

IMGW-PIB, Oddz. Wrocław, 6.06.2018

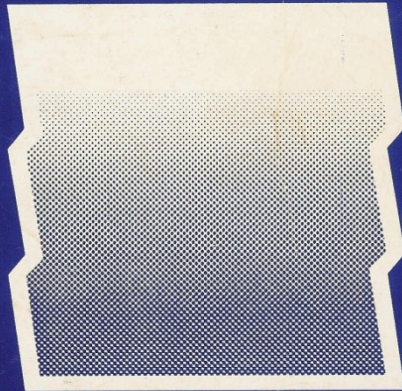
Transport rumowiska w małych zlewniach rolniczych

**klasyfikacja, pochodzenie, pomiary,
metody oceny wydatku – USLE,
bilans rumowiska w zlewni vs. DR**

**Kazimierz Banasik
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie**

Edited by K. Banasik and A. Żbikowski

RUNOFF AND SEDIMENT YIELD MODELLING (RSY-93)



Proceedings of the International Symposium
held at Warsaw Agricultural University – SGGW



International Symposium on Sediment Dynamics for a Changing Future

**June 14-18, 2010, Warsaw University of Life Sciences -
SGGW, Warsaw, Poland**

The Symposium was held under the Honorary Patronage of
Minister of the Environment - Andrzej Kraszewski and Minister of Agriculture and
Rural Development - Marek Sawicki

Procesy erozji i sedymentacji

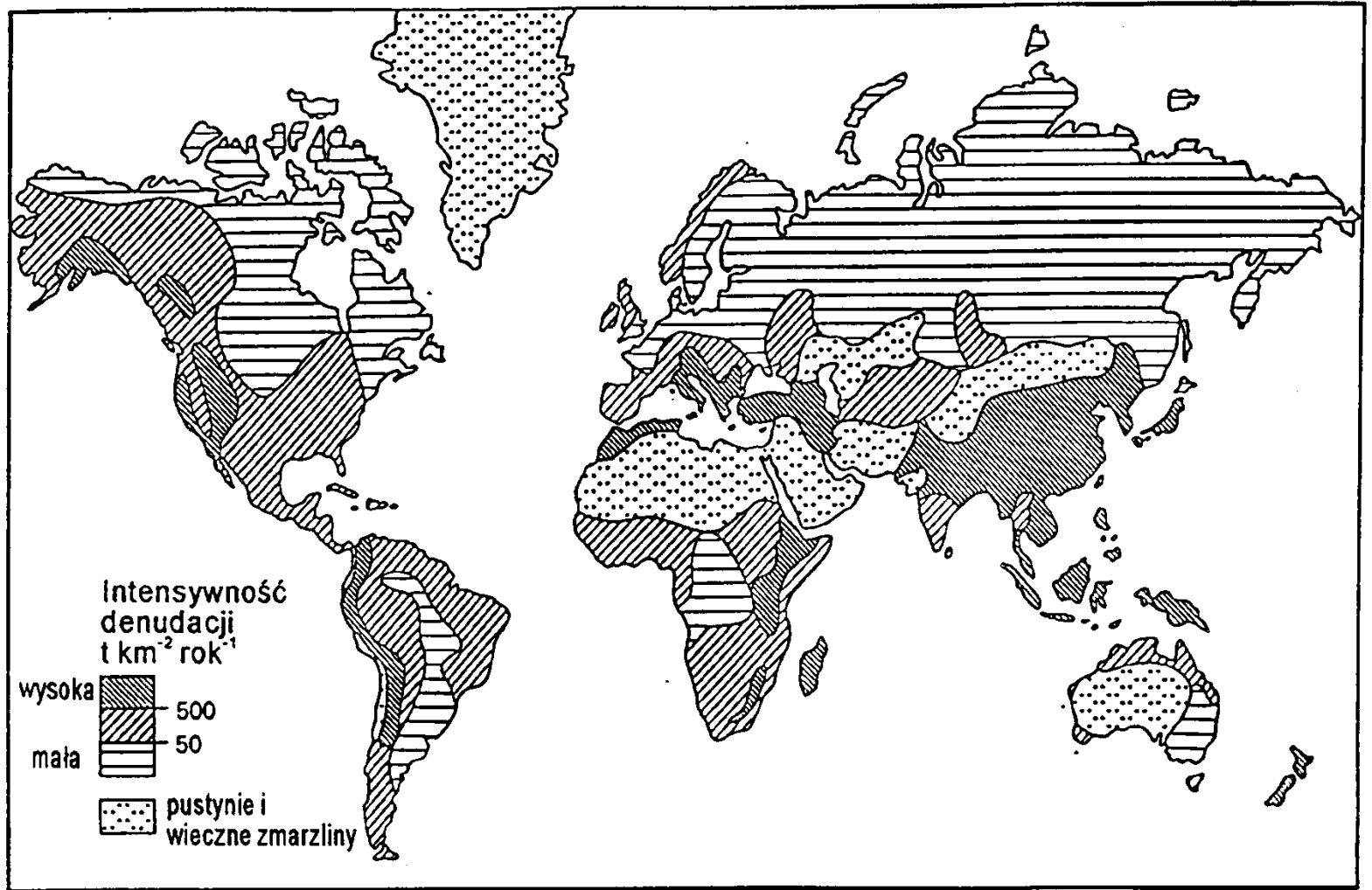
Erozja - (*łac. erodare = wgryzać się, wcinać*)
proces niszczenia powierzchni ziemi przez siły przyrody, głównie wiatr i wodę

Erozja obejmuje podprocesy:

- ospajania i odrywania czastek (denudacja)
- przenoszenia (transport)
- osadzania w innym miejscu (akumulacja)

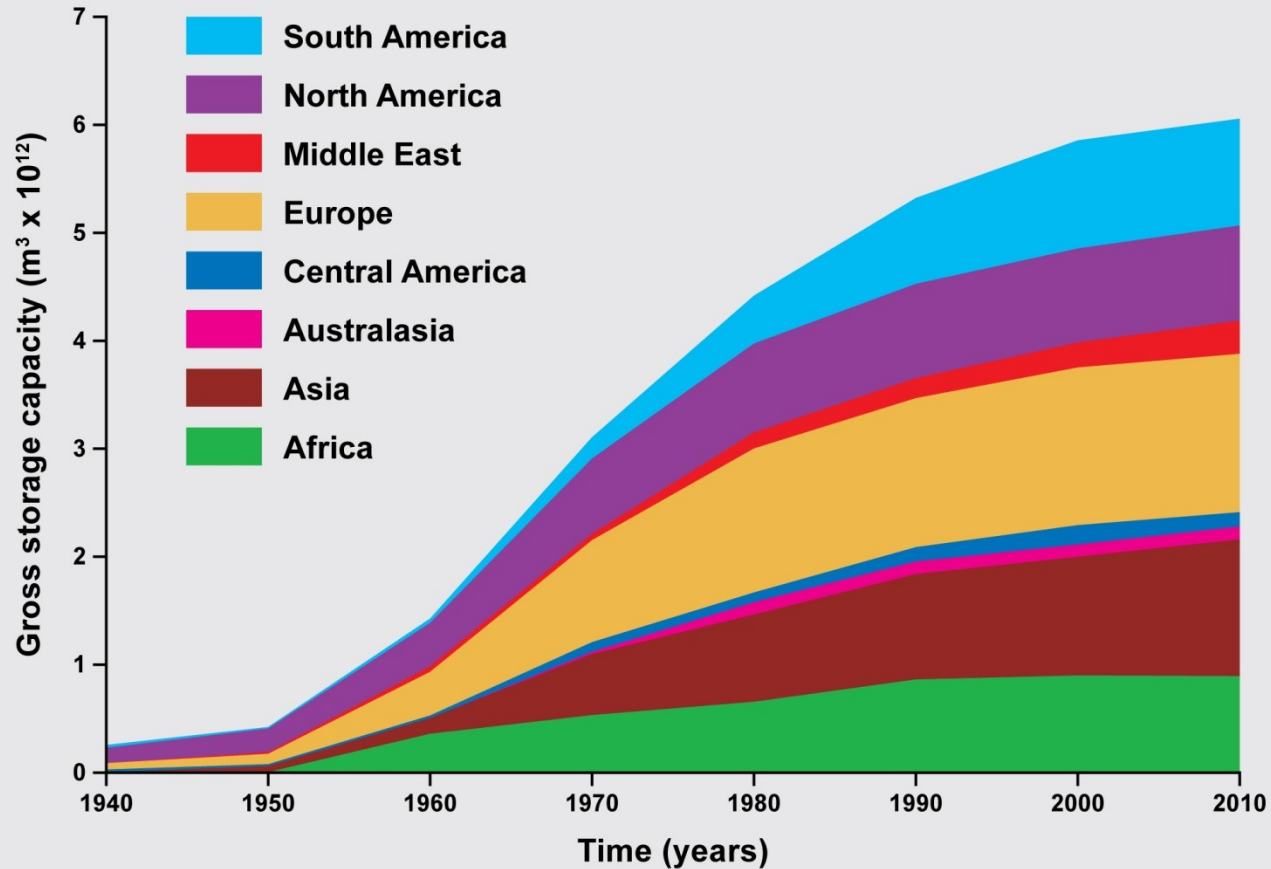
Denudacja: *łac. denudare = obnażanie*

Efektom denudacji jest obniżanie wzniesień, a akumulacji podwyższanie dolin.



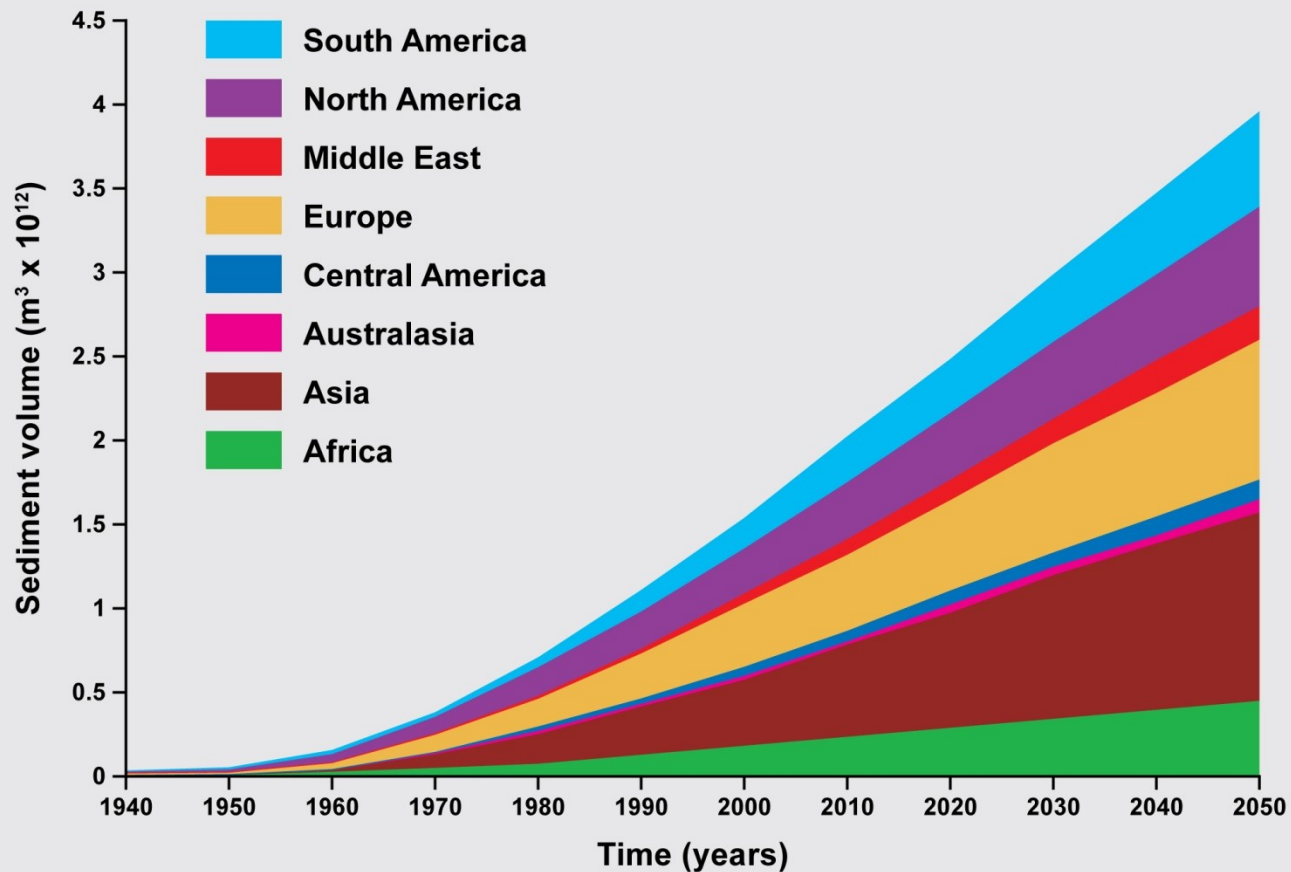
Mapa intensywności denudacji odpływowej (Walling 1988)

GLOBAL COMPARISON OF GROWTH IN GROSS RESERVOIR STORAGE CAPACITY

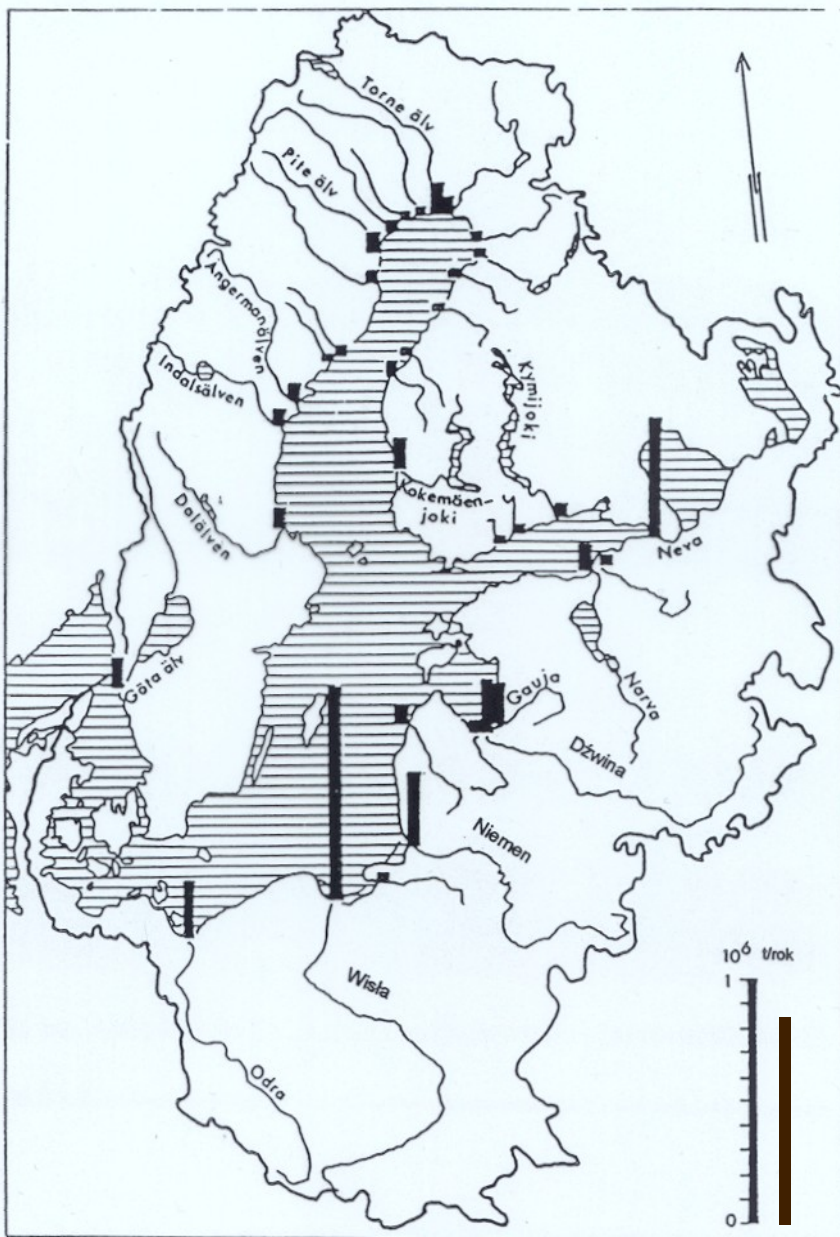



Based on Basson 2008 (za Wallingiem 2010)


GLOBAL COMPARISON OF LOSSES IN RESERVOIR STORAGE CAPACITY CAUSED BY SEDIMENTATION



Based on Basson 2008 (za Wallingiem 2010)




Dopływ rumowiska unoszonego do morza Bałtyckiego (Łajczak, Jansson, 1992)


 Uwzględniono rzeki o wydatku powyżej 20 000 Mg/rok



Intensywność denudacji (całkowitej) w Polsce

(Reniger 1959, Dębski 1959)



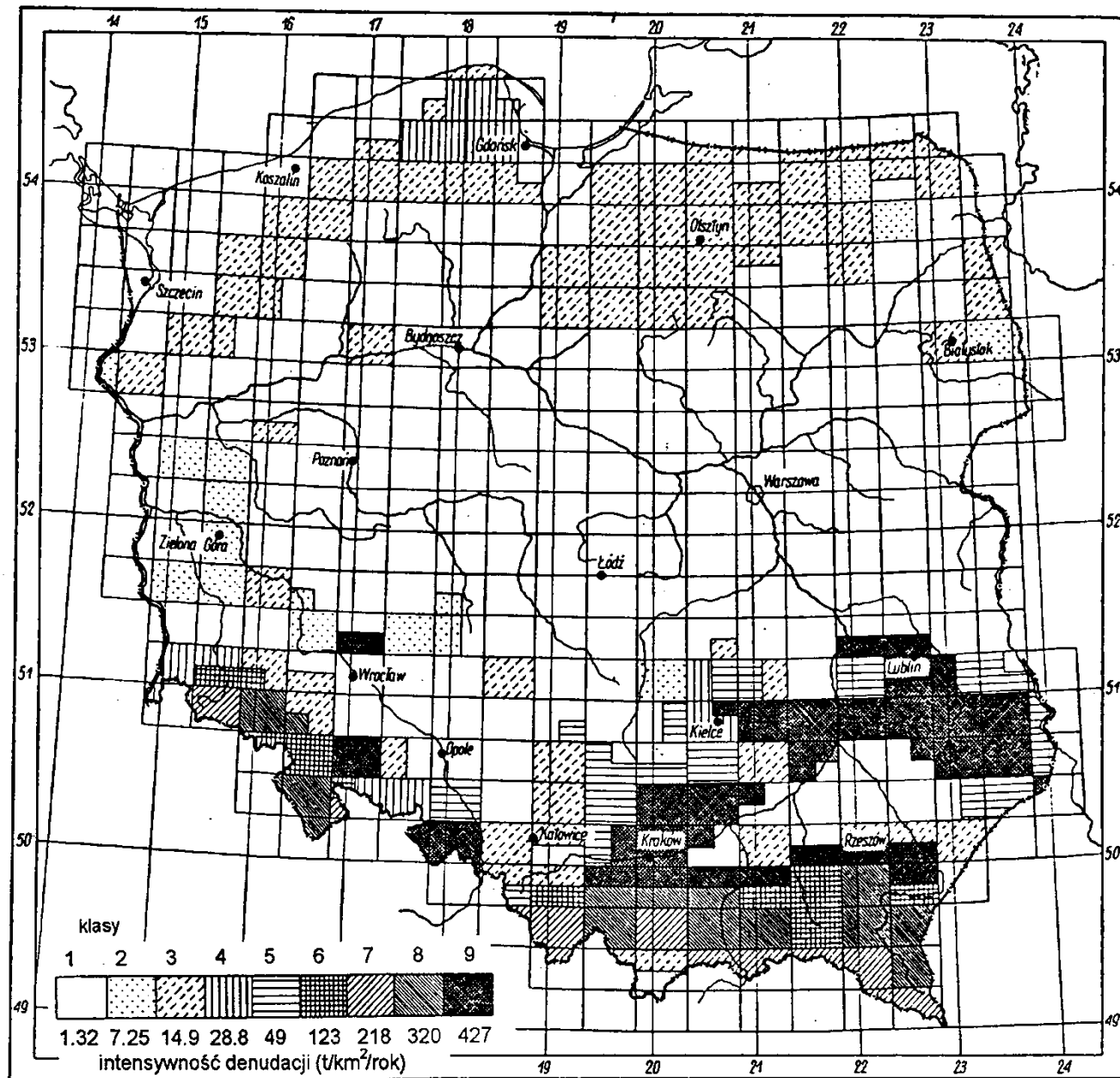
Mapa wykonana na podstawie analizy (arkuszy w skali 1:100 000):



- spadków
- sumy opadów
- rodzaju gleb
- lesistości

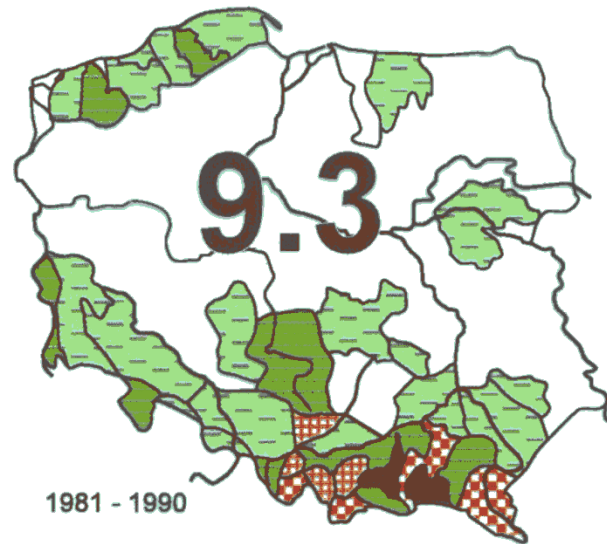
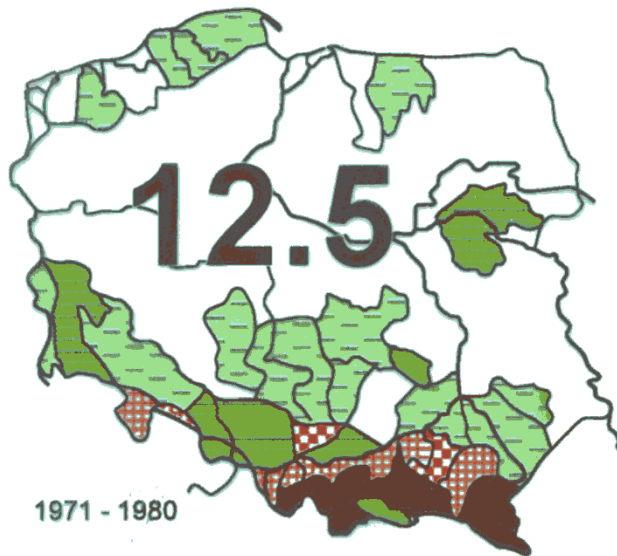
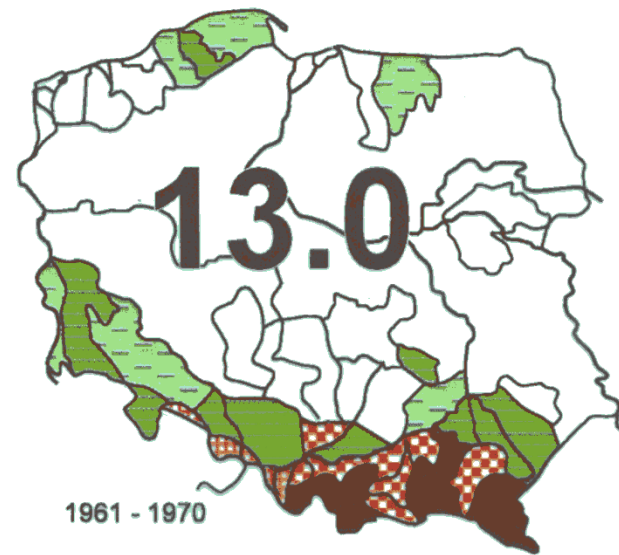
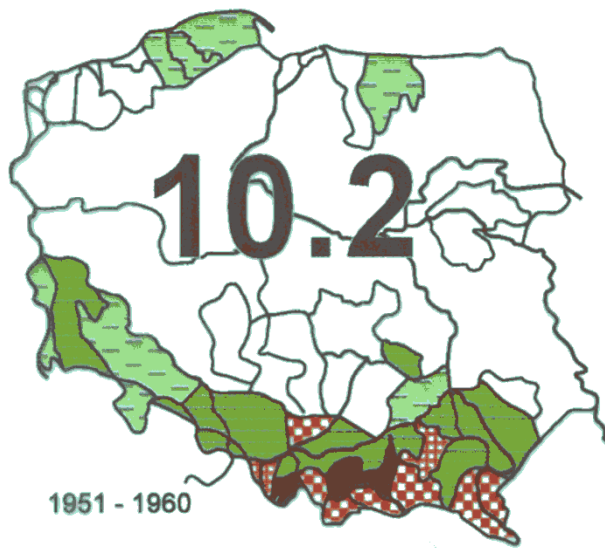


Powiązanie skali jakościowej z wartościami liczbowymi wykonano na podstawie danych z 7 zlewni

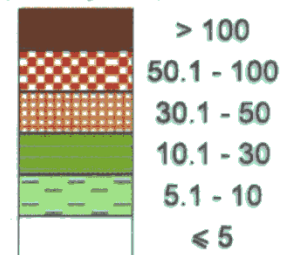




Lokalizacja posterunków
IMGW poboru prób
zmacenia wody w latach
1951-90



Denudation index
($t\ km^{-2}\ year^{-1}$)



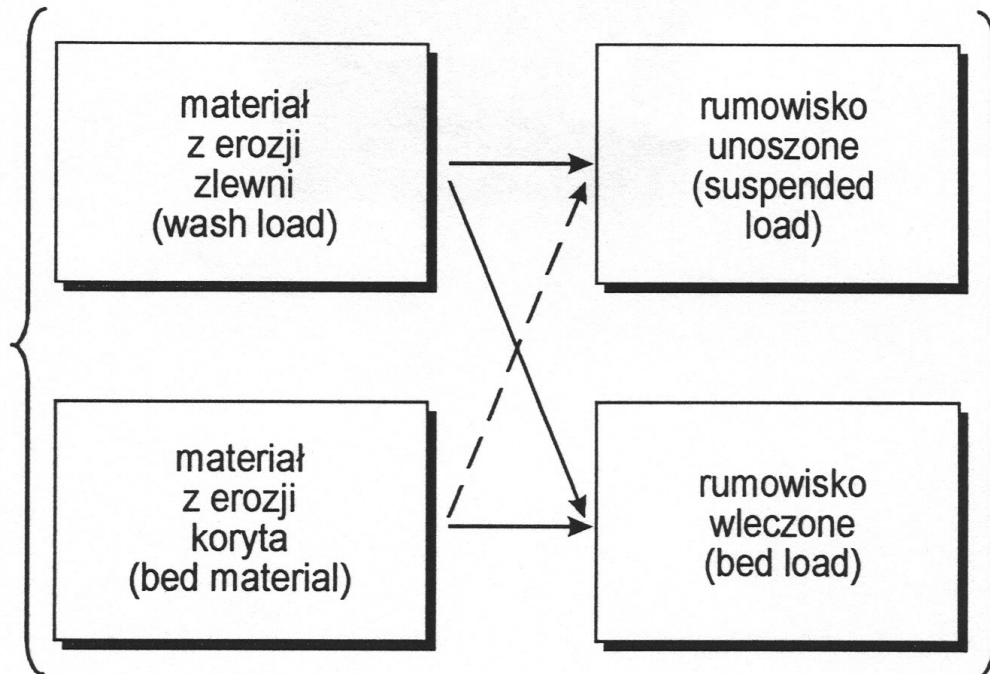
Mapa intensywności denudacji odpływowej (wg danych IMGW)

Rumowisko rzeczne

- to wszelkie produkty mechanicznej bądź chemicznej działalności wody, znajdujące się w korytach rzek.
- Wg Dębskiego, wyróżnia się:
 - **toczny**, tj rumosz skalny transportowany przez wodę tylko w okresach największych wezbrań
 - **wleczyzny**, tj. materiał transportowany przez wodę przy dnie cieku ($\Phi = 0.1-100$ mm)

- **unosiny**, które płyną wraz z wodą unosząc się w jej masie na różnych głębokościach
- **zawiesiny** w przeciwieństwie do unosin nie opadają gdy prędkość wody jest b. bliska zeru (są to głównie cząstki pochodzenia organicznego o gęstości właściwej mniejszej od gęstości wody)
- **roztwory**, czyli rumowisko rozpuszczone, to produkty erozji chemicznej, pochodzące z wyługowanych przez wody opadowe skał, najczęściej wapiennych lub dolomitowych.

**Klasyfikacja
oparta na
kryterium
pochodzenia**



**Klasyfikacja
oparta na
kryterium
ruchu**

Klasyfikacja rumowiska rzecznego

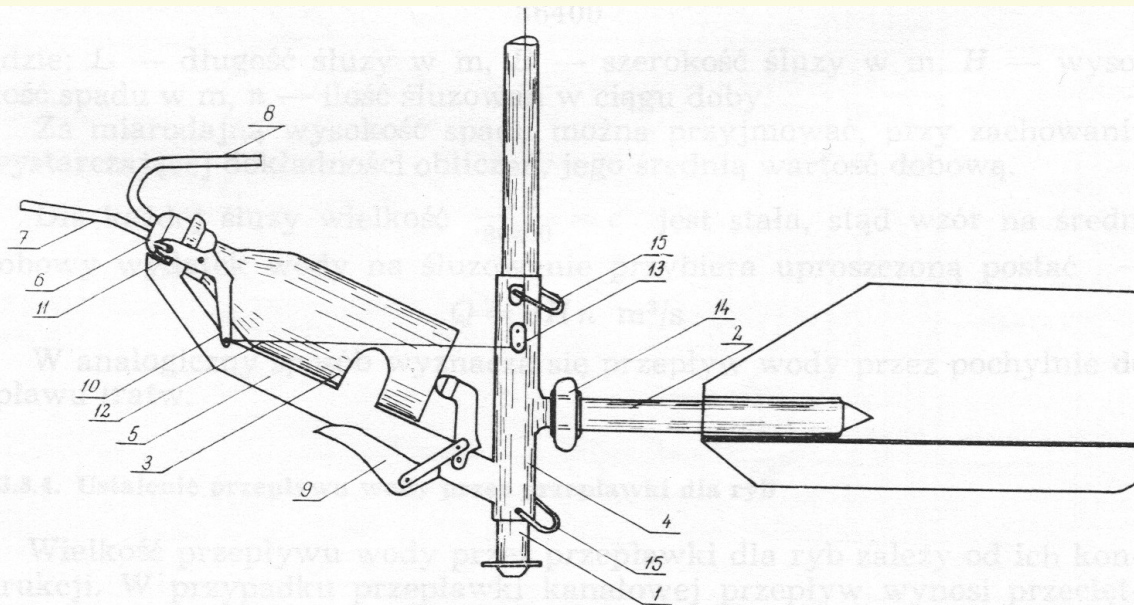
Czynniki wpływające na ilość rumowiska rzecznego

- erozja wodna postępująca w zlewni poza ciekami (erozja gleb)
- erozja dna i brzegów cieku
- ruchy masowe w zlewni jak osuwiska, soliflukcje i spęływanie
- budowa dróg, osiedli, lotnisk i innych dużych obiektów związanych z przewożeniem i plantowaniem gruntu
- roboty regulacyjne w cieku
- zanieczyszczenia wodami zrzutowymi różnego typu

Skutki nadmiernej ilości rumowiska rzecznego

- zamulanie dolin rzecznych i budowli hydrotechnicznych (ujęć wodnych, doprowadzalników, systemów nawadniających)
- zamulanie zbiorników (redukcja pojemności, podwyższenie dna w strefie cofkowej)
- obniżanie jakości wody (zanieczyszczenie drobnym materiałem unoszony oraz związkami adsorbowanymi przez cząstki mineralne)
- wzrost kosztów uzdatniania wody

Pomiar koncentracji rumowiska unoszonego

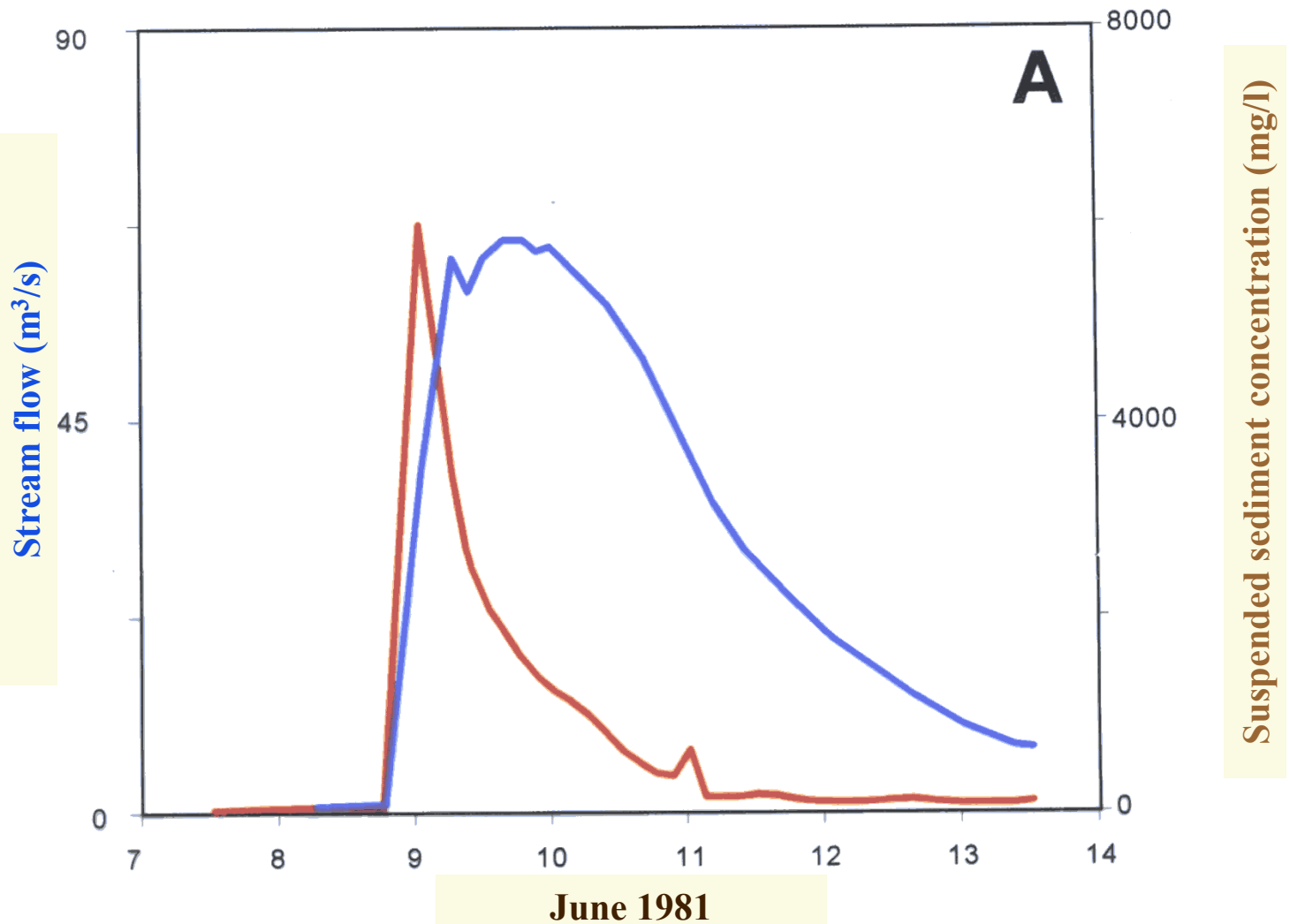


Rys. 7.1.1.1. Batometr butelkowy typu PIHM-1

²⁶⁾ Symbol pochodzi od pierwszych liter nazwy b. Instytutu Hydrograficznego

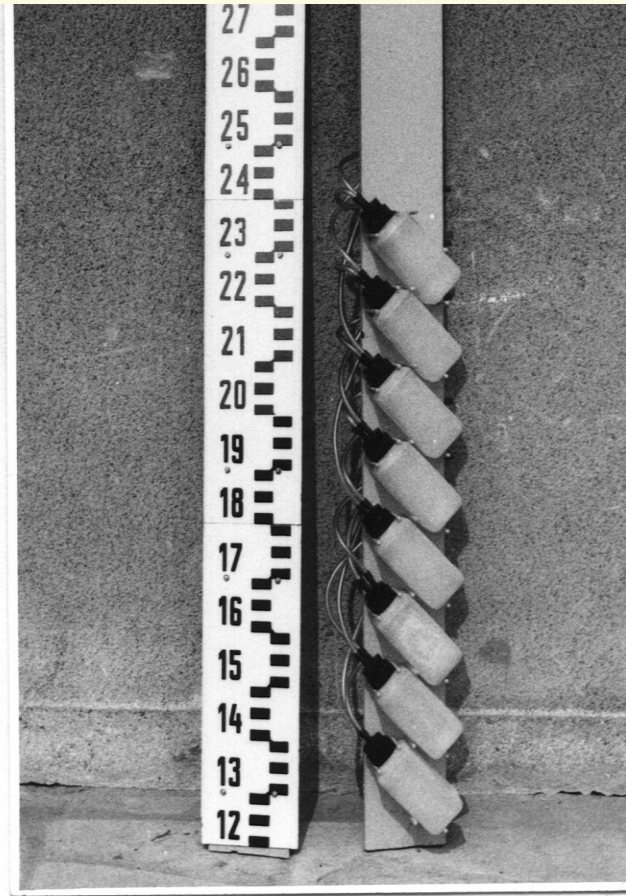
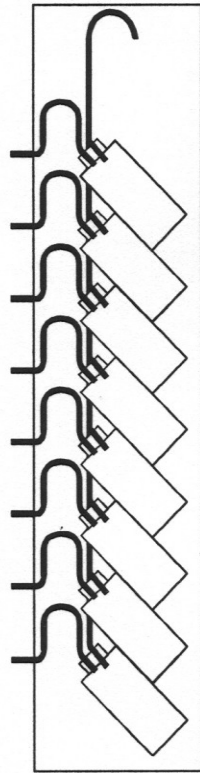
Warunki prawidłowego pomiaru zmaczenia

- długi czas pomiaru, dla wyeliminowania wpływu pulsacji zmaczenia
- zachowanie warunku równości prędkości poboru mieszaniny z prędkością przepływu w miejscu poboru
- możliwość poboru próby blisko dna, gdzie występują największe zmaczenia

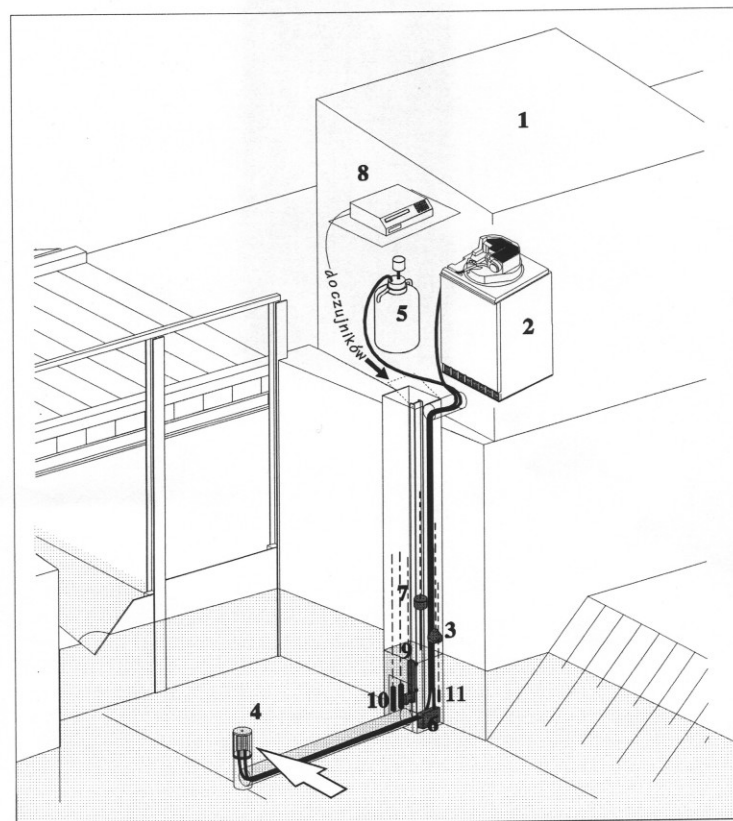


Concentration of suspended sediment and stream flow as a response of river basin (Honey Creek) to heavy rainfall (Baker, 1985)

Batometr samoczynny BS-1



Stanowisko pomiarowe w Czarnej




Rys. 10. Rozmieszczenie przyrządów pomiarowych na stanowisku w Czarnej

1- pomieszczenie elektronicznych urządzeń pomiarowych;
Automatyczny próbnik STREAMLINE 800SL; 2- urządzenie z lodówką do przechowywania próbek, 3- czujnik poziomu wody SIGMA, 4- wlot przewodu ssącego w koszu osłonowym;
Automatyczny batometr pompowy; 5- pojemnik z ciśnieniowym wyłącznikiem pompy,
6- pompa, 7- pływakowy wyłącznik pompy;
Elektroniczny system rejestracji danych RC-10; 8- rejestrator, 9- zmęciomierz fotooptyczny, 10 - mierniki stanu wody, 11 - termometr.









**□ Obliczenie ilości rumowiska
na podstawie pomiarów**

Określenie natężenia transportu rumowiska unoszonego

📄 Stosowane pojęcia:

- **zmacenia P**
[*koncentracja, stężenie*] (g/m^3), tj. wagowa zawartość cząstek rumowiska unoszonego w wodzie rzecznej
- **unoszenie U** (g/s) to iloczyn zmacenia P i natężenia przepływu Q

Stosowane sposoby oceny:

- na podstawie pomiarów punktowych zmacenia [wykonywanych często i w długim okresie]:

$P_m = k \cdot P_p$, a przy wielokrotnym poborze prób w ciągu doby -

$$P_m = \frac{\sum_{i=1}^l P_{mi} \cdot Q_i \cdot \Delta t_i}{\sum_{i=1}^l Q_i \cdot \Delta t_i}$$

Okresowa (roczna) masa transportu unosin

- **Metoda IMGW:**

$$Y = 86.4 \cdot 10^{-3} \cdot \sum_{j=1}^d P_{mj} \cdot Q_j$$

Y- okresowy transport unoszenia (t)

- **Metoda stosowana, gdy można ustalić zależność $P=f(Q)$:**

$$P_m = a \cdot Q^b$$

$$Y_k = 86.4 \cdot 10^{-3} \cdot \sum_{i=1}^{i=m} P_i \cdot Q_i \cdot n_{i,k}$$

Okresowa (roczna) masa transportu unosin

- sposób IMGW [stosowany przy braku zależności $P=f(Q)$]

$$Y = 86.4 \cdot 10^{-3} \cdot \sum_{j=1}^d P_{mj} \cdot Q_j$$

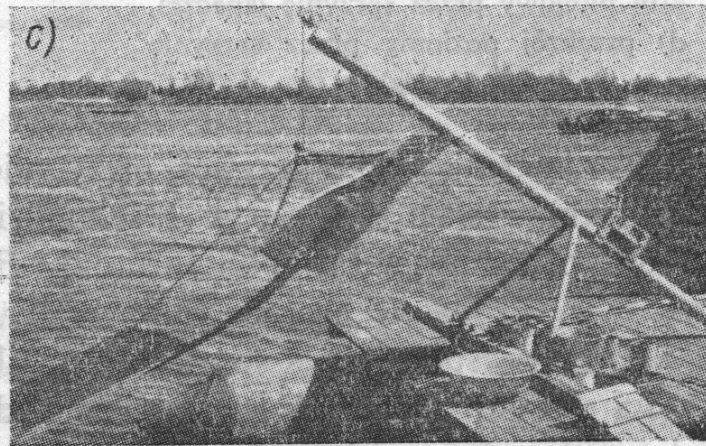
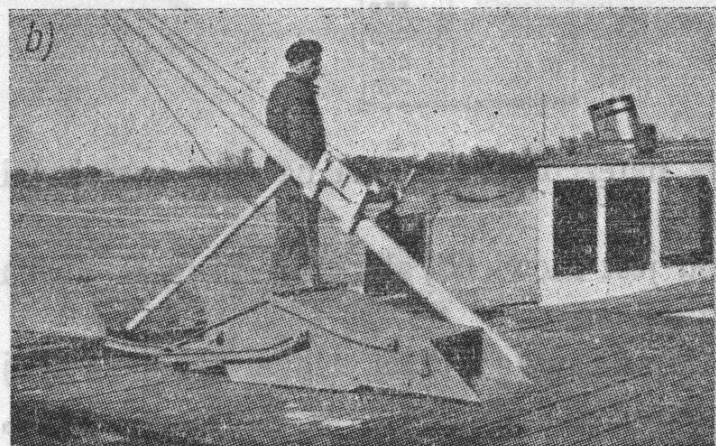
Y- okresowy transport unoszenia (t)

- sposób stosowany gdy można ustalić zależność $P=f(Q)$:

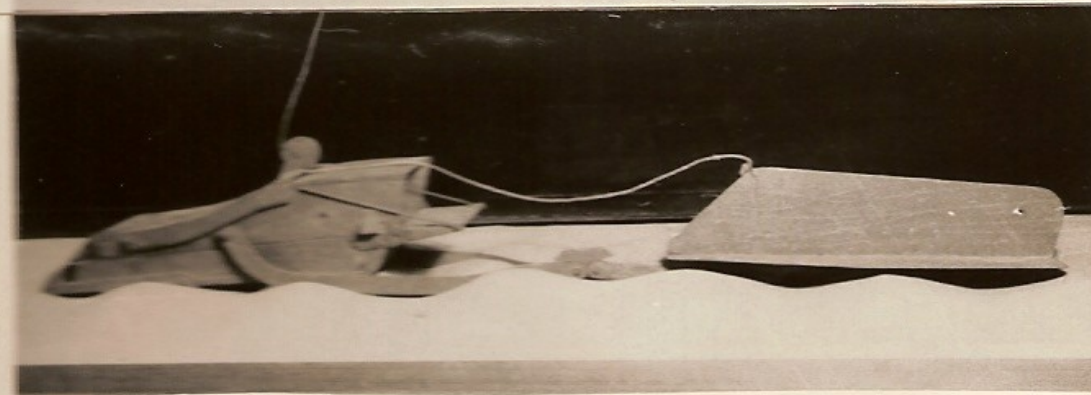
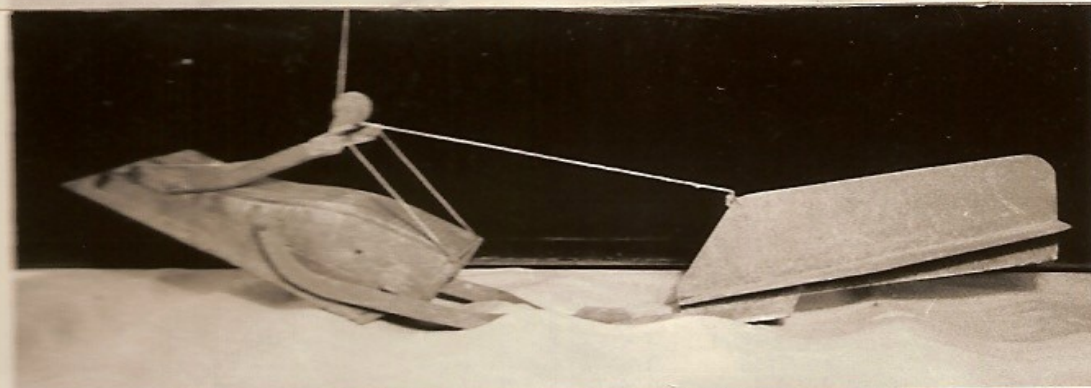
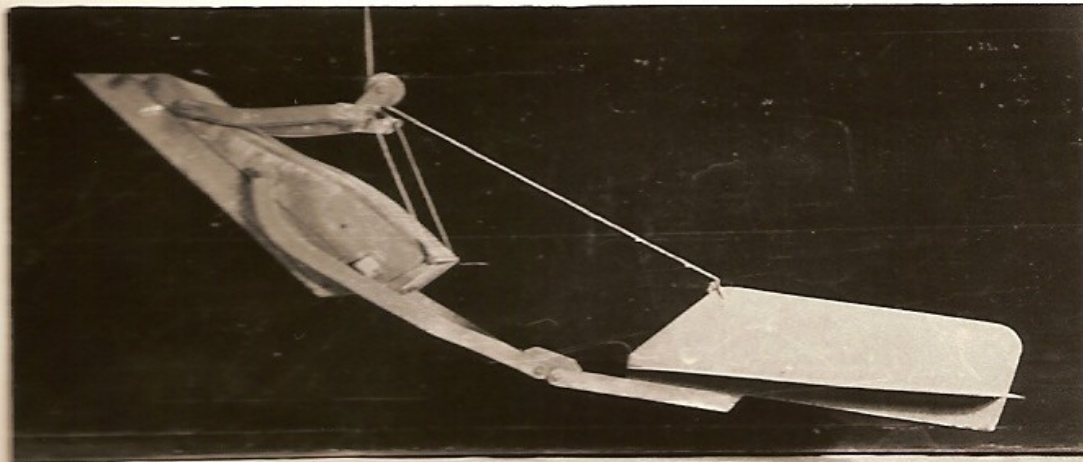
$$P_m = a \cdot Q^b$$

$$Y_k = 86.4 \cdot 10^{-3} \cdot \sum_{i=1}^{i=m} P_i \cdot Q_i n_{i,k}$$

Rumowisko wleczone



Rys. I-146. Łapaczka PIHM: a) widok, b), c) przed zanurzeniem, d) w czasie opróżniania



Rys. 2-16.

Kolejne fazy
opuszczania
łapaczki PIHM.

(Skibiński J., 1962)

Wyznaczenie transportu wleczenia

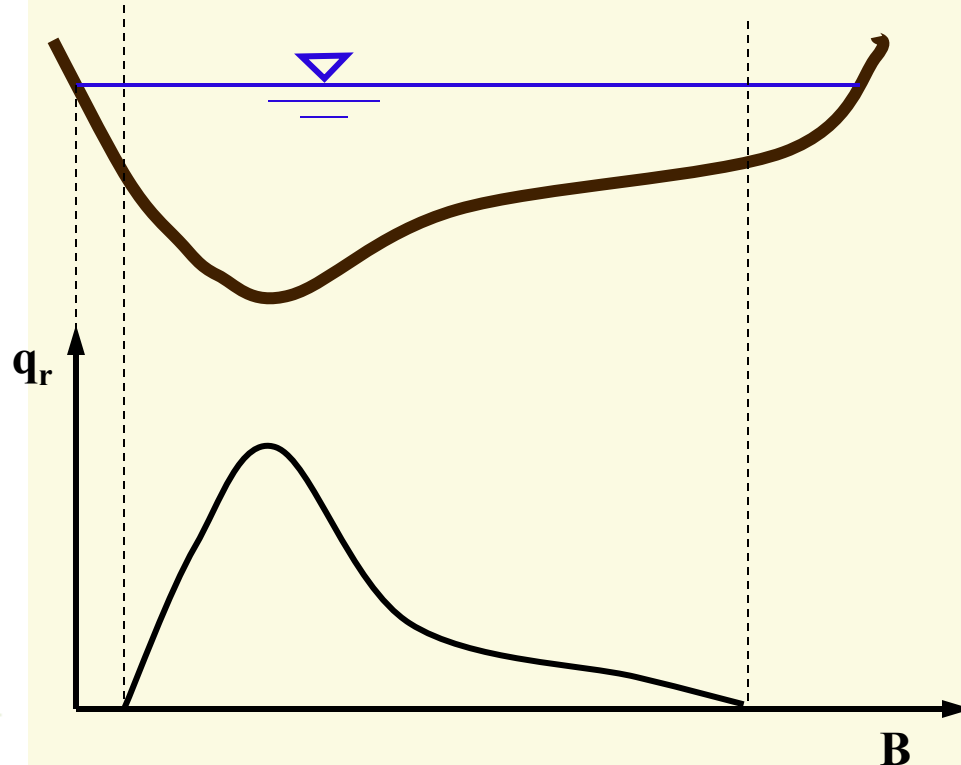
📄 Na podstawie pomiaru i określamy jednostkowe natężenie wleczenia

$$q_r = \frac{100}{\eta} \cdot \frac{1}{b} \cdot \frac{V_r}{\Delta t}$$

(cm³/s/m)

Transportu wleczenia - 2

Ustalamy natężenie wleczenia w przekroju pomiarowym rzeki



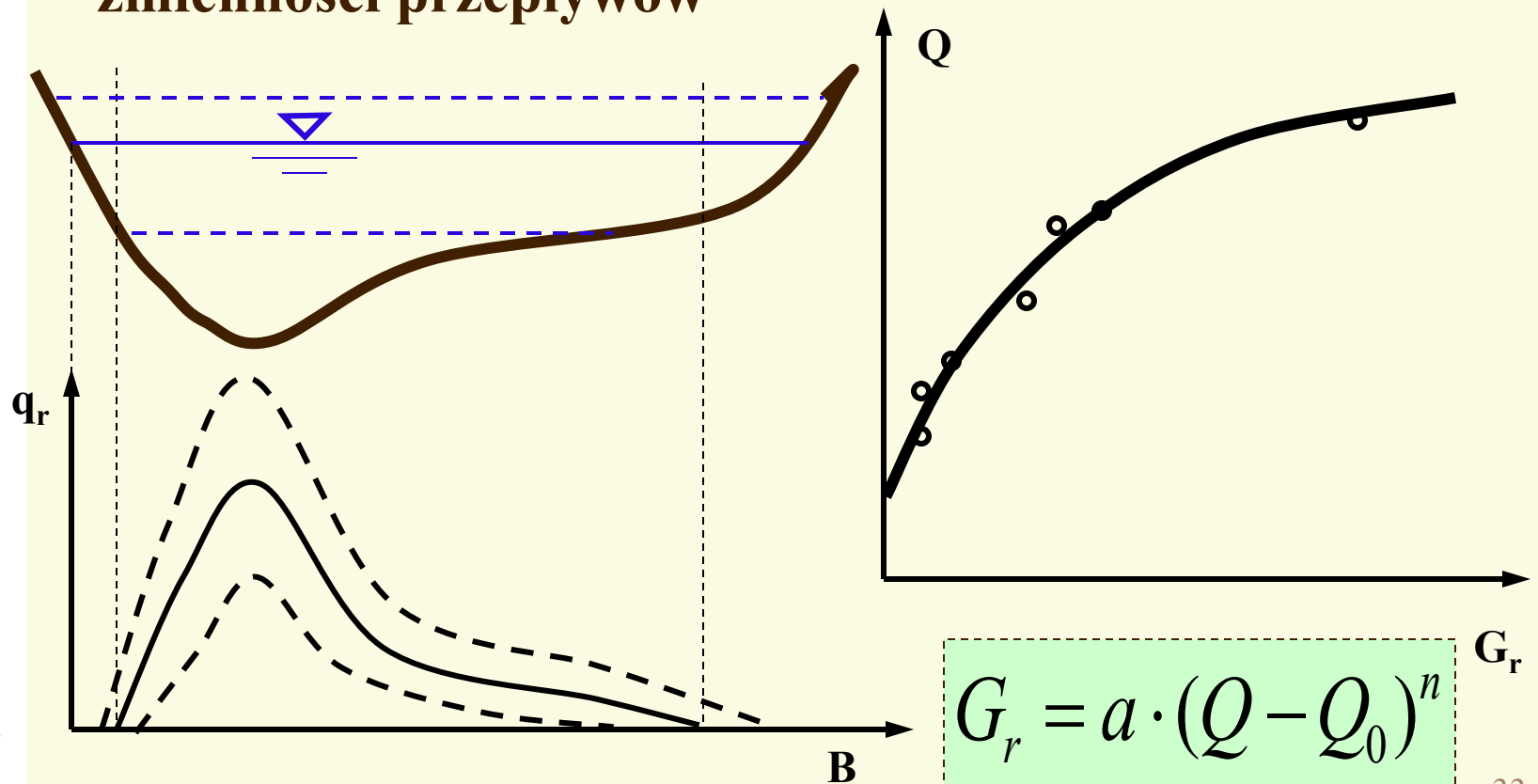
$$G_r = \int_B q_r \cdot dB$$

$$G_r = \sum_i q_{ri} \cdot \Delta B_i$$

$$G_r = f(Q)$$

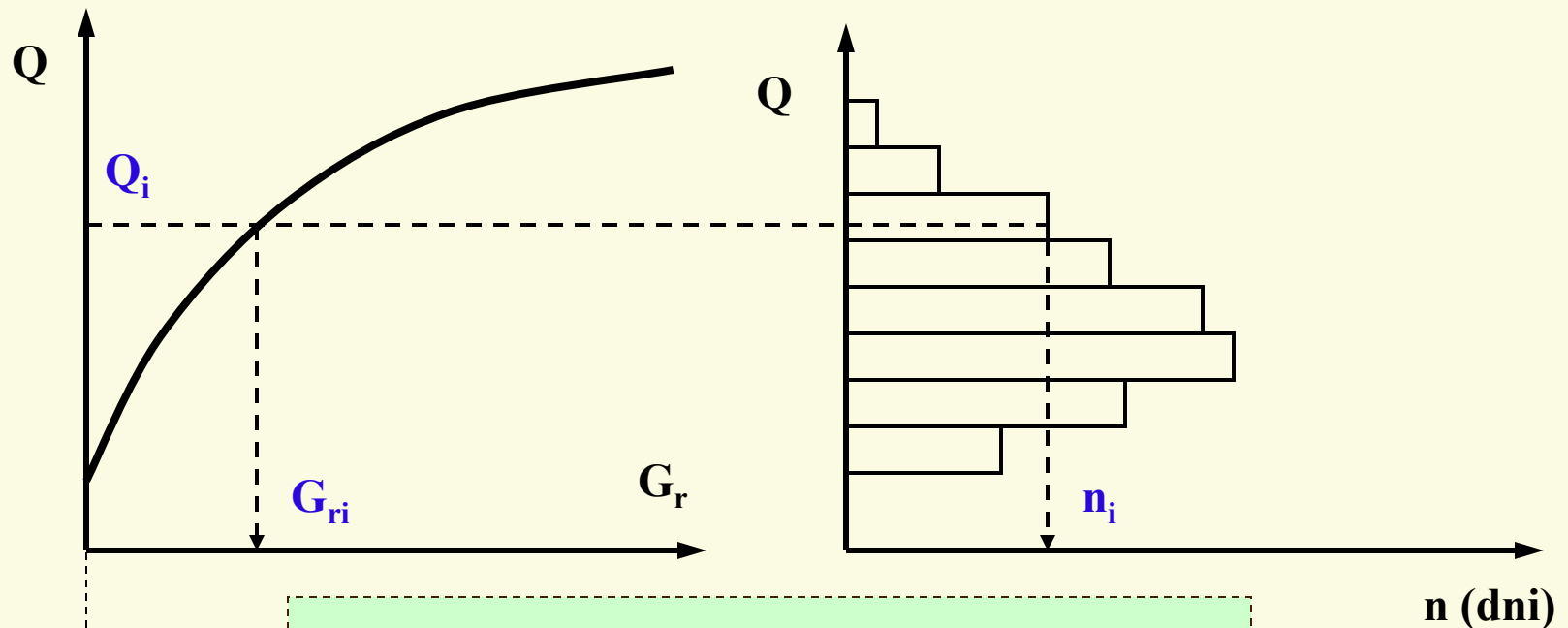
Transportu wleczenia - 3

Ustalamy zależność wleczenia od przepływu dla całej zmienności przepływów



Transportu wleczenia - 4

Ustalamy roczną objętość wleczenia w profilu pomiarowym



$$G_R = 86400 \cdot \sum_{i=1}^m G_{ri} \cdot n_i$$

**□ USLE - narzędzie oceny intensywności
erozji gleb i wydatku rumowiska
unoszonego z małych zlewni**

Erozja wodna gleb

żłobiny



Miejsce odkładu części
wyerodowanej na stoku gleby

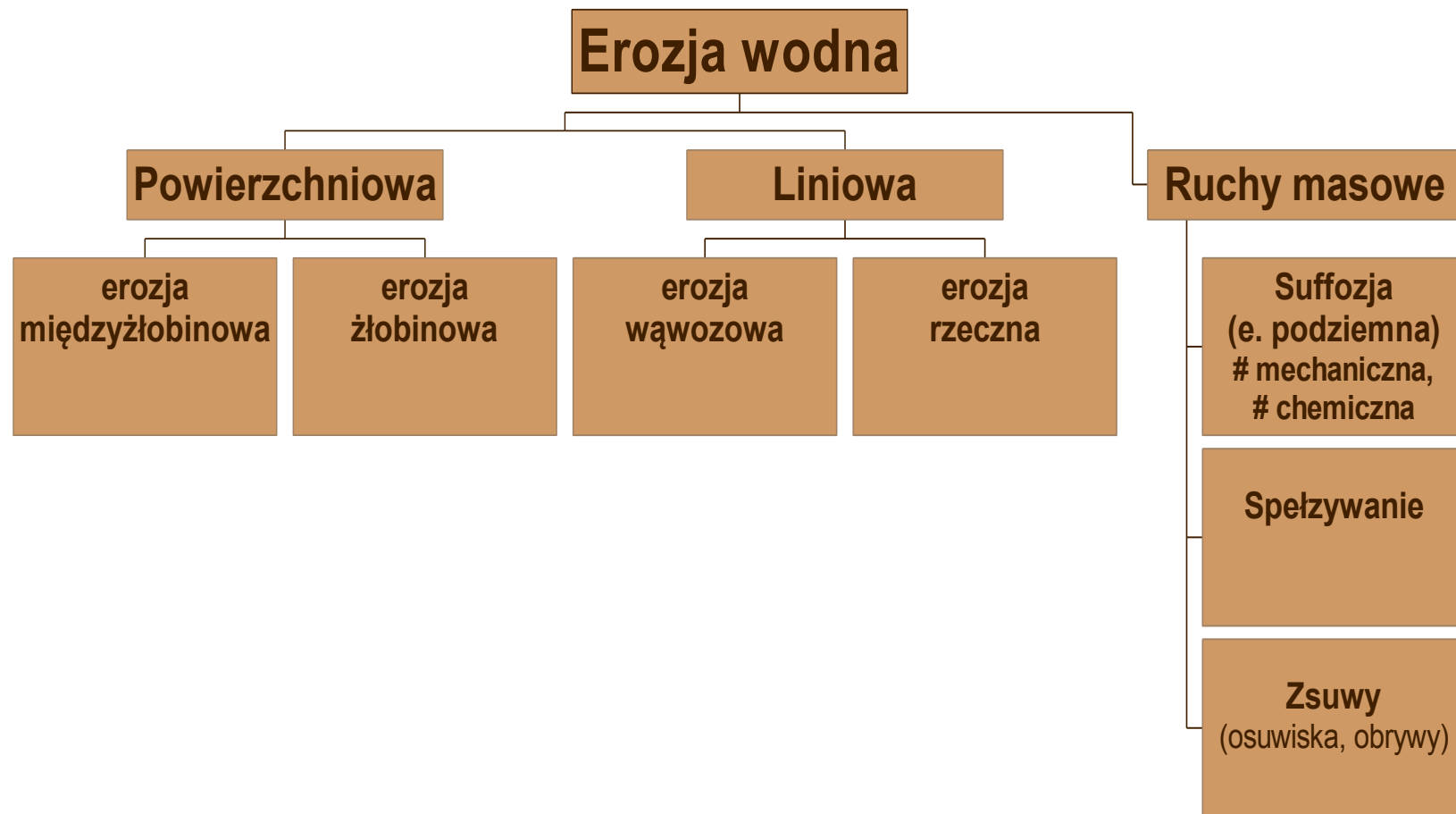
Skutki intensywnej erozji gleb:

- zubożenie gleb (obniżenia produktywności)
- utrudnienie zabiegów agrotechnicznych
- szkody wynikające ze zniszczenia upraw (wyerodowanie, zamulenie)
- nieszczelnienie dróg dojazdowych
- - wzrost ilości rumowiska rzecznoego

**Efekt wezbrania
wywołanego
ulewnym
deszczem**



Rodzaje erozji wodnej:



Erozja gleb - ocena ilościowa

Intensywność procesu rozji gleb wyrazić można jako funkcję:

$$E = f (K, T, G, R, C)$$

gdzie:

E - erozja

K - klimat

T - topografia

G - gleba

R - roślinność

C - działalność człowieka

95 9 18

Równanie strat glebowych - USLE

Universal Soil Loss Equation (Wischmeier, Smith, 1978)

- - jest równaniem empirycznym,
- - wyprowadzonym na podstawie dużej ilości danych pomiarowych, zebranych w terenie i laboratoriach (22 000 1-p)
- - służy do wyznaczanie średniej rocznej ilości gleby erodowanej ze stoku w wyniku opadów deszczu

$$E = R K L S C P$$

gdzie:

E - ilość (masa) erodowanej gleby

R - erozyjność deszczy i spływów

K - podatność gleby na erozję

L - współczynnik długości stoku

S - współczynnik spadku stoku

C - współczynnik rodzaju upraw i zabiegów pielęgnacyjnych

P - wsp. zabiegów przeciweroz.

Równanie strat glebowych - USLE

Universal Soil Loss Equation (Wischmeier, Smith, 1978)

$$E = R K L S C P$$

- L, S, C i P** - są parametrami bezwymiarowymi,
- określają względny wpływ danego czynnika
(tj. długości stoku, spadku stoku, ...) na ilość
erodowanej gleby ze stoku, w odniesieniu do
warunków przyjętych za wzorcowe

Równanie strat glebowych dla warunków wzorcowego poletka
przyjmuje postać:

$$E = R \cdot K$$

Erozyjność

- - to zdolność do wywoływania erozji
- - deszcz erozyjny to taki deszcz, który może spowodować erozję gleb

Na wartość parametru R składa się erozyjność deszczy i wywołanych nimi spływów powierzchniowych - R_r , oraz erozyjność spływów roztopowych - R_s :

$$R = R_r + R_s$$

Czynniki wpływające na erozyjność

- - energia kinetyczna kropel deszczu (masa i prędkość)
- - suma (warstwa) opadu (natężenie deszczu * czas trwania)
- - energia kinetyczna spływu (współczynnik spływu, prędkość spływu powierzchniowego)

Autorzy USLE stwierdzili, że:

$$R_{rj} = f (E_k, I_{30})$$

Wyznczenie erozyjności deszczu

$$R_{rj} = E_k \cdot I_{30}/100$$

R_{rj} - erozyjność deszczu $[(MJ \cdot ha^{-1}) \cdot (cm \cdot h^{-1})]$ -
jednostka ta nazywana jest skrótowo jednostką
erozyjności i oznaczana przez - Je

E_k - energia kinetyczna deszczu $(J \cdot m^{-2})$

I_{30} - maksymalne 30-min natężenie deszczu $(cm \cdot h^{-1})$

1/100 - wsp. przeliczeniowy (z $J \cdot m^{-2}$ na $MJ \cdot ha^{-1}$)

- jak określić energię kinetyczną deszczu, przy zmiennym natężeniu w czasie jego trwania ?
- czy każdy deszcz jest erozyjny ?

Kryterium erozyjności deszczy przyjęte w USLE:

- deszcze o $P \geq 0.5$ cala tj. o $P \geq 12.7$ mm, oraz**
- deszcze o mniejszej wydajności lecz o natężeniu:
 $I \geq 0.25$ cala/15 min tj. $I > 6.3$ mm/15 min**

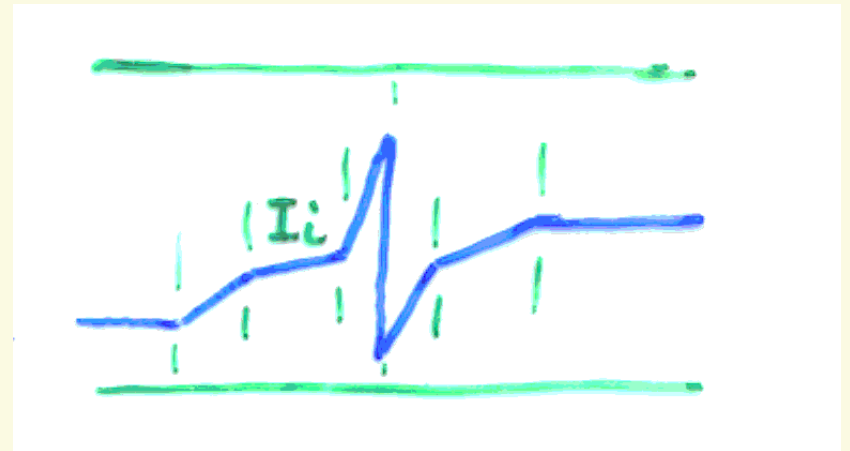
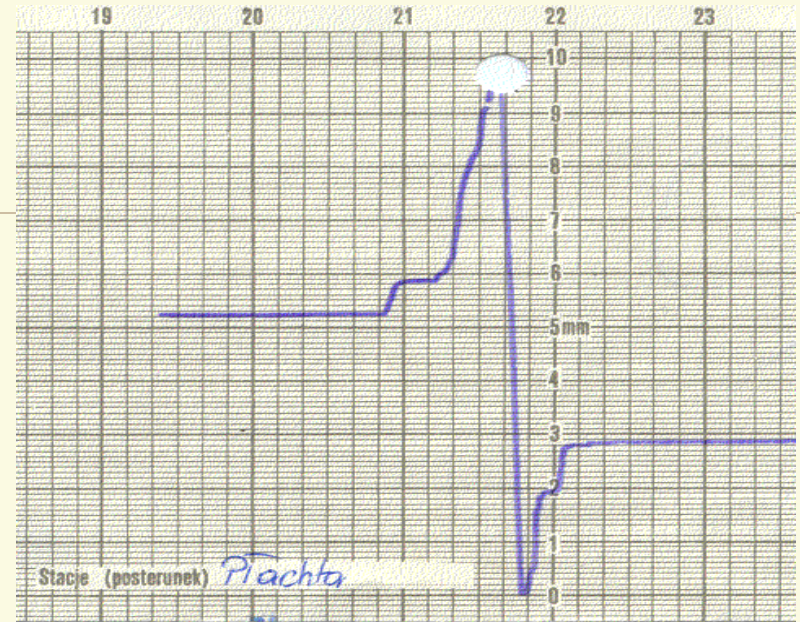
Deszcze rozdzielone 6-godzinną przerwą bez opadu lub z opadem mniejszym niż 1.3 mm uznawane są za deszcze oddzielne.

📄 Energia kinetyczna przedziału deszczu (Δt_i) o stałym natężeniu:

📄
$$E_{ki} = (206 + 87 \log I_i) \cdot P_i$$

📄 Energia kinetyczna całego deszczu:

📄
$$E_k = \sum E_{ki}$$



Reasumując - dla wyznaczenia średnie rocznej erozyjności deszczy - R_r należy:

☰ wybrać deszcze erozyjne (stosując kryterium USLE)

☰ wyznaczyć przedziały o stałych natężeniach, obliczyć dla nich $E_{ki}=f(I_i, P_i)$, a następnie E_k poszczególnych deszczy

☰ obliczyć erozyjności poszczególnych deszczy

$R_{rj}=f(E_k, I_{30})$, a następnie wartości roczne (w roku l)

$$R_{rl} = \sum R_{rj}$$

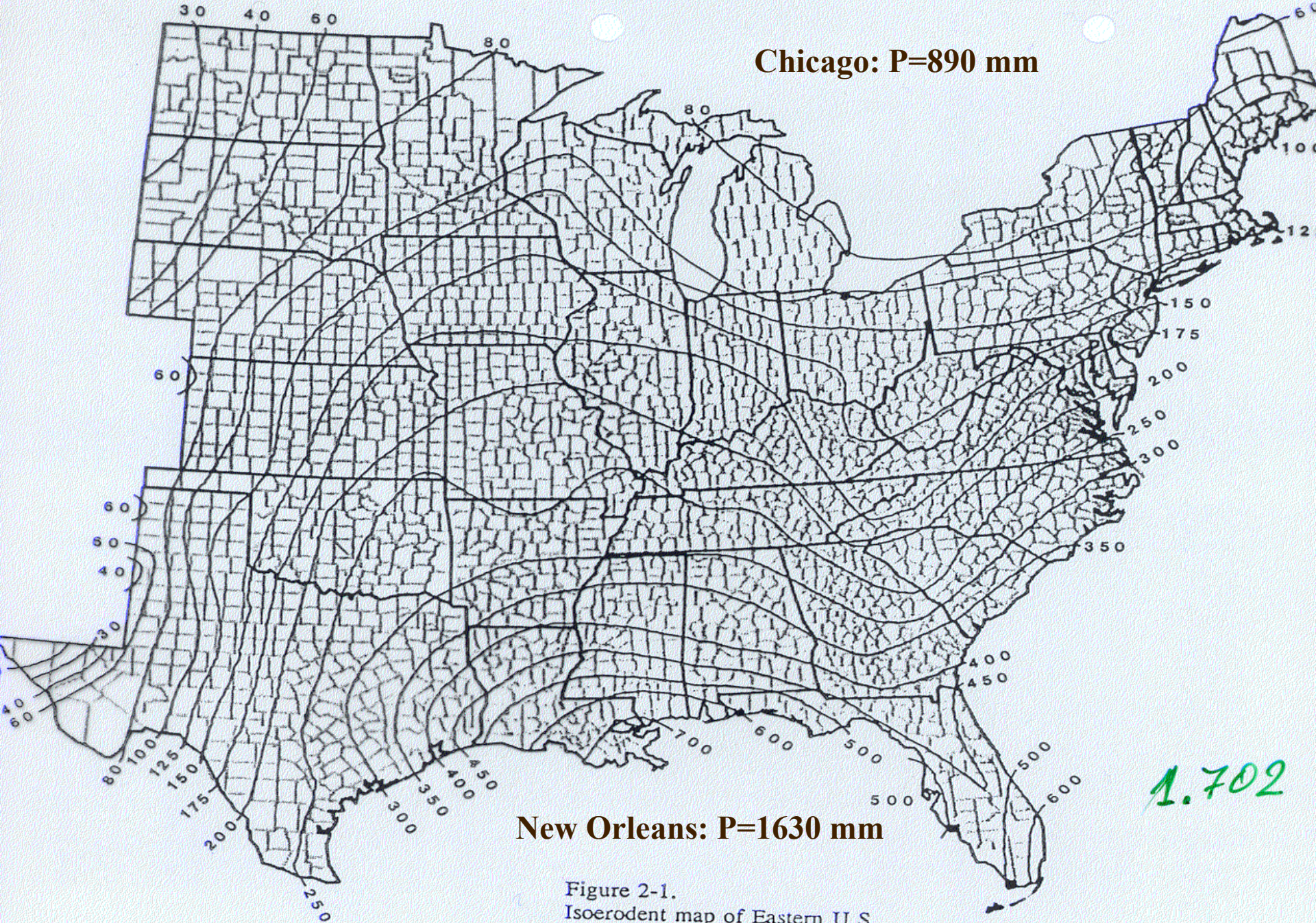
☰ wartość R_r wyznaczyć jako średnią arytm. z R_{rl}

Dalsze zagadnienia

dot. erozyjności:

- 1. Jak postępować jeśli okresowo nie prowadzono zapisu pluwiograficznego (np. z powodu awarii pluwiografu) ?**
- 2. Jak wyznacza się erozyjność okresu zimowego (wywołaną roztopami) ?**
- 3. Jak przedstawia się czasowy rozkład erozyjności ?**
- 4. Obszarowy rozkład erozyjności ?**

Chicago: P=890 mm



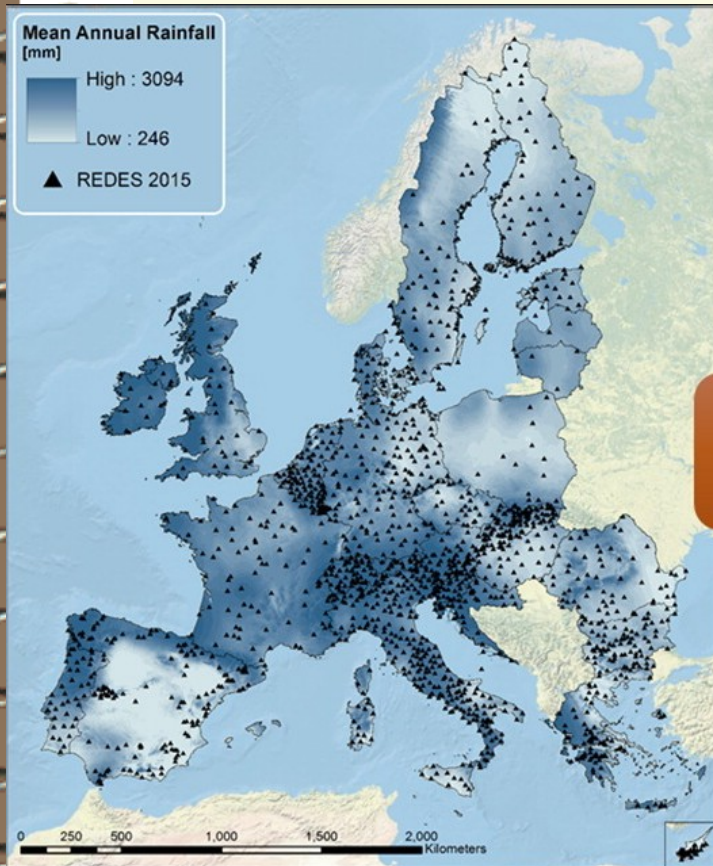
New Orleans: P=1630 mm

1.702

Figure 2-1.
Isoerodent map of Eastern U.S.

Mapping monthly rainfall erosivity in Europe

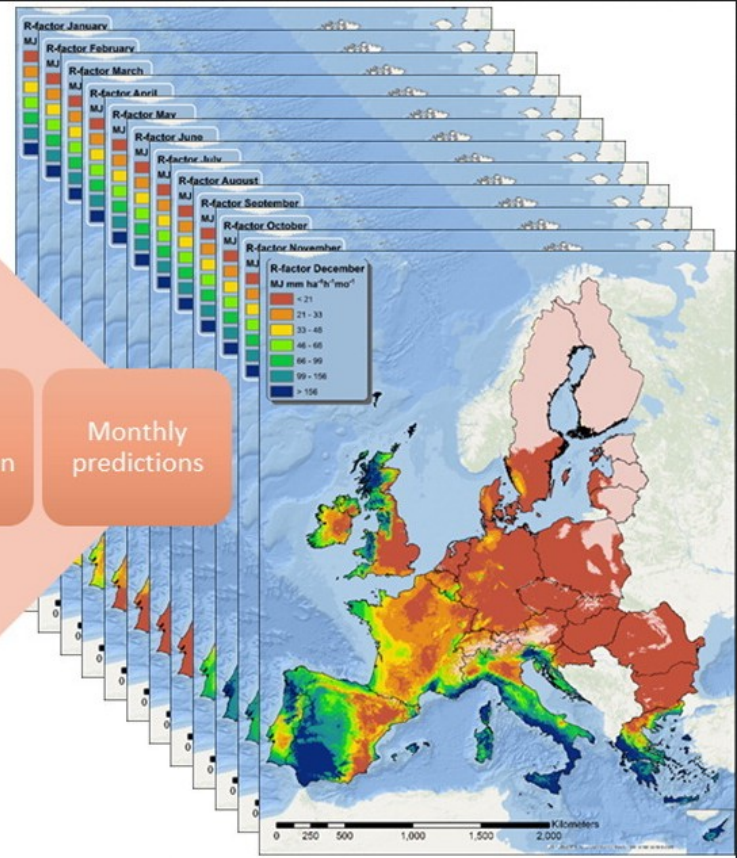
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969716325773>

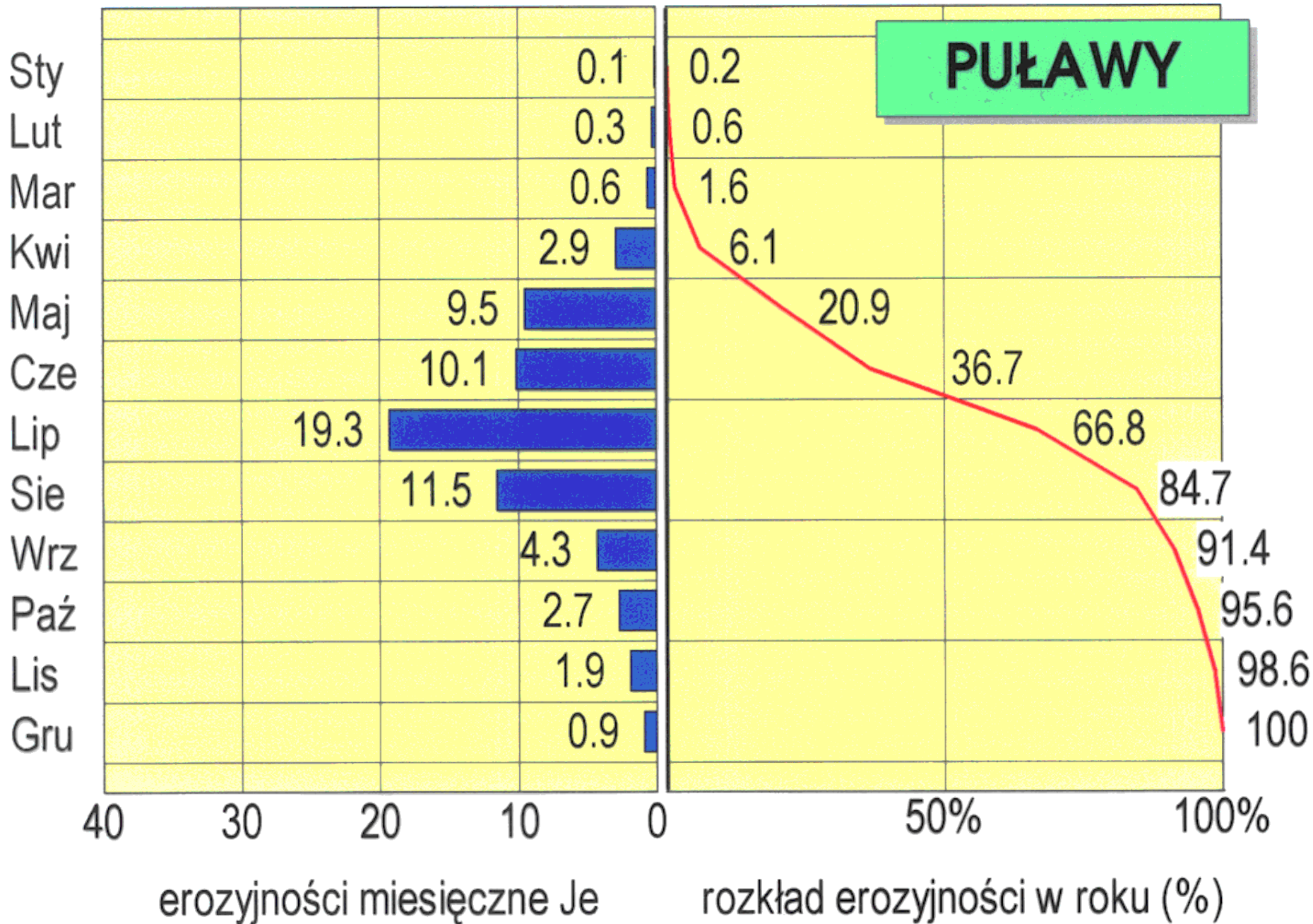


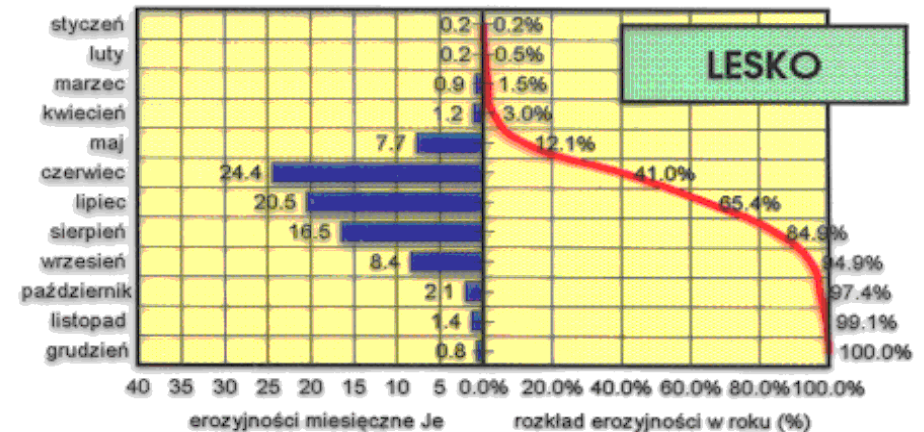
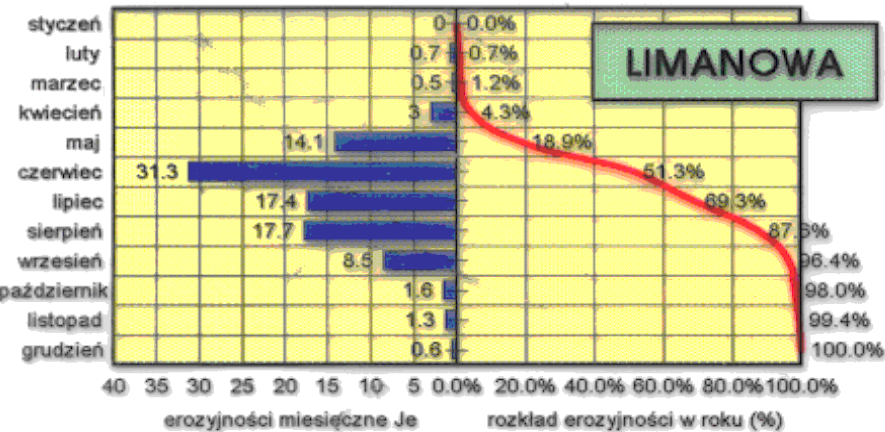
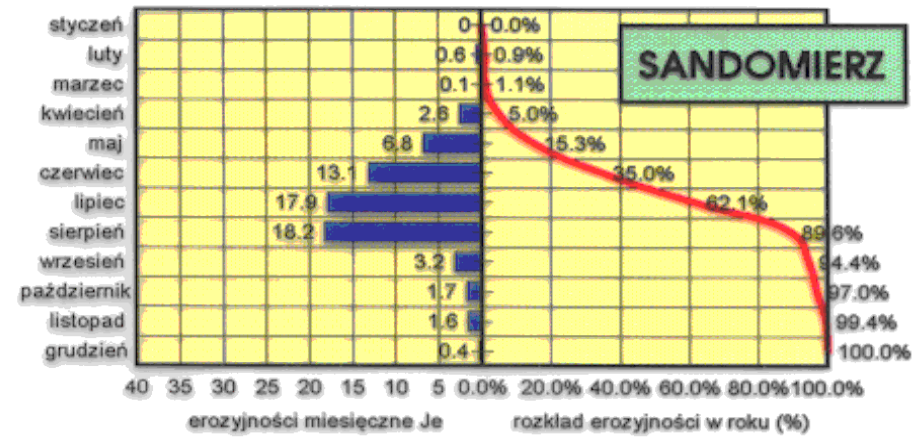
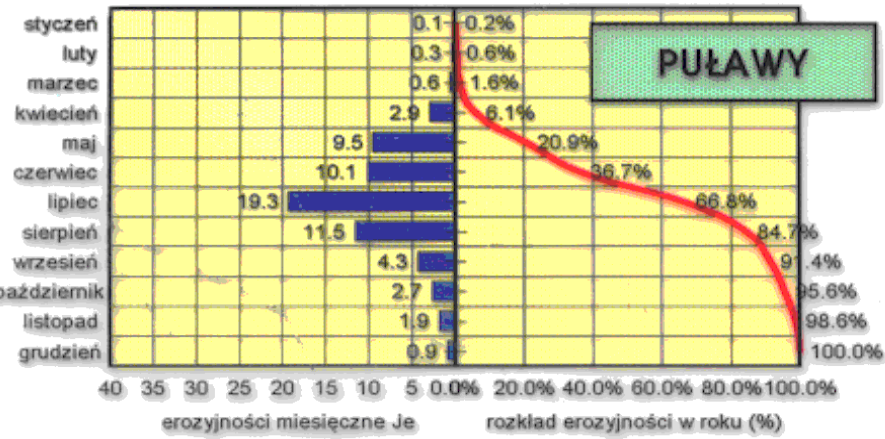
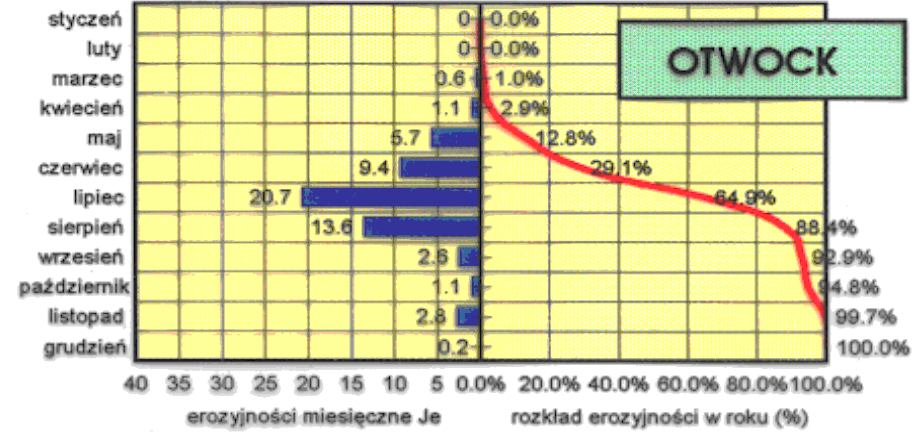
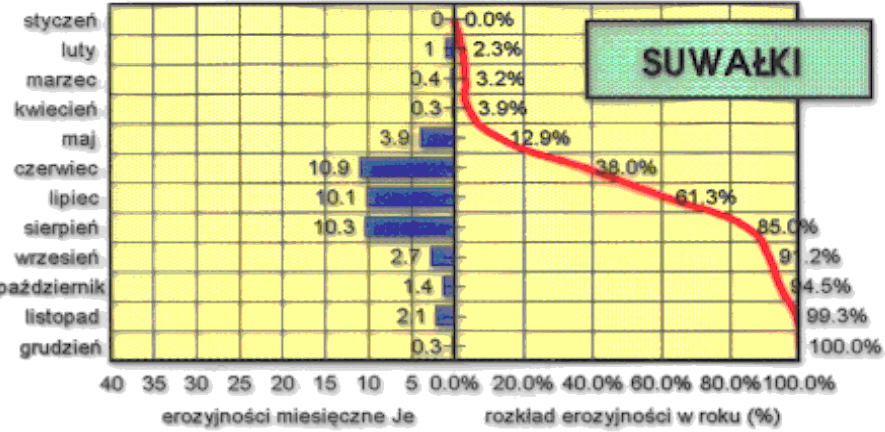
Measured monthly R-factor

Spatial Interpolation

Monthly predictions

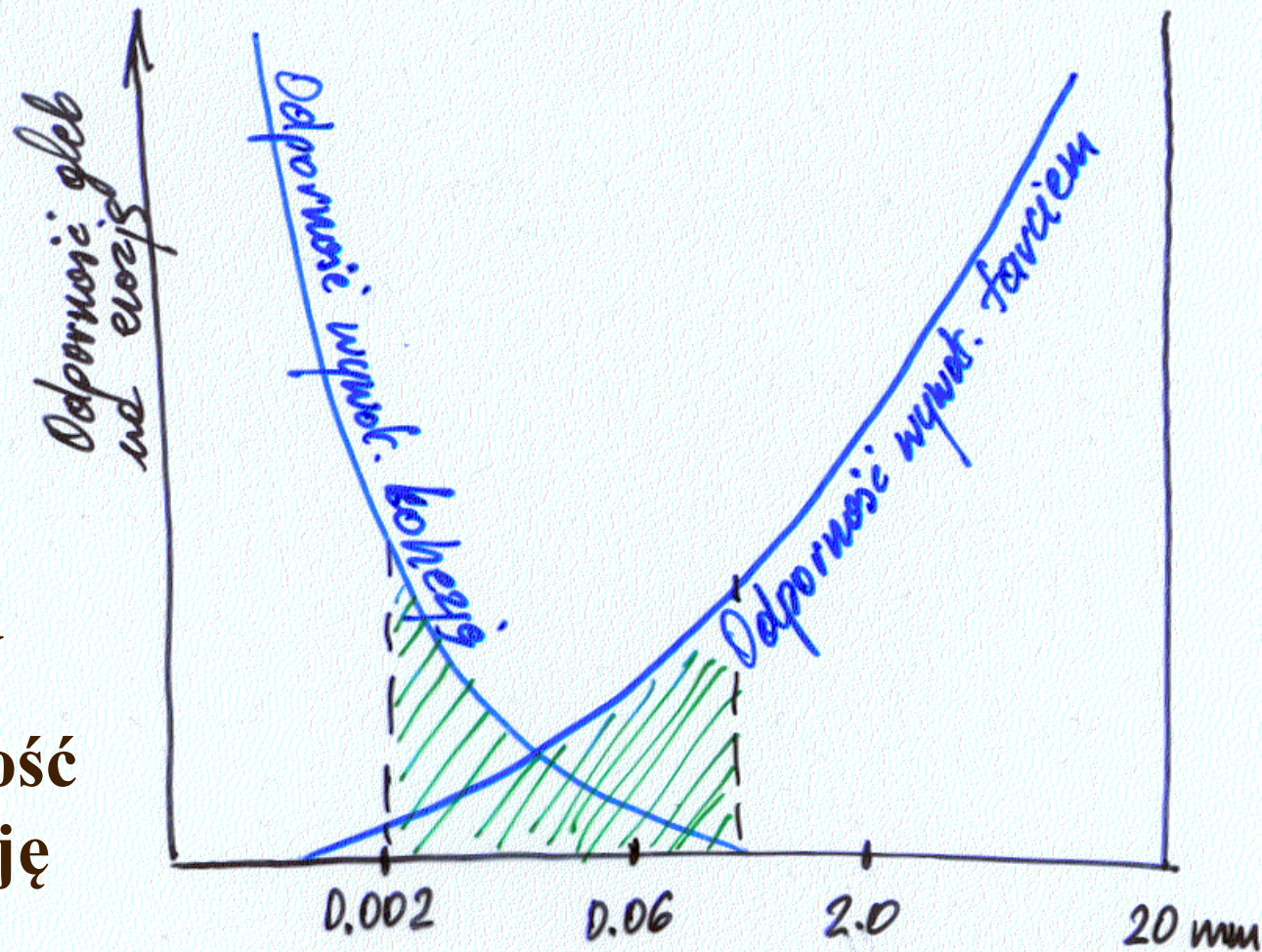






Gleby

- odporność
na erozję



† il † pył † piasek † żwir †

Podatność gleb na erozję

Równanie strat glebowych dla warunków wzorcowego poletka:

$$E = R \cdot K$$

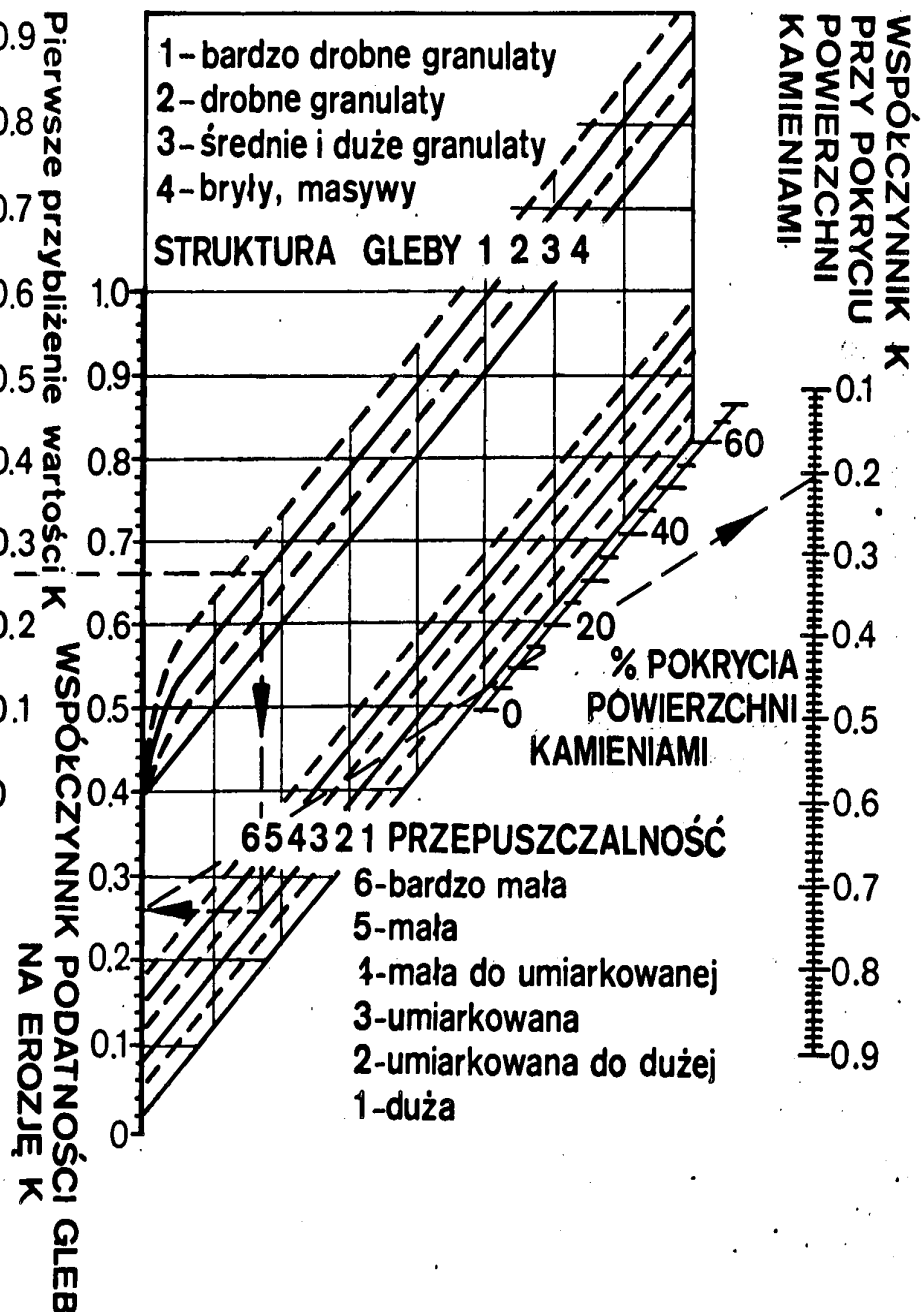
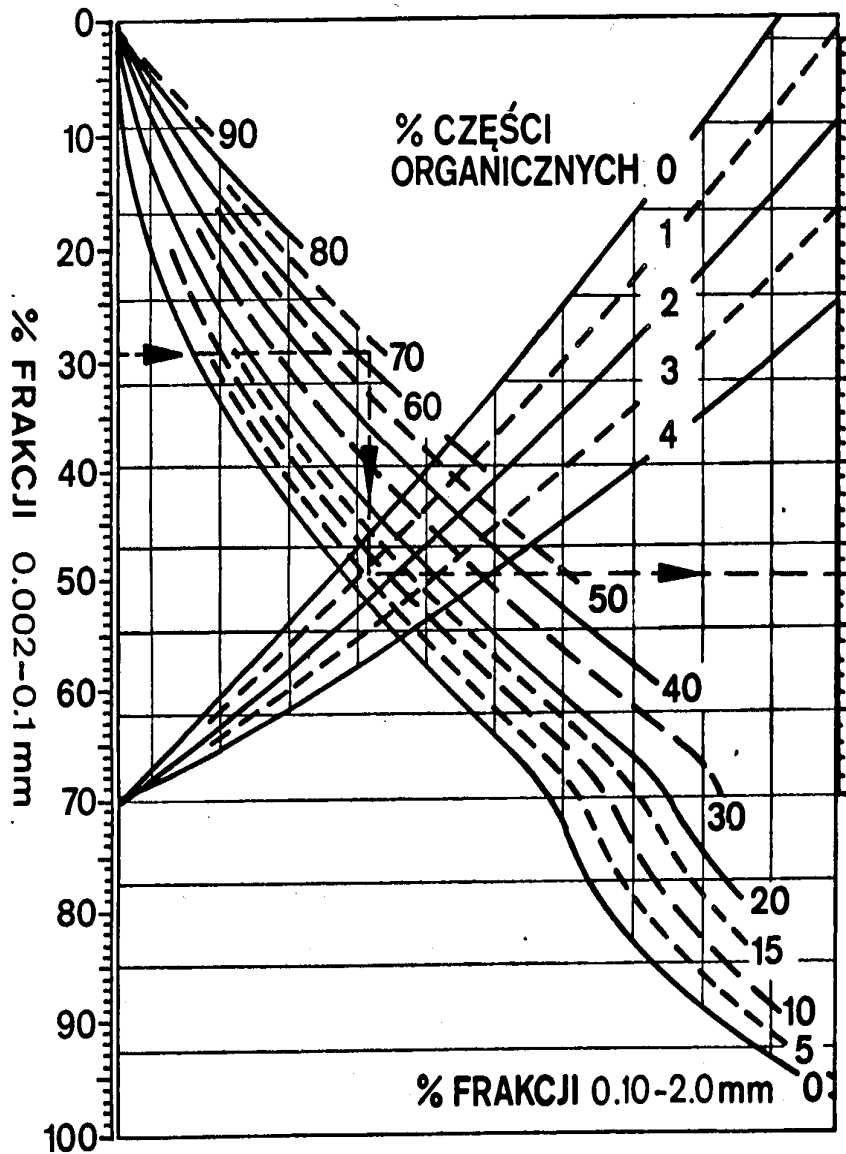
$$(\text{Mg} \cdot \text{rok}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1}) = (\text{Je} \cdot \text{rok}^{-1}) \cdot (\text{Mg} \cdot \text{Je}^{-1} \cdot \text{ha}^{-1})$$

Pomiary ilości erodowanej gleby (E) przy znanej erozyjności R pozwoliły ustalić wartość parametru podatności gleb na erozję - K:

$$K = E / R$$

Znajomość K dla różnych gleb, umożliwiła związanie tego parametru z charakterystykami gleb takimi jak:

- skład mechaniczny
- zawartość części organicznych
- struktura
- przepuszczalność



Erozja wąwózowa – czoło wąwozu







COON CREEK, Wisconsin, USA
1853–1938
(124.2 km²)

Źródła



(a)

Bilans rumowiska w zlewni rzecznej:

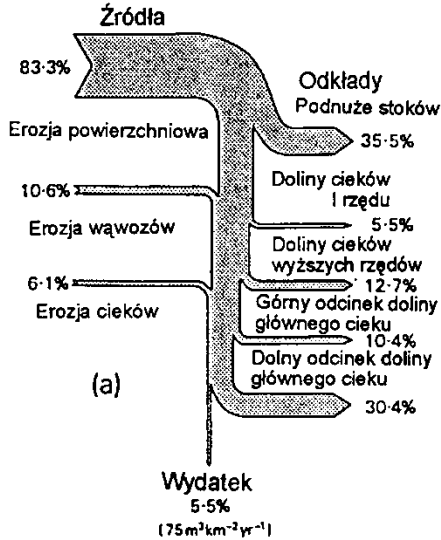
$E_{-tot} = Dep + Y$

E_{-tot} - Ilość materiału erodowanego w zlewni

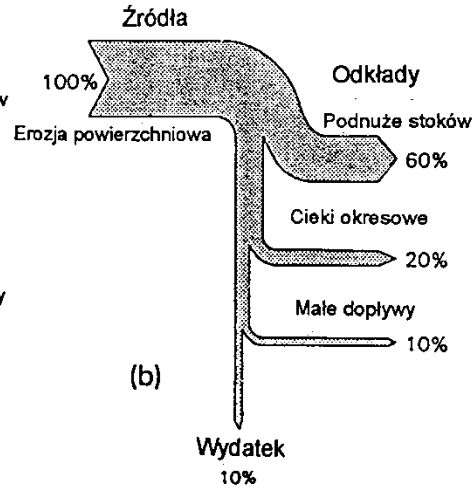
Dep - odkłady w zlewni (sedymentacja)

Y - wydatek (odpływ ze zlewni)

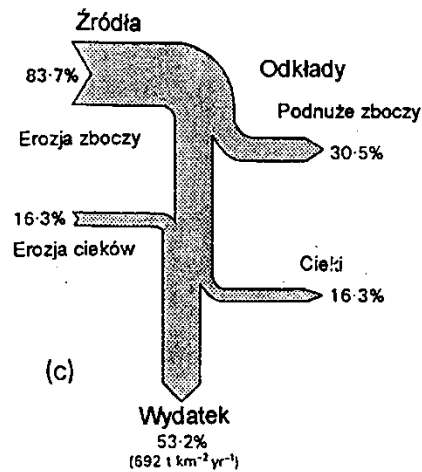
COON CREEK, Wisconsin, USA
1853-1938
(124.2 km²)



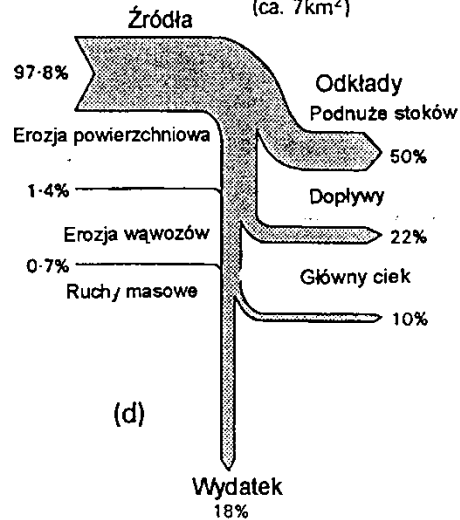
ZLEWNIA RZEKI OKI
ROSJA



LONE TREE CREEK,
California, USA
1971-1974 (1.74 km²)



ARROYO de LOS FRIJOLES,
NOWY MEKSYK, USA 1961-1964
(ca. 7 km²)



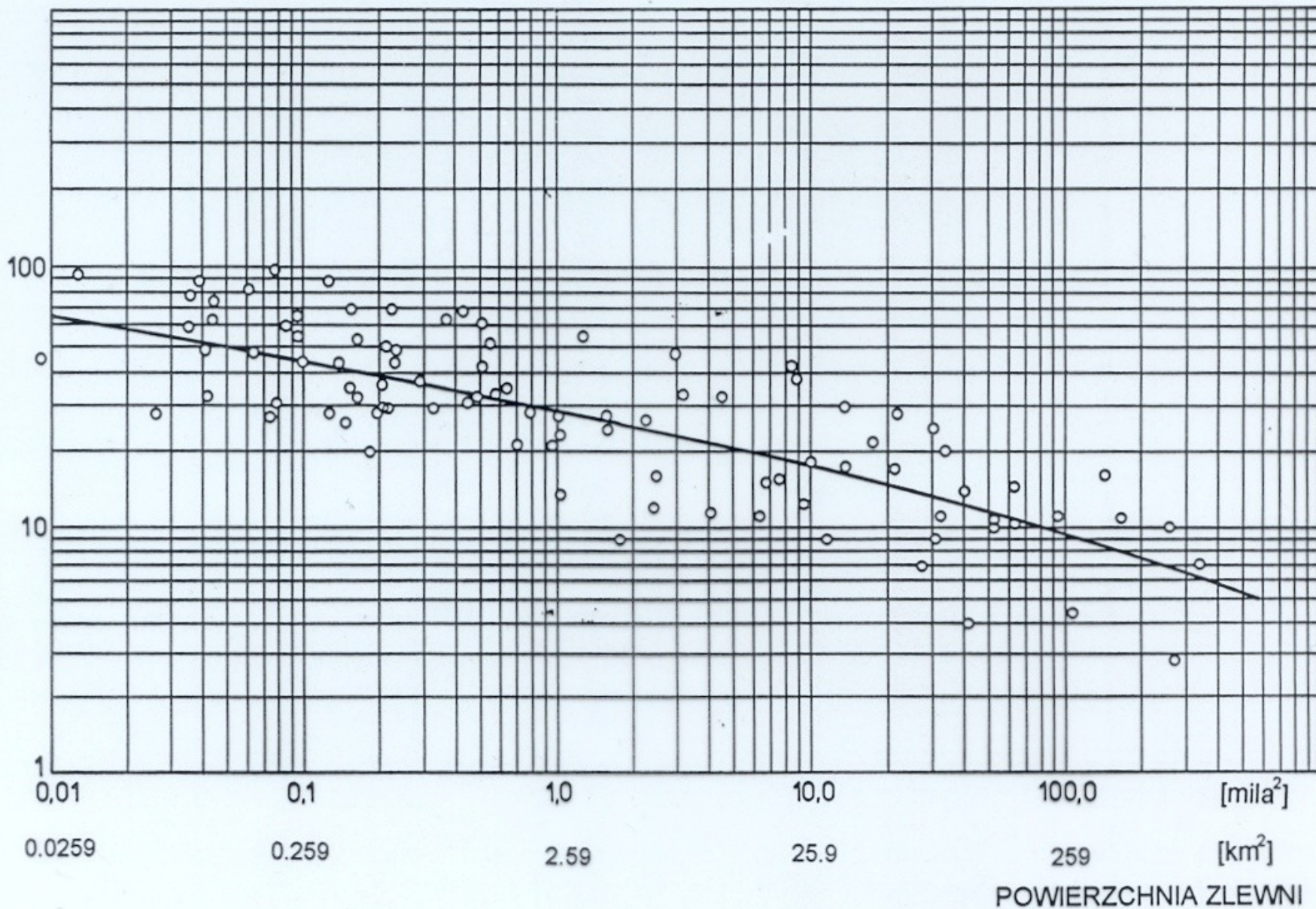
Wskaźnik dopływu rumowiska
- DR (Delivery Ratio)

$$DR = Y/E_{\text{tot}}$$

Y - wydatek (odpływ rumowiska ze zlewni)

E_{tot} - całkowita ilość erodowanego materiału w zlewni

WSPÓŁCZYNNIK DOPŁYWU RUMOWISKA DR [%]



Zależności współczynnika dopływu rumowiska (DR) od wielkości zlewni (Roehl, 1962)

Roczna masa rumowiska unieszonego odpływającego za zlewni:

$$Y_r = DR \cdot E_z$$

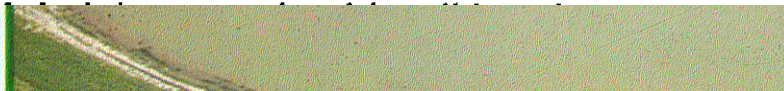
Y_r - masa rumowiska (t)

DR - wskaźnik dopływu rumowiska (-)

E_z - roczna masa gleby erodowanej w zlewni (t)



10. Metody oceny erozji powierzchniowej i akumulacji rumowiska w zbiornikach – <i>Kazimierz Banasik, Jan Skibiński, Dariusz Górski</i>	63
a. Ocena ilościowa rumowiska unoszonego w korycie rzeczonym	63
b. Ocena ilościowa rumowiska wleczonego w korycie rzeczonym	72
II. c. Rozkład osadów w zbiorniku	75
<hr/>	
10. Obliczanie akumulacji rumowiska w zbiorniku Staw Górny – <i>Kazimierz Banasik, Dariusz Górski, Jan Skibiński</i>	136
a. Rumowisko dostarczane do zbiornika	136
III. Rozkład osadów w zbiorniku Staw Górny	141



Dziękuję za uwagę

The Second International Forum on Soil and Water Conservation (2nd IFSWC) and ICCE Symposium

- **27-31.08.2018** Moskwa

- <http://www.eng.geogr.msu.ru/IYFWC>
- kazimeirz_banasik@sggw.pl