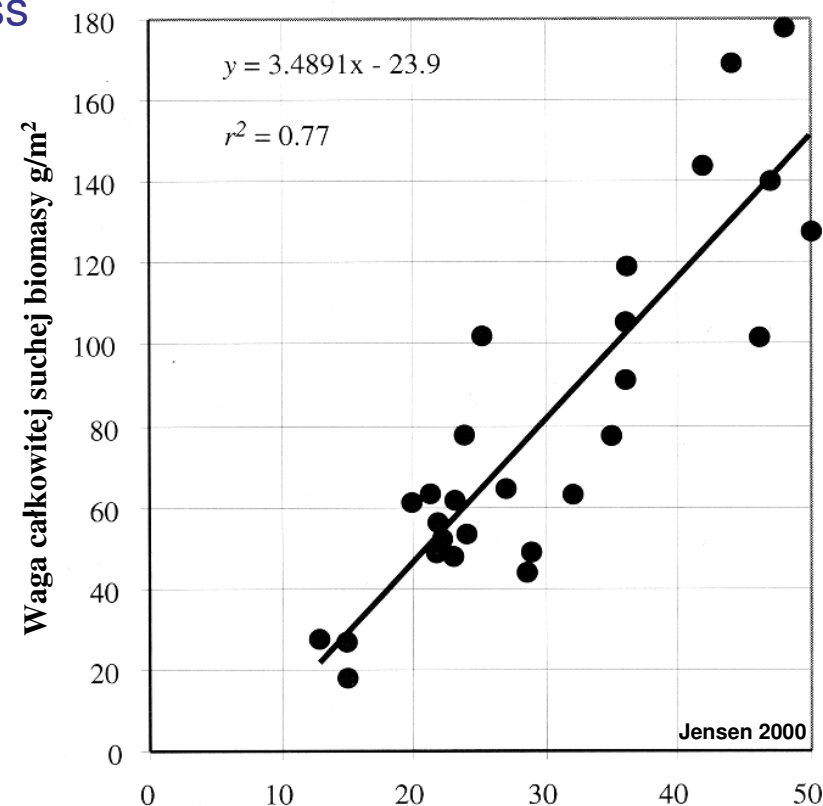
Właściwości spektralne roślinności

Zmienność w czasie

Smooth Cordgrass



Biomasa trawy smooth cordgrass (*Spartina alterniflora*) w cyklu fenologicznym w Karolinie Południowej



Kanał 6 czujnika CAMS – bliska podczerwień (760 – 900 nm)

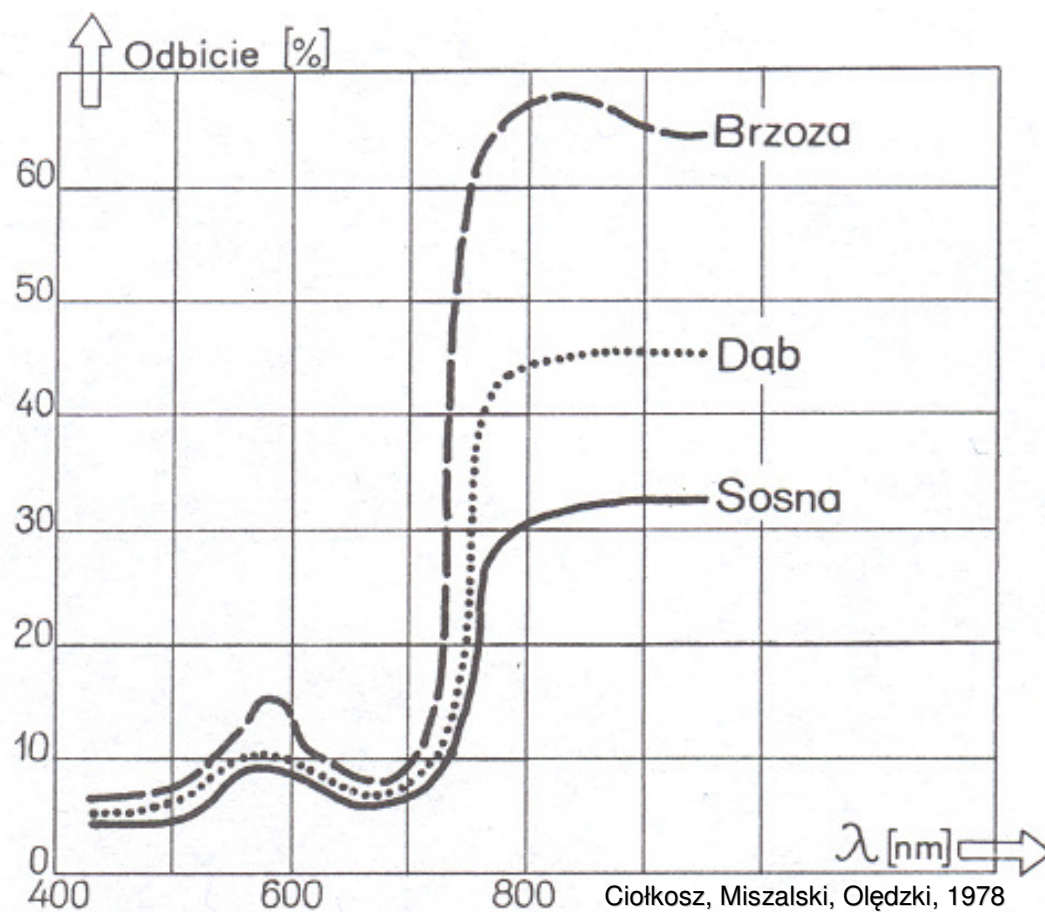
Zależność między wartościami jasności (DN) z kanału 6 czujnika CAMS (Calibrated Airborne Multispectral Scanner) a określoną <in situ> całkowitą suchą biomasą (g/m²) roślin *Spartina alterniflora*.



TELEDETEKCJA

Właściwości spektralne roślinności

Różnice gatunkowe

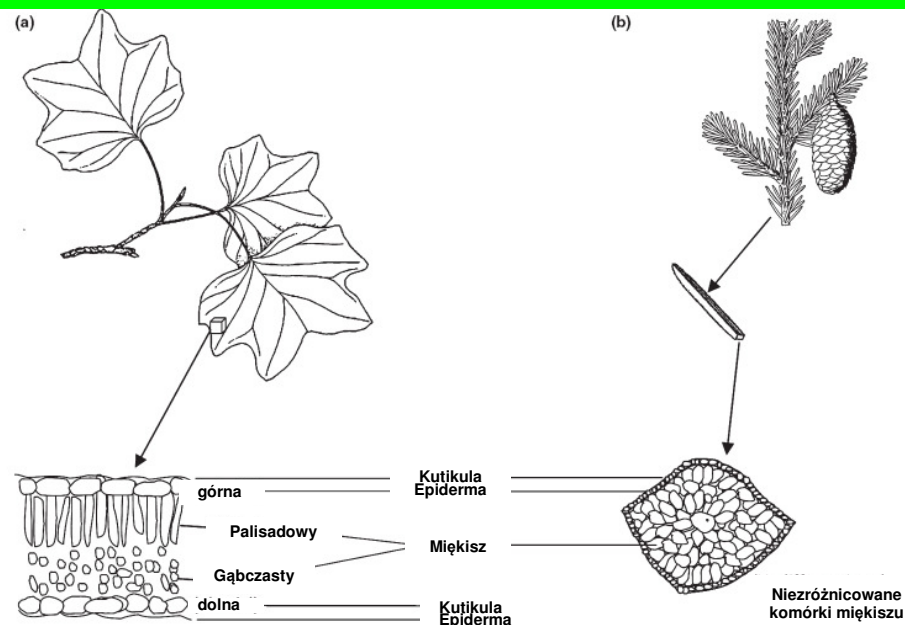
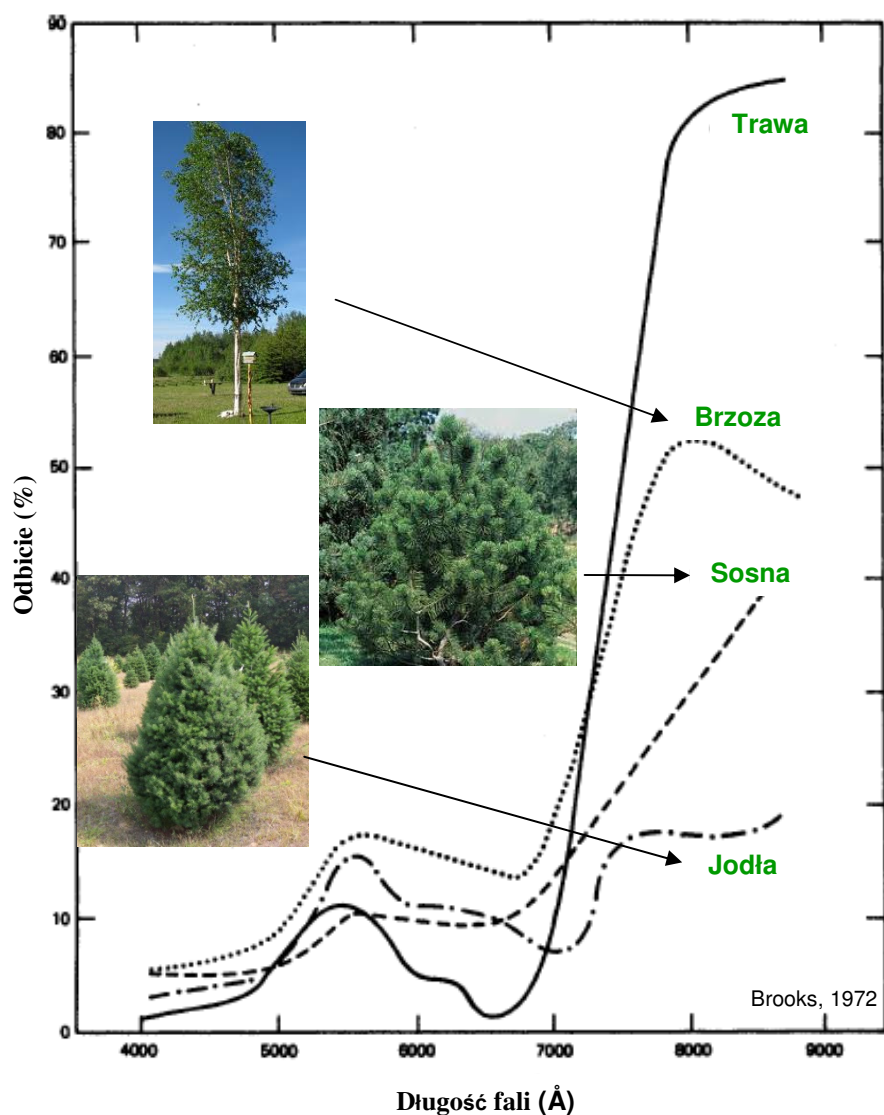


Krzywe spektralne trzech gatunków drzew

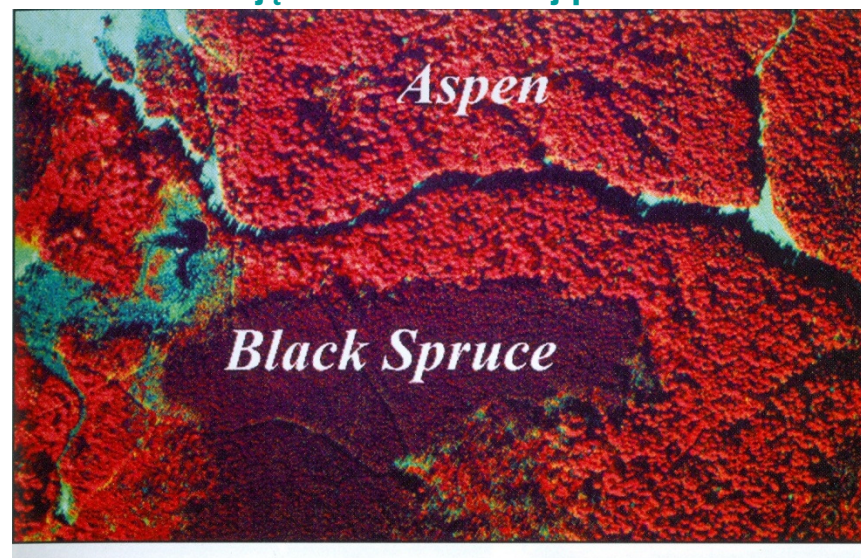
TELEDETEKCJA

Właściwości spektralne roślinności

Różnice gatunkowe



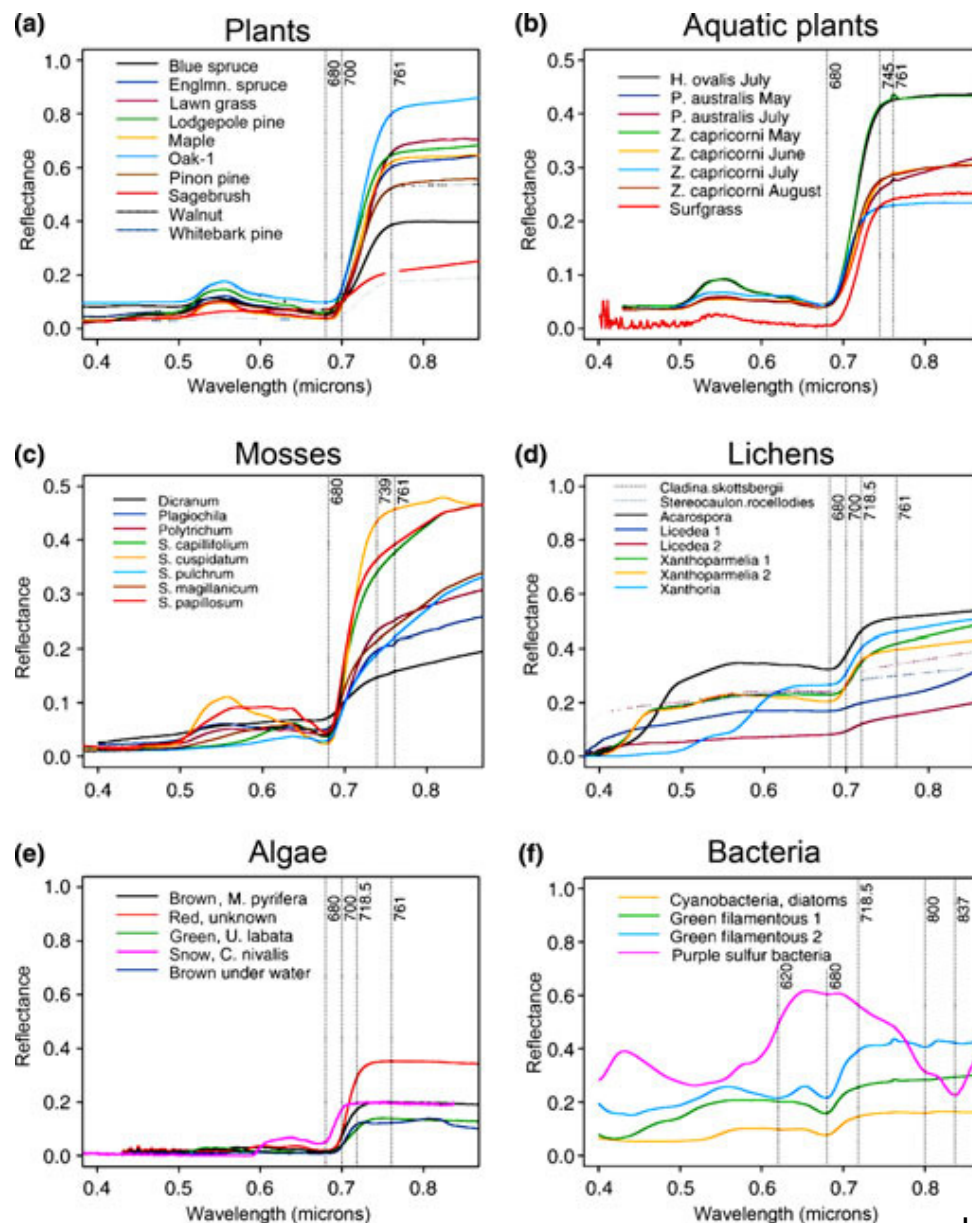
Zdjęcie w kolorowej podczerwieni



TELEDETEKCJA

Właściwości spektralne roślinności

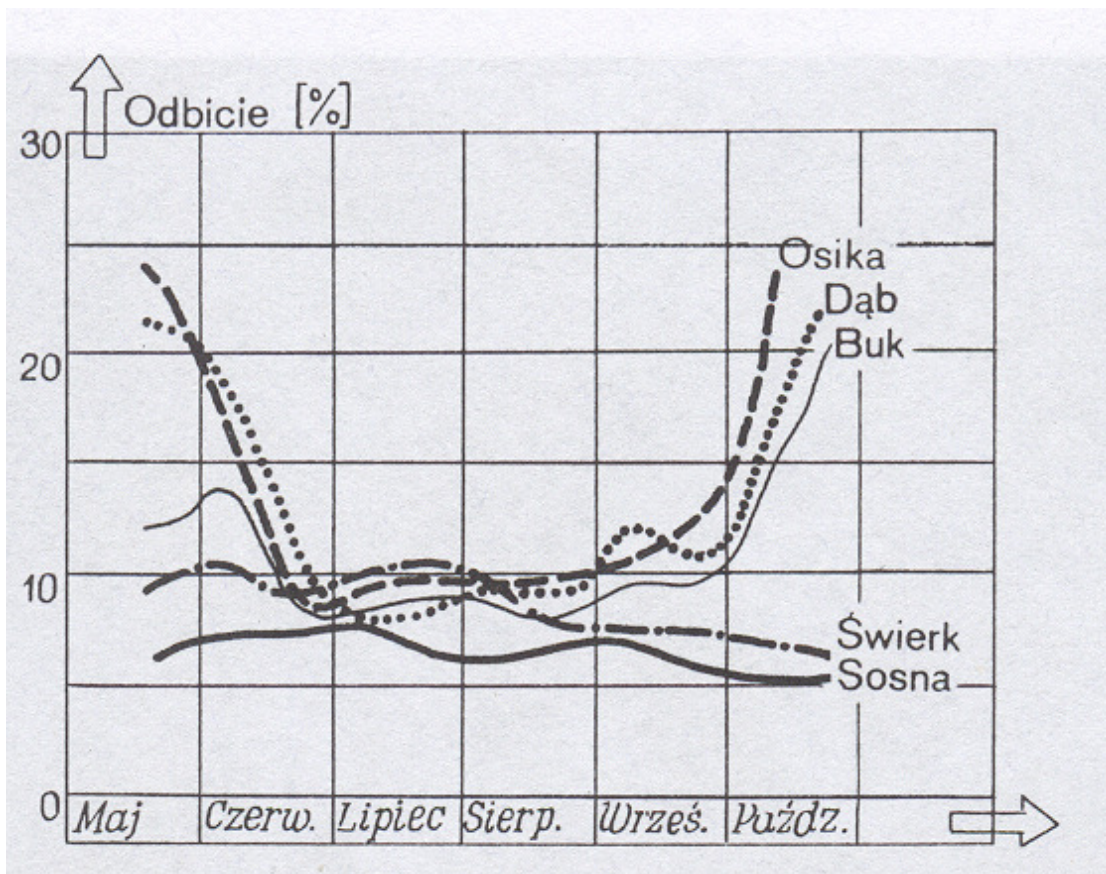
Zróżnicowanie krzywych spektralnych różnych grup taksonomicznych roślin



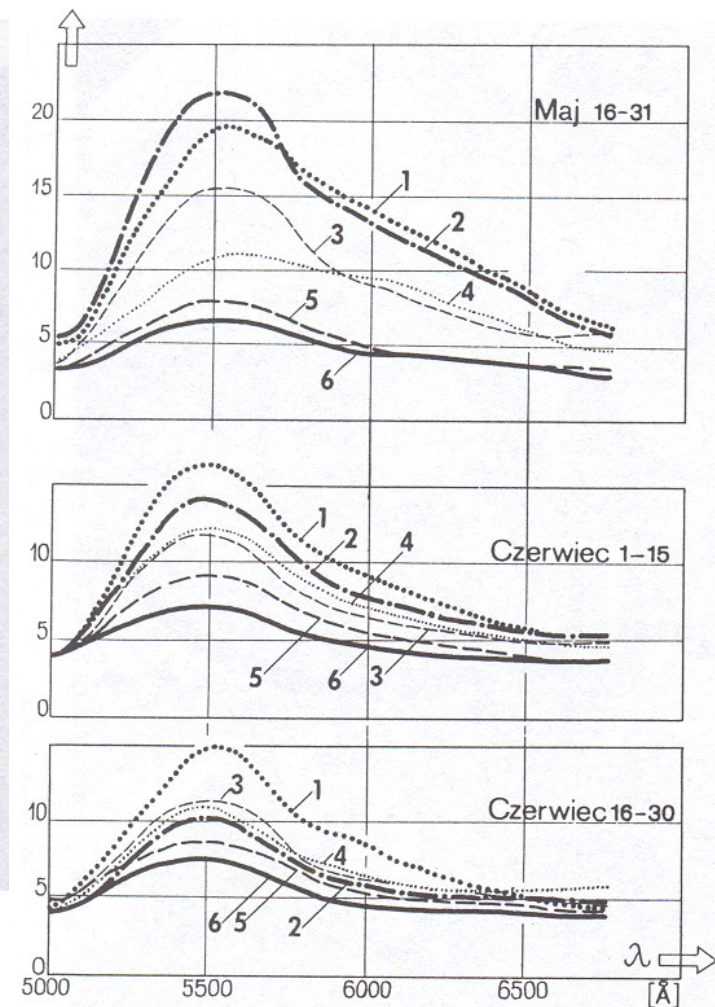
TELEDETEKCJA

Właściwości spektralne roślinności

Różnice gatunkowe – zmiany w czasie



Odbicie w zakresie widma żółtozielonego od drzew w sezonie wegetacyjnym



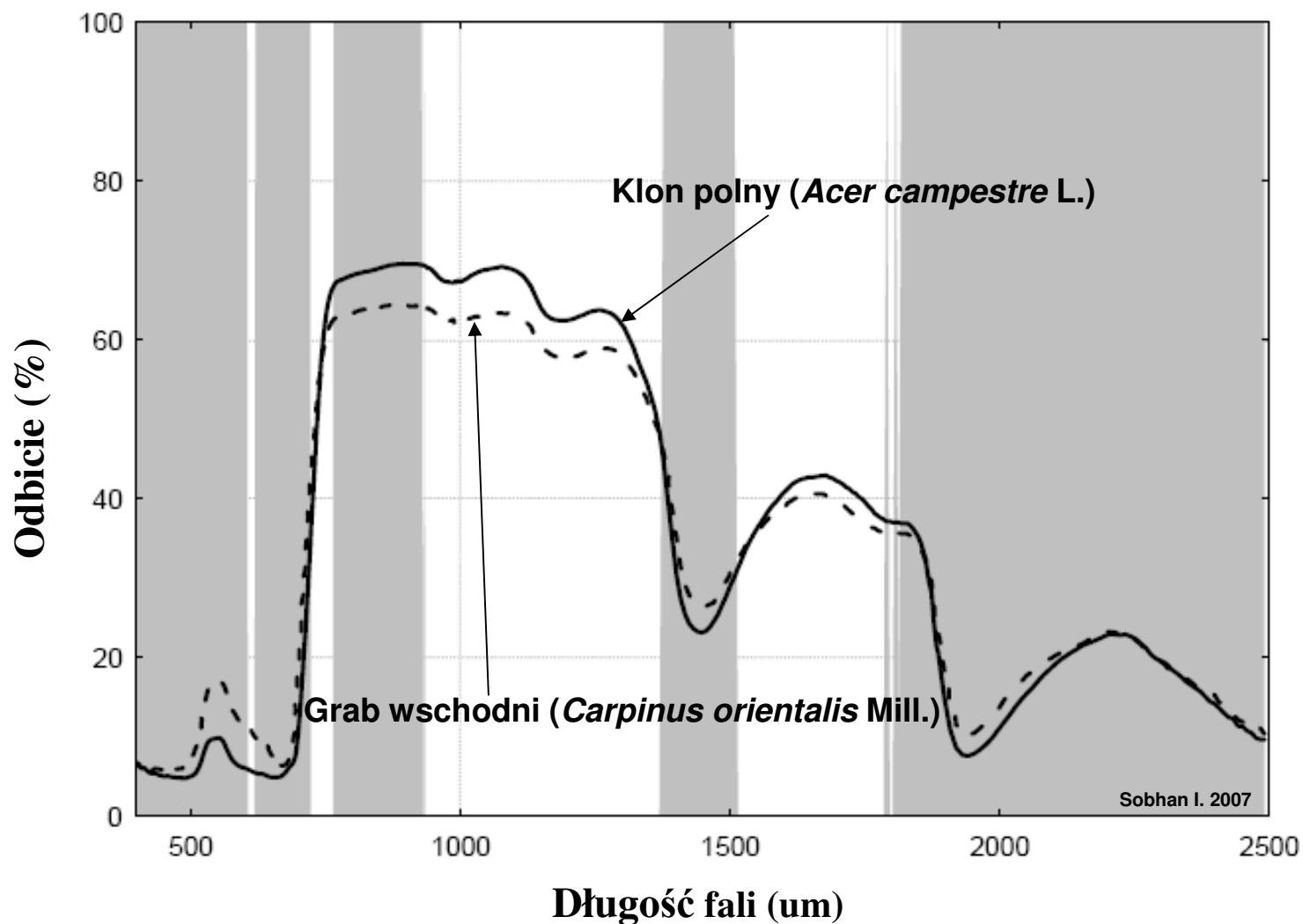
Odbicie od drzew w funkcji długości fali

1 – dąb, 2 – buk, 3 – brzoza, 4 – osika, 5 – jodła, 6 - sosna

TELEDETEKCJA

Właściwości spektralne roślinności

Różnice gatunkowe



TELEDETEKCJA

Właściwości spektralne roślinności

Różnice gatunkowe

Możliwość kartowania roślinności na podstawie danych teledetekcyjnych:

- Zależy od zróżnicowania struktury roślin i liści.
- Głównie jest warunkowana zmiennością odbicia w zakresie bliskiej podczerwieni.
- W mniejszym stopniu zależy od koncentracji barwników.
- Łatwa w przypadku głównych grup roślinnych (np. lasy/trawy, drzewa iglaste/liściaste).
- Trudna w obrębie grup roślinności.