

ZASTOSOWANIE MODELU SOIL AND WATER ASSESSMENT TOOL (SWAT) DO BADANIA EROZJI GLEB W ZLEWNI WAPIENICY – WYNIKI PRACY DOKTORSKIEJ



dr Joanna Piasecka-Rodak, IETU

20 maja 2021

Tytuł rozprawy doktorskiej:

„Dostawa materiału transportowanego w zawieszynie do koryt potoków w warunkach zróżnicowanej i zmieniającej się antropopresji na przykładzie zlewni rzeki Wapienicy”

Rozprawa doktorska wykonana pod kierunkiem

dr hab. Jolanty Świąchowicz, prof. UJ

w Zakładzie Geomorfologii Instytutu Geografii i Gospodarki Przestrzennej

Promotor pomocniczy dr Joachim Bronder

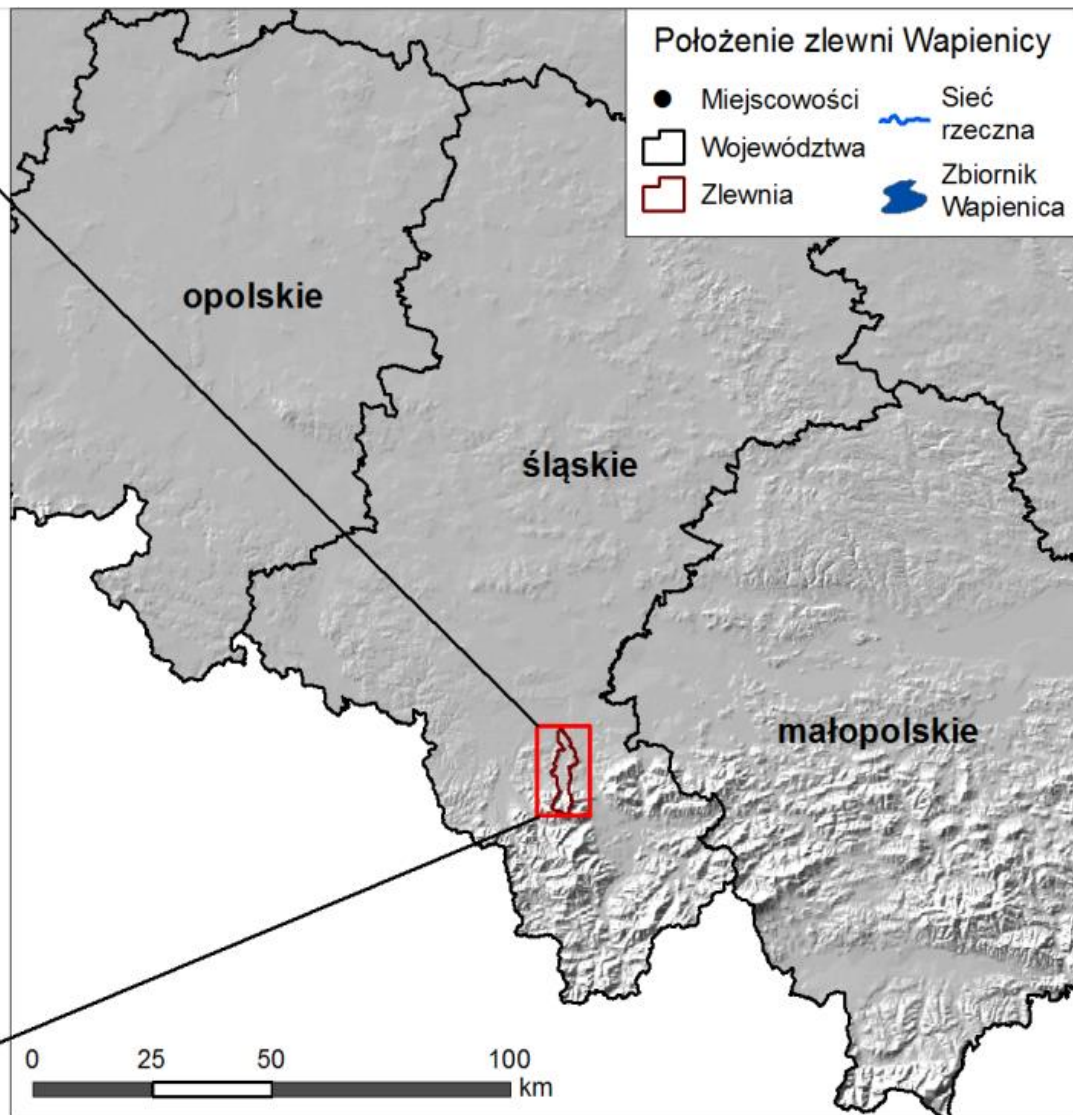
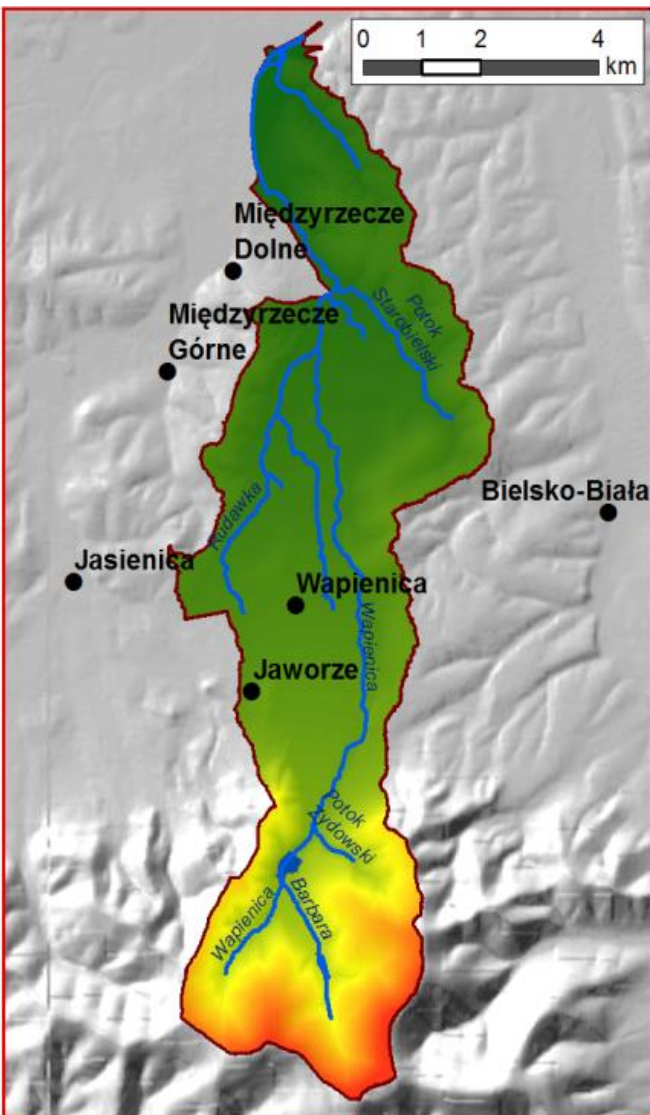
CEL PRACY

Poznanie wielkości dostawy materiału transportowanego w zawieszynie do koryt potoków w warunkach zróżnicowanej i zmieniającej się antropopresji na przykładzie zlewni Wapienicy

CELE SZCZEGÓŁOWE

- Poznanie natężenia erozji wodnej gleby w nawiązaniu do typu rzeźby i użytkowania ziemi w zlewni
- Poznanie wpływu rzeźby i użytkowania terenu na lokalizację i zróżnicowanie miejsc dostawy zawiesiny do transportu fluwialnego
- Poznanie wpływu antropopresji na liczbę miejsc dostawy, uwzględniające rodzaje działalności człowieka oraz wyróżnienie etapów antropopresji

OBSZAR BADAŃ - POŁOŻENIE

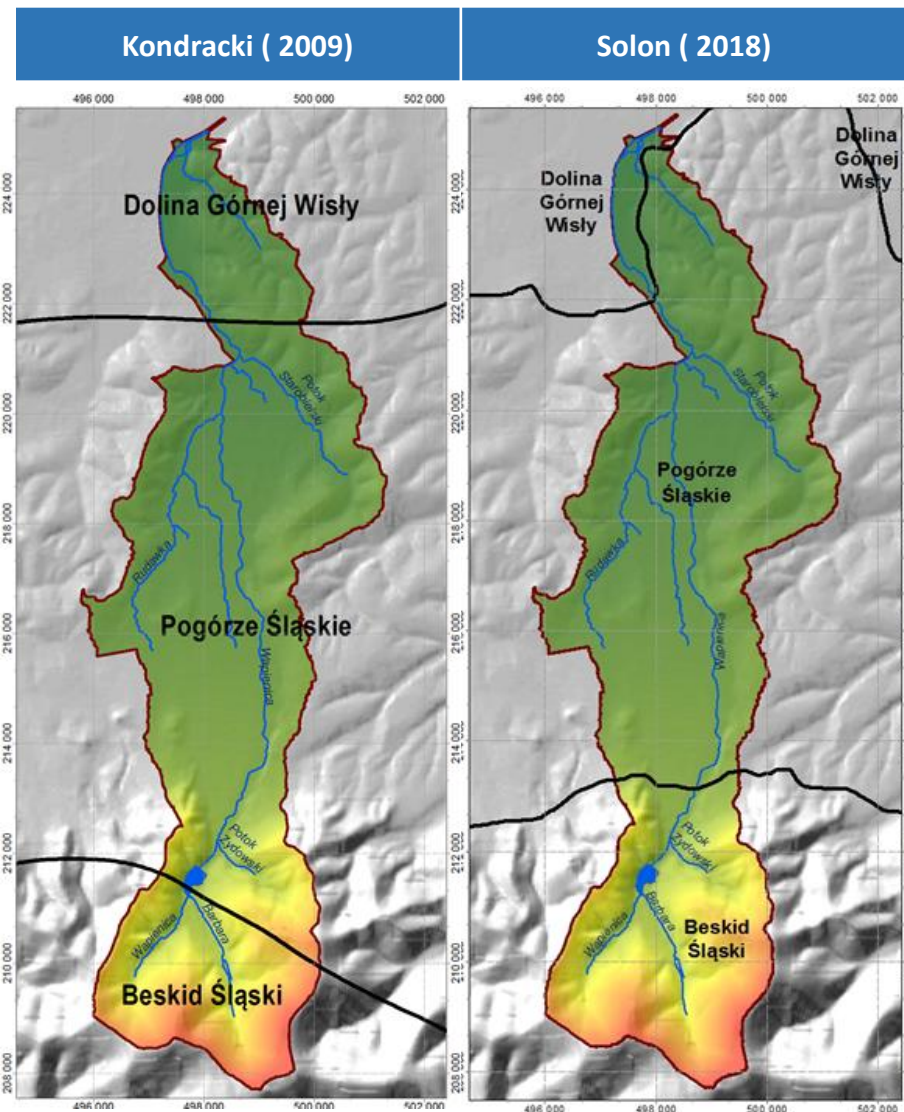


Źródło danych: Granica zlewni Wapienicy wygenerowana w programie SWAT, Centralny Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej, Państwowy Rejestr Granic, Jednostki Administracyjne, Centralna Baza Danych Geologicznych, Numeryczny Model Terenu LPIS – Cieniowanie, geoportal.gov.pl

OBSZAR BADAŃ – POŁOŻENIE FIZYCZNOGEOGRAFICZNE

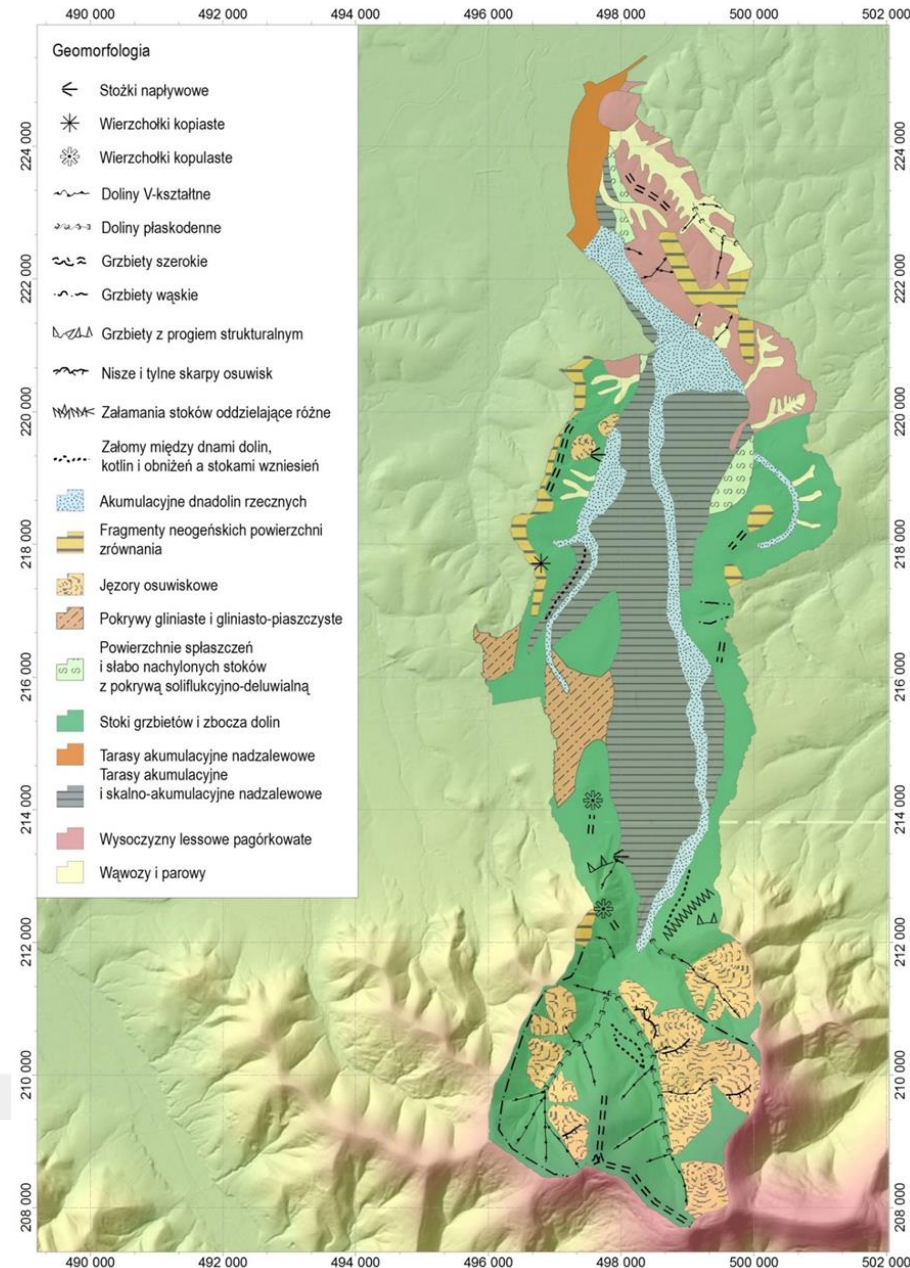
Zlewnia leży na obszarze trzech mezoregionów:

- Beskid Śląski
- Pogórze Śląskie
- Dolina Górnej Wisły



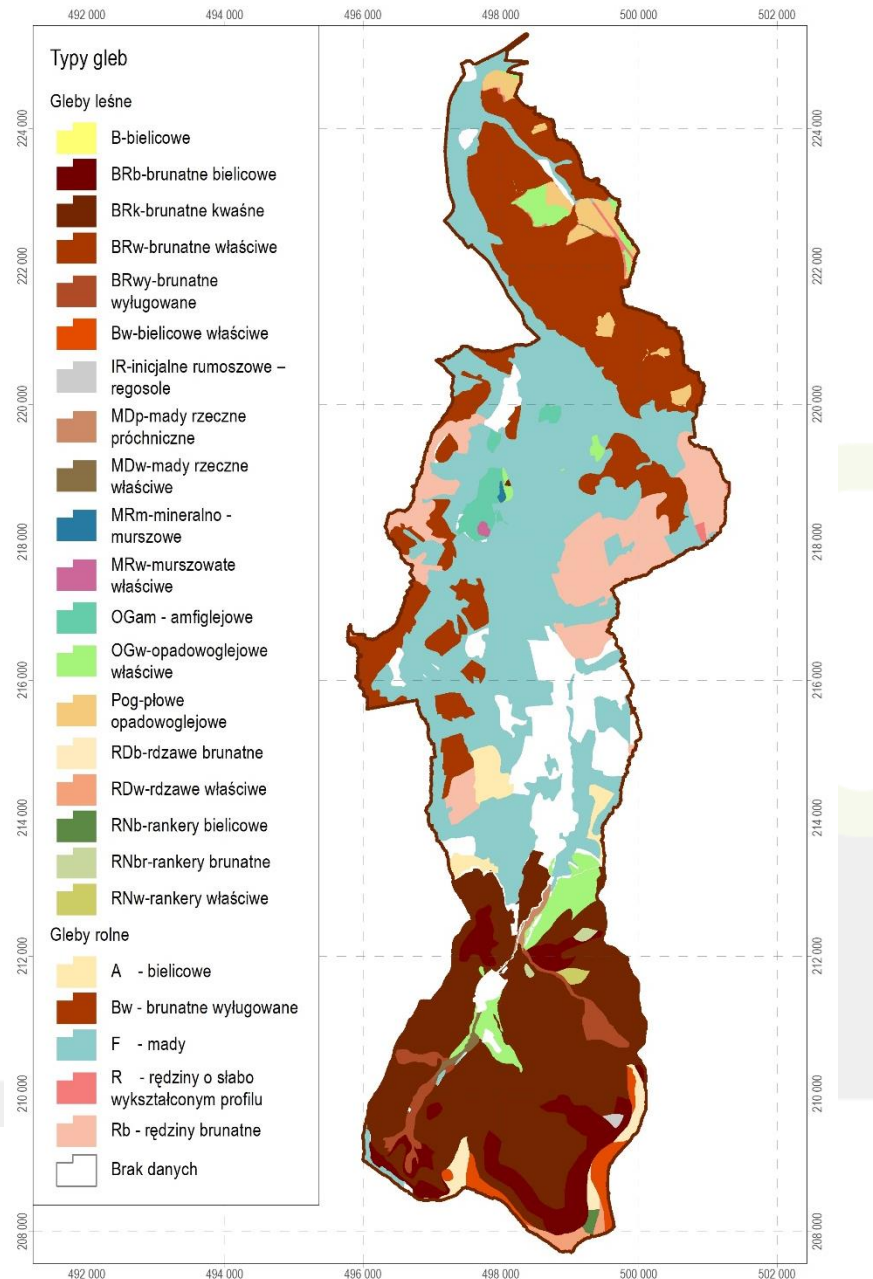
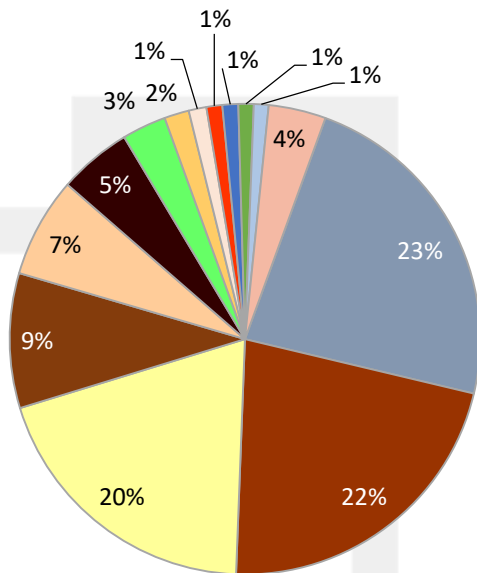
OBSZAR BADAŃ – RZEŻBA

- Beskid Śląski
Rzeźba nisko- i średniogórska z kopulastymi wzniesieniami i głęboko wciętymi dolinami
- Pogórze Śląskie
Obszar wyżynny o falistej powierzchni opadającej pod kątem 2°
- Dolina Górnej Wisły
Obszar równinny z niewielkimi deniwelacjami w części wschodniej, którą tworzy wysoczyzna lessowa



OBSZAR BADAŃ – GLEBY

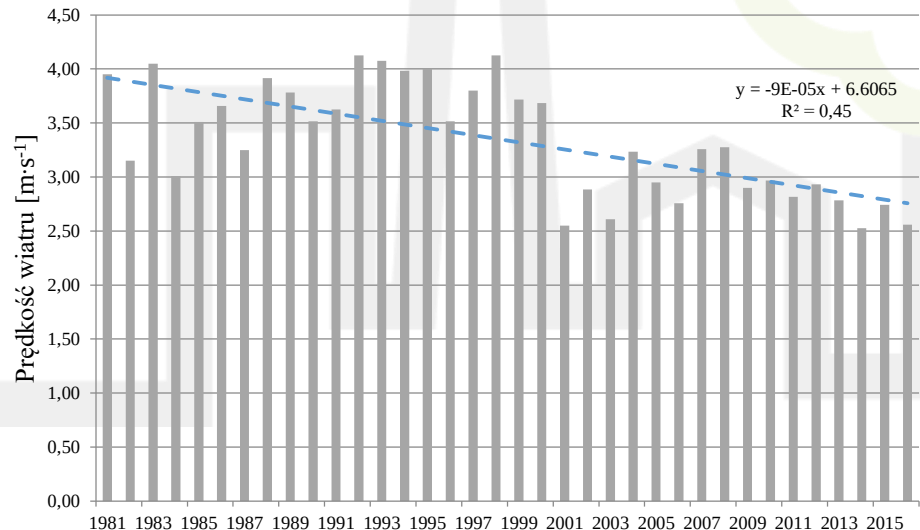
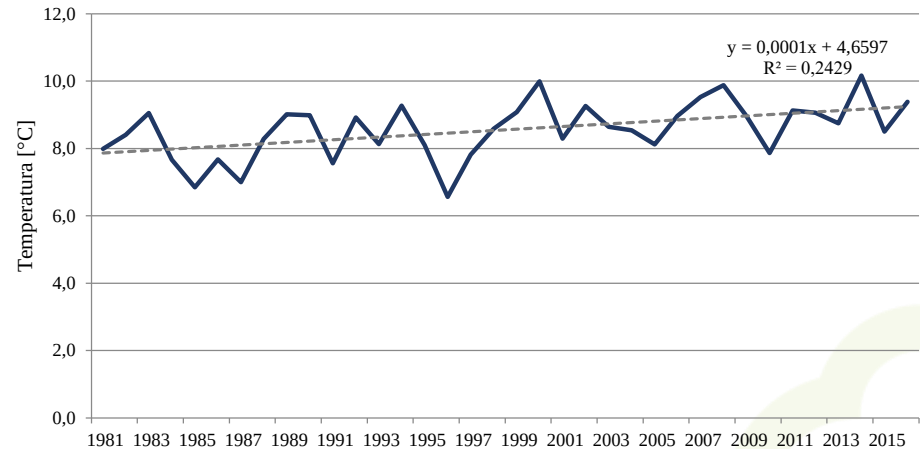
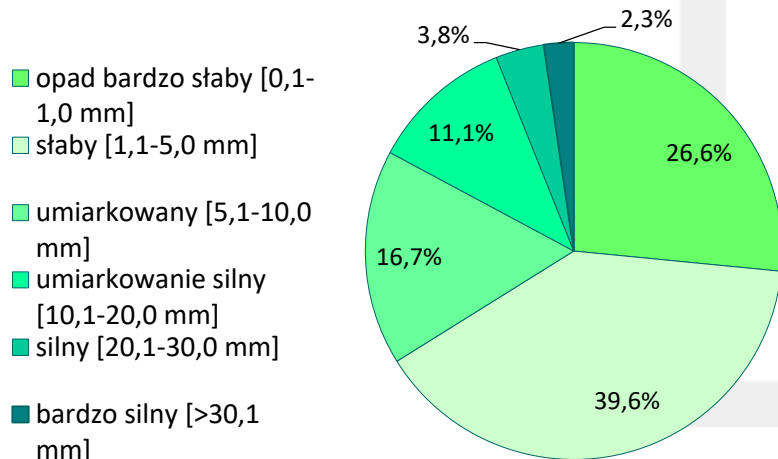
- Mady
- Brunatne kwaśne
- Bielice
- Brunatne wylugowane
- Rędziny brunatne
- Brunatne bielice
- Opadowoglejowe właściwe
- Płowe opadowoglejowe
- Rdzawe brunatne
- Bielice właściwe



OBSZAR BADAŃ – KLIMAT

W zlewni Wapienicy występują trzy piętra klimatyczne:

- chłodne (część beskidzka)
- umiarkowanie chłodne (część pogórska)
- umiarkowanie ciepłe (część kotlin)

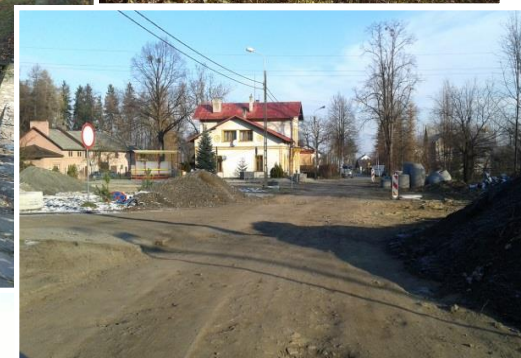


OBSZAR BADAŃ – UŻYTKOWANIE ZIEMI

FORMY ANTROPOPRESJI

OBSZAR ŚREDNIOGÓRSKI:

DROGI I SZLAKI ZRYWKOWE, SZLAKI PIESZE,
SZTUCZNE KANAŁY, CZĘŚCIOWA ZABUDOWA
HYDROTECHNICZNA KORYTA, ZBIORNIK
RETENCYJNY



OBSZAR POGÓRSKI:

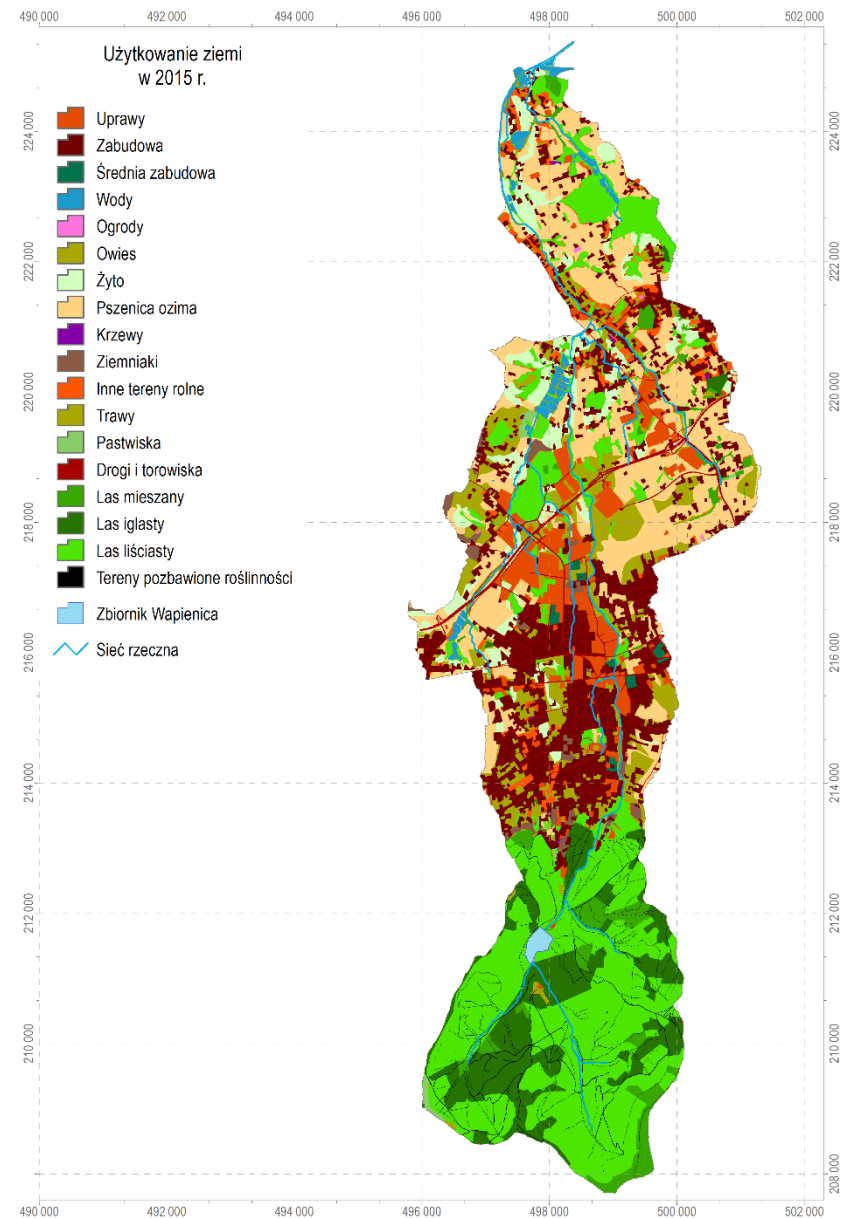
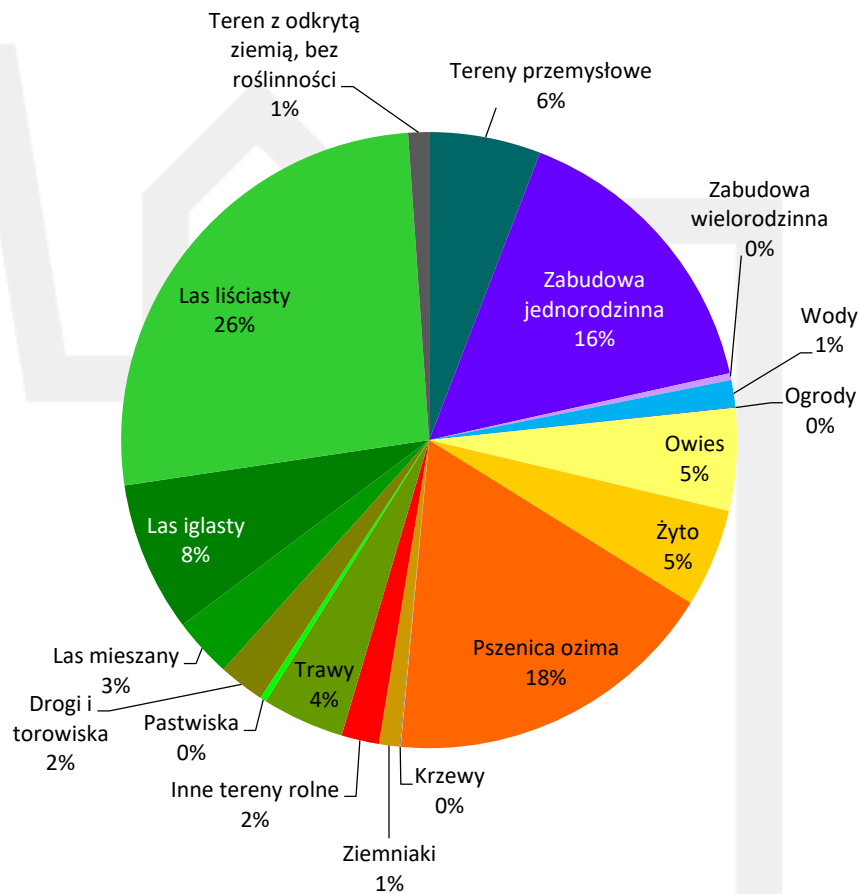
ZABUDOWA MIESZKANIOWA
I PRZEMYSŁOWA, DROGI UTWARDZONE,
ZABETONOWANE PLACE PRZEŁADUNKOWE,
PARKINGI, KANALIZACJA DESZCZOWA,
CZĘŚCIOWE UREGULOWANIE KORYTA

OBSZAR KOTLIN PRZEDGÓRSKICH:

ROLNICTWO, MELIORACJE, ZABUDOWA
HYDROTECHNICZNA KORYTA



OBSZAR BADAŃ – UŻYTKOWANIE ZIEMI



METODY BADAŃ

METODY BADAŃ EROZJI GLEB

```
graph TD; A[METODY BADAŃ EROZJI GLEB] --> B[TERENOWE]; A --> C[LABORATORYJNE]; A --> D[MODELE];
```

TERENOWE

LABORATORYJNE

MODELE

GROMADZENIE DANYCH DO WALIDACJI MODELU SWAT

POMIARY TERENOWE:

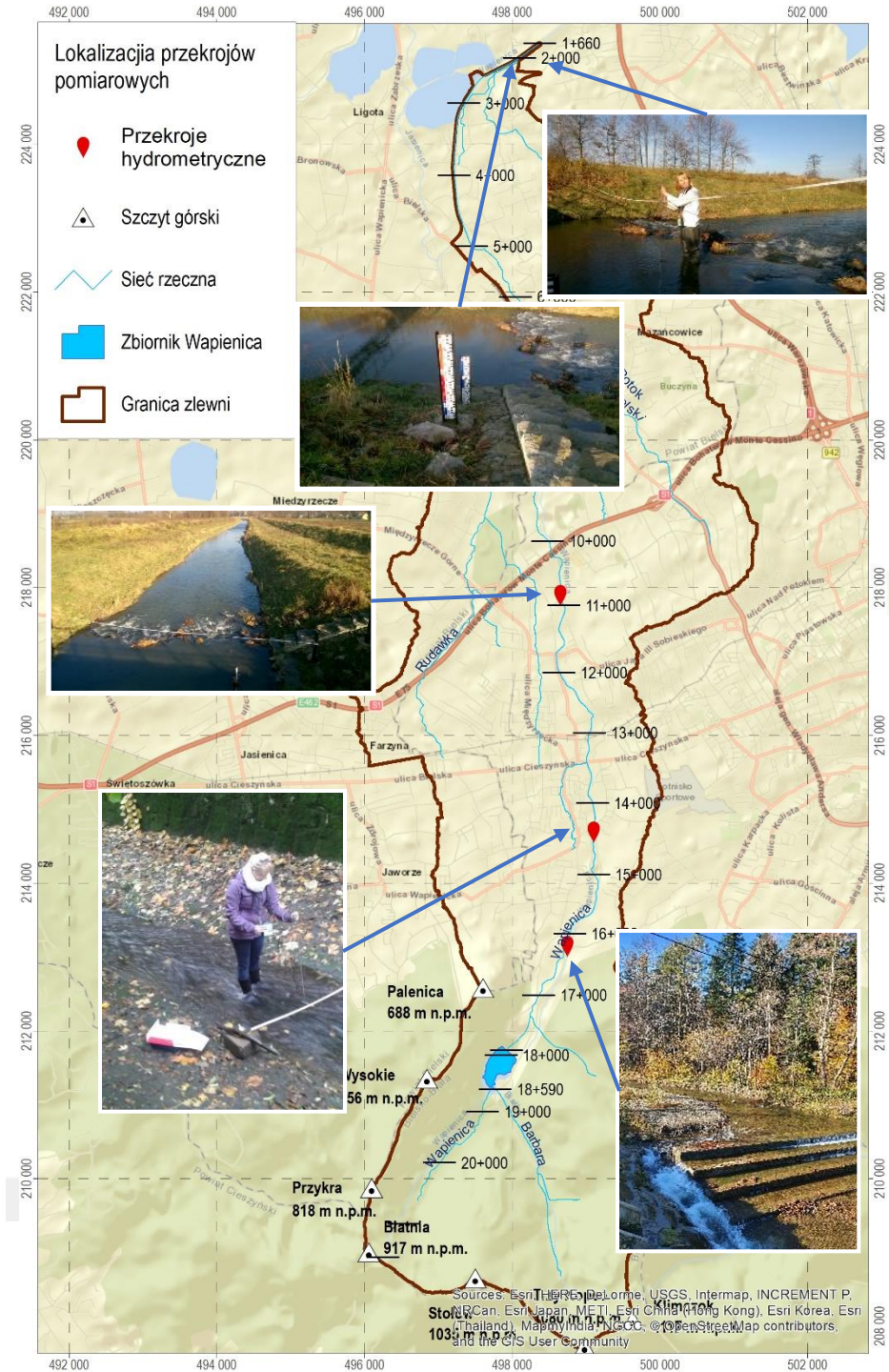
- POMIARY MŁYŃKIEM HYDROMETRYCZNYM W WYZNACZONYCH PRZEKROJACH
- POBIERANIE PRÓBEK WODY

POMIARY LABORATORYJNE:

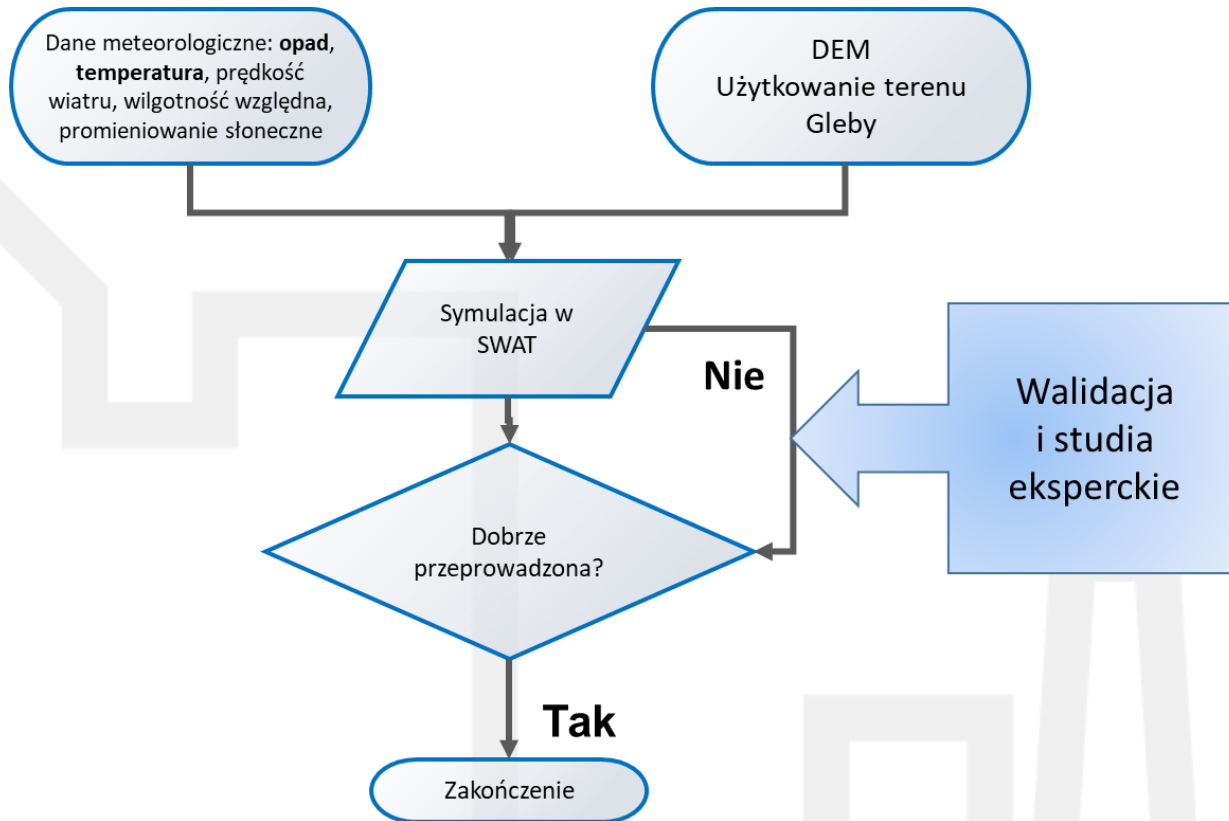
- POMIARY SUSZARKOWO-WAGOWE ZAWIESINY [$\text{MG} \cdot \text{DM}^{-3}$]

OBLICZENIA KAMERALNE:

- OBLICZENIE NATĘŻENIA PRZEPŁYWU Q [$\text{M}^3 \cdot \text{S}^{-1}$] ORAZ MASY RUMOWISKA UNOSZONEGO R_D [$\text{KG} \cdot \text{DOBA}^{-1}$]



Model SWAT – etapy modelowania



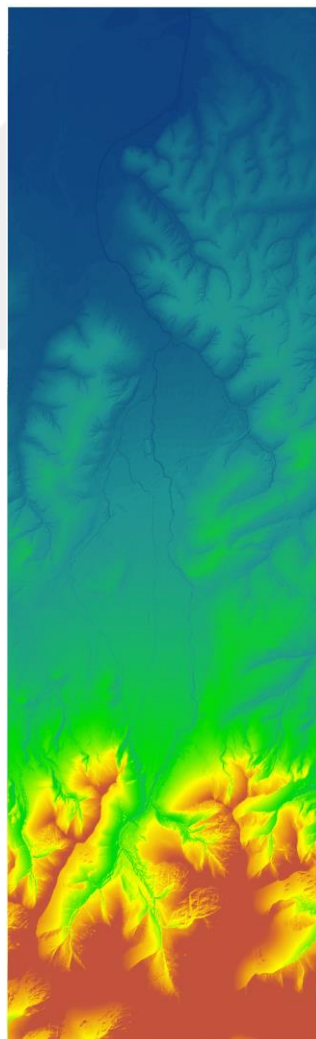
$$SW_t = SW_o + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_s - W_{seepage} - ET - Q_{gw})$$

$$sed = 11,8 \cdot (Q_{surf} \cdot q_{peak} \cdot areahru)^{0,56} \cdot K_{USLE} \cdot C_{USLE} \cdot P_{USLE} \cdot LS_{USLE} \cdot CFRG$$

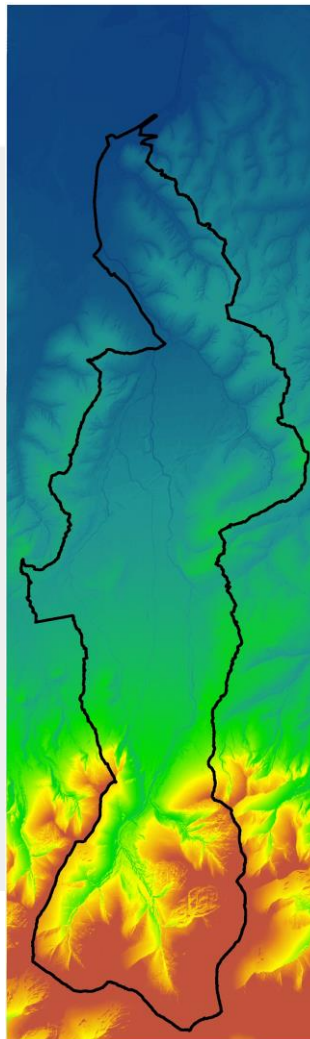
MODEL SWAT – ETAPY MODELOWANIA

Numeryczny Model Terenu o rozdzielczości 1m

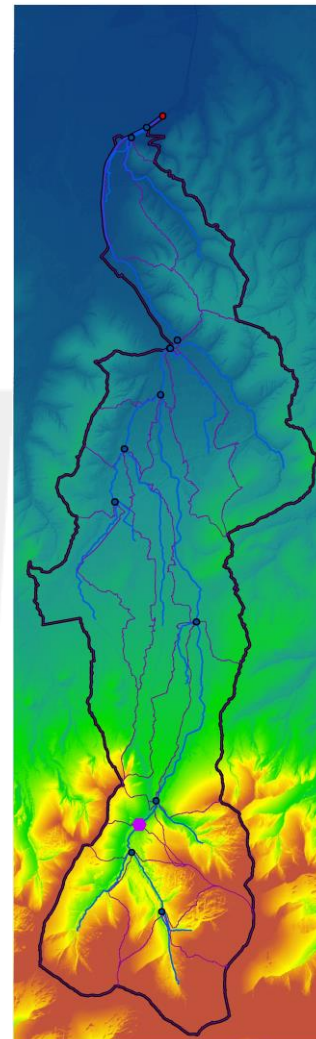
NMT



wododział



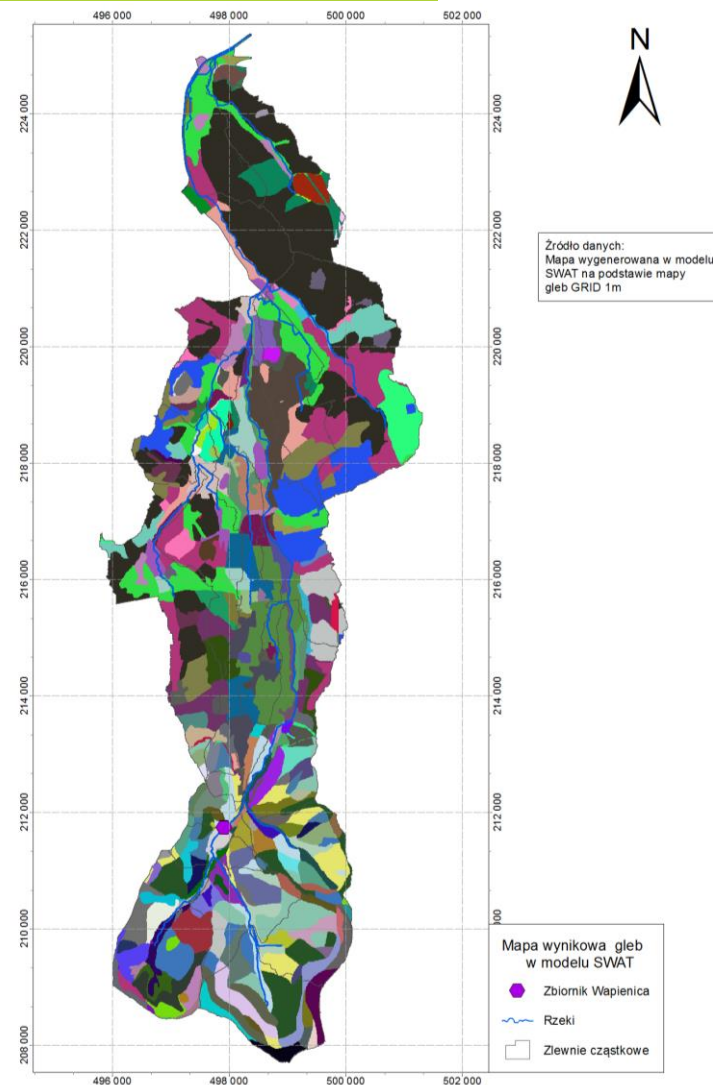
zlewnie i ciek



MODEL SWAT – ETAPY MODELOWANIA

Mapa gleb wraz z tabelą zawierającą **274** kombinacje gatunków gleb (skład granulometryczny). Każda z kombinacji zawiera klasę hydrologiczną, miąższość, zawartość węgla organicznego, zawartość łu, pyłu, piasku i frakcji żwirowo-kamienistej. Do wykonania mapy i tabeli wykorzystano:

- Mapę glebowo-rolniczą 1:25 000 IUNG,
- Dane z odkrywek glebowych, Lasy Państwowe,
- Dane z odkrywek glebowych, Państwowy Monitoring Środowiska,
- Szczegółową Mapę geologiczną Polski 1:50 000,
- Mapę geologiczną Polski 1: 200 000,
- Bank Danych o Lasach.



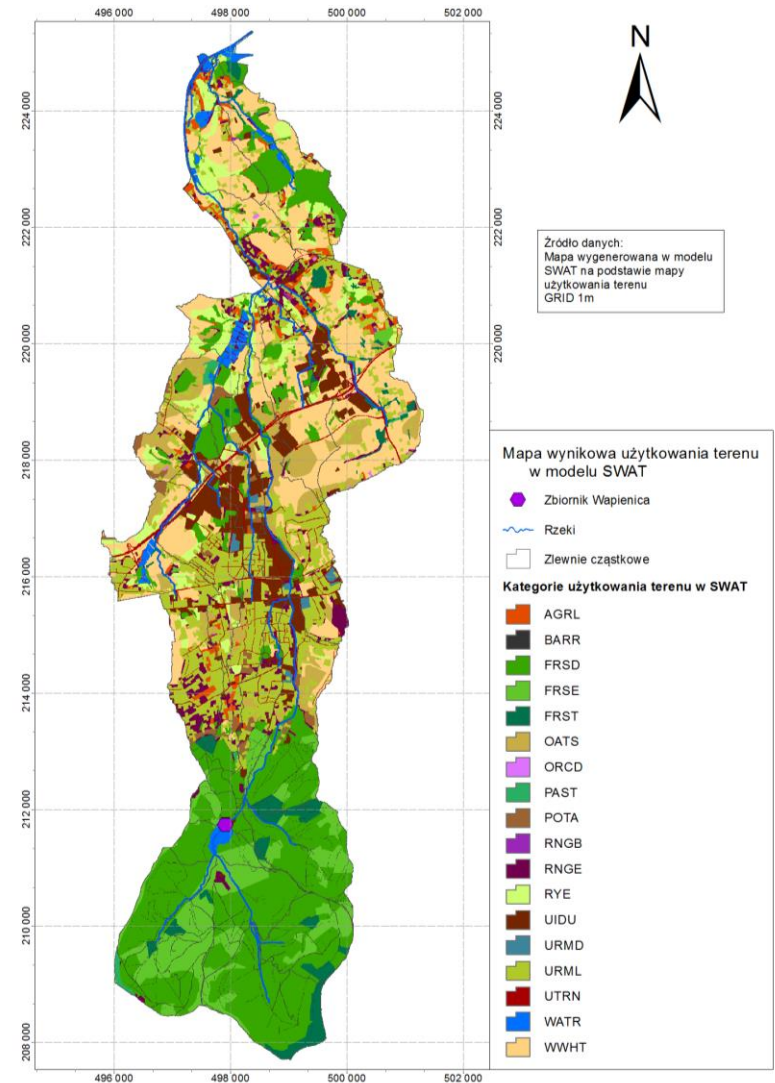
MODEL SWAT – ETAPY MODELOWANIA

Mapa użytkowania terenu w zlewni Wapienicy wraz z tabelą.

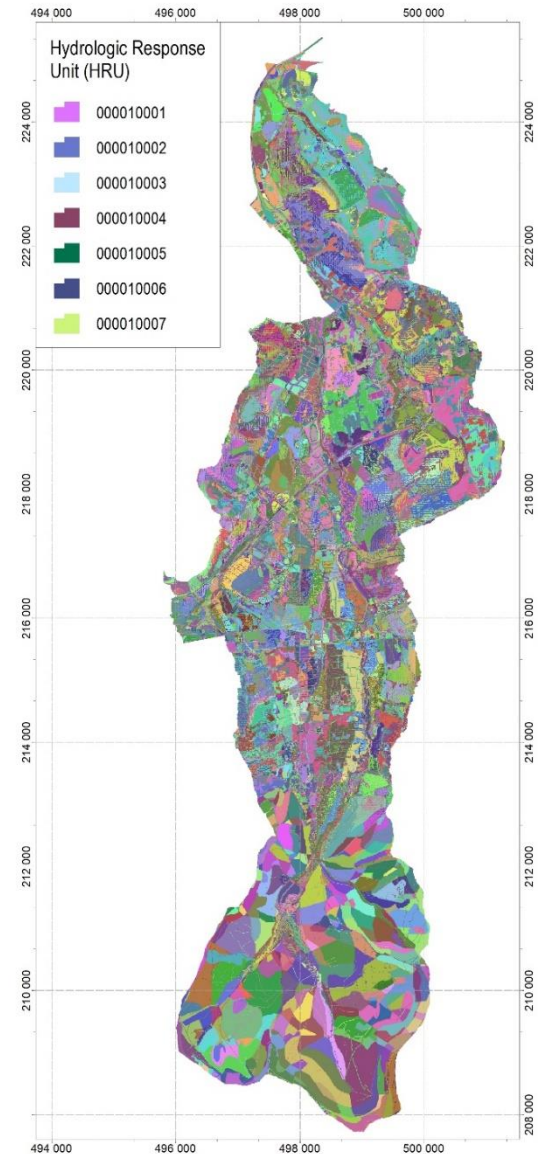
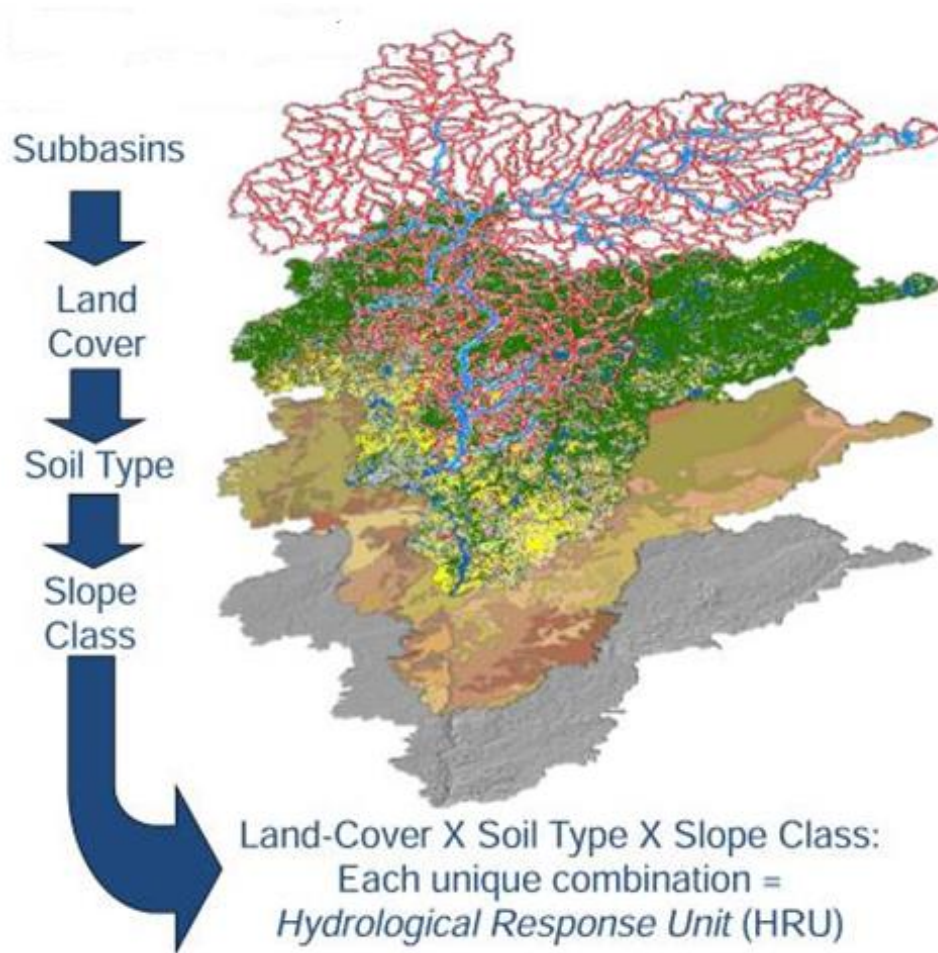
Wyodrębniono **18** kategorii użytkowania terenu na podstawie danych:

- Baza Danych Obiektów Topograficznych CODGiK,
- Mapa glebowo-rolnicza 1:25 000,
- Ortofotomapa z 2015 r..

Nr	KOD CODGIK	Kompleks MGR	Kod SWAT	Opis
1	PKZB04	-	UIDU	Tereny przemysłowe
2	PKZB02	-	URML	Niska zabudowa
3	PKZB03	-	URMD	Średnia zabudowa
4	PKWO03	-	WATR	Wody
5	-	owsiano - ziemniaczano górski, owsiano - ziemniaczano pastewny	OATS	Owies



MODEL SWAT – ETAPY MODELOWANIA



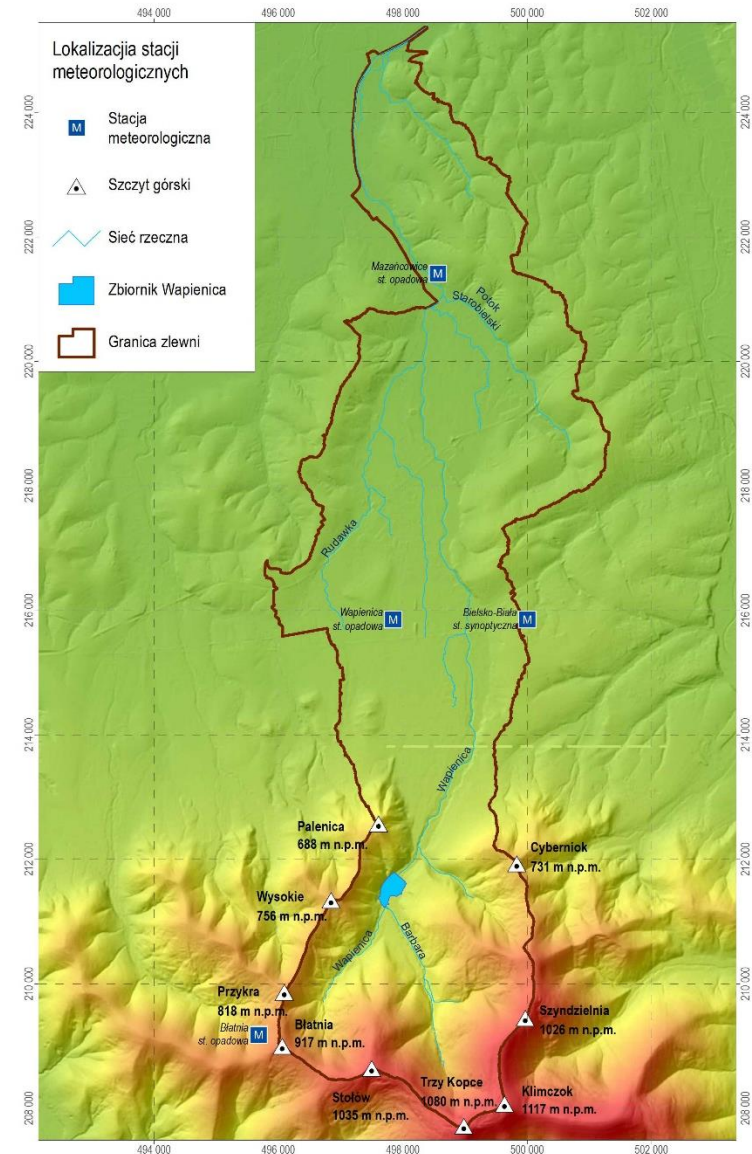
MODEL SWAT – ETAPY MODELOWANIA

Dane meteorologiczne: IMGW

Okres symulacji: 01.01.2010–27.07.2016

Parametry:

- minimalna dobowa temperatura powietrza [$^{\circ}\text{C}$],
- maksymalna dobowa temperatura powietrza [$^{\circ}\text{C}$],
- suma dobowego opadu atmosferycznego [mm],
- średnia dobowa wilgotność względna [%],
- średnie dobowe promieniowanie słoneczne [$\text{J}\cdot\text{m}^{-2}$],
- średnia dobowa prędkość wiatru [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$].



Wstępne wyniki modelowania

Ilość HRU – 567

Ilość zlewni cząstkowych – 23

Krok czasowy symulacji – dobowy/ miesięczny

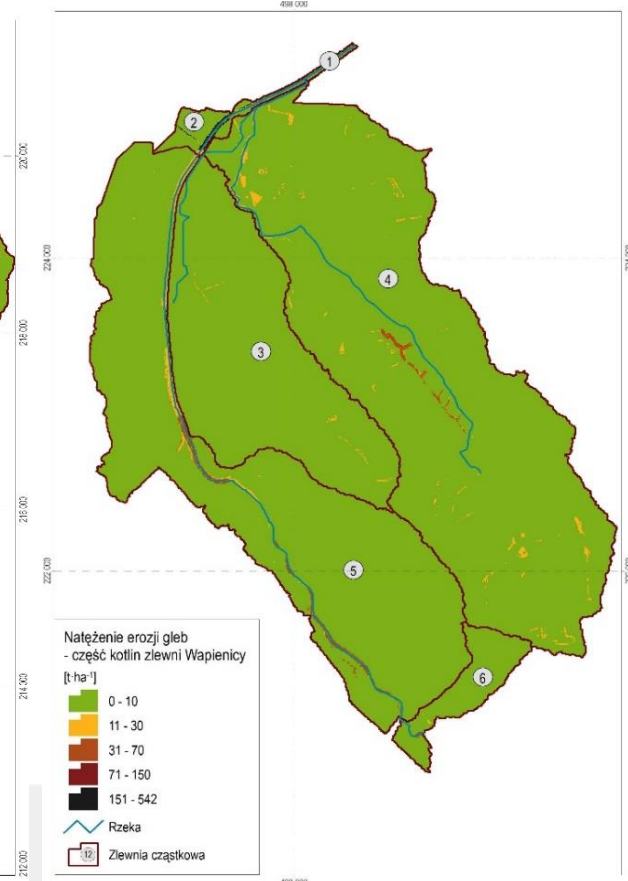
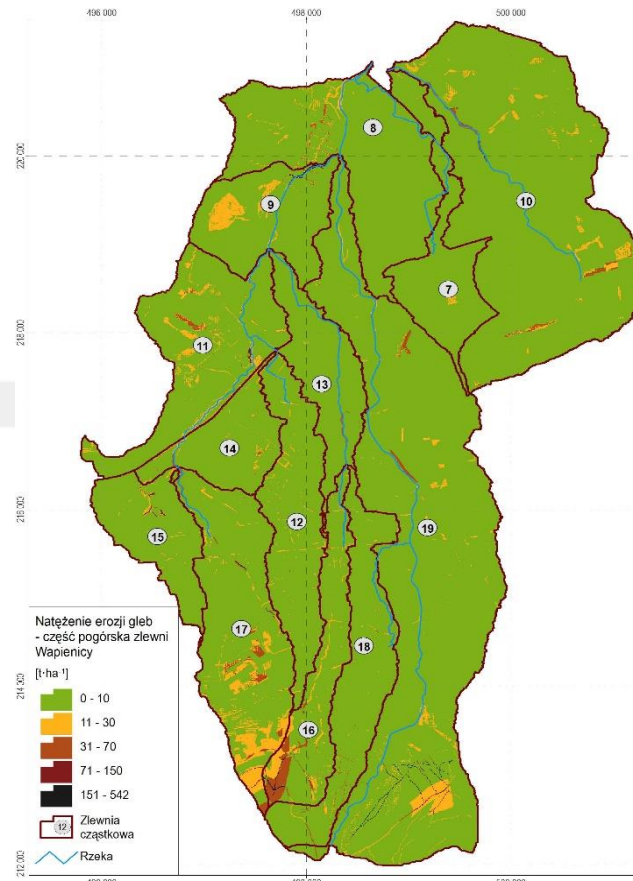
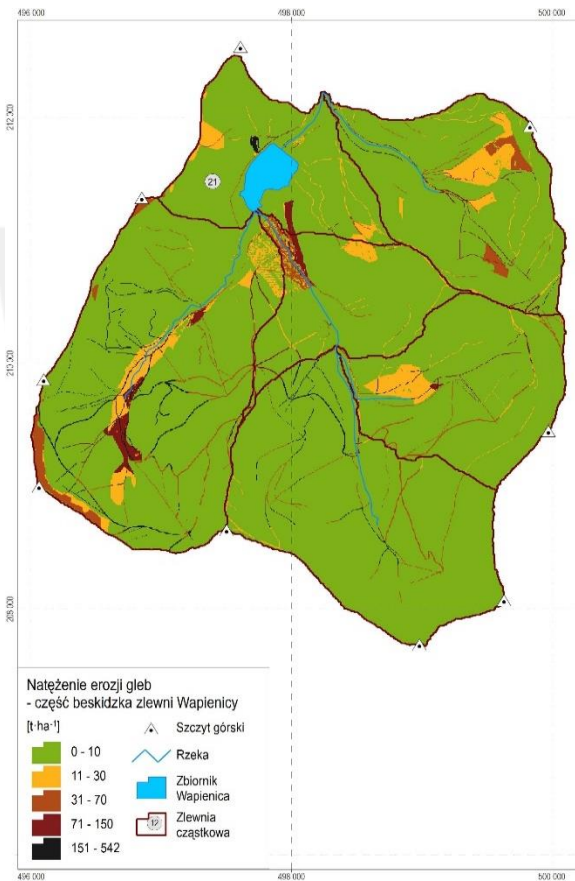
Porównanie średnich wartości przepływu uzyskanych w modelu SWAT z danymi z wodowskazu IMGW w Podkępie

Rok	Średni przepływ SWAT [m ³ ·s ⁻¹]	Średni przepływ IMGW [m ³ ·s ⁻¹]	Różnica
2014	0,94	1,041	10%
2015	0,85	0,94	9%

Wynik modelowania

Rok	Średni roczny przepływ [m ³ ·s ⁻¹]	Średnia roczna denudacja mechaniczna [Mg·ha ⁻¹]	Średnia roczna odpływowa denudacja mechaniczna [Mg·ha ⁻¹]	Średnia koncentracja zawiesiny [mg·l ⁻¹]
2015	0,94	6,50	3,35	104,25

Natężenie erozji wodnej gleby [Mg ha^{-1}] w zlewniach cząstkowych o różnej powierzchni

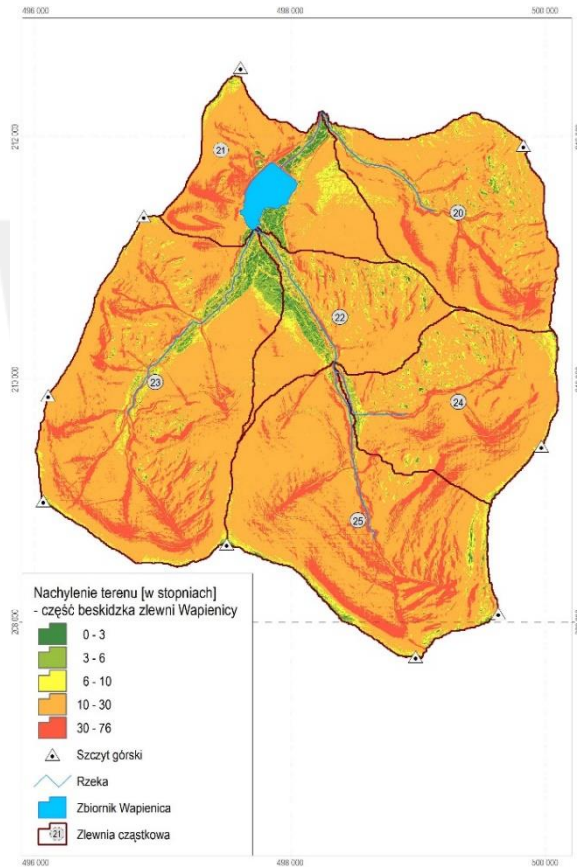


Nr	Średnia roczna denudacja mechaniczna odpływowa [Mg ha^{-1}]	Powierzchnia zlewni [ha]
20	9,2	201.9
21	9,1	147.50
22	10,4	123.86
23	16,8	374.74
24	9,4	178.03
25	8,5	292.78

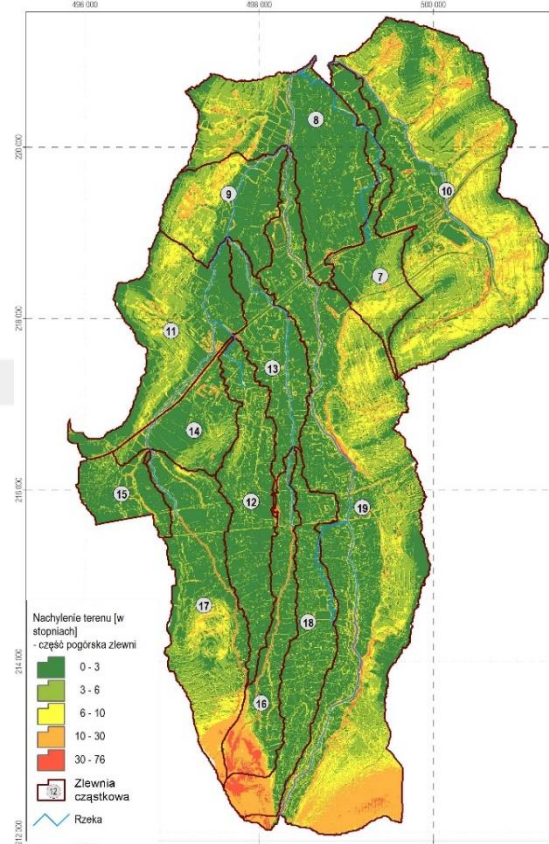
Nr	Średnia roczna denudacja mechaniczna odpływowa [Mg ha^{-1}]	Powierzchnia zlewni [ha]
7	1,8	120.77
8	2,0	268.58
9	2,7	134.94
10	2,8	558.2
11	8,2	209.83
12	8,4	161.96
13	2,7	113.74
14	6,3	94.2
15	9,2	103.02
16	11,8	126.06
17	8,4	240.07
18	9,6	167.4
19	6,1	709.46

Nr	Średnia roczna denudacja mechaniczna odpływowa [Mg ha^{-1}]	Powierzchnia zlewni [ha]
1	1,1	1.34
2	10,6	10.51
3	2,0	153.84
4	2,4	364.64
5	2,1	255.34
6	2,3	23.3

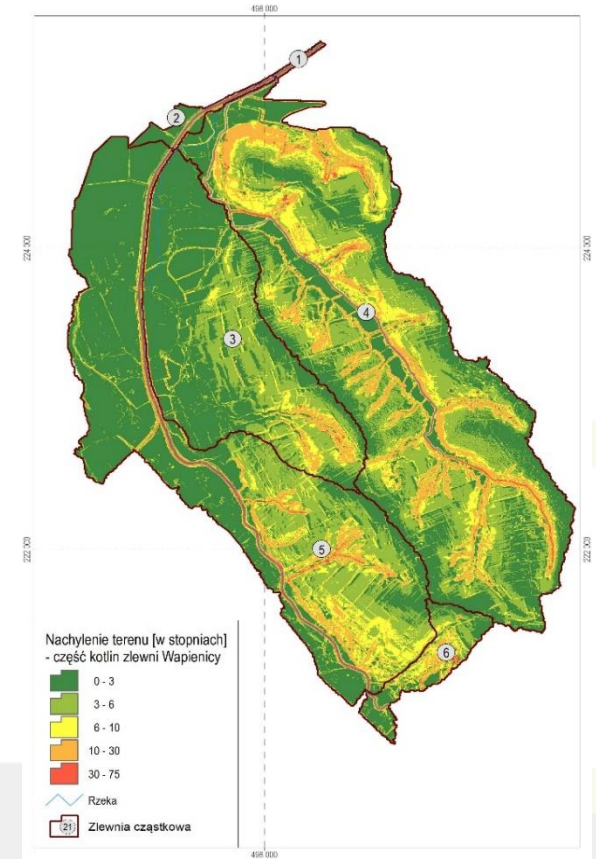
Natężenie erozji wodnej gleby [Mg ha^{-1}] w obszarach o różnym typie rzeźby



Nr	Średnia roczna denudacja mechaniczna odpływowa [Mg ha^{-1}]	Nachylenie [%]
20	9,2	38,08
21	9,1	33,57
22	10,4	30,69
23	16,8	41,38
24	9,4	39,17
25	8,5	45,50



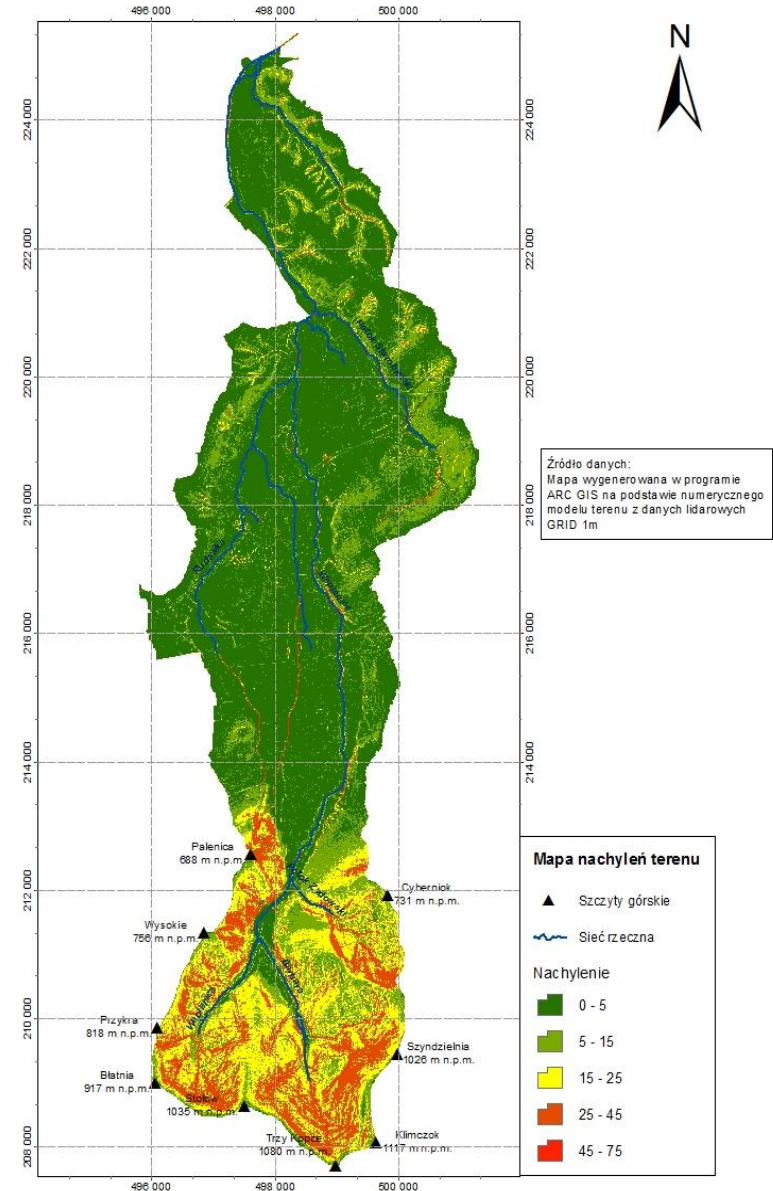
Nr	Średnia roczna denudacja mechaniczna odpływowa [Mg ha^{-1}]	Nachylenie [%]
7	1,8	5,61
8	2,0	5,96
9	2,7	8,05
10	2,8	10,95
11	8,2	7,82
12	8,4	3,51
13	2,7	6,46
14	6,3	5,01
15	9,2	4,06
16	11,8	16,76
17	8,4	9,37
18	9,6	9,82
19	6,1	12,44



Nr	Średnia roczna denudacja mechaniczna odpływowa [Mg ha^{-1}]	Nachylenie [%]
1	1,1	57,16
2	10,6	19,50
3	2,0	5,19
4	2,4	11,11
5	2,1	10,20
6	2,3	10,09

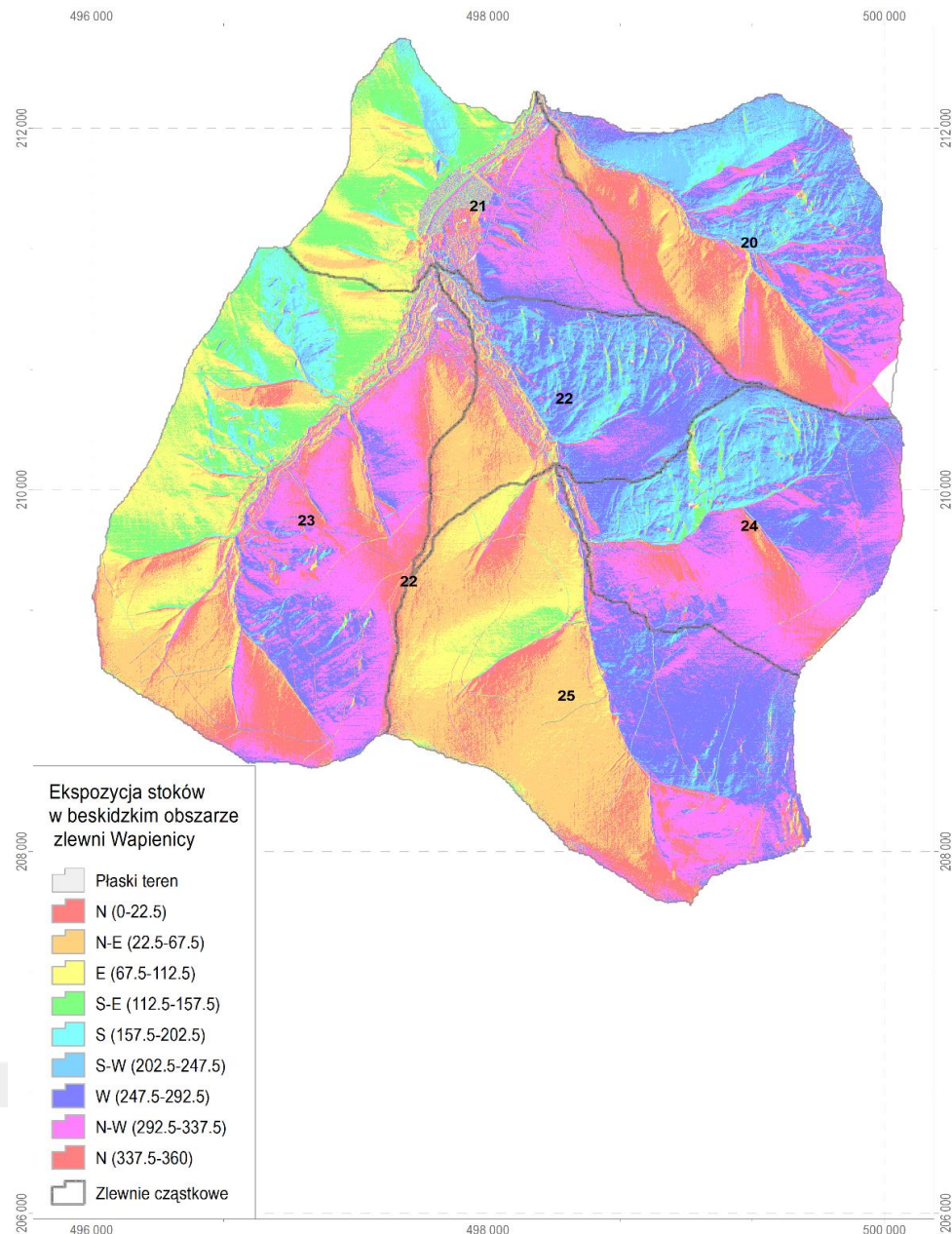
Natężenie erozji wodnej gleby [Mg ha^{-1}] w obszarach o różnym typie rzeźby

Klasy nachylenia [°]	Średnia erozja [Mg ha^{-1}]	Udział erozji gleb w danej klasie nachylenia [%]
0-3	2,31	9
3-6	3,67	14
6-9	5,56	22
9>	14,11	55

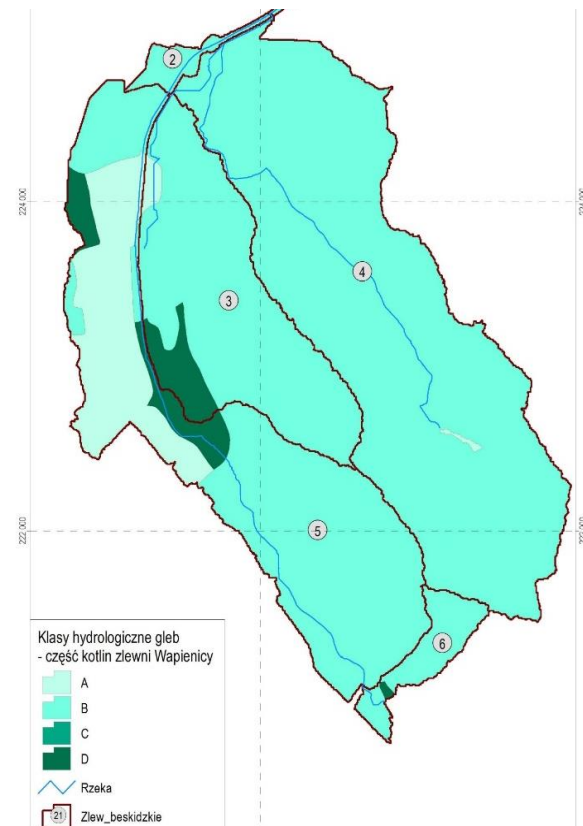
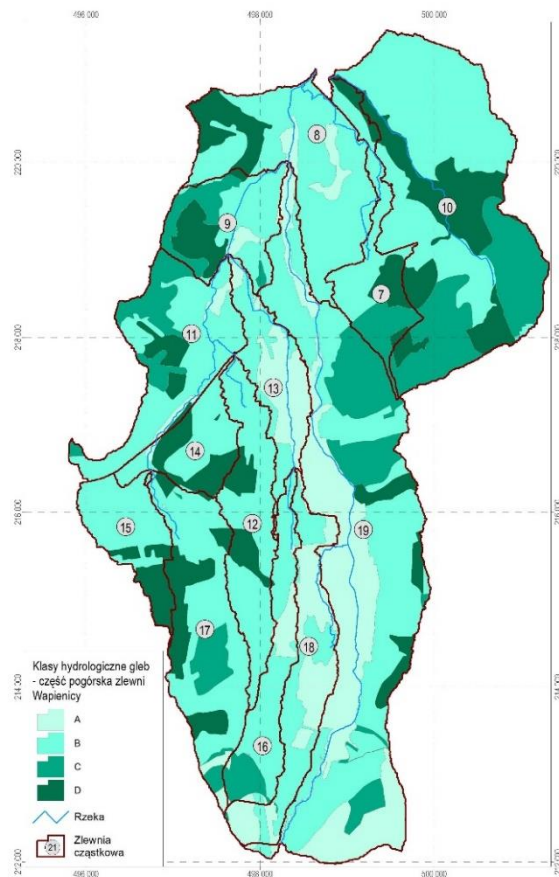
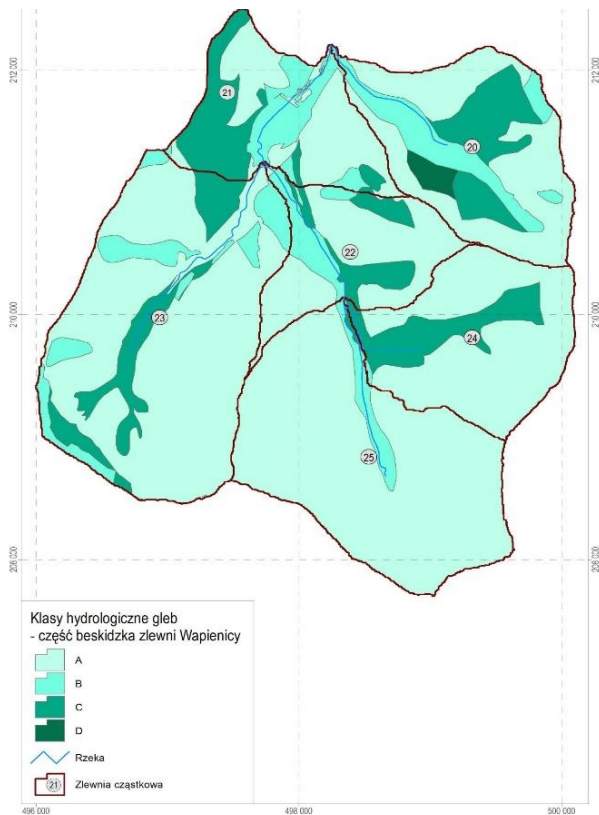


EKSPOZYCJA A NATĘŻENIE EROZJI WODNEJ GLEBY

Stoki o ekspozycji południowej (w tym południowo-wschodniej i południowo-zachodniej) dostarczają o **12%** więcej erodowanego materiału niż stoki o ekspozycji północnej

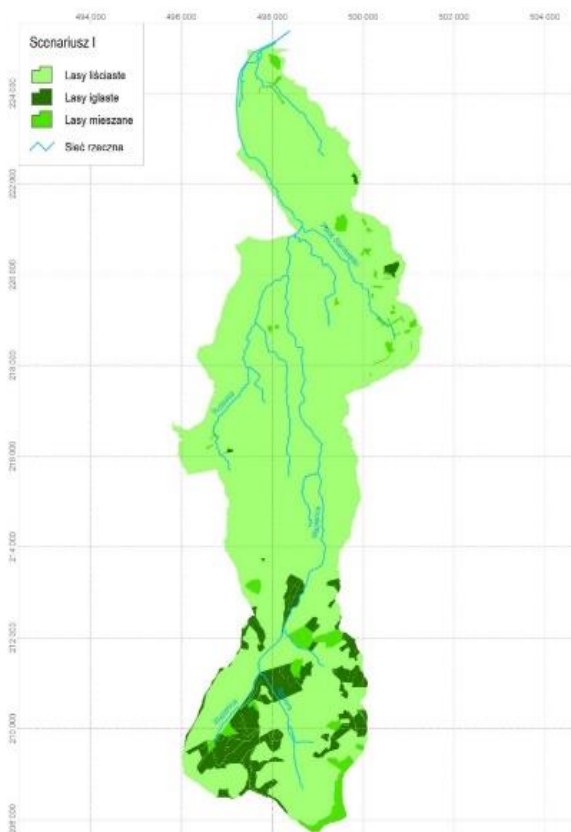


NATEŻENIE EROZJI WODNEJ GLEBY W OBSZARACH O RÓŻNYCH TYPACH I GATUNKACH GLEB



WPŁYW ANTROPOPRESJI NA DOSTAWĘ MATERIAŁU TRANSPORTOWANEGO W ZAWIESINIE DO KORYT POTOKÓW

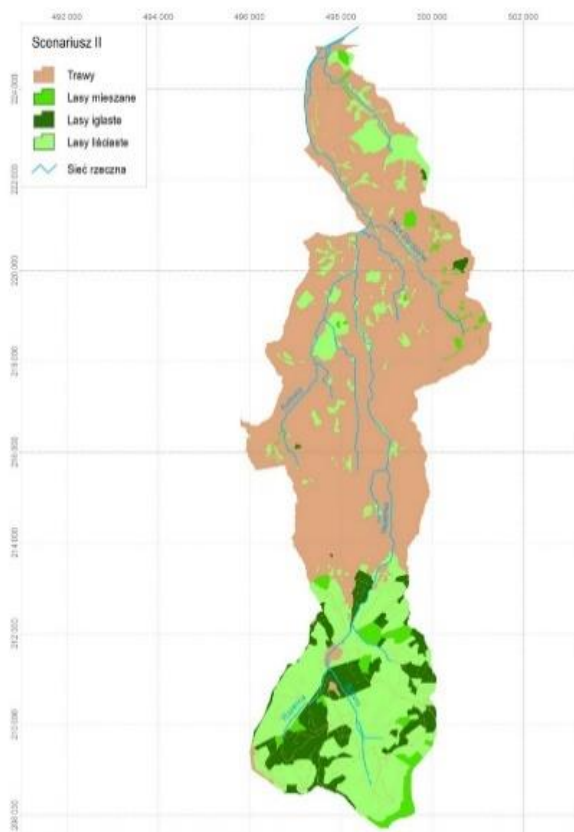
Okres przedhistoryczny



Średnia denudacja mechaniczna odpływowa
[Mg·ha⁻¹]

3,72

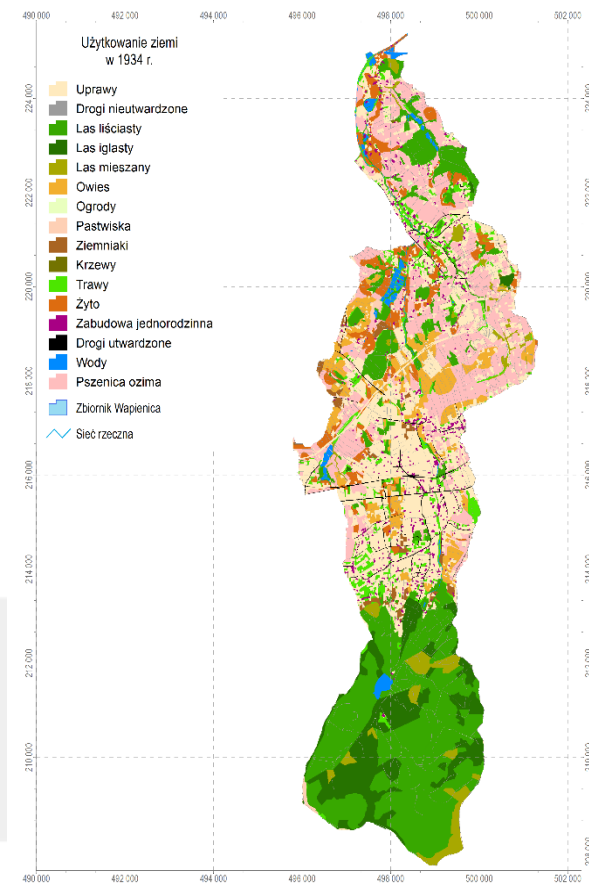
Przełom XVIII i XIX w.



Średnia denudacja mechaniczna odpływowa
[Mg·ha⁻¹]

6,27

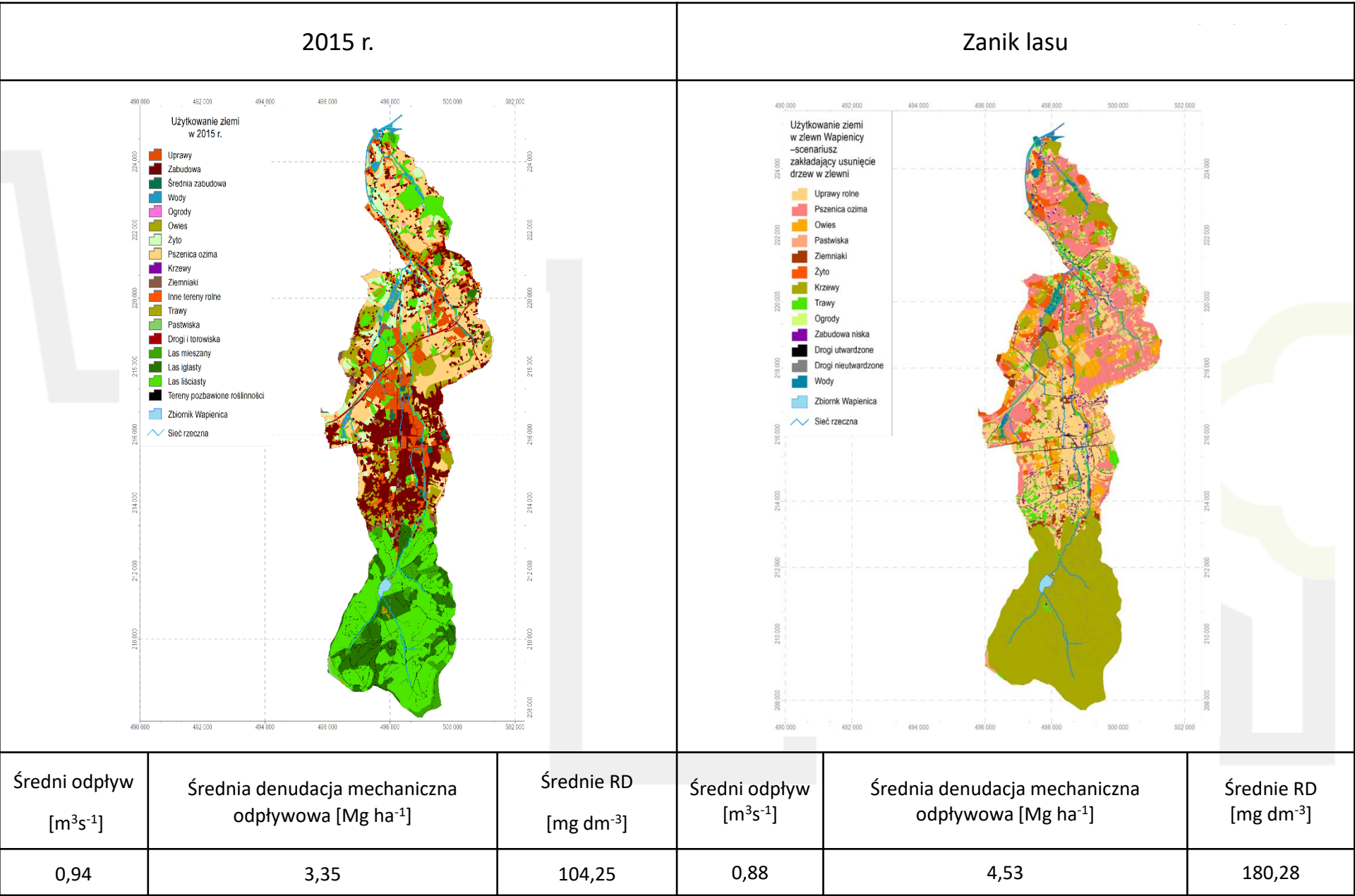
1934 r.



Średnia denudacja mechaniczna odpływowa
[Mg ha⁻¹]

4,68

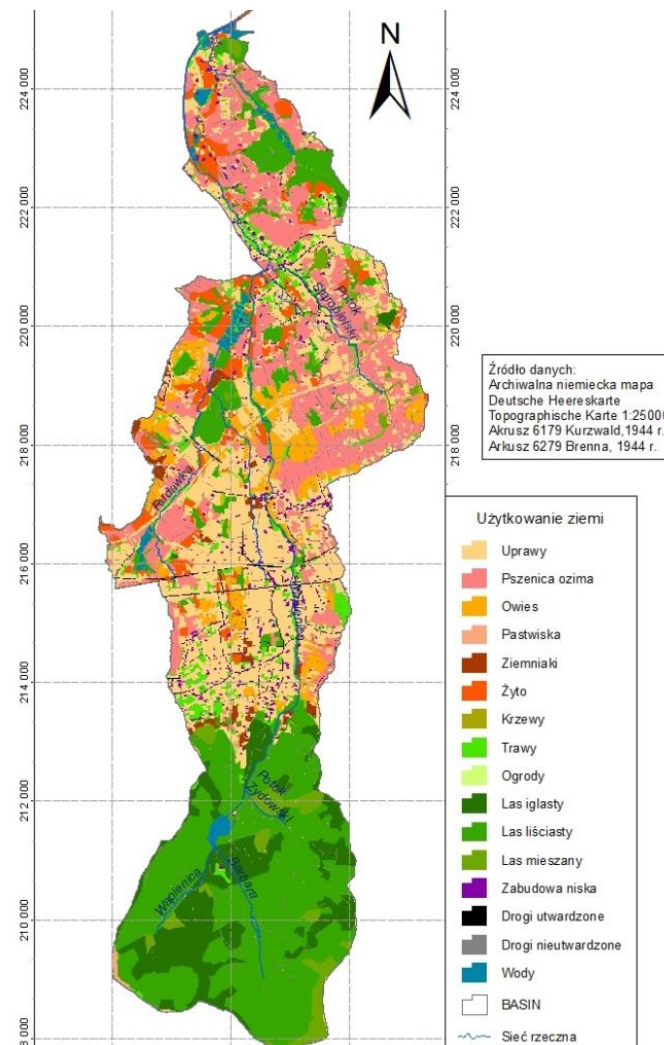
WPŁYW ANTROPOPRESJI NA DOSTAWĘ MATERIAŁU TRANSPORTOWANEGO W ZAWIESINIE DO KORYT POTOKÓW



WPŁYW ANTROPOPRESJI NA DOSTAWĘ MATERIAŁU TRANSPORTOWANEGO W ZAWIESINIE DO KORYT POTOKÓW

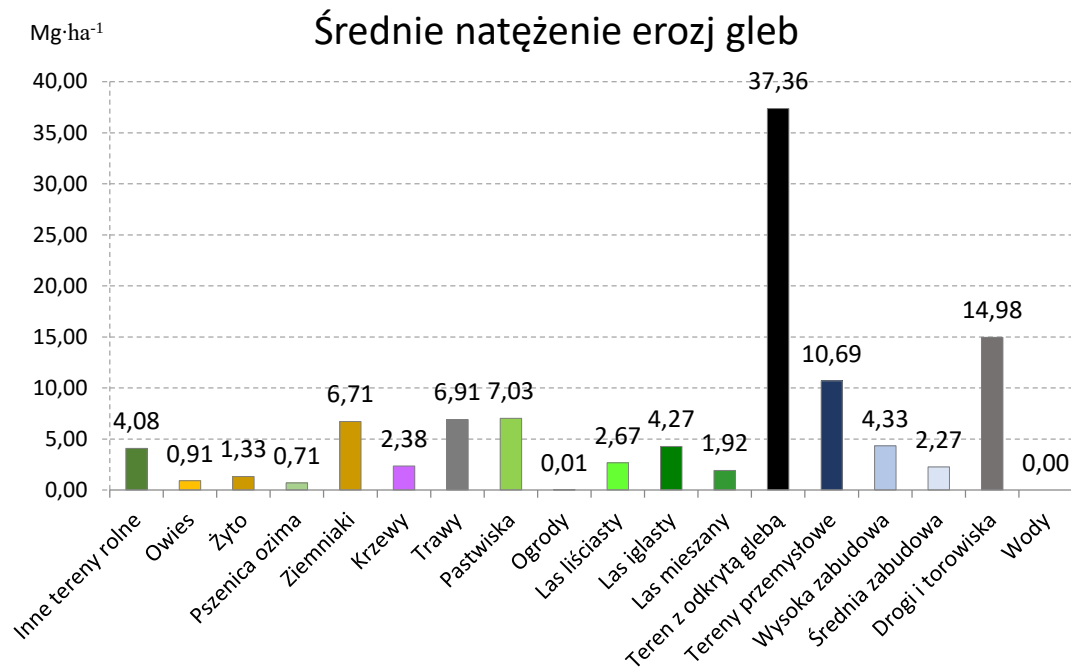
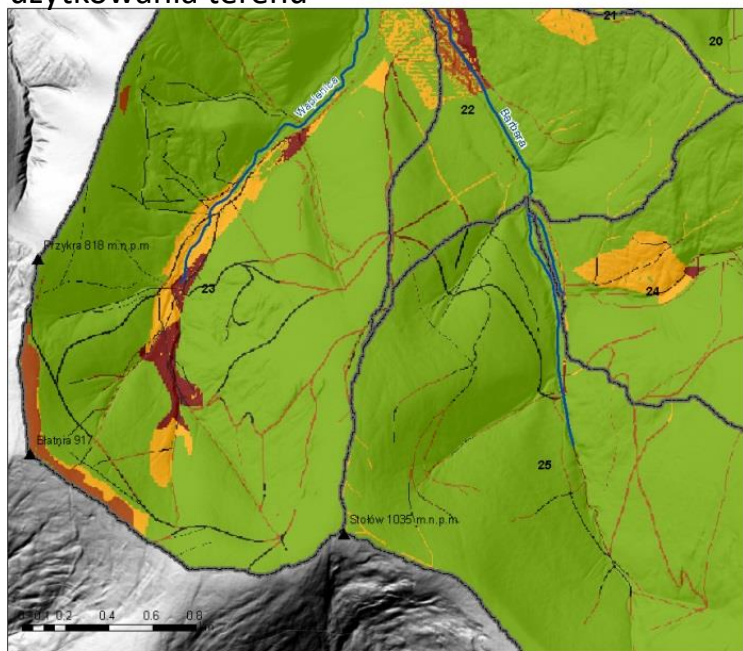
Średni roczny przepływ [m ³ ·s ⁻¹]	Średnia roczna odpływowa denudacja mechaniczna [Mg·ha ⁻¹]	Średnia roczna koncentracja zawiesiny [mg·l ⁻¹]
0,79	4,68	226,58

		Struktura zasiewów		
		Mieszana AGRL	Owies OAT	Ziemniaki POTA
Rodzaje dróg kod SWAT	żwirowe UDRT			
	porośnięte trawą RNGE			
	odkryte bez zieleni BARR			



WPŁYW ANTROPOPRESJI NA DOSTAWĘ MATERIAŁU TRANSPORTOWANEGO W ZAWIESINIE DO KORYT POTOKÓW

Obszary najintensywniejszej erozji gleb według
użytkowania terenu



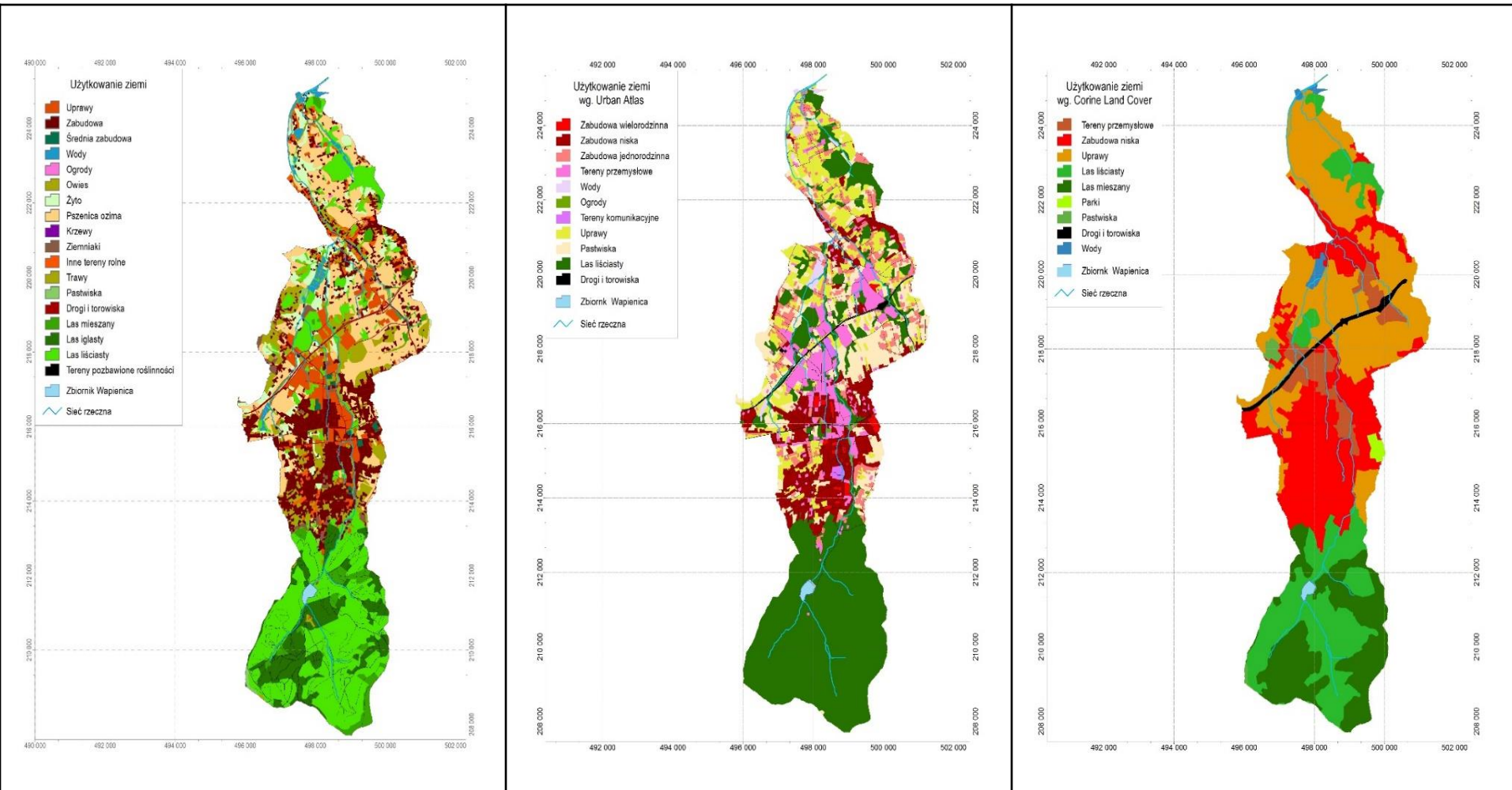
WPŁYW ANTROPOPRESJI NA DOSTAWĘ MATERIAŁU DO ZBIORNIKA RETENCYJNEGO WAPIENICA

Zbiornik Wapienica

- uruchomiony w 1932 r.
- administrator AQUA S.A.
- pojemność całkowita 1 050 000 m³
- powierzchnia zbiornika 153 280 m²
- powierzchnia zlewni zbiornika 10,76 km²
- zaopatruje w wodę 30% mieszkańców Bielska-Białej
- masa zawiesiny docierającej do zbiornika wynosi 5500,23 Mg·rok⁻¹ (4,17 Mg·ha⁻¹·rok⁻¹)



WPŁYW ZASTOSOWANIA RÓŻNYCH ŹRÓDEŁ DANYCH O UŻYTKOWANIU TERENU NA WYNIKI MODELU SWAT



Średnia denudacja mechaniczna odpływowa [Mg ha^{-1}]

Baza Danych Obiektów Topograficznych

Urban Atlas

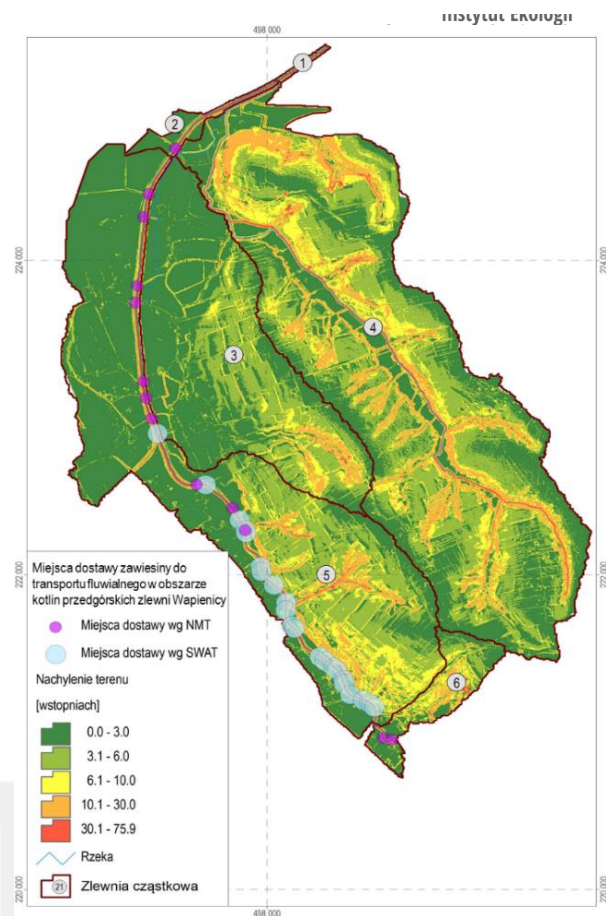
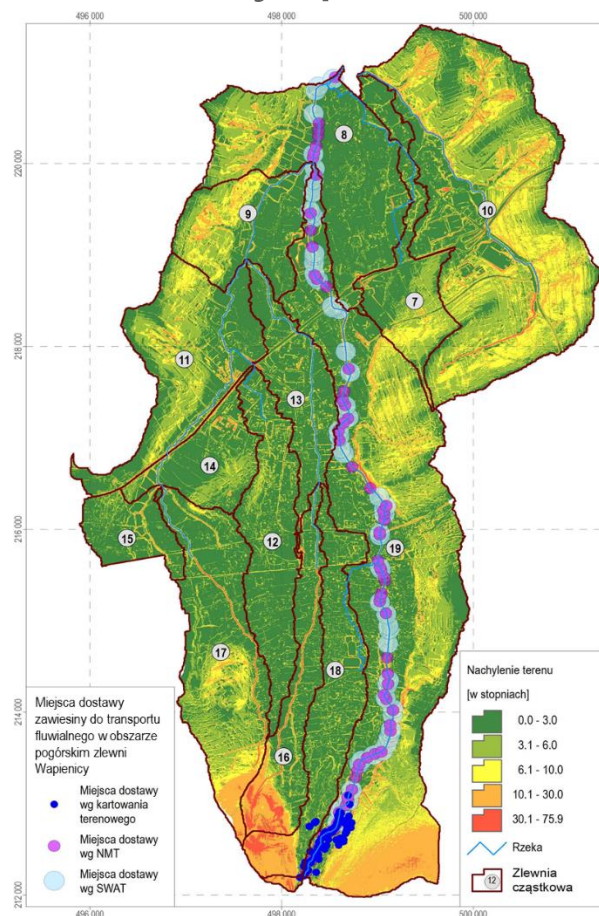
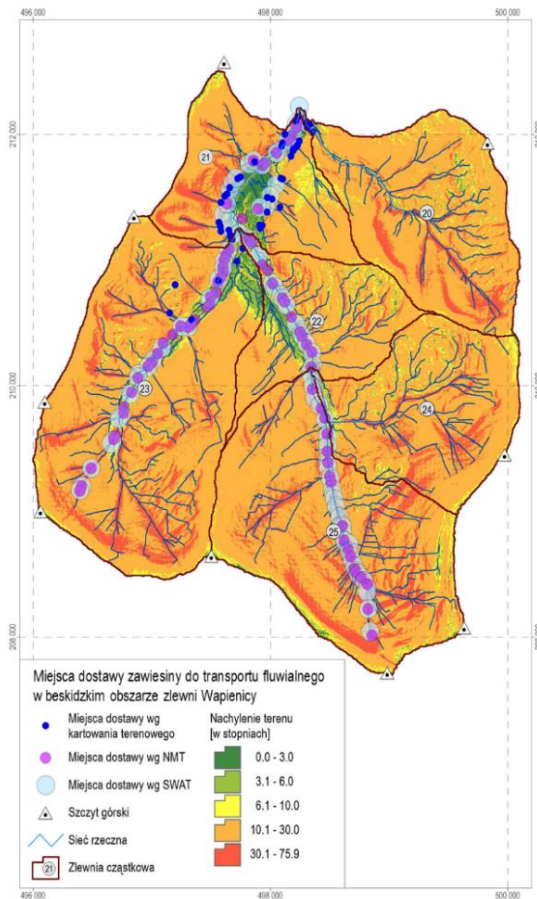
Corine Land Cover

3,35

3,40

3,86

Miejsca dostawy materiału transportowanego w zawieszinie do koryt potoków



Metoda	Ilość zidentyfikowanych miejsc dostawy
NMT	71
SWAT	96
Kartowanie terenowe	94

Metoda	Ilość zidentyfikowanych miejsc dostawy
NMT	67
SWAT	58
Kartowanie terenowe	118

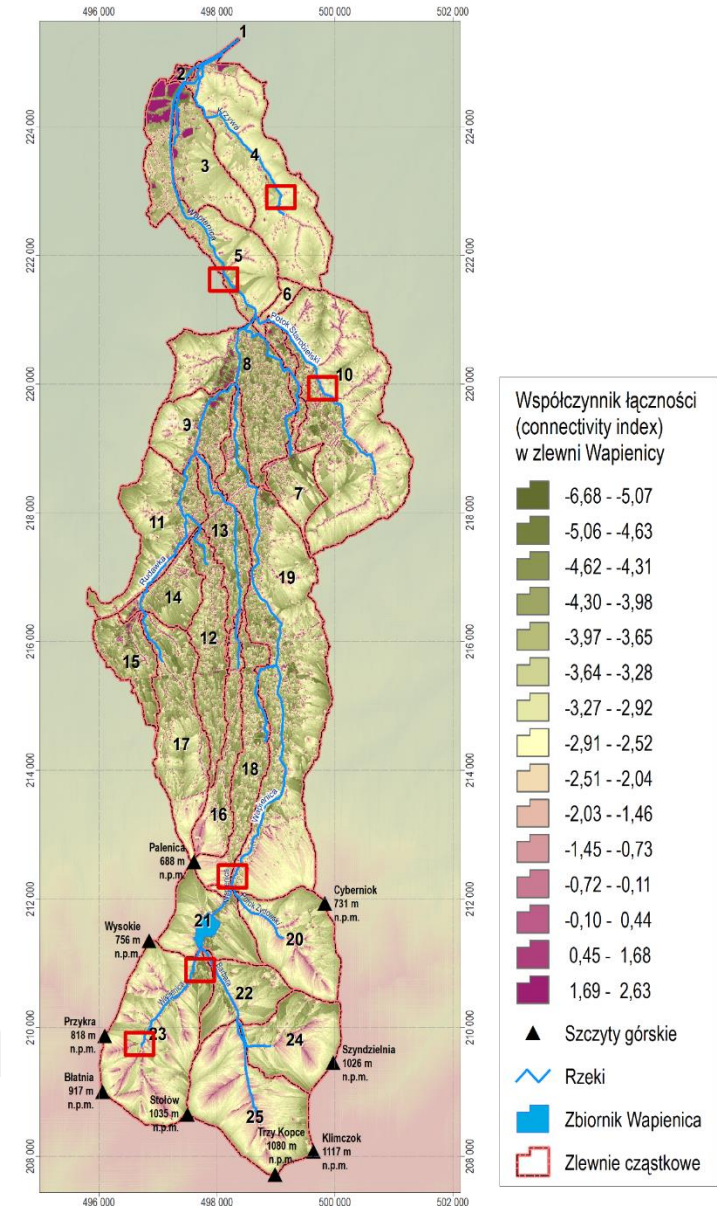
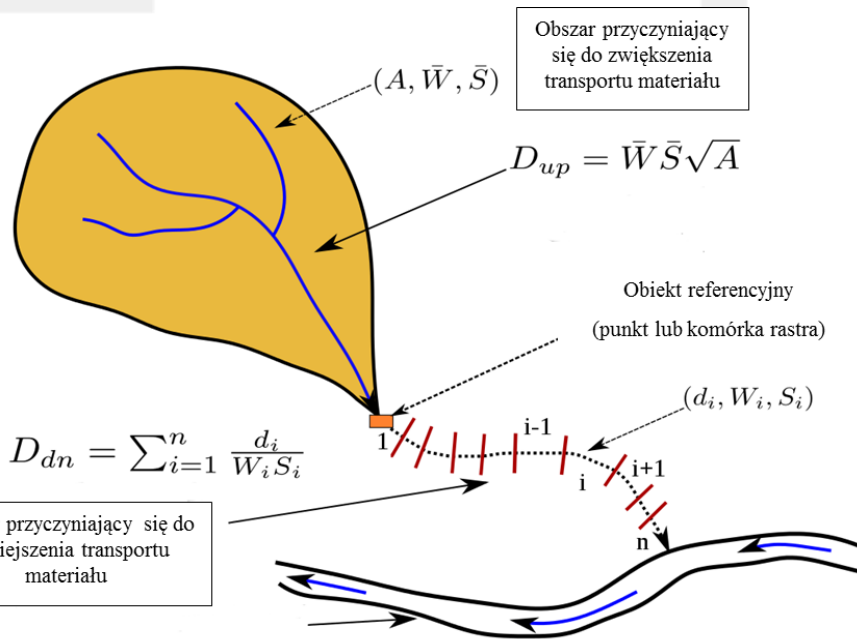
Metoda	Ilość zidentyfikowanych miejsc dostawy
NMT	13
SWAT	24
Kartowanie terenowe	-

STRUKTURALNA I FUNKCYJNALNA ŁĄCZNOŚĆ (*CONNECTIVITY*) SYSTEMU STOKOWEGO I FLUWIALNEGO W DOSTAWIE MATERIAŁU TRANSPORTOWANEGO W ZAWIESINIE DO KORYTA WAPIENICY

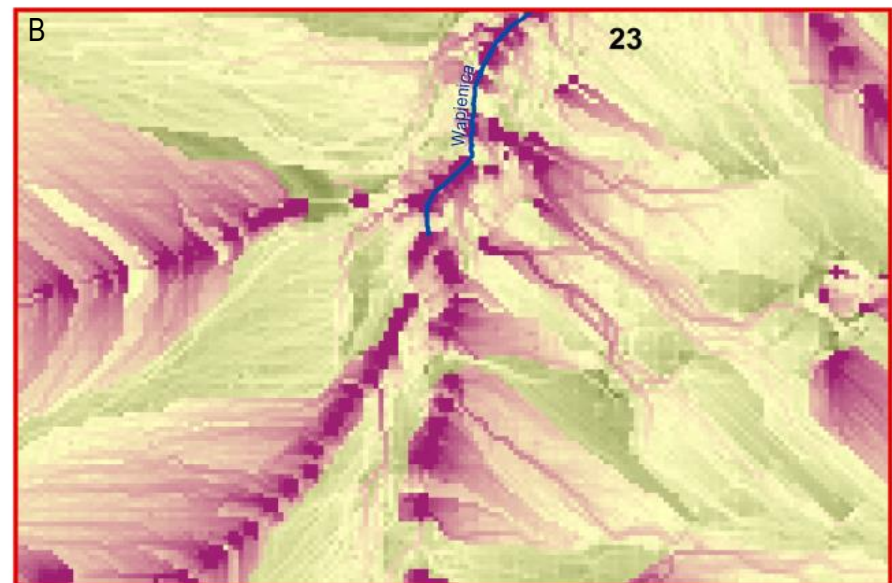
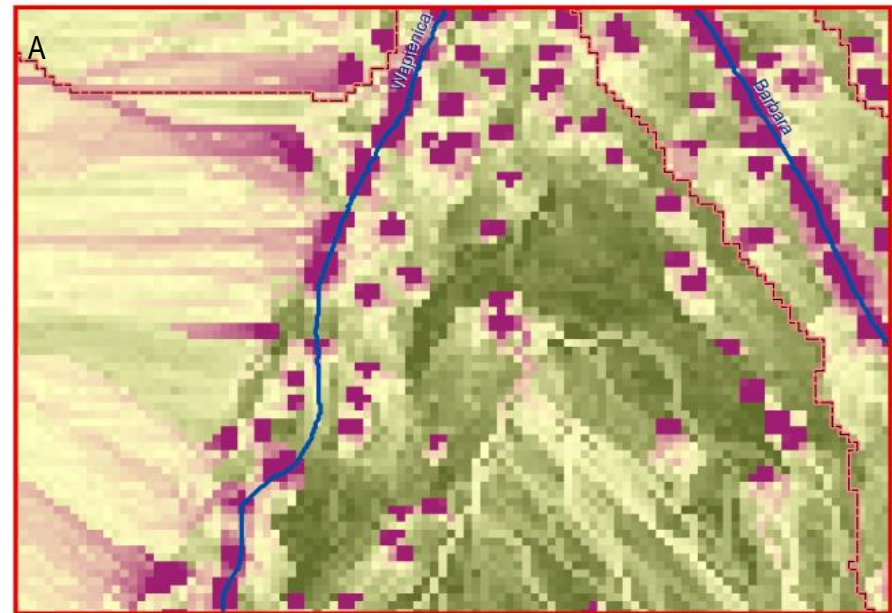
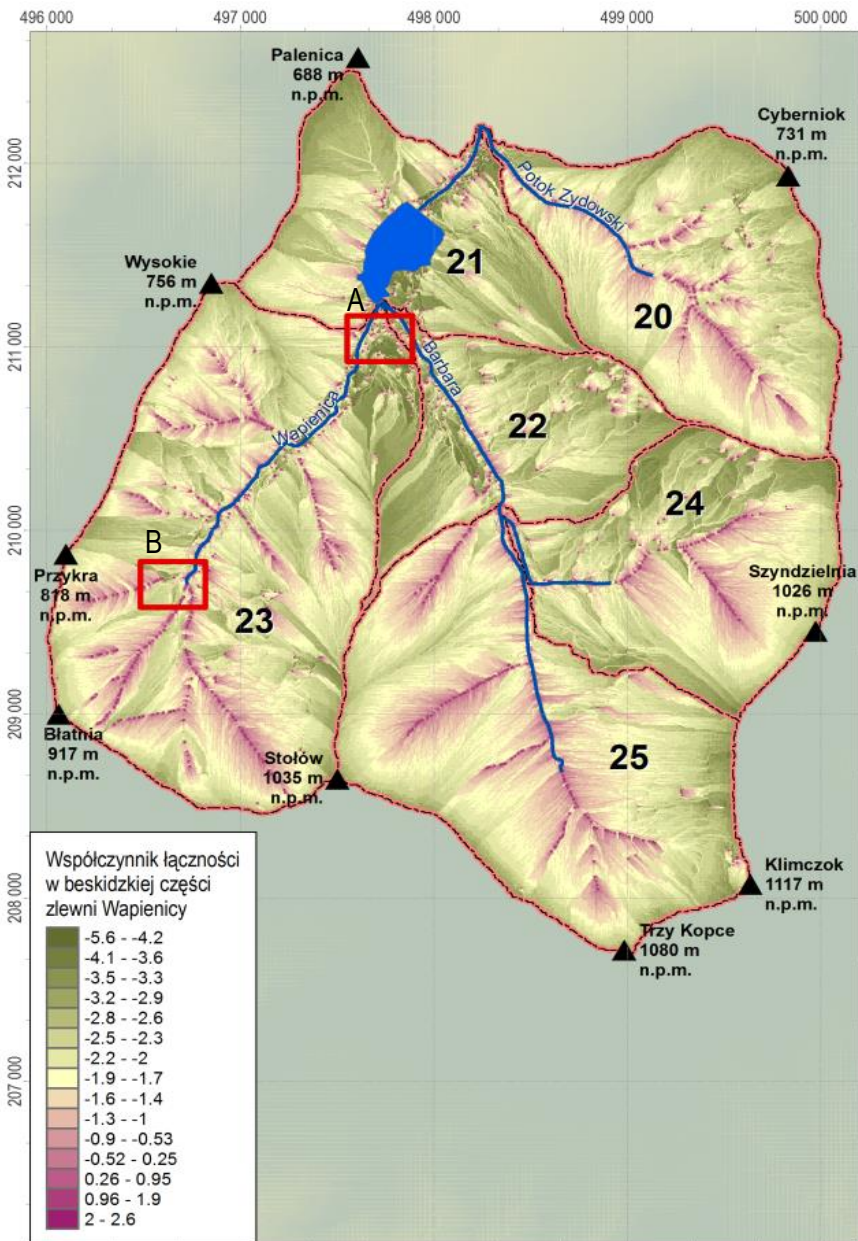
Wskaźnik łączności (*IC*) opracowany przez Borselli i in. (2008), oparty na następującym wzorze:

$$IC = \log_{10} \left(\frac{D_{up}}{D_{dn}} \right)$$

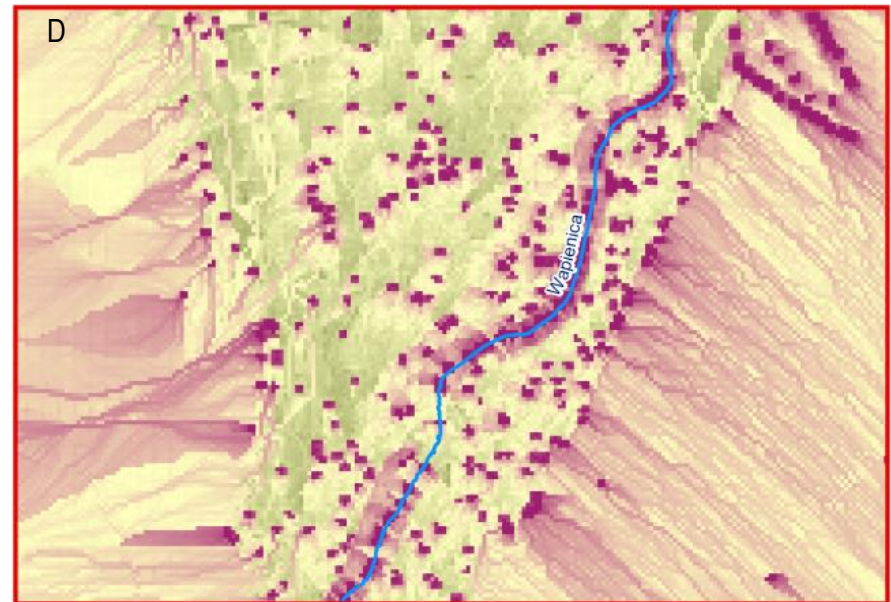
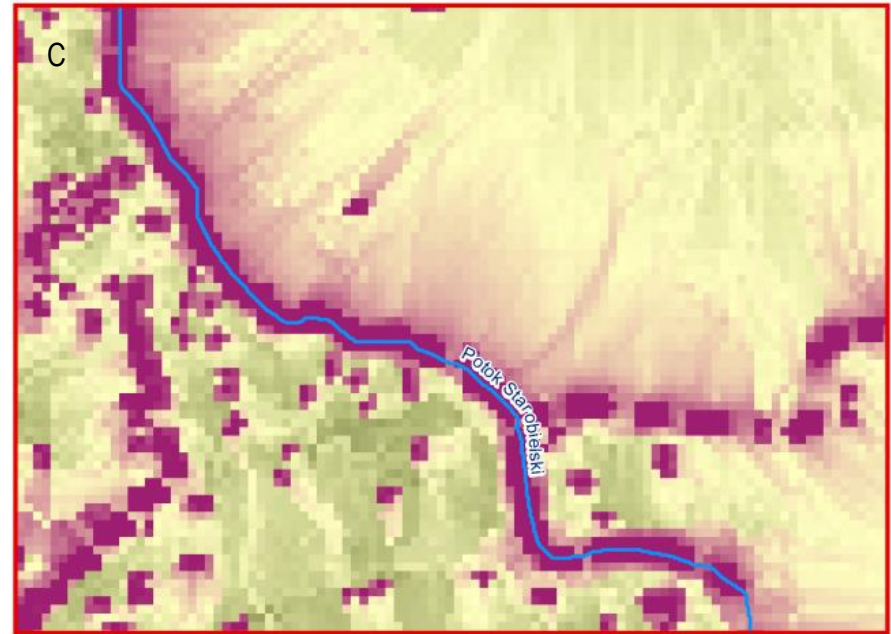
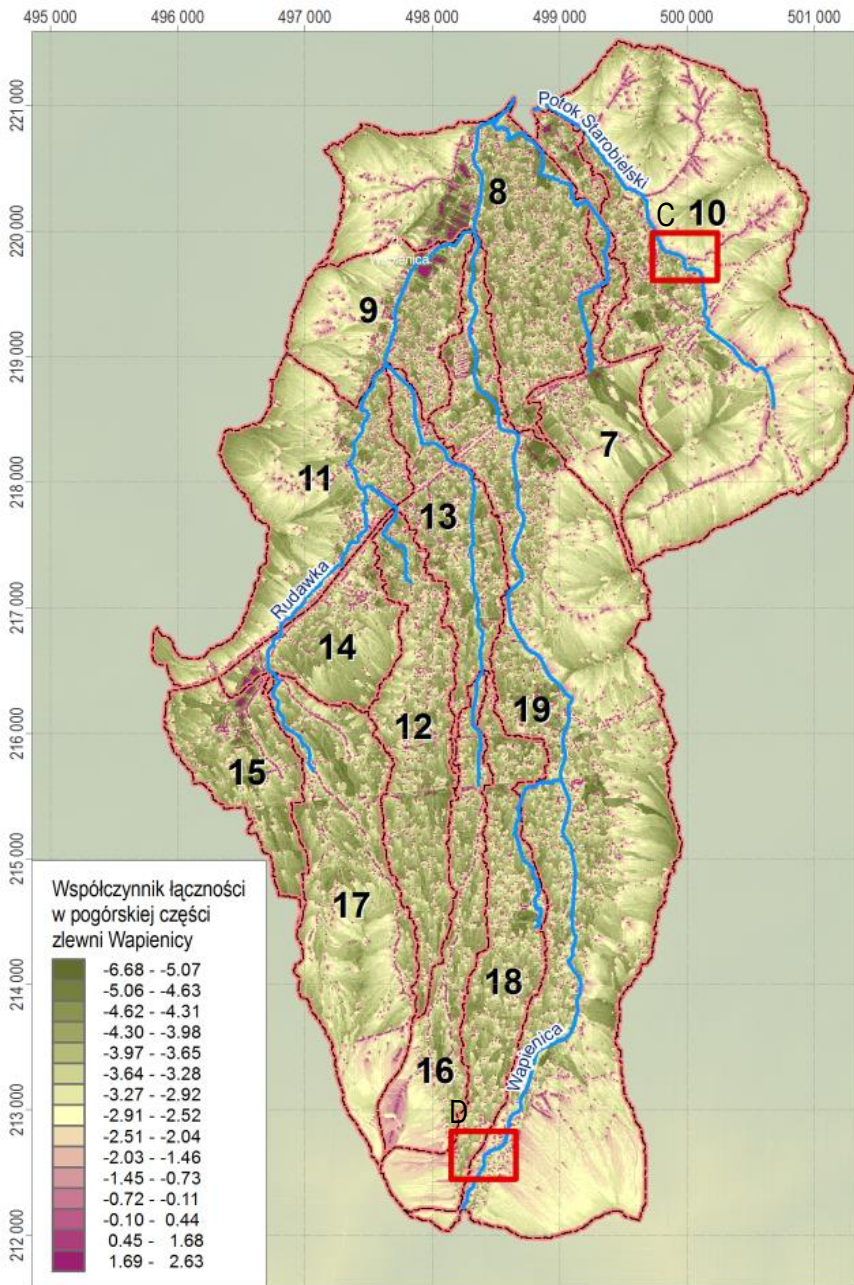
gdzie: D_{up} i D_{dn} to komponenty łączności w górnej i dolnej części stoku



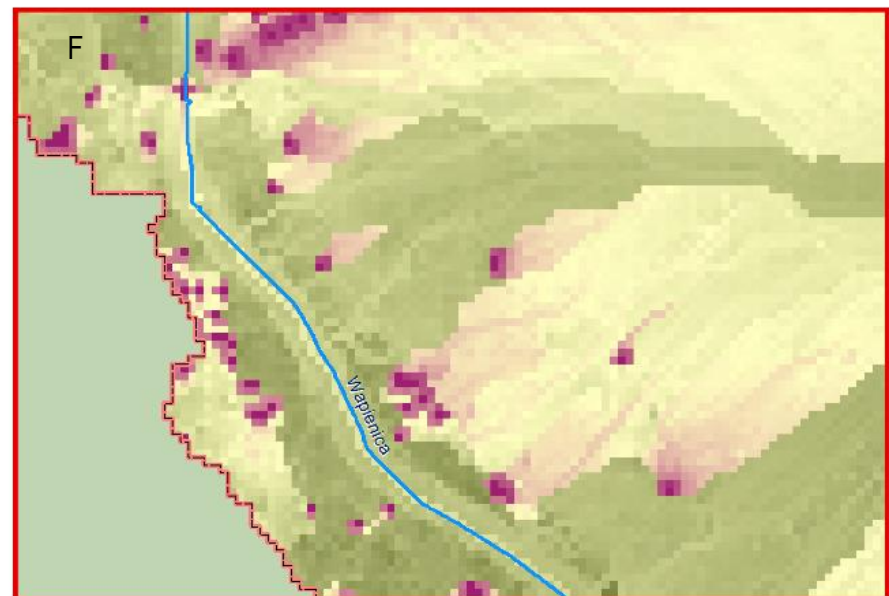
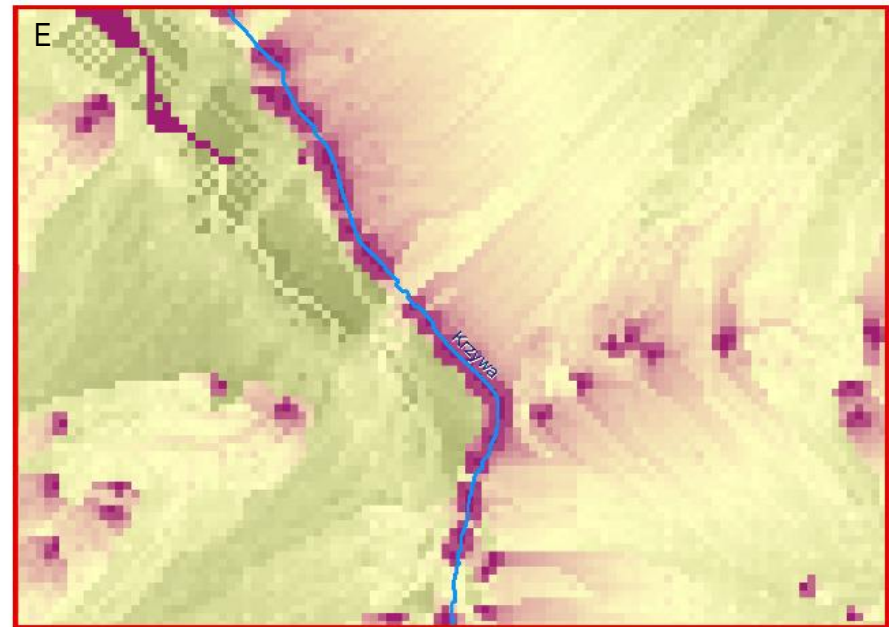
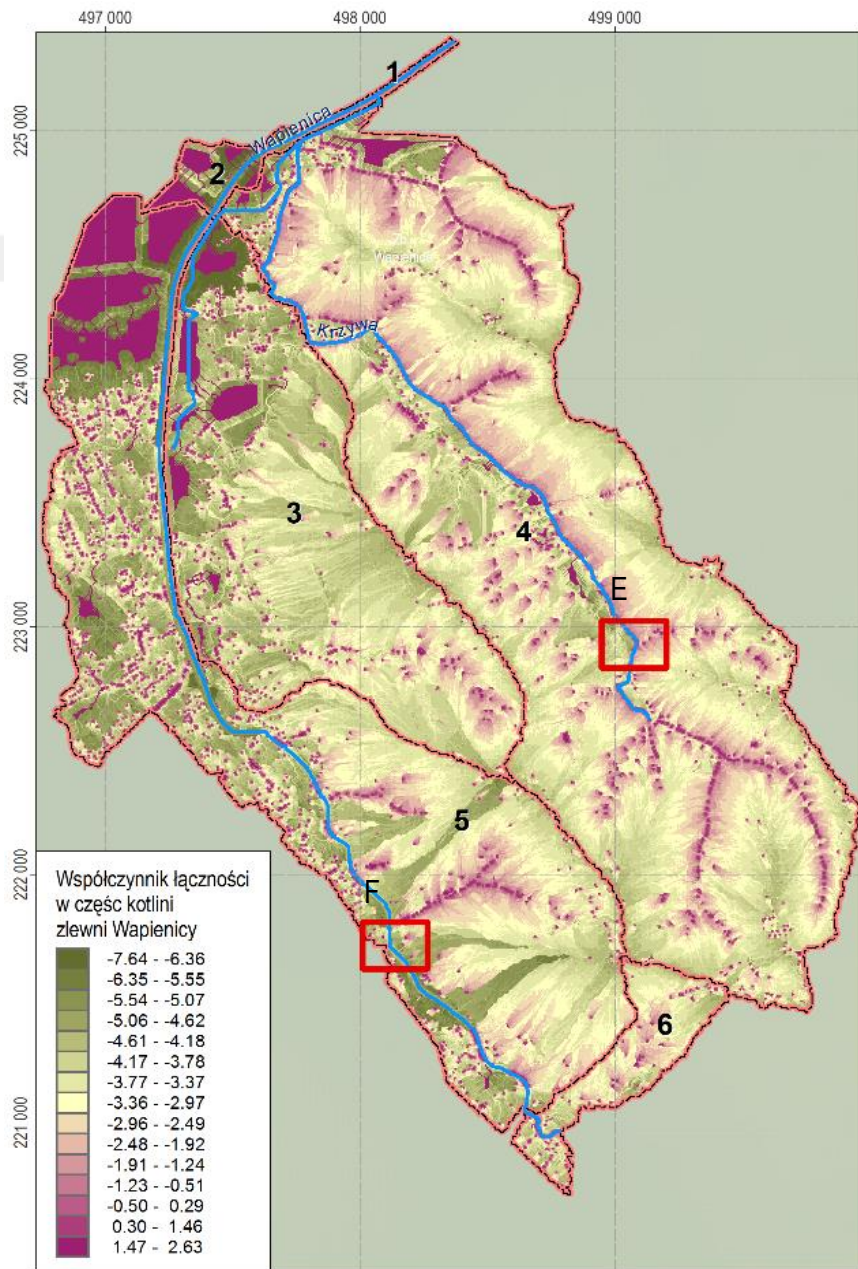
ŁĄCZNOŚĆ STRUKTURALNA - WSPÓŁCZYNNIK ŁĄCZNOŚCI



ŁĄCZNOŚĆ STRUKTURALNA - WSPÓŁCZYNNIK ŁĄCZNOŚCI



ŁĄCZNOŚĆ STRUKTURALNA - WSPÓŁCZYNNIK ŁĄCZNOŚCI



1. W 2015 r. średnie natężenie erozji w zlewni Wapienicy wyniosło $6,5 \text{ Mg ha}^{-1}$, w części beskidzkiej o dużej energii rzeźby – $10,6 \text{ Mg ha}^{-1}$, w części pogórskiej – $6,2 \text{ Mg ha}^{-1}$, a w równinnej części kotlin – $3,4 \text{ Mg ha}^{-1}$. Tereny o nachyleniu powyżej 9° dostarczają 55% zerodowanego materiału.
2. Część beskidzka w około 95% stanowi obszar seminaturalny. Erozja odbywa się wzdłuż odkrytych dróg leśnych oraz szlaków pieszych, średnie natężenie erozji gleb dla nich wynosi $37,4 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Stoki o ekspozycji południowej dostarczają o 12% więcej materiału niż stoki o ekspozycji północnej.

3. Pogórska część to obszar o dużym udziale zabudowy i zasklepionych powierzchni. Źródłem materiału są głównie ulice i torowiska oraz rowy i kanały burzowe. Uregulowane koryto Wapienicy ogranicza transport materiału w rzece.
4. W części kotlin użytkowanych rolniczo, ze względu na rzeźbę terenu i regulację rzeki Wapienicy dostawa materiału do transportu fluwialnego jest ograniczona.

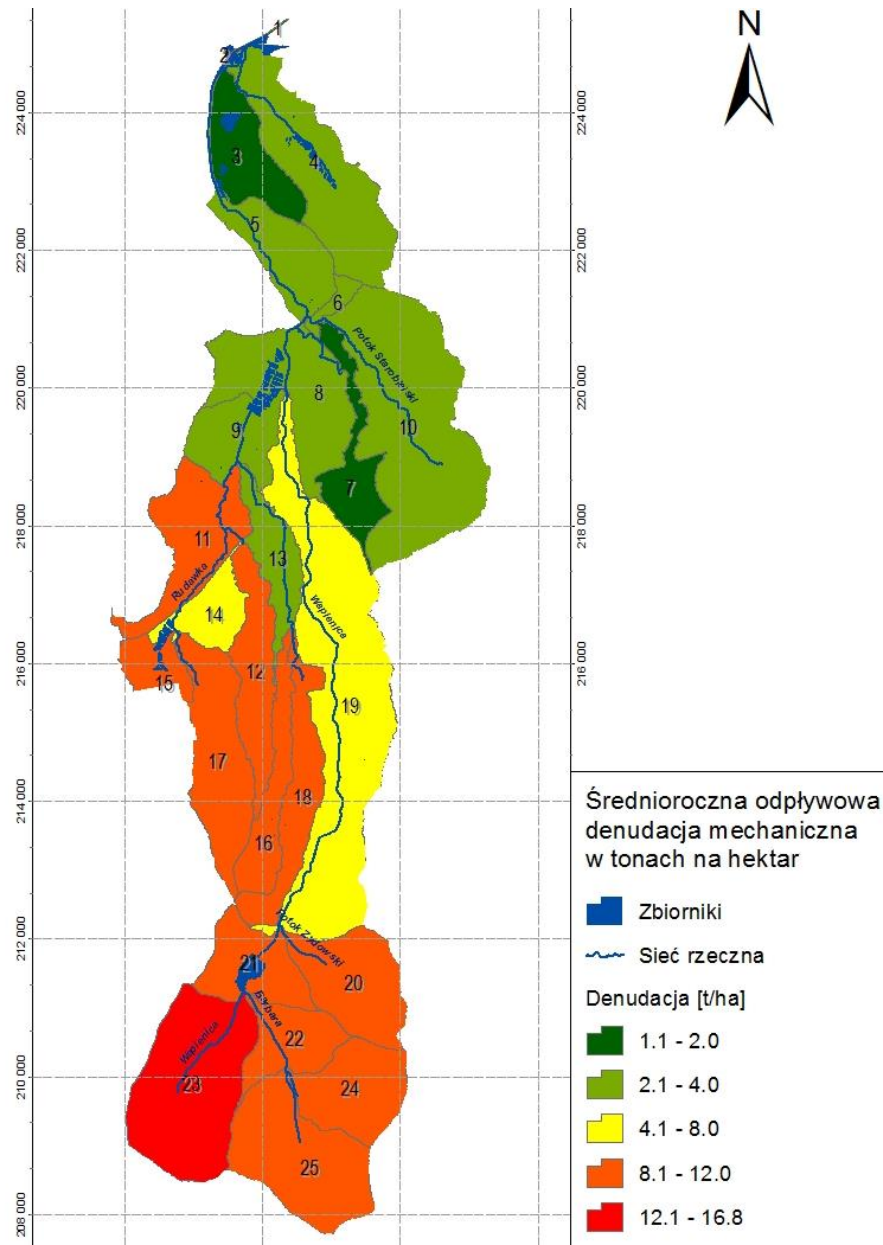
5. Natężenie erozji odpływowej w 2015 r. wynosiło $3,4 \text{ Mg ha}^{-1}$, w okresie przedhistorycznym (lasy) $3,7 \text{ Mg ha}^{-1}$, na przełomie XVIII i XIX w. (łąki i pastwiska) $6,3 \text{ Mg ha}^{-1}$, w latach 30 XX w. $4,7 \text{ Mg ha}^{-1}$. Usunięcie drzew (krzewy) zwiększy erozję gleb o 35% do $4,5 \text{ Mg ha}^{-1}$.
6. Stosując model SWAT zidentyfikowano 96 miejsc dostawy materiału do transportu fluwialnego w obszarze beskidzkim, 58 w części pogórskiej i 24 w obszarze kotlin. Stosując kartowanie terenowe zidentyfikowano 98 miejsc dostawy w części beskidzkiej i 118 w części pogórskiej.
7. Analiza łączności stoków z korytami za pomocą narzędzia *Connectivity Index* pozwoliła na precyzyjne wskazanie miejsc dostawy zawiesiny do transportu fluwialnego. Ze względu na rzeźbę oraz bezpośredni kontakt stoków z korytem proces najintensywniej przebiega w obszarze beskidzkim zlewni.

Dziękuję za uwagę

tel. 32 254 60 31 wew. 140

e-mail: j.piasecka-rodak@ietu.pl

ŚREDNIA ROCZNA ODPŁYWOWA DENUDACJA MECHANICZNA

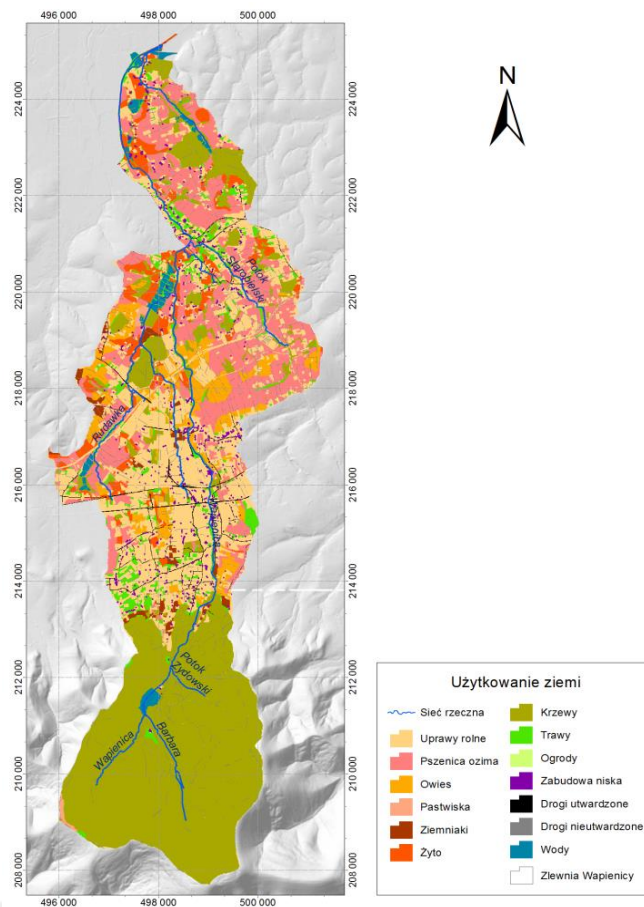


WPŁYW ANTROPOPRESJI NA DOSTAWĘ MATERIAŁU TRANSPORTOWANEGO W ZAWIESINIE DO KORYT POTOKÓW

OPAD

Rok	Erozja gleby [Mg·ha ⁻¹]	Roczna suma opadów [mm]	Dni z opadem		
			Umiarkowany silny [10.1–20.0 mm]	Silny [20.1–30.0 mm]	Bardzo silny [>30.1 mm]
2013	6,39	964	23	6	3
2014	4,07	1053	13	8	6
2015	3,35	780	16	4	1

POKRYCIE TERENU



Średni odpływ [m ³ s ⁻¹]	Średnia ilość sedyméntów [Mg ha ⁻¹]	Średnie RD [mg l ⁻¹]
0,88	4,53	180,28