

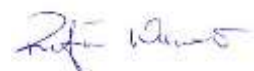
Załącznik nr 2 do wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego. Autoreferat.

Rafał Wawer
Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa
– Państwowy Instytut Badawczy
Zakład Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów
Ul. Czartoryskich 8
24-100 Puławy

„Wskaźniki ilościowe podatności gleb Polski na erozję wodną i wietrzną”

Autoreferat związany z ubieganiem się o stopień doktora habilitowanego

Puławy, 2018



Spis treści

1.	DANE BIOGRAFICZNE.....	3
1.1	Wyszkolenie.....	3
1.2	Zatrudnienie po ukończeniu studiów	3
2.	DZIAŁALNOŚĆ NAUKOWA.....	5
2.1	Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16. Ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr. 65, poz. 595 ze zm.).....	5
2.1.1	Tytuł osiągnięcia	5
2.1.2	Publikacje składające się na monotematyczny cykl stanowiący najważniejsze osiągnięcie w dorobku naukowym	5
2.1.3	Omówienie celu naukowego prac składających się na najważniejsze osiągnięcie naukowe 6	
2.1.3.1	Podatność gleb na erozję wodną w warunkach opadów nawałnych (iii., iv.)	9
2.1.3.2	Weryfikacja doświadczalna wskaźnika podatności gleb na erozję wodną powierzchniową K-USLE (ii.)	15
2.1.3.3	Podatność gleb na deflację (i., v.).....	21
2.2	Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych	29
2.2.1	Główne kierunki prowadzonych badań	29
2.2.2	Inne kierunki badawcze	35
2.2.3	Sumaryczne zestawienie dorobku publikacji.....	36
2.3	Udział w projektach badawczych	39
2.4	Złożone wnioski o finansowania projektów badawczych, które nie uzyskały finansowania 39	
2.5	Odbyte staże i szkolenia	40
2.6	Wykonane recenzje oryginalnych prac, wniosków i projektów badawczych	40
2.7	Działalność w towarzystwach naukowych	41
2.8	Funkcje i udział w konferencjach krajowych i zagranicznych.....	41
2.9	Funkcje i udział w gremiach naukowych i branżowych.....	42
3.	DZIAŁALNOŚĆ DYDAKTYCZNA.....	42
3.1	Prowadzone zajęcia dydaktyczne.....	42
3.2	Przygotowanie i współudział w opracowaniu programów przedmiotów i szkoleń	45
3.3	Przygotowanie materiałów dydaktycznych i szkoleniowych.....	45
3.4	Publikacje metodyczne dotyczące dydaktyki	46
4.	DZIAŁALNOŚĆ ORGANIZACYJNA	46
5.	DZIAŁALNOŚĆ INNOWACYJNA I WDROŻENIOWA	47

1. DANE BIOGRAFICZNE

1.1 Wykształcenie

W 1994 roku ukończyłem technikum w specjalności Technologia Procesów Chemicznych w Zespole Szkół Technicznych im. Marii Curie-Skłodowskiej w Puławach, uzyskując tytuł technika procesów chemicznych. Za pracę dyplomową pt. "Zagrożenie eutrofizacją Łąchy Wiślanej" uzyskałem 2'gą nagrodę w Konkursie Młodych Mistrzów Techniki NOT w Lublinie. Następne szczeble edukacji przebiegały następująco:

Tabela 1. Wykształcenie habilitanta

Lata	Instytucja	Kierunek	tytuł
1994-1999	Politechnika Lubelska. Wydział Inżynierii Budowlanej i Sanitarnej	Ochrona środowiska, specjalność: Ochrona Powierzchni Ziemi i Utylizacja Odpadów	Mgr inż. Ochrony Środowiska. Wyróżnienie za wyniki w nauce. Nagroda MOŚZSiL: Lider Polskiej Ekologii
1999-2003	Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy	Studia doktoranckie w dziedzinie nauk rolniczych	Doktor nauk rolniczych w zakresie kształtowania środowiska i melioracji rolnych
2001-2002	Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy	Klasyfikacja gruntów i kartografia gleb	Klasyfikator gruntów
2003-2004	Uniwersytet Wrocławski, Wydział Prawa i Administracji	Prawo Ochrony Środowiska	Specjalista prawa ochrony środowiska

Tytuł pracy doktorskiej brzmi: Zastosowanie cyfrowego modelowania zlewni potoku Grodarz dla celów zagospodarowania przeciwerozyjnego. Promotorem pracy był Ś. P. Pan prof. dr hab. Czesław Józefaciuk, recenzentami byli Pan prof. dr hab. Krzysztof Koreleski oraz Pan prof. dr hab. Ryszard Dębicki.

1.2 Zatrudnienie po ukończeniu studiów

Jeszcze w okresie studiów zaangażowałem się w badania naukowe, biorąc udział jako pomocnik techniczny w projekcie badawczym dotyczącym biodostępności glinu oraz bio-filtracji ścieków w glebie, prowadzonych przez ś.p. dr inż. Marka Kotowskiego. Po ukończeniu studiów moja praca zawodowa przebiegała następująco (tab. 2):

Tabela 2. Przebieg zatrudnienia habilitanta

Lata	Instytucja	Stanowisko	Zadania
1999-2003	Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy. Zakład Erozji Gleb i Urządzania Terenów Urzeźbionych	doktorant	Badania podstawowe i modelowanie procesów erozji, GIS, teledetekcja, urządzenie obszarów wiejskich
2003-2004	Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy. Zakład Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów	Starszy specjalista badawczo-techniczny	Badania podstawowe nad erozją, modelowanie symulacyjne, GIS, teledetekcja
2004-2005	Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy. Zakład Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów	adiunkt	Badania podstawowe nad erozją, modelowanie symulacyjne, GIS, teledetekcja
2004-2005	Katholieke Universiteit Leuven, Department of Forest, Nature and Landscape	PostDoc researcher	Ocena emisji gazów cieplarnianych z leśnych ekosystemów Flandrii, budowa aplikacji web map service (geoportalu)
2005-2007	Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy. Zakład Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów	adiunkt	Badania podstawowe nad erozją, modelowanie symulacyjne, GIS, teledetekcja
2007-2008	Spatial Applications Division Leuven, Katholieke Universiteit Leuven R&D.	Technical Director of CASCADOSS project	Techniczna i merytoryczna koordynacja projektu CASCADOSS: zarządzanie projektem, organizacja warsztatów i konferencji, kierowanie zadaniami.
2008-2010	Spatial Applications Division Leuven, Katholieke Universiteit Leuven R&D.	Assistant Professor	Kierownik zadań w projektach NatureSDI+ i NESIS. Wykładowca. Wykonawca w projektach: Spatialist, INSPIRE SoP 2010.
2010-2018	Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy. Zakład Gleboznawstwa Erozji i Ochrony Gruntów	adiunkt	Zarządzanie projektami badawczymi, badania podstawowe nad erozją, modelowanie symulacyjne, adaptacja rolnictwa do zmian klimatu, nawodnienia rolnicze, informatyka w rolnictwie.
2015	INRA, Francja	ekspert	Członek Scientific Committee programu FACCE EraNet plus.
2016-2017	Ecorys, Holandia	ekspert	Opracowanie raportów dotyczących wrażliwości rolnictwa Białorusi na zmiany klimatu.

2. DZIAŁALNOŚĆ NAUKOWA

2.1 Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16. Ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr. 65, poz. 595 ze zm.)

2.1.1 Tytuł osiągnięcia

„Wskaźniki ilościowe podatności gleb Polski na erozję wodną i wietrzną” przedstawione w 5 monotematycznych pracach wyszczególnionych poniżej z syntezą merytoryczną. Kopie publikacji stanowią załącznik nr 4.

2.1.2 Publikacje składające się na monotematyczny cykl stanowiący najważniejsze osiągnięcie w dorobku naukowym

- i. Nowocień E., **Wawer R.**, Podolski B., 2004. Estimating soil susceptibility to wind erosion under the effect of simulated wind. *Journal of Water and Land Development*, No. 8: 137-146 (7p MNiSW, 2004). Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na pomocy w prowadzeniu doświadczeń modelowych (40%), opracowaniu statystycznym danych (100%) oraz napisaniu około 60% tekstu i przetłumaczeniu go na język angielski. Mój udział procentowy szacuję na 60%.
- ii. **Wawer R.**, Nowocień E., Podolski B., 2005. Real and calculated K_{usle} erodibility factor for selected Polish soils. *Polish Journal of Environmental Studies*. Vol. 14, No 5: 655-658 (**IF=0.352**, 2005). Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na pomocy w prowadzeniu doświadczeń modelowych (40%), opracowaniu statystycznym danych (100%) oraz napisaniu około 90% tekstu i przetłumaczeniu go na język angielski. Mój udział procentowy szacuję na 60%.
- iii. **Wawer R.**, Nowocien E., Podolski B., 2013. Sediment uptake rates under extreme rainfall in controlled conditions. *Journal of Food Agriculture and Environment*, Vol.11 (1): 1089-1093 (**IF = 0.517**, 2013). Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na pomocy w prowadzeniu doświadczeń modelowych (50%), koordynowaniu projektu badawczego, którego częścią było doświadczenie, opracowaniu statystycznym danych (100%) oraz napisaniu około 70% tekstu i przetłumaczeniu go na język angielski. Mój udział procentowy szacuję na 75%.
- iv. **Wawer R.**, Nowocien E., Podolski B., Kozyra J., Pudełko R., 2013. Protective role of grassland against soil water erosion caused by extreme rainfall events as compared to black follow. *Journal of Food Agriculture and Environment*, Vol.11 (1): 1069-1071. (**IF = 0.517**, 2013). Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na pomocy w prowadzeniu doświadczeń modelowych (50%), koordynowaniu projektu badawczego, którego częścią było doświadczenie, opracowaniu statystycznym danych (100%) oraz napisaniu około 70% tekstu i przetłumaczeniu go na język angielski. Mój udział procentowy szacuję na 75%.
- v. **Wawer R.**, Nowocien E., Podolski B., 2013. Wind erosion rates for ten soils under threshold wind speed in controlled conditions. *Journal of Food Agriculture and Environment*, vol. 11 (1): 1432-1436 (**IF = 0.517**, 2013). Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na pomocy w prowadzeniu doświadczeń modelowych (50%), koordynowaniu projektu badawczego, którego częścią było doświadczenie, opracowaniu statystycznym

danych (100%) oraz napisaniu około 80% tekstu i przetłumaczeniu go na język angielski. Mój udział procentowy szacuję na 75%.

IF prac stanowiących najważniejsze osiągnięcie w dorobku naukowym **1,903** (67 punktów MNiSW)

2.1.3 Omówienie celu naukowego prac składających się na najważniejsze osiągnięcie naukowe Erozja gleb, według ogólnej definicji FAO (FAO, 2015) określana jest jako przyspieszone usuwanie gleby z powierzchni terenu przez wodę, wiatr lub uprawę. W polskiej klasyfikacji erozji (Józefaciuk i Józefaciuk, 1996) wyróżniono dodatkowo 2 czynniki sprawcze: ruchy masowe i śnieg.

FAO szacuje na podstawie publikacji z ostatniej dekady globalne nasilenie erozji wodnej na poziomie między $20 \cdot 10^9 \text{Mg}$ a $200 \cdot 10^9 \text{Mg}$ na rok, przy czym uważa się wyniki przekraczające $50 \cdot 10^9 \text{Mg}$ na rok za nierealistyczne (FAO, 2015).

Estymacje globalnego zasięgu i nasilenia erozji wietrznej oparte o analizy akumulacji eolicznej pyłu i cząstek ilastych oraz ich koncentracji w atmosferze są wysoce niepewne i wskazują na mobilizację drobnego materiału glebowego na poziomie $2 \cdot 10^9 \text{Mg}$ na rok (FAO, 2015). Szacunki te nie uwzględniają strat cząstek o większych średnicach: piasku drobnego i grubego. Szacunki poczynione przez Shao i innych (Shao i in., 2011) na podstawie analiz wysokorozdzielczych danych satelitarnych wskazują na globalny zakres emisji pyłu od $0,5 \cdot 10^6 \text{Mg}$ do $3,3 \cdot 10^6 \text{Mg}$ na rok. Około 430 milionów ha obszarów suchych i półsuchych, stanowiących 40% powierzchni Ziemi jest podatnych na erozję wietrzną (Ravi et al., 2011).

W niedawno wydanym raporcie (Jones i in., 2012) przedstawiono szacunki powierzchni zagrożonej erozją w latach dziewięćdziesiątych na poziomie 105 milionów hektarów, stanowiących 16% powierzchni Europy (bez Rosji) zagrożonej erozją wodną oraz 42 miliony ha erozją wietrzną. Wyniki uzyskane w modelu PESERA i różnych wariantach modelu RUSLE wskazują, że około 17% ogólnej powierzchni łądu jest w różnym stopniu dotknięta erozją (Bittner i in., 2002), z czego 92% erozją wodną (EEA, 2003). Nowe szacowanie zagrożenia erozją wodną wykonane w modelu utworzonym w JRC wskazuje na 1.3 miliona km^2 powierzchni EU-27 dotkniętej erozją wodną przy czym na prawie 20% tego obszaru nasilenie erozji przekracza 10 Mg na hektar na rok (Panagos i in., 2015).

Almanachy podają globalny zasięg degradacji gleb przez erozję na poziomie około 1,6 miliarda ha ziemi uprawnej, co stanowi około 13% ogółu kontynentów, przy czym ponad 1 miliard ha jest dotkniętych przez erozję wodną, a około 550 milionów ha przez erozję wietrzną (Fischer Weltalmanach, 2002).

Przyspieszona degradacja gleby w wyniku redukcji poziomu orno-próchnicznego wywołanego przez erozję od dekad uznawana jest za główne zagrożenie dla rolnictwa i gospodarki w skali globalnej (FAO, 2015). Tempo erozji na glebach uprawnych lub intensywnie wypasanych jest od 100 do 1000 razy szybsze niż tworzenie się poziomu orno-próchnicznego, który określa się dużo poniżej 1 Mg/ha/rok przy medianie wynoszącej około 0,15 Mg/ha/rok (FAO, 2015).

W Polsce potencjalne zagrożenie erozją wodną występuje na około 28% ogólnego obszaru, a erozja wietrzna na około 28% powierzchni bezleśnej (Józefaciuk i Józefaciuk, 1995; Siuta, 2009). Aktualne zagrożenie erozją wodną powierzchniową wyliczone dla użytkowania terenu wg CORINE Land Cover (CLC 2006) kształtuje się na poziomie 18,2% powierzchni kraju (Wawer, Nowocien i Podolski, 2007;

Józefaciuk, Nowocień i Wawer, 2014). W Polsce występuje jedna z najgęstszych sieci wąwozów w Europie, sięgająca $13 \text{ km} \cdot \text{km}^{-2}$ (Józefaciuk, Nowocień i Wawer, 2016). Całkowity obszar występowania erozji wąwozowej w Polsce to około 18% kraju, przy czym erozją wąwozową o nasileniu od średniego do bardzo silnego (gęstość wąwozów powyżej $0,5 \text{ km} \cdot \text{km}^{-2}$) występuje aż na 7% powierzchni kraju (Józefaciuk, Nowocień i Wawer, 2016). Szacuje się, że w wyniku negatywnego oddziaływania erozji w Polsce ponad 700 tysięcy ha gruntów zostało zupełnie zrujnowanych i w większości nie nadaje się do rolniczego użytkowania (Józefaciuk i Józefaciuk, 1995).

Ze względu na znaczny udział gleb lekkich w Polsce, szacuje się, że powierzchnia zagrożona erozją wietrzną w stopniu od średniego do bardzo silnego wynosi 52% powierzchni użytków rolnych tj. ponad 11 milionów hektarów (Józefaciuk, Nowocień i Wawer, 2018).

Istnieje wiele szacunków nasilenia różnych form erozji i strat gleby przez nie powodowanych, opartych o różne metodyki i modele operujące na różnych, często niezharmonizowanych danych, zwłaszcza w zakresie semantyki dotyczącej pokrywy glebowej. Jednoznaczna ocena rzeczywistych strat gleby jest bardzo trudna ze względu na ograniczone możliwości realnych pomiarów strat gleby w obrębie pola (erozja on-site) i jej wynoszenia poza źródło (erozja off-site). Istniejące modele symulacyjne, czy to empiryczne, czy teoretyczne są tylko przybliżeniem naturalnych procesów, dlatego też nie powinny być stosowane bez walidacji na danych pomiarowych (Dyck, 1980). Modele pozwalają na bardzo wszechstronne szacowanie strat gleby w wyniku erozji oraz analizę potencjalnego wpływu różnych scenariuszy działalności człowieka (struktura użytkowania gruntów, agrotechnika itd.) i klimatu, stąd pomimo ich ograniczeń są szeroko stosowane i wciąż doskonalone (Dyck, 1980, Schmidt J. ed., 2001).

Poniższy zestaw prac badawczych przedstawia wieloletnie badania nad wpływem wybranych czynników na podatność gleb na erozję wodną i wietrzną. Ze względu na bardzo szerokie spektrum czynników wpływających na nasilenie erozji, m.in.: sposób użytkowania terenu, podatność gleb, intensywność czynnika sprawczego, chwilowy stan gleby itd., Zespół pod kierunkiem Ś. P. prof. dr hab. Czesława Józefaciuka rozpoczął badania stacjonarne w roku 1999, decydując się skupić na wąskim wycinku tego spektrum obejmującego podatność na erozję gleb w czarnym ugorze, reprezentującym stan gleby w okresie po uprawie płużnej, kiedy jest ona najbardziej narażona na degradację. Badania miały charakter poznawczy w zakresie ilościowego związku między uziarnieniem pokrywy glebowej, jej aktualnej wilgotności oraz nasilenia opadu lub wiatru na ilość wyerodowanego materiału glebowego. Badania prowadzono w warunkach nadkrytycznych tj. nasileniu czynnika sprawczego powodującego dany typ erozji, przekraczającego wartości krytyczne dla najbardziej odpornej na erozję gatunku gleby spośród utworzonego zestawu 10 gleb. Dzięki tym badaniom zweryfikowano doświadczalnie dwa najpopularniejsze wzory na obliczanie wskaźnika podatności gleb na erozję K_{USLE} dla 10 gatunków gleb z polskiej klasyfikacji gleboznawczej PTG 1978. Zbadano szczegółowo wpływ wilgotności gleby i jej składu granulometrycznego na podatność na erozję wodną i wietrzną. Wykazano również ilościowo dobroczynny wpływ wykorzystania trwałych użytków zielonych w przeciwoerozyjnym zagospodarowaniu terenu.

Pole doświadczalne do badań modelowych wykorzystane w osiągnięciu

Doświadczenie do przeprowadzenia modelowych badań erozji wodnej i wietrznej wykonano w roku 2000 na terenie stacji doświadczalnej IUNG w Górnym Ogrodzie w Puławach w ramach projektu badawczego KBN nr 5P06H/00210, prowadzonego w latach 1996-2000 oraz statutowego programu

badawczego IUNG nr 2. 21 pt. „Określenie wskaźników podatności różnych gatunków gleb na erozję wodną i wietrzną” prowadzonego w latach 2000-2002; koordynowanych przez Prof. dr hab. Czesława Józefaciuka i dr inż. Eugeniusza Nowocienia.

W bezpośrednim sąsiedztwie bazy doświadczalnej znajduje się stacja meteorologiczna na której prowadzone są ciągłe pomiary opadów, temperatury powietrza i gleby, usłonecznienia i wiatru. Na polu doświadczalnym wykonane zostały wykopy, do których wbudowano skrzynie bez dna, z drewna o wymiarach 0,3x1,0x2,0 m, nadając spadek podłużny 10%. Skrzynie usytuowano w odległości, co 1 m w dwóch rzędach po 10 sztuk w każdym rzędzie, a rzędy oddzielono ścieżką technologiczną o szerokości 3 m. Dla podwyższenia trwałości skrzyń, deski poddano impregnacji, a narożniki wzmocniono kątownikami z blachy ocynkowanej. Wystające części skrzyń z wykopu obsypano gruntem miejscowym.

Do badania erozji powierzchniowej w dolnej krawędzi skrzyń zainstalowano rynnę zbierającą o szerokości 1m z przewodem spustowym i naczyniem pomiarowym – kolektorem. Skrzynie wypełniono warstwą gleby pobraną z poziomów próchnicznych wybranych 10 gatunków gleb (tab. 1). Badania prowadzono na glebie spulchnionej, odpowiadającej stanowi powierzchni po uprawie, który to stan zgodnie w wynikami Rejmana i Usowicza (1999) rokował lepsze korelacje z energią opadu.

Tabela 3. Gleby pobrane z poziomów orno-próchnicznych o zróżnicowanym składzie

Lp	Typ i podtyp gleby	Skład granulometryczny	Symbol	Zawartość frakcji % (BN-78/9180-11)		
				piasek 1-0,1 mm	pył 0,1-0,02 mm	części spławialne (iłowe) <0,02 mm
1	Gleba rdzawa	piasek luźny	pl	90	5	5
2	Gleba rdzawa	piasek słabogliniasty	ps	76	17	7
3	Gleba brunatna kwaśna	piasek gliniasty lekki	pgl	68	18	14
4	Gleba płowa	piasek gliniasty mocny	pgm	60	20	20
5	Czarnoziem degradowany	głina lekka	gl	52	22	26
6	Czarnoziem zdegradowany	głina średnia	gs	28	24	48
7	Gleba płowa	pył zwykły	płz	13	67	20
8	Gleba brunatna właściwa (lessowa)	pył gliniasty (less)	płg (ls)	9	60	31
9	Rędzina czarnoziemna	głina ciężka	gc	29	6	65
10	Mada właściwa	piasek gliniasty mocny pylasty (mada średnia)	pgmp	45	36	19

Literatura:

1. Bittner G., Feranec J., Jaffrain G.: Corine land cover update 2000: Technical guidelines, EEA Technical report No 82, 2002. Gentile A. R. et al., Down to earth: Soil degradation and sustainable development in Europe - A challenge for the 21st century. EEA, 2000.
2. EEA, 2003. Assessment and reporting on soil erosion. Background and workshop report.. European Environment Agency. Technical report nr. 94/2003.
3. FAO and ITPS. 2015. Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy
4. Fischer Weltatmanach 2002. Wyd. Fischer Taschenbuch Verlag, 2002, pp 520.
5. Jones A., Panagos P., Barcelo S., Bouraoui F., Bosco C., Dewitte O., Gardi C., Erhard M., Hervás J., Hiederer R., Jeffery S., Lukewille A., MArmo L., Montanarella L., Olazabal C., Petersen J.-E., Penizek V., Strassburger T., Toth G., Van Den Eeckhaut M., Van Liedekerke M., Verheijen F., Viestova E., Yigini Y., 2012. The State of Soil in Europe. EEA report No. 25186, pp: 80.
6. Józefaciuk A., Józefaciuk Cz., 1995. Erozja agroekosystemów. Bibl. Monit. Środ., pp: 168
7. Józefaciuk A., Nowocięń E., Wawer R., 2014. Erozja gleb w Polsce – skutki środowiskowe i gospodarcze, działania zaradcze. Monografie i rozprawy naukowe IUNG-PIB, nr 44, ss.: 263.
8. Józefaciuk A., Nowocięń E., Wawer R., 2016. Rozwój, skutki i występowanie erozji wąwozowej w Polsce oraz metody zagospodarowania wąwozów. Monografie i rozprawy naukowe – 48, ISBN 978-83-7562-208-9, IUNG-PIB Puławy, 2016, ss:376
9. Józefaciuk A., Nowocięń E., Wawer R., 2018 Erozja wietrzna w Polsce. Monografie i rozprawy naukowe – nr 57, ISBN 978-83-7562-286-7, IUNG-PIB Puławy, 2018, ss:182
10. Kirkby, M.J., Jones, R.J.A., Irvine, B., Gobin, A, Govers, G., Cerdan, O., Van Rompaey, A.J.J., Le Bissonnais, Y., Daroussin, J., King, D., Montanarella, L., Grimm, M., Vieillefont, V., Puigdefabregas, J., Boer, M., Kosmas, C., Yassoglou, N., Tsara, M., Mantel, S., Van Lynden, G.J. And Huting, J., 2004. Pan-European Soil Erosion Risk Assessment: The PESERA Map, Version 1 October 2003. Explanation of Special Publication Ispra 2004 No.73 (S.P.I.04.73). European Soil Bureau Research Report No.16, EUR 21176, 18 pp. and 1 map in ISO B1 format. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
11. Panagos P., Borelli P., Poesen J., Ballabio C., Lugato E., Mauseburger K., Montanarella L., Alawell C., 2015. The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. Environmental Science & Policy. Volume 54: 438-447
12. Siuta J. 2009. Degradacja i rekultywacja powierzchni Ziemi w Polsce. Zesz. Nauk Pol.-Wsch. PTIE O/Rzeszów, PTG O/Rzeszów, 11: 235-241.
13. Wawer R., 2007. Erozja wodna aktualna w Polsce wg województw w oparciu o Corine CLC2000. Inżynieria Ekologiczna, 18, 104-105.
14. Wawer R., Nowocięń E., 2007. Digital Map of Water Erosion Risk in Poland: A Qualitative, Vector-Based Approach. Polish Journal of Environmental Studies, Vol. 16, No 5, 763–772.

2.1.3.1 Podatność gleb na erozję wodną w warunkach opadów nawałnych (iii., iv.)

Erozja gleby i związana z nią degradacja towarzyszyły człowiekowi co najmniej od czasu, kiedy zaczął zajmować się rolnictwem. Jednym z najbardziej znanych odwołań do erozji gleby w literaturze klasycznej jest zdanie z Krytiusza Platona o wylesionej Attyce z IV wieku p.n.e.: „płynęła naokoło gleba, która była tłusta i miękka, a którą choroba zżarła i pozostał tylko chudy szkielet ziemi, jak szkielet człowieka pozbawiony ciała” (Józefaciuk i Józefaciuk, 1996). W czasach nowożytnych szerokie badania nad niszczeniem powierzchni ziemi i degradacją gleby przez rolnictwo zapoczątkował dopiero w pierwszej dekadzie XX wieku Bennett, który od 1903 roku rozpoczął systematyczne badania nad degradowaniem gleby przez wodę i wiatr, zakończone w 1928 roku sprawozdaniem „Soil erosion a national menace” (Bennet , 1928) przyjętym przez ministerstwo rolnictwa Stanów Zjednoczonych USDA. Od tego czasu ciągle rozwijano metody pomiarów i oceny strat gleby w wyniku działania wody i wiatru. Początkowo były to niezmiernie żmudne i czasochłonne badania terenowe i poszukiwanie zależności między agrotechniką, stanem i rodzajem gleby oraz nasileniem samych czynników sprawczych (Zachar, 1982).

Wraz z wynalezieniem i rozwojem systemów informacji geograficznej (GIS), umożliwiającymi szybkie przeprowadzanie analiz przestrzennych nawet na dużych zbiorach danych, nastąpiła technologiczna rewolucja w badaniach przyrodniczych, w tym i w kartowaniu erozji (Koreleski, 1996; Wawer, 2003). Dzięki zastosowaniu cyfrowych modeli terenu można błyskawicznie otrzymywać parametry rzeźby terenu, jak mapa spadków terenu i wystawy stoków (Evans, 1979; Haralick, 1983; Olaya, 2009; Smith, Goodchild i Longley, 2015; Travis i in., 1975; Weih i Mattson, 2004; Zavenbergen i Thorne, 1987), parametrów hydrologicznych jak mapa zlewni cząstkowych (Gruber i Peckham, 2009; O'Callaghan i Mark, 1984; Tarboton, 1997) czy indeksy wilgotności (Bauer, Rohdenburg i Borl, 1985; Singer, 2015). Dane opisujące rzeźbę terenu można dowolnie łączyć z innymi danymi np. cyfrową mapą glebowo-rolniczą i mapą użytkowania terenu. Aby wykorzystać nowoczesne narzędzia GIS w badaniach nad erozją gleb należy utworzyć model opisujący zależność właściwości gleb zawarty na mapie glebowo-rolniczej oraz nasilenia procesów erozyjnych na wielkość strat gleby.

W literaturze światowej spotyka się wiele prac wiążących uziarnienie gleby (Cruse i in., 1997; Le Bissonais i in., 1995; Legout i in., 2005; Rejman i in., 1994; Sharma i in., 1995), zawartość substancji organicznej oraz wilgotność gleby (Le Buissonais i in., 1992, 1995; Poesen, 1981; Schmidt i v Werner, 1996) z natężeniem deszczu i stratami gleby. Wielu autorów wiąże czas działania deszczu z wystąpieniem rozbryzgu i wymycia (Parsons i in., 1994; Ziegler i in., 1997; Legout i in., 2005; Mermut i in., 1997, Sutherland i in., 1996; Walker i in., 2007). Poesen (1981) wskazał jednoznacznie na rolę początkowej wilgotności gleby na odporność gleby na rozbryzg i spływ. Znaczna liczba tych modeli zawiera równania odwołujące się do składu granulometrycznego, używając wskaźników bądź zawartości poszczególnych frakcji (Wischmeier i Smith, 1978;), bądź średnicy miarodajnej D50 (Sharma i in., 1991, Poesen i Savat, 1981). Szerokie zastosowanie tych modeli utrudnia brak kompatybilności klasyfikacji uziarnienia, które różnią się granicznymi wartościami średnicy ziaren oddzielających poszczególne utwory glebowe np. klasyfikacji DIN (Schmidt, v. Werner, 1996) czy USDA (Wischmeier i Smith, 1978). W literaturze polskiej przeważają studia skupiające się na jednym gatunku gleby, najczęściej na uważanym za najbardziej podatny na erozję wodną (Józefaciuk i Józefaciuk, 1996) lessie w warunkach naturalnych (Rejman, 1991, 2002; Rejman i Usowicz, 2002; Rejman i in., 1994; Święchowicz, 2016)

Dlatego też zdecydowano się na opracowanie równań zależności składu granulometrycznego wg PTG (BN-78/9180-11), wilgotności gleby przed wystąpieniem opadu oraz nasilenia samego opadu dla nadkrytycznych intensywności opadów, przekraczających 12mm/h (Licznar i Rojek, 2002).

Na obiekcie badawczym, przedstawionym we wstępie wykonano 32 serie po 10 pomiarów (1 pomiar na każdą z 10 badanych gleb w jednym powtórzeniu) odpływu i zmywu wywołanych opadem symulowanym o objętości od 23mm do 50mm i intensywności od 0,52mm/min do 2,5mm/min. Opad symulowany generowany był przez deszczownię zaprojektowaną w Instytucie Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa w oparciu o wcześniejsze doświadczenia Dębickiego i in., (1993), Piechnika (1985 i 1993) i wykonaną w formie prototypu w Instytucie Agrofizyki PAN w Lublinie. Materiał glebowy zmyty z powierzchni mikropoletka przez symulowany deszcz erozyjny był odprowadzany rynną o nachyleniu 5% do przewodu spustowego, a następnie do naczynia pomiarowego.

Deszczowanie symulowane było wykonywane w okresie od początku października do końca marca w sprzyjających warunkach pogodowych (dodatnia temperatura i brak opadów atmosferycznych). Po każdej symulacji mierzono: ilość spłyniętej wody i zmytej gleby. Deszczowanie symulowane było wykonywane w interwale czasowym 30, 40, 45, 50 i 60 minut. Rejestrowany był czas rozpoczęcia

deszczowania i spływu wody, czas zakończenia deszczowania i spływu powierzchniowego, natężenie opadu oraz wilgotność gleby przed deszczowaniem.

Po każdym deszczu symulowanym materiał glebowy na badanym poletku był uzupełniany glebą zapasową.

Badania ilościowe w warunkach symulowanego deszczu rozpoczęto w marcu 2000 roku a zakończono w październiku 2011, na 10 gatunkach gleb w czarnym ugorze przy spadku 10% (6°) oraz dodatkowo w latach 2008-2011 w 3 równoległych seriach 10 poletek pod trwałym użytkowaniem zielonym, obsianych mieszanką traw.

Badania statystyczne przeprowadzono na populacji 32 serii (w okresie 2000-2011) dla czarnego ugoru oraz 3 serii po 3 powtórzenia dla trwałego użytku zielonego, na surowych zmiennych: wilgotność gleby przed deszczowaniem, czas deszczowania, opad symulowany oraz wielkość odpływu i zmywu zmierzonego w trakcie badań. Dodatkowo do obliczeń statystycznych wprowadzono zmienne pochodne: natężenie opadu [mm/h], energię kinetyczną opadu (12) [J/m²], wskaźnik odpływu oraz zmyw jednostkowy [g/m²dm³].

Badania statystyczne opracowano dla poszczególnych gatunków gleb oraz dla ogółu gleb, uwzględniając wpływ składu granulometrycznego. W oparciu o charakterystyki korelacji badania statystyczne podzielono na dwie zmienne zależne: odpływ (współczynnik odpływu) oraz zmyw (zmyw jednostkowy) rozdzielając aspekt hydrologiczny badań od aspektu ruchu sedymentu, posiadające znacząco różne mechanizmy fizyczne (Schmidt i v. Werner, 1996). W wynikach badań zaobserwowano znacznie większy rozrzut obserwacji zmywu w porównaniu do odpływu.

Dla wszystkich gatunków gleb opracowano analizę istotności korelacji liniowej dla par zmiennych zależnych – odpływu, współczynnika odpływu, zmywu, zmywu jednostkowego i zmiennych niezależnych – zawartości frakcji spławialnych, frakcji pylastych, frakcji piaszkowych, wilgotności, wielkości opadu, natężenia opadu, energii kinetycznej opadu, wielkości odpływu oraz współczynnika odpływu..

Korelacje dla współczynnika odpływu są silniejsze niż dla zmywu, wynika to z właściwości hydrologicznych, które są bardziej przewidywalne niż procesy rozbryzgu i zmywu zachodzące pod wpływem deszczu i spływu powierzchniowego (Schmidt i v. Werner, 1996, Schmidt, 2001)

Najwyższe istotne korelacje w całej populacji badanych gleb dla zmiennej zależnej odpływu, stwierdzono pomiędzy parametrami opadu: wysokością opadu ($r=0,55$, $p=0,000$) oraz intensywnością opadu ($r=0,497$, $p=0,039$). Wysokie współczynniki korelacji dla tej zmiennej wykazywały również zawartość frakcji pyłu i piasku (odpowiednio 0,406 i -0,306 – w oby przypadkach $p=0,000$). Pozostałe zmienne niezależne miały niższe współczynniki korelacji: wilgotność gleby (0,297, $p=0,000$) oraz zawartość frakcji ilastej (-0,014, $p=0,971$).

Zmienna zależna współczynnika odpływu korelowała wyżej ze zmiennymi opisującymi właściwości gleby: zawartość frakcji pyłu i piasku (odpowiednio $r=0,513$ i $r=-0,382$, w obu przypadkach $p=0,000$) oraz początkową wilgotnością gleby ($r=0,434$, $p=0,000$). Zawartość frakcji iłu wykazała mały współczynnik korelacji ($r=-0,024$, $p=0,811$) a zmienne opisujące opad były znacznie słabiej skorelowane ze współczynnikiem odpływu niż z odpływem. O ile źródła wiążą bezpośrednio wilgotność gleby (Schmidt i v. Werner, 1996) ze współczynnikiem odpływu to z racji różnych charakterystyk retencyjnych gleb (różne progi punktów trwałego więdnięcia i połowej pojemności

wodnej) korelacja z bezwzględną wielkością odpływu powinna być znacznie słabsza, co znalazło odbicie w wynikach.

W przypadku zmiennej niezależnej zmywu najwyższe współczynniki korelacji uzyskano ze zmiennymi niezależnymi odpływu ($r=0,700$, $p=0,000$), współczynnika odpływu ($r=0,550$, $p=0,000$), opadu ($r=0,473$, $p=0,05$) oraz intensywności opadu ($r=0,671$, $p=0,003$). Spośród właściwości gleby najbardziej istotną zmienną okazała się zawartość frakcji pyłu ($r=0,270$, $p=0,000$).

Różnica między siłą korelacji między zmiennymi niezależnymi intensywności opadu oraz wysokości odpływu może świadczyć o równowadze między rolą rozbryzgu i spływu powierzchniowego w poszczególnych gatunkach gleb. Znaczną przewagę korelacji ze zmienną intensywności opadu wykazały gatunki gleb: gl (0,76 a 0,63), gs (0,83 a 0,63) oraz pgmp (0,79 a 0,64). Następujące gatunki gleb wykazały odwrotną zależność korelacji: pl (-0,34 a 0,85) i ps (0,51 a 0,67). W przypadku pozostałych gleb jak i ogółu populacji prób współczynnik korelacji pozostawał na podobnym poziomie, oscylując między 0,7 a 0,8. W przypadku piasku luźnego tak wielka rozbieżność między wpływem intensywności opadu a wysokości odpływu na wielkość strat gleby wiąże się z uziarnieniem tej gleby, która zawiera tylko do 5% frakcji ilastej, co rzutuje na jej prędkość infiltracji i trudność w wybijaniu dużych cząstek z powierzchni, pomimo bardzo małych sił spójności wiążących ziarna (Wiłun, 1987). Duże znaczenie ma również mała odległość przemieszczenia ziaren gleby przez energię kropeł, wywieraną punktowo prostopadle do powierzchni w przeciwieństwie do energii spływu powierzchniowego wywieranej liniowo w sposób ciągły stycznie do powierzchni gleby (Schmidt, v Werner, 1996). Wyniki dla gleb lekkich nie potwierdzają w pełni obserwacji Poesen'a (1985, 2985) i Salles i in. (2000), którzy stwierdzili w badaniach stacjonarnych, że najbardziej podatne na rozbryzg są gleby zawierające duże ilości piasku drobnego i bardzo drobnego (wg klasyfikacji USDA), ale ponieważ w moich badaniach nie prowadzono bezpośrednio pomiaru rozbryzgu, bezpośrednie porównanie nie jest możliwe. W pozostałych przypadkach gleb o większej niż 10% zawartości frakcji iltu, rozbryzg wydaje się stanowić istotny element bilansu strat gleby, powodując przede wszystkim rozbicie agregatów i wystawienie odspojonych cząstek na działanie spływu powierzchniowego (Kincaid i Williams 1966, Rejman 2002, Schmidt i von Werner, 1996) Rozbryzg wywołuje również zmianę współczynnika szorstkości powierzchni gleby (Kincaid i Williams 1966) i jej zeskorupienia (Bradford i in. 1986, Le Bissonnais i Singer 1992, Rejman 2002, Sharma i in. 1995) co sprzyja osłabieniu struktury gleby.

Porównanie odpływu oraz zmywu między poletkami deszczowanymi na czarnym ugorze i pod użytkiem zielonym wykazało bardzo silną funkcję ochronną zbiorowiska trawiastego. Średni odpływ i zmyw dla badanej populacji 90 prób wyniósł na czarnym ugorze odpowiednio 6,91mm i 140,2g*m⁻², podczas gdy te same zmienne na populacji prowadzonych równolegle 3 serii badań dających 270 prób wyniosły odpowiednio 1,44mm i 0,41 g*m⁻². Można więc stwierdzić, że odpływ i natężenie erozji na glebie pod trwałym użytkiem zielonym jest odpowiednio średnio około 4,8 i 342 razy mniejsze niż na świeżo zruszonej glebie odkrytej, co daje wskaźnik redukcji zmywu na poziomie 0,0029, odpowiadającemu wg definicji wskaźnikowi C, oznaczającemu stosunek ilości zmytej gleby z rozpatrywanego stoku pod danym użytkiem do tego samego stoku utrzymywanego w czarnym ugorze z zabiegami prowadzonymi wzdłuż stoku (Kowalczyk, 2007). Wyznaczony eksperymentalnie wskaźnik C_{USLE} jest około 5 razy niższy od wartości podawanych w literaturze (Koreleski, 1992; Drzewiecki i Mularz, 2005), gdzie szacuje się C_{USLE} dla użytku zielonego na poziomie 0,015 a dla lasu 0,002. Badania poletkowe nad erozyjnością lessu, prowadzone przez Świąchowicz (2010) w warunkach opadu naturalnego i spadku terenu 14% oraz zróżnicowanej długości poletek wykazały wskaźnik redukcji odpływu i zmywu dla użytku zielonego w stosunku do czarnego ugoru wynoszący dla odpływu 3,72 oraz dla zmywu 1129:1, przy czym wyniki zostały pozyskane 1 pierwszym roku, w którym posiano trawę. Pośród moich wyników szczegółowych, nie umieszczonych w publikacjach

stanowiących osiągnięcie znajdują się wyniki badań dla lessu o zbliżonym składzie do tego z badań Świąchowicz. Wyniki na poletkach o spadku 10%, dojrzałej 3-letniej darni i opadzie symulowanym na poziomie 50mm na 30min wykazały współczynnik redukcji odpływu na poziomie 13 i zmywu na poziomie 12000:1, a więc znacznie wyższy niż na młodej 1-roczonej darni.

Obecnie pracuję nad zaawansowaną obróbką statystyczną danych z zebranych 32 serii, uzupełnionych o dodatkowe zmienne charakterystyki gleb i z użyciem zmiennych grupujących, pozwalających na otrzymanie ściślejszych zależności dla badanych populacji gleb.

Literatura:

1. Bauer, J., Rohdenburg, H., Bork, H.-R., 1985. Ein Digitales Reliefmodell als Voraussetzung fuer ein deterministisches Modell der Wasser- und Stoff-Fluesse, Landschafts-genese und Landschaftsoekologie, H.10, Parameteraufbereitung fuer deterministische Gebiets-Wassermodelle,
2. Grundlagenarbeiten zu Analyse von Agrar-Oekosystemen, (Eds.: Bork, H.-R. / Rohdenburg, H.), p.1-15
3. Cruse R.M., Larson W.E.: 1977. Effect of Soil Shear Strength on Soil Detachment due to Raindrop Impact. Soil Sci. Soc. Am. J., 41, 777–781.
4. Dębicki R., Pawłowski M., Rejman J., Link M. 1993. A new approach to the design of a nozzle-type rainfall simulator. Int. Agrophysics. 7: 197-201
5. Dębicki R., Gliński P., 1999. Wykorzystanie modelu AGNPS do oceny intensywności erozji wodnej w małej zlewni lessowej. Estimation of Water Erosion Intensity in a Small River Basin with Use of AGNPS. ActaAgrophys. 22 s.39-52.
6. Drzewiecki W., Mularz S. 2005. Model USPED jako narzędzie prognozowania efektów erozji i depozycji materiału glebowego. Polskie Towarzystwo Informacji Przestrzennej, Roczn. Geom., 3, 2, 45–54.
7. Evans I.S., 1979. An integrated system of terrain analysis and slope mapping, Final report on grant DA-ERO-591-73-G0040. University of Durham, England, pp: 192.
8. Froehlich W., 1995. Zastosowanie radioizotopów do monitoringu procesów erozji, transportu i sedymentacji. Mat. Sem. Szymbark 4.11.1994. PIOŚ, WIOŚ Nowy Sącz s. 27-32.
9. Gruber S., Peckham S., 2009. Land-Surface Parameters and Objects in Hydrology. In: Hengl T., Hanes I., Reuter, 2009, Geomorphometry: Concepts, Software, Applications; Elsevier, Linacre House, Jordan Hill, Oxford, OX2 8DP, UK, p: 141-170
10. Haralick R.M., 1983. Ridge and valley detection on digital images, Computer Vision, Graphics and Image Processing, Vol.22, No.1, p.28-38
11. Jadczyzyn J., 1999. Analiza spływu powierzchniowego i zmywu gleby o różnym uziarnieniu w doświadczeniu modelowym . Analysis of Soil Surface Runoff in Model Experiment. Pam. P u ł . z . 19: 121-132.
12. Józefaciuk C.: 1966. Zastosowanie deszczowni do badań erozji wodnej gleb. PWRiL, Wiad. IMUZ, t. VI, z. 3, Warszawa, s. 285–290.
13. Józefaciuk Cz., Józefaciuk A., Naklicki J., 1979. Przyczynek do badań nad podatnością gleb na erozję wodną. Pam. Puł., 71, 24-31,1979.
14. Józwiak M., 1992. Określenie intensywności erozji wodnej powierzchniowej w warunkach symulowanego deszczu. Zesz. Nauk. AR Kraków, 35, II, 105-112.
15. Józwiak M., 1993. Określenie intensywności erozji wodnej powierzchniowej w warunkach symulowanego deszczu. The Establishment of the Intensity of Water Sheet Erosion in Conditions of Simulated Rain. Zesz. Nauk. AR-Krak. nr 273 Sesja Nauk. 35 Cz. II s. 105—112.
16. Koreleski, K.,1992. Próby oceny natężenia erozji wodnej. Zesz. Nauk. AR Kraków, Sesja Naukowa, 35.
17. Koreleski K., 1996. Ewolucja systemów oceny intensywności erozji wodnej gleb. Evolution of the Systems of Water Erosion Intensity Evaluation. Symp. Nauk. „Ochrona agroekosystemów zagrożonych erozją”, Puławy 11-13.09.1996. Druk IUNG w Puławach K (11/2). Pr. Nauk.cz. 2 s. 227-233.
18. Kowalczyk A., 2007. Obliczanie wielkości erozji wodnej gleb na obszarach górskich. Woda-środowiskoObszary wiejskie, t. 7, z1: 91-103.

19. Le Bissonnais Y., Renaux B., Delouche H.: 1995. Interaction between soil properties and moisture content in crust formation, runoff and interrill erosion from tilled loess soils. *Catena*, 25, 33–46.
20. Le Bissonnais Y., Singer M.J.: 1992. Crusting, Runoff, and Erosion Response to Soil Water Content and Successive Rainfalls. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56, 1898–1903.
21. Legout C., Leguédou S., Le Bissonnais Y.: 2005. Aggregate breakdown dynamics under rainfall compared with aggregate stability measurements, *Eur. J. Soil Sci.*, 56 (2), 225–237
22. Mermut A.R., Luk S.H., Römkens M.J.M., Poesen J.: 1997. Soil loss by splash and wash during rainfall from two loess soils. *Geoderma* 75, 203–214.
23. Olaya V., 2009. Basic Land-Surface Parameters. In: . Hengl T., Hannes I., Reuter, 2009, *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications*; Elsevier, Linacre House, Jordan Hill, Oxford, OX2 8DP, UK, p: 141-170
24. Paluszek J., 2001. Przydatność wskaźników agregacji i wodoodporności agregatów glebowych jako cech rozpoznawczych w występowaniu erozji wodnej. Suitability of soil aggregation and aggregate water stability indices as recognition features of soil water erosion. *Folia Univ. Agricult. Stetin* 217 *Agricultura* z. 87 s. 171-174.
25. Pałys S., 1996. Wpływ użytkowania na natężenie erozji wodnej gleb w małych zlewniach lessowych na Wyżynie Lubelskiej. Influence of Land Use on Soil Water Erosion Intensity in Small Loessial Basins in the Lublin Upland. *Symp. Nauk. „Ochrona agroekosystemów zagrożonych erozją”*, Puławy 11-13.09.1996. Druk IUNG w Puławach K (11/1). *Pr. Nauk. cz. 1* s. 75-84.
26. Poesen J., Savat J.: 1981. Detachment and transportation of loose sediments by raindrop splash. Part 2: Detachability and transportability measurements. *Catena*, vol. 8, 19–41.
27. Rejman J. A. 1991. Rainfall Simulation Experiment on a Brown Soil Developed from Loess of the Lublin Unpland. Part 1. Erodibility of Soils with Various Levels of Erosion. *Badania z symulowanym opadem deszczu na glebę brunatną wytworzoną z lessów Wyżyny Lubelskiej. Cz.I. Podatność na erozję gleb o różnym stopniu zerodowania. Pol. J. Soil Sc. t. 25 nr 1* s. 17-23.
28. Rejman J., 2002. Zastosowanie wartości progowych opadów w prognozowaniu erozji wodnej na stoku lessowym. Application of rainfall threshold values for soil erosion prediction on the loess hillslope. *Zesz. Probl. Post. NaukRol. z. 487* s. 305-314
29. Rejman J., Usowicz B., 2002. Ocena erozji wodnej gleb lessowych oparta na pomiarach poletkowych. Evaluation of water erosion on loess soil on the basis of plot studies. *Prz. Nauk. Inż. I Kształt. Środ. r. 11 z. 2(25)* s. 15-22.
30. Rejman J., Pawłowski M., Dębicki R., Link M., 1994. Stability of Aggregates and Erodibility of Loess Soil. *Stabilność agregatów a podatność gleby lessowej na erozję. Pol. J. Soil Sc. t. 27 nr 2* s. 87-91.
31. Piechnik L.: Symulator deszczu do badań infiltracji i erozji wodnej gleb w koleinach. *AR Poznań, Roczn. CLXVI*, 17-23, 1985.
32. Piechnik L., 1993. Nowe konstrukcje symulatorów deszczu do badań odporności gleby na erozję. *New Designs of Rain Simulators for Investigating Erosion Resistance of Soil. Zesz. Nauk. AR-Krak. nr 273 Sesja Nauk. 35 Cz.II* s. 113-124.
33. Sharma P.P., Gupta S.C., Rawls W.J., 1991. Soil detachment by single raindrops of varying kinetic energy. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 55, 301–307.
34. Stasik R., 2002. Erozja wodna w mikrozewni rolniczej na Pojezierzu Gnieźnieńskim. Water erosion in a small agricultural catchment in the area of the Gnieźnieńskie Lakeland. *Rocz. AR Pozn. 338 Melior. Inż. Środ. nr 22* s. 107-119
35. Sutherland R.A., Wan Y., Ziegler A.D., Lee C-T., El-Swaify S.A., 1996. Splash and wash dynamics: An experimental investigation using a highly weathered tropical Oxisol. *Geoderma* 69, 85–103
36. Święchowicz J., 2010. Spłukiwanie gleby na użytkowanych rolniczo stokach pogórskich w latach hydrologicznych 2007-2008 w łąkach (Pogórze Wiśnickie). *Prace i Studia Geograficzne, T. 45*, ss. 243-263
37. Walker J. D., Waltera M.T., Parlangea J-Y., Roseb C. W., Tromp-van Meerveldc H.J., Gaoa B., Cohena A.M., 2007. Reduced raindrop-impact driven soil erosion by infiltration. *Journal of Hydrology* 342, Issues 3–4, 1, 331–335.
38. Wiłun Z., 1987. *Zarys geotechniki. Wyd. Kom. i łącz., Warszawa*, pp: 723

2.1.3.2 Weryfikacja doświadczalna wskaźnika podatności gleb na erozję wodną powierzchniową K-USLE (ii.)

Model jest uproszczonym, abstrakcyjnym, opisowym lub matematycznym przedstawieniem rzeczywistości. Ze względu na podstawę teoretyczną modelu można wyróżnić modele (Dyck, 1980; v Werner, 1996):

- Fizyczne: model jest możliwie dokładnym odwzorowaniem przyrody pod względem struktury, dynamiki i funkcji. W hydrologii można wyróżnić: modele powierzchni reprezentatywnych i testowych, modele naturalne i laboratoryjne;
- Podobieństwa: procesy naturalne są porównywane z procesami fizycznymi np. z przepływem, przez co odtwarzana jest tylko funkcja układu naturalnego. Model porównawczy stanowi więc stadium przejściowe między modelami fizycznymi a matematycznymi;
- Matematyczne: Złożony system naturalny jest opisywany całkowicie abstrakcyjnie przez równania matematyczne. Model matematyczny obejmuje matematyczny opis wszystkich procesów cząstkowych układu oraz powiązań między nimi.

Ponadto można wyróżnić modele o charakterze (v Werner, 1996):

- Empirycznym: model opiera się na obserwacji przyrody lub na eksperymentach i składa się przeważnie z równań, które są wynikiem rachunku regresji. Modele tego typu nie odzwierciedlają procesów, leżących u podstawy opracowanych równań regresji i nie posiadają podstaw fizycznych. Stwarza to trudności w ekstrapolacji i wnioskowaniu.
- Fizycznym: Zachodzące w przyrodzie procesy fizyczne (chemiczne) są przedstawione poprzez prawa fizyki. Modele tego typu są w pełni „przenośne” (uniwersalne prawa fizyki). Jednak często zawierają komponenty empiryczne (np. prawo Darcy).

Od początku badań nad erozją, zapoczątkowanych przez Bennetta, który od 1903 roku rozpoczął systematyczne badania nad degradowaniem gleby przez wodę i wiatr, zakończone w 1928 roku sprawozdaniem „Soil erosion a national menace” (Bennet , 1928) przyjętym przez ministerstwo rolnictwa Stanów Zjednoczonych USDA, rozwijano metody pomiarów i oceny strat gleby w wyniku działania wody i wiatru. Początkowo były to niezmiernie żmudne i czasochłonne badania terenowe i poszukiwanie zależności między agrotechniką, stanem i rodzajem gleby oraz nasileniem samych czynników sprawczych (Zachar, 1982).

Przełom w szacowaniu natężenia erozji wodnej nastąpił w 1965 roku wraz z opublikowaniem przez Wischmeier’a i Schmidt’a (Wischmeier i Schmidt, 1965) uniwersalnego równania strat gleby w wyniku spłukiwania powierzchniowego USLE (Universal Soil Loss Equation). Równanie to opiera się na wieloletnich badaniach terenowych i laboratoryjnych, przeprowadzanych w standaryzowanych warunkach. W pierwszej wersji równanie USLE stanowiło iloczyn sześciu parametrów (Wischmeier i Schmidt, 1965, 1977, 1978):

$$E = R \times K \times L \times S \times C \times P \text{ [ton} \cdot \text{acre}^{-1}\text{]}$$

gdzie:

R – wskaźnik erozyjności deszczu i spływu [foot*tonf*inch*acre⁻¹*h⁻¹];

K -wskaźnik podatności gleby na zmywy powierzchniowe [tone*acre*h*100⁻¹*acre⁻¹tonf⁻¹*inch⁻¹];

L - wskaźnik długości zbocza L [bezwymiarowy];

S - wskaźnik spadku zbocza S [bezwymiarowy];

C - wskaźnik okrywy roślinnej i uprawy [bezwymiarowy];

P - wskaźnika zabiegów przeciwozyjnych [bezwymiarowy].

Jednostki przelicza się na układ SI wg przeliczników zaproponowanych przez Foster'a (Foster i in., 1981).

Mimo konieczności żmudnej estymacji parametrów tego równania jest ono szeroko wykorzystywane do dzisiaj i było zalecane przez USDA i FAO do powszechnego stosowania (Kassam i in., 1992). W późniejszym okresie wchodziły do użycia różne modyfikacje równania USLE, jak: RUSLE (Renard i in., 1991), MUSLE (Williams, 1975) RUSLE2 (USDA, 2008), USLE-M (Kinnell i Risse, 1998) oraz USPED (Mitasova i in., 1998) i G2 (Panagos i in., 2014). W trakcie ponad 50 lat praktycznego wykorzystywania modelu USLE powstało wiele równań opisujących parametry modelu, począwszy od parametru erozyjności opadu R_{USLE} (Arnoldus, 1977; Arnoldus i in., 1998; Banasik i Górski, 1990, 1992, 1996; Banasik, Madejski, 1991; Licznar, 2003, 2004, 2006; Licznar i Rojek, 2002; Rejman i Link, 1996), przez parametr K_{USLE} (Williams, 1975; Renard i in., 1997; Niemiec, 1998) po zakresy pozostałych współczynników dopasowywanych do różnych form użytkowania terenu i agrotechniki (Koreleski, 1992; Kaszubkiewicz i in., 2011;). Wielu autorów wskazywało na niedoskonałość obliczania parametru LS_{USLE} reprezentującego rzeźbę terenu (Desmet i Govers, 1996; Drzewiecki i Ziętara, 2013) i jego niedostosowanie do współczesnych narzędzi GIS, dlatego też powstało wiele modyfikacji metod określania tego wskaźnika np. Moore'a i Burcha (1986a, 1986b), Barriosa (Liu i in. 2001 czy Jianguo Ma (Jianguo Ma, 2001; Banach i Dacył, 2003).

W modelowaniu procesów erozyjnych wyróżnić można dwa główne podejścia (Drzewiecki i Mularz, 2005). W pierwszym przypadku zakłada się, iż nie istnieje ograniczenie ilości materiału glebowego, który może być transportowany przez spływający po stoku strumień wody, a co za tym idzie wielkość erozji determinowana jest tylko przez możliwość odrywania cząstek glebowych, bez uwzględnienia sedimentacji i depozycji. Do tego typu modeli erozyjnych właśnie należą USLE i RUSLE.

W modelach drugiego typu zakłada się, że istnieje ograniczenie pojemności transportowej spływu powierzchniowego i w miejscach, gdzie zostaje ona przekroczona następuje depozycja (Schmidt, 1991, 2001; Drzewiecki i Mularz, 2005). Przykładem modeli tego typu są kolejne modyfikacje USLE - model USPED (Unite Stream Power-based Erosion/Deposition) (Mitasova i in., 1998) czy SWAT (Soil and Water Assesment Tool) (Arnold i in. 1998). Do drugiej grupy należy również większość modeli fizycznych m.in. WEPP - Water Erosion Prediction Program (Lane i Nearing, 1989), EUROSEM - European Soil Erosion Model (Morgan, 1992), KINEROS - Kinematic Runoff and Erosion Model (Woolhiser i in., 1990), EROSION 2D/3D (Schmidt 1991, 1996), SIMWE (Simulation of Water Erosion) (Mitas i Mitasova, 1998), czy LISEM - Limburg Soil Erosion Model (Jetten i in. 2002).

W dotychczasowych badaniach autorzy polscy określali wartość współczynnika podatności gleb na erozję K najczęściej metodą oryginalną i modyfikacją Williams'a (Banasik i Górski, 1991, 1992, 1996; Banasik i Madejski, 1991; Niemiec, 1998; Piotrowska, 1998; Licznar, 2003; Kaszubkiewicz i in., 2011; Kowalczyk i Twardy, 2012; Kruk, Ryczek i Males, 2016; Halecki, Kruk i Ryczek, 2018; Stasik i Szafranski, 2001) oraz zaproponowaną przez Renarda i in. (1997) bazującą na informacji dotyczącej maksymalnych i minimalnych średnic ziaren oraz ich udziału masowego i obliczono według wzoru (Drzewiecki i Mularz 2005; Mularz i Drzewiecki, 2007; Drzewiecki i in., 2008; Kruk, 2017). Obliczenia prowadzone były z wykorzystaniem klasyfikacji uziarnienia USDA (Drzymała, Mocek, 2004). Część

prac (Wężyk i in., 2012; Drzewiecki i in., 2013) opierała się na zweryfikowanym doświadczalnie (Wawer i in, 2005) wskaźniku K_{USLE} w modyfikacji Wiliams'a (1975).

Wyniki badań na poletkach o różnej długości (Rejman i Usowicz, 1998, 1999) sugerują, że zachowanie standardowej długości poletek do określania K_{USLE} przewidzianych w dokumentacji USLE tj. 22.1m, nie jest czynnikiem krytycznym, zwłaszcza dla intensywności powyżej 50mm/h (Huang i in., 1999), dlatego też przyjęto w badaniach poletka o długości 2m i szerokości 1m, pozwalające na przebadanie większej ilości gatunków gleb. Licznar i Rojek (2002) podają, iż za opady erozyjne w warunkach Polski należy uważać opady o warstwie ponad 12,7 mm/h, dlatego też zastosowano opad symulowany o intensywności 20-60mm/h i czasie trwania od 30 minut do godziny.

Sprawdzono zgodność obliczeniowych wartości K_{USLE} wg oryginalnego wzoru Wisheimer'a i Smith'a (1965):

$$K_{USLE} = K_{WS} = \frac{0.00021 \cdot M^{1.14} \cdot (12 - OM) + 3.25 \cdot (c_{soilstr} - 2) + 2.5 \cdot (c_{perm} - 3)}{100 \cdot 7,59},$$

gdzie:

M – wskaźnik uziarnienia;

$$M = (m_{silt} + m_{vfs}) \cdot (100 - m_c),$$

gdzie:

m_{silt} – zawartość frakcji pyłu (0,002-0,05mm) [%];

m_{vpf} – zawartość frakcji piasku drobnego (0,05-0,1mm);

m_c – zawartość frakcji iłu (<0,002mm) [%].

$c_{soilstr}$ – kod struktury gleby wg USDA;

c_{perm} – klasa przepuszczalności gleby wg USDA;

OM – zawartość próchnicy w glebie [%].

K_{USLE} – wskaźnik podatności gleb na erozję wg USLE ; [$Mg \cdot m^2 \cdot h \cdot m^{-3} \cdot Mg^{-1} \cdot cm^{-1}$];

Oraz wzoru w modyfikacji Wiliams'a (1975):

$$K_{USLE} = K_W = f_{csand} + f_{cl-si} + f_{orgc} + f_{hisand}, \text{ gdzie:}$$

f_{csand} – wskaźnik zawartości grubego piasku;

f_{cl-si} – wskaźnik stosunku zawartości frakcji iłu do pyłu;

f_{orgc} – wskaźnik zawartości substancji organicznej (węglu organicznego);

f_{hisand} – wskaźnik wysokiej zawartości frakcji piasku;

ze zmierzonymi wartościami K_{USLE} dla deszczów nawalnych symulowanych przy pomocy deszczowni (Neitsch i in., 1991):

$$K_{USLE} = Kd = \frac{sed}{1,292 \cdot EI_{USLE} \cdot C_{USLE} \cdot P_{USLE} \cdot LS_{USLE} \cdot CFRG'}$$

gdzie:

sed – wielkość zmywu; $[t \cdot ha^{-1} \cdot d^{-1}]$

EI_{USLE} - indeks erozyjności opadu; $[0,017 \cdot Mg \cdot cm \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}]$

K_{USLE} - wskaźnik podatności gleb na erozję wg USLE $[Mg \cdot m^2 \cdot h \cdot m^{-3} \cdot Mg^{-1} \cdot cm^{-1}]$;

C_{USLE} – wskaźnik okrywy roślinnej i agrotechniki;

P_{USLE} – wskaźnik zabiegów ochronnych;

LS_{USLE} – wskaźnik topografii (długości i spadku) terenu

Wykres obrazujący przebieg wartości średniej wskaźnika K wyznaczonego doświadczalnie, wg wzoru Wischmeier'a-Smith'a (1978) oraz wzoru Williams'a (1975) dla każdego z badanych gatunków gleb, uszeregowanych wg malejącej zawartości frakcji piasku a rosnącej frakcji iltu i pyłu, wskazuje na praktycznie liniową korelację między wartościami mierzonymi a K wg wzoru Williams'a (1975) dla gatunków o zawartości frakcji pyłu poniżej 35%. Dla tych gatunków gleb występuje praktycznie stała różnica oscylująca między 0,6 a 0,8 do 0,13 w przypadku gliny ciężkiej o największej zawartości frakcji ilastej, wynoszącej 65% (wg BN-78/9180-11).

Znaczna zawartość frakcji pyłu i piasku drobnego (0,002-0,1mm) w pyłach dyskwalifikuje je do stosowania równania Wischmeier i Smith'a (1978; Rejman i Usowicz, 1999). W porównaniu z doświadczalnie wyznaczonym współczynnikiem K, K wg równania Wischmeier'a-Smith'a różnica wartości obserwowanych od wyliczonych sięga 100%, za to różnica do K wyznaczonego wg wzoru Williams'a (1975) jest porównywalna do całej populacji gatunków gleb.

Jakkolwiek znaczenie współczynnika odpływu, związanego pośrednio z chwilową wilgotnością gleby, jest tylko zarysowane w omawianym artykule jego wpływ potwierdzają wyniki badań podatności gleb na erozję opublikowane w dwóch artykułach stanowiących część niniejszego dzieła (Nowocień, Podolski i Wawer R, 2004; Wawer, Nowocień i Podolski, 2013), gdzie wykazano silną dodatnią korelację między wilgotnością a współczynnikiem odpływu oraz współczynnikiem odpływu i ilością wymywanej gleby. Również badania Świąchowicz (2016) na glebach lessowych, przeprowadzone na poletkach wzorcowych w warunkach naturalnego opadu, potwierdzają silną zmienność wartości współczynnika K_{USLE} zależnej od aktualnej wilgotności gleby.

Literatura:

1. Arnold J.G., Srinivasan R., Muttiah R.S., Williams J.R., 1998. Large-area hydrologic modeling and assessment part I: model development. *Journal of the American Water Resources Association* 34 (1), s. 73-89.
2. Arnoldus H.M.J., 1977. Methodology used to determine the maximum potential average annual soil loss due to sheet and rill erosion in Morocco [w:] *Assessing Soil Degradation*. FAO Soils Bulletin 34, Rome
3. Banach W., Dacyl A., 2003. Ocena wpływu proponowanych przez Barriosa i Jianguo Ma modyfikacji metody USLE na określenie wartości wyerodowanej gleby. *Czasopismo Techniczne. Środowisko*, tom R. 100, z. 7-Ś: 27-39 (brak zbieżności USLE z obserwacjami, problemy ze wskaźnikiem LS)

4. Banasik, K., Górski, D., 1990. Wyznaczanie erozyjności deszczy do uniwersalnego równania strat glebowych. Zesz. Nauk. AR Wrocław, Melioracja 34, 103–109.
5. Banasik K., Górski D., 1992. Wykorzystanie uniwersalnego równania strat glebowych USLE do oceny ilości rumowiska unoszonego odpływającego z małych zlewni. Gospodarka Wodna. Nr 3 s. 62–65.
6. Banasik K., Górski D., 1996. DR-RUSLE - program komputerowy do wyznaczania wydatku rumowiska unoszonego z małej zlewni rolniczej, Mater. Sem. Nauk. "Modelowanie matematyczne w hydrologii" (red. B. Więzik). Polit. Krakowska-PAN-Upsala Baltic Univ., Kraków, 7-15
7. Banasik K., Madeyski M., 1991. Próba wykorzystania zmodyfikowanego równania strat glebowych do oceny ilości rumowiska unoszonego w falach wezbranych małych zlewni karpackich. An Attempt to Use a Modified Soil Loss Equation for Evaluating Suspended Load in the Surge Waves in Small Carpathian Watersheds. Roczn. Nauk. Ser. F t. 82 z. 3/4 s. 7-15.
8. Banasik K., Gorski D., Mitchell JK., 2001. Rainfall erosivity for east and central Poland. Soil Erosion, pp: 279
9. Bennett H. H., 1928. Soil erosion a national menace. USDA circular No. 33, pp: 36.
10. Desmet P.J., Govers G., 1996. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. Journal of Soil and Water Conservation, 51, 5, 427–433.
11. Drzewiecki W., Mularz S. 2005. Model USPED jako narzędzie prognozowania efektów erozji i depozycji materiału glebowego. Polskie Towarzystwo Informatyki Przemysłowej, Roczn. Geom., 3, 2, 45–54.
12. Drzewiecki W., Mularz S., Twardy S., Kopacz M., 2008: Próba kalibracji modelu RUSLE/SDR dla oceny ładunku zawiesiny wprowadzanego do zbiornika Dobczyckiego ze zlewni bezpośredniej. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji 18: 83-98.
13. Drzewiecki W., Wężyk P., Pierzchalski M., Szafrńska B., 2013. Quantitative and Qualitative Assessment of Soil Erosion Risk in Małopolska (Poland), Supported by an Object-Based Analysis of High-Resolution Satellite Images. Pure Appl. Geophys. DOI 10.1007/s00024-013-0669-7
14. Drzewiecki W., Ziętała S., 2013. Wpływ algorytmu określania dróg spływu powierzchniowego na wyniki oceny zagrożenia gleb erozją wodną w skali zlewni z zastosowaniem modelu RUSLE*. Roczniki Geomatyki, TOM XI, Zeszyt 1(58): 57-70
15. Drzymała S., Mocek A., 2004. Uziarnienie różnych gleb polski w świetle klasyfikacji PTG, PN-R-04033 I USDA. Roczniki Gleboznawcze Tom LV Nr 1: 107-115
16. Dyck S., 1980. Angewandte Hydrologie. Ernst, pp: 528.
17. Foster G.R., McCool D. K., Renard K. G., Moldenhauer W.C., 1981. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. Journal of Soil and Water Conservation 36(6):355-359
18. Huang C., Wells L.K., Norton L.D., 1999. Sediment transport capacity and erosion processes: model concepts and reality. Earth Surface Processes and Landforms, 24: 503-516
19. Jetten V., 2002. LISEM user manual, version 2.x. Draft version January 2002, Utrecht Centre for Environment and Landscape Dynamics. Utrecht University. The Netherlands.
20. Jianguo M. 2001. Combining the USLE and GISArcView for soil erosion estimation in fall creek watershed in Ithaca New York [online]. CSS 620-Spatial Modeling and Analysis. April 17, 2001. [Dostęp 20.03.2012]. Dostępny w Internecie: <http://www.docstoc.com/docs/52400644/> Combining-the-USLE-and-GISArcView-for-Soil-Erosion-Estimation.
21. Kassam A.H., van Velthuisen H.T., Mitchell A.J.B, Fischer G.W. and Shah M.M., 1992. Resources data base and land productivity. Soil Erosion and Productivity. In: Agro-ecological land resources assessment for agricultural development planning - a case study of Kenya-technical annex 2. World Soil Resources Reports 71/2, pp:
22. Kaszubkiewicz J., Tasz W., Kawałko D., Serafin R., 2011. Propozycja uproszczenia modelu USLE dla obszaru małej zlewni rolniczej. Roczniki Gleboznawcze, Tom LXII nr 1: 75-81
23. Kinnell A., Risse L.M., 1998. USLE-M: empirical modelling rainfall erosion through runoff and sediment concentration Soil Sci. Soc. Am. J., 62 p. 1667-1672
24. Koreleski, K., 1992. Próby oceny natężenia erozji wodnej. Zesz. Nauk. AR Kraków, Sesja Naukowa, 35.
25. Kowalczyk A., Twardy S. 2012. Wielkość erozji wodnej obliczona metodą USLE. Woda Środ. Obsz. Wiej., 2012 (I–III), 12, 1 (37).
26. Kruk, E., 2017. Wpływ dobowego opadu atmosferycznego na wielkość wyerodowanego materiału glebowego w górskiej zlewni, z użyciem modelu MUSLE. Acta. Sci. Pol., Formatio Circumietus, 16(2), 147–158.
27. Kruk, E., Ryzek, M., Malec, M., 2016. Porównanie wielkości strat glebowych wyznaczonych modelami USLE i RUSLE w zlewni górskiej. [W:] Wybrane aspekty badawcze, III. Aspekty teoretyczno-praktyczne badań naukowych. Wydawnictwo Naukowe Sophia, Katowice, 55–65.

28. Lane L.J., Nearing M.A., 1989. USDA_Water erosion prediction project: hillslope profile model documentation, NSERL Report 2 (USDA-ARS National Soil Erosion Laboratory), West Lafayette, Indiana, USA
29. Licznar P., 2003. Modelowanie erozji wodnej gleb. Zeszyty naukowe Akademii Rolniczej we Wrocławiu, nr 456, Monografie XXXII.
30. Licznar P., 2004: Prognozowanie erozyjności deszczy w Polsce na podstawie miesięcznych sum opadów. *Archiwum Ochrony Środowiska* 30 (4): 29 -39.
31. Licznar P., 2006. Artificial neural networks aided annual rainfall erosivity factor values calculation in Poland. Bonn, Gesellschaft fur Informatik, Land- und Ernährungswirtschaft im Wandel - Aufgaben und Herausforderungen fur die Agrar und Umweltinformatik, Referate der 26. GIL Jahrestagung, 06.-08. Marz 2006, Potsdam: 145–148.
32. Licznar, P., Rojek, M., 2002. Erozyjność deszczy Polski południowo-zachodniej na przykładzie stacji Wrocław-Swojec. *Przeł. Nauk. SGGW, Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, 11(2), 5–14.
- Liu Y., Nearing M.A., Shi P.J., Jia Z.W., 2001. Slope length effects on soil loss for steep slopes. The 10th International Soil Conservation Organization Meeting held May 24-29, 1990 at Purdue University and the USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory s. 784–788.
33. Mitasova H., Hofierka J., Zlocha M., Iverson R. L., 1996. Modeling topographic potential for erosion and deposition using GIS. *International Journal of Geographic Information Science*, 10, 5, 629–641.
34. Mitasova H., Mitas L., Brown W.M., Johnston D.M., 1998. Multidimensional soil erosion/deposition modeling and visualization using GIS. Final report for USA CERL. University of Illinois, Urbana-Champaign, IL
35. Mitasova H., Mitas L., Brown W.M., Johnston D.M., 1999. Terrain modeling and Soil erosion simulations for Fort Hood and Fort Polk test areas. Annual report for USA CERL. University of Illinois, Urbana-Champaign, IL
36. Mitasova H., Brown W.M., Johnston D.M., 2003. Terrain Modeling and Soil Erosion Simulation. Final Report. University of Illinois, Urbana-Champaign, IL.
37. Moore I.D., Burch G.J., 1986a. Physical basis of the length-slope factor in the Universal Soil Loss Equation. *Soil Science Society Journal*, 50 (5).
38. Moore I.D., Burch G.J., 1986b. Sediment transport capacity of sheet and rill flow: Application of unit stream power theory. *Water Resources Research*, 22.
39. Mularz S., Drzewiecki W. 2007. Ocena zagrożenia gleb erozją wodną w rejonie Zbiornika Dobczyckiego w oparciu o wyniki numerycznego modelowania. *Arch. Fotogram., Kartogr. Teledet.*, 17b, 535–548.
40. Neitsch S.L. i inni. 2000. Erosion Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Texas Agricultural Experiment Station, 215-258.
41. Niemiec J., 1998. Próba wyznaczenia wartości współczynnika K (podatność na erozję) w zlewni górskiej w oparciu o metodę USLE. The Calculate Test of Power Factor K (Soils Erosion Compliance) in Catchment Area, Bases Oneself for the USLE Method. *Biblioth. Fragm. Agronom. t.4-A s.81-92.*
42. Panagos, P., Karydas, C.G., Ballabio, C., Gitas, I.Z., 2014a. Seasonal monitoring of soil erosion at regional scale: an application of the G2 model in Crete focusing on agri-cultural land uses. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 27PB, 147–155
43. Piotrowska I., 1998. Zastosowanie modelu DR-USLE w badaniach procesów erozji wodnej gleb w strefie młodoglacjalnej (zlewnia Górnej Parsęty, Pomorze Zachodnie). Application of the DR-USLE Model to the Study of Water-Induced Soil Erosion in the Postglacial Zone (the Upper Parsęta Catchment, West Pomerania). *Bad. Fizjogr. Pol. Zach. Ser. A t.49 s. 171-188.*
44. Rejman J., Link M., 1996. Eksperymentalna weryfikacja wskaźnika erozyjności opadu i przewidywanie jego wartości na podstawie opadów dobowych. Experimental Evaluation of Rainfall Erosivity and its Prediction upon the Daily Records. *Symp. Nauk. „Ochrona agroekosystemów zagrożonych erozją”, Puławy 11-13.09.1996. Druk IUNG w Puławach K (11/2). Pr. Nauk. cz. 2 s. 67-78.*
45. Rejman J., Usowicz B., 1999. Ilościowy opis przenoszenia gleby i wody w procesie erozji wodnej. *Acta Agrophysica*, 23: 143-148
46. Rejman J., Usowicz B., 1998. Zastosowanie modelu USLE do prognozowania natężenia erozji wodnej gleb płowych Wyżyny Lubelskiej: teoria i praktyka. Application of the USLE Model to Predict Soil Erosion on Loess Soil of Lublin Upland: Theory and Practice. *Biblioth. Fragm. Agronom. t.4-A s.231-244.*
47. Rejman J., Usowicz B., Dębicki R., 1999. Source of errors in prediction of silty soil erodibility. *Polish Journal of Soil Science*, 32(1): 13-22
48. Renard K.G., Foster G.R., Weesies G.A., Porter J.P., 1991. RUSLE: Revised Universal Soil Loss Equation. *Journal of Soil and Water Conservation*, 46(1)

49. Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A, McCool, D.K., Yoder, D.C., 1997. Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Agriculture Handbook, US Department of Agriculture, Washington, DC, 73, 1–251
50. Stasik R., Szafranski C., 2001. Próba zastosowania modelu USLE do prognozowania natężenia erozji wodnej gleb na Pojezierzu Gnieźnieńskim. An attempt to apply the USLE model for predicting intensity of water erosion of soil in the area of Gniezno Lakeland. Folia Univ. Agricult. Stetin 217 Agricultura z. 87 s. 213-216.
51. Świąchowicz J., 2010. Spłukiwanie gleby na użytkowanych rolniczo stokach pogórskich w latach hydrologicznych 2007-2008 w Łazach (Pogórze Wiśnickie). Prace i Studia Geograficzne, T. 45, ss. 243-263
52. Świąchowicz J., 2016. Podatność na erozję wodną gleb wytworzonych z pyłowych utworów lessopodobnych (Przedgórze Brzeskie, Polska Południowa). W: Świąchowicz J., Michno A., 2016. Wybrane zagadnienia geomorfologii eolicznej : monografia dedykowana dr hab. Bogdanie Izmańców w 44. rocznicę pracy naukowej, s: 331-366.
53. Werner M. von, 1996. GIS – Orientierte Methoden der digitalen Reliefanalyse zur Modellierung von Bodenerosion in kleinen Einzugsgebieten. Dissertation, FU Berlin, pp:260.
54. Wężyk, P. Drzewiecki, W. Wójtowicz-Nowakowska, A. Pierzchalski, M. Mlost, J. Szafranska, B., 2012. Mapa zagrożenia erozyjnego gruntów rolnych w Małopolsce na podstawie klasyfikacji OBIA obrazów teledetekcyjnych oraz analiz przestrzennych GIS. Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, Vol. 24: 403-420
55. Williams, J.R., 1975. Sediment routing for agricultural watersheds. Water Resour. Bull., 11, 965–974.
56. Wischmeier, W. H. and D. D. Smith. 1965. Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains. Agriculture Handbook No. 282, ARS-USDA, in cooperation with Purdue Agricultural Experiment Station.
57. Wischmeier, W.H., 1977. Soil erodibility by rainfall and runoff. In: Toy, T.J. (Eel.), Erosion Research Techniques, Erodibility and Sediment Delivery. Goo Books, Norwich, England, pp. 45-56.
58. Wischmeier W. H., Smith D. D. 1978, Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning, Agriculture Handbook No 537, U.S. Department of Agriculture, Washington D.C., 58 s.
59. Zachar D., 1982: Soil Erosion. Development in Soil Science, 10, Amsterdam-Oxford-New York, s:547.

2.1.3.3 Podatność gleb na deflację (i, v.)

Podatność gleb na erozję jest definiowana jako wrażliwość gleb na odrywanie od powierzchni i transport przez czynniki powodujące erozję: wodę i wiatr (Cook, 1936; Bryan, 1968; Houghton and Charman, 1986; Geeves et al., 2000). Podatność gleb na erozję bywa wyrażana jako erozyjność gleb – soil erodibility i wg Soil Science Society of America (SSSA, 2008) jest to stan gleby implikujący jej wrażliwość na działanie czynnika wywołującego erozję. Stan ten zależy od fizyko-chemicznych i biologicznych własności gleby, m.in. składu mineralogicznego i granulometrycznego oraz zawartości materii organicznej (Zachar, 1992 za Chepilem, 1945; Pasak, 1984; Smalley, 1970; Breuninger et al., 1989), które są związane z wielkością i ciężarem jednostkowym cząstek gleby jak również z możliwością utrzymywania wilgoci i związanej z nią spójności gleby (Cornelis i in., 2004b; Ravi i in., 2006a).

Jednym z najważniejszych czynników kształtujących chwilową podatność gleb na erozję wietrzną jest aktualna wilgotność gleby. Wpływa ona przede wszystkim na graniczną prędkość wiatru wywołującą erozję gleby, co wydają się potwierdzać prace teoretyczne (Bagnold, 1941; McKenna, Neuman i Nickling, 1989; Fecan et al., 1999; Cornelis i Gabriels, 2003; Cornelis i in., 2004a) jak i obserwacje empiryczne (Chepil, 1956; Belly, 1964; Bisal i Hsieh, 1966; Saleh i Fryrear, 1995, Wavi i in., 2006a). Wpływ zawartości wody w glebie na jej odporność na działanie wiatru związany jest według różnych autorów z różnymi siłami oddziaływań międzycząsteczkowych : kohezji (Chepil, 1956), adhezji (Cornelis i in., 2004b), oddziaływań van der Waals'a (Cornelis i in., 2004), napięcia powierzchniowego wody i związanych z nim sił kapilarnych (Fosher, 1926, McKenna, Neuman i Nickling, 1989; Ravi i in., 2006a) oraz ich synergii (Cornelis i in., 2004b).

Większość badań symulowanych cytowanych w literaturze światowej (Webb i Strong, 2011; Ravi i in., 2011) dotyczy określenia prędkości krytycznej wiatru w zależności od składu granulometrycznego gleby i jej chwilowej wilgotności. Nieliczne prace prowadzone z wykorzystaniem tuneli aerodynamicznych na małych poletkach badawczych (Gillette, 1978; Leys and Raupach, 1991) lub skrzyniach (Zhang i in., 2004; Anderson i Haff, 1988) również dotyczyły prędkości krytycznych z pomiarem natężenia deflacji w przypadku badań Leys i Raupach. Poza wymienionymi przypadkami badań poletkowych nie znaleziono w pracach przeglądowych dotyczących erozji wietrznej innych publikacji opartych o danych empiryczne dotyczące wpływu składu granulometrycznego i wilgotności gleby na nasilenie deflacji przy prędkościach nadkrytycznych. Badania takie, jakkolwiek nie dają się bezpośrednio przełożyć na skalę krajobrazu ze względu na złożoność procesów transportu i akumulacji eolicznej (Ravi i in., 2011), umożliwiłyby parametryzację modeli prognostycznych.

Literatura krajowa, jakkolwiek bogata w publikacje dotyczące erozji wietrznej, zawiera zaledwie dwie prace opisującą wykorzystanie deflometru w badaniach natężenia średniego zapylenia powietrza strefy przyziemnej (Ugla i Nożyński, 1959; Podsiadłowski, 1994) w warunkach naturalnych w trybie pasywnym tj. obserwacji transportu cząstek stałych przez wiatr oraz pracę wykorzystującą deflometr do oceny erozji wietrznej w koleinach ciągnika (Podsiadłowski, 1987).

Prace empiryczne poruszają zagadnienia emisji, transportu i depozycji eolicznej (Kostrzewski, Stach i Szpikowski, 1994; Wojtanowicz, 2007; Bogacki i Dziugieł, 2013) oraz wpływu uprawy na straty gleby (Podsiadłowski, 1987) i profilu glebowy (Borowiec, 1965; Stach i Podsiadłowski, 1998 i 2001; Czajka, Podsiadłowski i Walkowiak, 2008). Literatura zawiera wiele studiów przypadku w różnych krainach fizjograficznych Polski (Kostrzewski, Klimczak i Stach, 1990; Kostrzewski i Szpikowski, 1994; Niewiadomski i Paradowski, 1959, Podsiadłowski, 1991, 1994; Repelewska-Pekala i Pękala, 1988; Nożyński i Piaścik, 1998; Kida i Jary, 2002, Józwiak, 1999 i 1996; Rodzik i Siwek, 2008; Gerlach, 1986; Strzemski, 1957; Wojtanowicz 1972, 1976, 1990, 1991; Izmailow, 1984, 1995ab, 1997, 2006) i Europy (Wojtanowicz, 2009). Bogaty jest też dorobek polskich autorów w dziedzinie melioracji przeciwoerozyjnych chroniących glebę przed erozją wietrzną (Podsiadłowski, Rząsa, Piechnik, 1988; Podsiadłowski, 2000; Hagen, Podsiadłowski i Skorupski, 2000; Józefaciuk i Józefaciuk, 1996; Koreleski, 2005)

Podejmowano również próby wdrożenia do praktyki modeli symulacyjnych (Podsiadłowski i Walkowiak, 1994; Walkowiak i Podsiadłowski, 2006).

Analogicznie jak w przypadku erozji wodnej, podatność gleby na erozję jest kluczowym wskaźnikiem wpływającym na ilości strat gleby i głównym komponentem modeli symulacyjno-prognostycznych nasilenia erozji wietrznej (Webb i Strong, 2011).

Głównymi wyzwaniem w modelowaniu przestrzennym erozji wietrznej są (Raupach i Lu, 2004):

1. Wierność reprezentacji procesów naturalnych;
2. Ekstrapolacja procesów zbadanych na danych punktowych przy wysokiej i trudnej w ocenie zmienności czasowej i przestrzennej środowiska;
3. Dostępność danych przestrzennych do modelowania;
4. Wielkoskalowe szacowanie parametrów.

O ile modele symulacyjne dotyczące erozji wodnej są dobrze rozwinięte i względnie łatwo przeprowadzić pomiary dostarczające dane do ich walidacji, o tyle modele szacujące nasilenie erozji wietrznej są trudno weryfikowalne a uzyskanie wskaźników wejściowych do nich bardzo pracochłonne (Zobeck i in., 2003; Ravi i in., 2011).

Polska dysponuje jedną z najbardziej dokładnych map glebowych na świecie, stanowiącą podstawę większości opracowań rolno-środowiskowych w naszym kraju. Mapa została zdigitalizowana do formatu cyfrowego w różnych skalach – od 1:1.000.000 do 1:25.000 a lokalnie nawet do 1:500. Baza danych mapy glebowo-rolniczej obejmuje większość cech profilu glebowego a istniejąca baza 35000 profili wzorcowych zawiera większość parametrów fizyko-chemicznych i siedliskowych gleb Polski. Ze względu na ograniczenia w pracy z mapami w formie papierowej zaawansowane analizy pochodne map glebowo-rolniczych nie były możliwe do chwili wdrożenia systemów GIS. W latach '90 opracowano wskaźniki jakościowe zagrożenia erozją wietrzną (Józefaciuk i Józefaciuk, 1996) ale mapa wynikowa tego studium wykonanego w IUNG miała skalę 1:1.000.000. W 2018 roku wykonano ponownie mapę zagrożenia erozją wietrzną w oparciu o zmodyfikowany wskaźnik Józefaciuków uzyskując dane w skali referencyjnej 1:25.000 oraz mapy przeglądowe dla województw w skalach rzędu 1:500.000 (Józefaciuk, Nowocień i Wawer, 2018). Potencjał wykorzystania mapy glebowo-rolniczej w ilościowej ocenie nasilenia erozji nie został wykorzystany z powodu braku wskaźników oraz badań ilościowych, które umożliwiałyby skwantyfikowanie podatności gleb na erozję wietrzną w zależności od ich cech.

Dlatego też w 1994 roku w IUNG rozpoczęto przygotowania do programu badawczego mającego na celu ilościowe określenie natężenia deflacji na obszarach rolniczych. Opracowano wstępne założenia metodyczne (Józefaciuk, Józefaciuk i Nowocień, 1994). W 1996 roku opracowano założenia techniczne urządzenia badawczego (Józefaciuk, Józefaciuk i Nowocień, 1996; Józefaciuk, Nowocień i Józefaciuk, 1996). W 1998 roku wykonano i opatentowano deflametr (Nowocień, 1998; Nowocień i Samoń, 1996) oparty o tunel aerodynamiczny i baterię cyklonów, który umożliwiał stacjonarne badania podatności różnych gleb na deflację w różnych warunkach wilgotności gleby i przy różnych prędkościach wiatru, symulowanego za pomocą wentylatora o mocy 3.2kW.

Celem badań było zbadanie ilościowych zależności między wilgotnością gleby, prędkością wiatru oraz wielkością wynoszonego materiału dla 10 najczęściej występujących w Polsce gatunków gleb. (Józefaciuk, Józefaciuk i Nowocień, 1996) Badania prowadzono na czarnym ugorze przy nadkrytycznych prędkościach wiatru. Warunki symulacji miały pozwolić na szacowanie deflacji na tzw. potencjalnej powierzchni wystawionej na erozję, tj. powierzchni bezpośrednio narażonej na działanie wiatru (Musick and Gillette, 1990; Raupach, 1992). W modelowaniu deflacji powierzchnia krajobrazu wystawiona na erozję reprezentowane jest jako powierzchnia nie pokryta elementami zwiększającymi szorstkość terenu zapewniającymi efektywną osłonę przed wiatrem (Raupach i in., 1993; (Marticorena and Bergametti, 1995; Shao et al., 1996; Lu and Shao, 2001; Tegen, 2003, Okin, 2008) charakterystyczna dla każdego użytkowania terenu i zmieniająca się w czasie (Chappell i in. 2010).

Badania miały umożliwić opracowanie własnych modeli i adaptację istniejących modeli prognostycznych nasilenia erozji wietrznej.

Wszystkie gatunki gleb w sezonie wegetacyjnym utrzymywano w czarnym ugorze. W każdym mikroplotku zainstalowano sondy do pomiaru wilgotności gleby wilgotnościomierzem cyfrowym

TDR. Badania podatności gleb na deflację wykonywano w miesiącach: październiku i częściowo w listopadzie oraz w marcu i częściowo w kwietniu (przy sprzyjających warunkach pogodowych).

Poletko, po uzupełnieniu gleby i uzyskaniu wilgotności warunkującej podatność na erozję wietrzną, było na połowie szerokości przykryte szczelnie tunelem z blachy stalowej ocynkowanej o wymiarach: szerokość 0,5 m, wysokość 0,4 m, długość 2,0 m. Tunel od strony wlotowej był połączony rękawem z brezentu z dmuchawą wentylatora promieniowego jednostrumieniowego, typu FK20, natomiast po stronie wylotowej był podłączony drugim rękawem z brezentu a następnie z baterią cyklonów do gromadzenia materiału wywianego (deflatu) z badanego poletka.

Podatność gleb na deflację była badana przy prędkości powietrza w tunelu 7 - 8 m·s⁻¹ (prędkość ustalana była metodą kolejnych przybliżeń). Cząstki gleby, wywiewane przez wiatr, były tłoczone rękawem do cyklonu, gdzie wytracały prędkość i osadzały się w pojemniku pomiarowym, wykonanym ze szczelnej tkaniny.

Badania na deflację w warunkach symulowanych, przy natężeniu wiatru 8m·s⁻¹, przeprowadzono w latach 2001-2011, otrzymując 20 serii pomiarowych dla każdego gatunku gleby. Ilość wywianego materiału glebowego z badanych gleb była bardzo zróżnicowana. Najwięcej wywianego materiału zaobserwowano na glebie rdzawej o składzie granulometrycznym piasku luźnego (194g·m⁻²), następnie słabogliniastego (43g·m⁻²) oraz na glebie płowej wytworzonej z piasku gliniastego mocnego (21g·m⁻²). Najmniejsze straty wystąpiły na madzie średniej wytworzonej z piasku gliniastego mocnego pylastego (2g·m⁻²).

Badanie statystyczne na deflację przeprowadzono na populacji ostatnich 18 z całkowitej liczby 20 serii na surowych zmiennych: średnim czasie deflacji, prędkości wiatru symulowanego, średniej wilgotności gleby pomierzonej przed i po deflacji, oraz wielkości opadu eolicznego. Wszystkie dane mierzono w trakcie badań.

Badania statystyczne wykonano dla poszczególnych gatunków gleb oraz dla wszystkich gleb, z uwzględnieniem wpływu składu granulometrycznego na wielkość deflacji. W analizach statystycznych nie uwzględniono zmiennych prędkości wiatru i czasu deflacji, ponieważ były one stałe dla wszystkich serii.

Analizę korelacji par zmiennych opracowano na podstawie macierzy korelacji dla wszystkich badanych gleb (oraz dla poszczególnych gatunków badanych gleb), uwzględniając dopasowanie liniowe, wykładnicze i wielomianowe. Analizy statystyczne pozwoliły na opracowanie równania strat gleby przez deflację, uzależnione od aktualnej wilgotności gleby oraz zawartości frakcji piaskowej w jednostce glebowej.

Równanie liniowe dwudzielne opracowanego modelu erozji wietrznej w badaniach symulowanych jest następujące:

$$D = 19,73 \cdot 0,241998 \cdot Fp(\%) - 211924 \cdot W(\%) + 39,11221 + 0,1 \cdot Fp(\%) + 55,32836 \cdot W(\%)$$

gdzie:

D-deflacja [g·h·m⁻²]

Fp- zawartość frakcji piaskowej w %

W- wilgotność w %

Określenie istotności statystycznej równania:

$$r = 0,98, R^2 = 0,97 \text{ \% wyjaśnionej wariancji} = 96,97\%.$$

Wyniki badań nie są wystarczające do opracowania uniwersalnego wskaźnika wiążącego prędkość i czas działania wiatru ze składem granulometrycznym gleby, jednak pozwalają na określenie zależności między jednostkową deflacją (g/h) a chwilową wilgotnością gleby i jej składem granulometrycznym dla prędkości 8m/s, leżącej ponad linią prędkości krytycznych dla rozpatrywanych gleb.

W porównaniu od wyników badań pierwszych 8 serii (Nowocień, Wawer i Podolski, 2004), które wskazywały na nieliniowe wykładnicze dopasowanie czynników równania, dopasowanie równania na podstawie całej populacji wyników (18 serii) w oparciu o model liniowy z punktem przełamania dał znacznie lepszy współczynnik korelacji wynoszący $r=0,98$, $p=0,001$ w porównaniu do nieliniowego wynoszącego $r=0,76$, $p=0,003$.

Na podstawie przedstawionego równania można podjąć próbę szacowania strat gleby w okresie po uprawie płużnej w przypadku pojawienia się wiatrów o prędkości 8m/s i poziomów wilgotności z obserwacji symulowanych. Przeprowadzono symulację strat gleby w okresie 14dni po uprawie płużnej z wilgotnościami gleb w zakresach, które stwierdzono w doświadczeniu. Największe straty gleby, sięgające $268 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ (średnio $76,57 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$) wyliczono dla piasku luźnego, następnie słabogliniastego do $7 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ (średnio $4,34 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$), gliniastego lekkiego do $5,73 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ (średnio $1,92 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$) oraz gliny średniej do $5,16 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ (średnio $2,03 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$) i pyłu zwykłego do $5,11 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ (średnio $2,16 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$). Najmniejsze straty wyliczono dla piasku gliniastego mocnego pylastego do $0,64 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ (średnio $0,35 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$), gliny lekkiej do $1,94 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ (średnio $1,08$) i gliny ciężkiej do $2,01 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ (średnio $0,67 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$).

Uzyskane z doświadczeń modelowych dane będą stanowić podstawę do parametryzacji modeli symulacyjnych typu WEQ lub WEPS. Wstępne wyniki analizy WEQ dla Polski zostały już przeprowadzone i zostaną wkrótce opublikowane.

Dotychczasowe badania nad wpływem wilgotności gleby na podatność gleb na erozję różnią się znacznie metodyką i zakresem gleb oraz przyjętymi modelami teoretycznymi Webb i in, 2009 za Chepil, 1956, Belly, 1964, McKenna-Neuman u Nickling, 1989; Chen i in., 1996, Fecan i in., 1999; Cornelis i Gabriels, 2003). Zaobserwowane przez Webb i in (2009) korelacje częstości wystąpienia erozji wietrznej z wilgotnością gleby dla 170 zdarzeń wiatru erozyjnego dla jednego gatunku gleby i wilgotności w zakresie od 0 do 36% zwróciły model wykładniczy, dający $R^2=0,94$, więc na poziomie otrzymanej przez mnie korelacji dla równania liniowego dla wszystkich badanych gatunków gleb, z tą różnicą, że korelacja dotyczy bezpośrednio wielkości deflacji a nie wystąpienia samego zjawiska. Wątpliwości budzi wartość minimalna wilgotności wynoszącej 0, jako niewystępująca w normalnych warunkach w przyrodzie. Niestety nie znaleziono publikacji umożliwiających porównanie wyników wpływu wilgotności gleby na wielkość deflacji w warunkach nadkrytycznych.

Literatura:

1. Anderson, R.S., Haff, P.K., 1988. Simulation of Eolian Saltation. (1988) Science, 241 (4867), pp. 820-823
2. Bogacki, M., Dziugieł, M., 2013. Metodyka wyznaczania emisji pyłu do powietrza z procesu erozji wietrznej na terenie kopalni odkrywkowej surowców mineralnych. Przegląd Górniczy, tom T. 69, nr 11: 56--63

3. Borowiec S.: 1965. Zmiany morfologii profili glebowych spowodowane przez erozję wietrzną na terenie Wolińskiego Parku Narodowego. Zesz. nauk WSR Szczecin, zesz. 18, ss 17- 32.
4. Buraczyński J., 1994. Rozwój procesów eolicznych piętra W isły na R oztoczu i w Kotlinie Sandomierskiej. W yd. UM CS Lublin (1993) ss. 64.
5. A. Chappell, S. Van Pelt, T. Zobeck, Z. Dong, 2010. Estimating aerodynamic resistance of rough surfaces using angular reflectance Remote Sensing of Environment, 114 (2010), pp. 1462-1470
6. Chepil, W. S., 1945. Dynamics of wind erosion: I. Nature of movement of soil by wind, Soil Sci., 60,305– 320
7. Cornelis, W. M ., and D. Gabriels, 2003. The effect of surface moisture on th e entrainment of dune sand by wind: An ev alua-tion of selected models, Sedimentology, 50, 771–790
8. Cornelis, W. M., D. Gabriels, and R. Hartmann, 2004a. Parameterisation for the threshold shear velocity to initiate deflation of dry and wet sediment, Geomorphology, 59(1–4), 43–51,
9. Cornelis, W. M., D. Gabriels, and R. Hartmann , 2004. A conceptual model to predict the deflation threshold shear velocity as affected by near-surfa ce soil water: I. Theory, Soil Sci. Soc.Am. J., 68, 1154–1161
10. Czajka M. , Podsiadłowski S. , Walkowiak R., 2008. Zróżnicowanie składu granulometrycznego jako skutek erozji eolicznej gleb lekkich. Przegląd Naukowy. Inżynieria i Kształtowanie Środowiska, tom 17, nr 2[40]: 50-59
11. Gawrysiak L., Zybala K., 1996. Wstępne wyniki badań dynamiki transportu eolicznego w dolinie górnego Wieprza w okolicy Guciowa (Roztocze Środkowe). Preliminary Results in the Upper Wieprz River Valley in Guciów (Middle Roztocze). Symp. Nauk. „Ochrona agroekosystemów zagrożonych erozją”, Puławy 11-13.09.1996. Druk IUNG w Puławach K (11/1). Pr. Nauk. cz. 1 s. 181-187.
12. Gerlach T., 1986. Erozja wietrzna i jej udział w erozji gleb w Karpatach, Folia Geographica, ser. Geographia-Physica, 18, s. 59-72.
13. Hagen L., Podsiadłowski S., Skorupski D., 2000. Development of a Tillage System to Prevent Soil Pulverization and Wind Erosion. Systemy uprawy roli w zapobieganiu rozpylaniu gleby i erozji wietrznej. Scientific Papers of Agricult. Univ. Pozn. A gricult. 1.1 (1999) s. 15-27.
14. Izmałłow B., 1984. Eolian processes in Alpine belts of the high Tatra Mountains, Poland. Earth Surface Processes and Landforms 9, 143–151
15. Izmałłow B., 1995a, Klimatyczne uwarunkowania morfologicznej działalności wiatru na progu Pogórza Wielickiego w rejonie Bochni, [w:] L. Kaszowski (red.), Dyna-mika i antropogeniczne przeobrażenia środowiska przyrodniczego Progu Karpat między Rabą i Uszwicą, Instytut Geografii UJ, Kraków, 195–203.
16. Izmałłow B., 1995b, Wstępne wyniki badań nad eolicznym obiegiem materii w progo-wej części Pogórza Karpackiego koło Bochni, [w:] L. Kaszowski (red.), Dynamika i antropogeniczne przeobrażenia środowiska przyrodniczego progu Karpat między Rabą i Uszwicą, Instytut Geografii UJ, Kraków, 205–219.
17. Izmałłow B., 1997, Współczesne procesy eoliczne na Pogórzu Karpackim koło Bochni, Ukrajinska Geomorfologija, stan i perspektywi, Materiali miżnarodnoji naukowo--praktycznoji konferencji, Lviv, 25–26 XI 1997, „Merkator”, Lwów, 113–115.
18. Izmałłow B., 1998, Defining conditions for aeolian circulation of matter as pollution carrier in the marginal zone of the Carpathian Foothills, [w:] W. Chelmicki (red.), The Carpathian Foothills marginal zone. Man and environment, Prace Geogra-ficzne, 103, 62–82.
19. Izmałłow B., 2006, Rola wiatru w rozwoju Mierzei Kurońskiej, [w:] J. Trepieńska, Z. Olecki (red.), Klimatyczne aspekty środowiska geograficznego, Instytut Geo-grafii i Gospodarki Przestrzennej UJ, Kraków, 303–310.
20. Józefaciuk Cz, Józefaciuk A. 1996. Mechanizm i wskazówki metodyczne badania procesów erozji. Biblioteka Monitoringu Środowiska, pp: 148.
21. Józefaciuk A., Józefaciuk Cz., Nowocień. E. 1996. Metodyczna koncepcja badań podatności gleb na splukiwanie powierzchniowe i deflację. Mat. nauk. IUNG, Puławy, K(11/1), 259-264, 1996.
22. Józefaciuk A., Nowocień E., 1994. Przyczynek do badań natężenia deflacji w terenie lessowym. AR Poznań, Roczn. CCLXVI, 257-261, 1994.
23. Józefaciuk Cz., Nowocień E., Józefaciuk A.: Modelowe badanie podatności gleb na erozję – rozwiązania techniczne. Mat. nauk. IUNG, Puławy, K(11/1), 265-272, 1996.

24. Józwiak M., 1999. Zagrożenie gleb erozją eoliczną w strefie ochronnej Świętokrzyskiego Parku Narodowego. Eolian Erosion Hazard in the Zone of the Świętokrzyski National Park. *Probi. Zagosp. Ziem Górsk.* Z.45 s. 127-142
25. Józwiak M., 1999. Ocena erozji eolicznej w Górach Świętokrzyskich na przykładzie wybranych zlewni użytkowanych rolniczo. Evaluation of Eolian Erosion in the Świętokrzyskie Mountains on the Basis of the Selected Cultivated Plots. *Fragm. Agronom. R.* 16 nr 3 s.4-68.
26. Kida J., Jary Z., 2002. Procesy niveo-eoliczne na przedpolu Gór Bardzkich w grudniu 2001 r. Niveoeolian processes on the forefield of the Bardzkie Mountains in december 200. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. z.* 487 s. 87-98
27. Koreleski K. 2005. Wybrane zagadnienia przeciwoerozyjnej ochrony gleb w świetle wymogów zrównoważonego rozwoju. *Acta Agroph.*, 5(1): 49-55
28. Kostrzewski A., Stach A., Szpikowski J., 1994. Transport i opad eoliczny jako wskaźnik erozji gleb (Pojezierze Drawskie, Równina Wrzesińska). *Rocz. AR w Poznaniu*, 266, Melioracje i Inżynieria Środowiska 14: 201–209.
29. Kostrzewski A., Szpikowski J. 1994. Zmienność sezonowa i przestrzenna opadu i transportu eolicznego w zlewni Młyńskiego Potoku. W: Zintegrowany monitoring środowiska przyrodniczego. Stacja Bazowa Storkowo. Red. A. Kostrzewski *Bibl. Monitoringu Środowiska*, Warszawa: 165–184
30. H. Lu, Y. Shao, 2001. Toward quantitative prediction of dust storms: an integrated wind erosion modelling system and its applications. *Environmental Modelling and Software*, 16 (2001), pp. 233-249
31. B. Marticorena, G. Bergametti, m1995. Modeling the atmospheric dust cycle: 1. Design of a soil-derived dust emission scheme *Journal of Geophysical Research*, 100 (1995), pp. 16415-16430
32. H.B. Musick, D.A. Gillette, 1990. Field evaluation of relationships between a vegetation structural parameter and sheltering against wind erosion *Land Degradation and Rehabilitation*, 2 (1990), pp. 87-94
33. Nowocień E.: Schemat deflametru i jego zastosowanie w badaniach podatności gleb na erozję wietrzną. *Bibli. Frag. Agron.*, 4B, 41-45, 1998.
34. Nowocień E., Samoń Z. 1998. Patent na projekt wynalazczy P325486 – Urządzenie do badania erozji wietrznej gleb. *Urząd Patentowy*.
35. Nożyński A., Piaścik H., 1998. Erozja wietrzna w warunkach Pojezierza Mazurskiego. *Wind Erosion in Masurian Lakeland. Biblioth. Fragm. Agronom. t.4-B s.31-39.*
36. Okin, G.S., 2008. A new model of wind erosion in the presence of vegetation. *Journal of Geophysical Research* 113, F02S10
37. Podsiadłowski S., 1994. Pomiar erozji eolicznej za pomocą deflametru na Nizinie Wielkopolsko-Kujawskiej. *AR Poznań, Rocz.* 260, *Rol.* 44, 47-53, 1994.
38. Podsiadłowski S., 1988. Problem erozji eolicznej w W ielkopolsce. *Wind Erosion Problem in the Wielkopolska Region. Biblioth. Fragm. Agronom. t.4-B s.l 1-29.*
39. Podsiadłowski S., 1996. Rola uprawy mechanicznej w stymulacji procesu erozji eolicznej gleb lekkich. *Rozpr. Nauk. AR Pozn. z.* 264 (1995) ss. 48. Podsiadłowski S. Znaczenie uprawy w stymulacji erozji eolicznej gleb lekkich. *The Meaning of Tillage in Stimulation of Wind Erosion of Light Soils. Symp. Nauk. „Ochrona agroekosystemów zagrożonych erozją”, Puławy 11-13.09.1996. Druk IUNG w Puławach K (11/2). Pr. Nauk. cz. 2 s. 133-141.*
40. Podsiadłowski S., 2000. Zintegrowana uprawa gleby a erozja eoliczna. *The Integrated Tillage System and Wind Erosion. In: Rol. 6 (17) s.2 2 5 -2 3 1 .*
41. Podsiadłowski S., Walkowiak R., 1994. Adaptacja Wind Erosion Prediction System [USDA-ARS] do warunków polskich *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu. Melioracje i Inżynieria Środowiska*, tom 14: 219-226

42. Ravi, S., D'Odorico, P., Breshears, D.D., Field, J.P., Goudie, A.S., Huxman, T.E., Li, J., Okin, G.S., Swap, R.J., Thomas, A.D., Van Pelt, R., Whicker, J.J. & Zobeck, T.M. 2011. Aeolian processes and the biosphere. *Reviews of Geophysics*, 449(3): RG3001.
43. Raupach M.R., 1992. Drag and drag partitioning on rough surfaces. *Boundary-Layer Meteorology*, 60 (1992), pp. 375-395
44. M.R. Raupach, D.A. Gillette, J.F. Leys, 1993. The effect of roughness elements on wind erosion threshold *Journal of Geophysical Research*, 98 (1993), pp. 3023-3029
45. Raupach M., Lu H., 2004. Representation of land-surface processes in aeolian transport models. *Environmental Modelling & Software* 2004 vol: 19 (2) pp: 93-112
46. Rodzik J. , Siwek K., 2008. Natężenie procesów niweo-eolicznych w okolicy Lublina w lutym 2007 r. *Landform Analysis*, tom Vol. 9: 192--197
47. Repelewska-Pękala J., Pękala K., 1988. Erozja eoliczna gleb na Wyżynie Lubelskiej w okresie 1981-1985. *Zesz. Probl. Postę. Nauk Rol.*, 357
48. Y. Shao, M.R. Raupach, J.F. Leys, 1996. A model for predicting aeolian sand drift and dust entrainment on scales from paddock to region *Australian Journal of Soil Research*, 34 (1996), pp. 309-342
49. Shao, Y., Wyrwoll, K.-H., Chappell, A., Huang, J., Lin, Z., McTainsh, G.H., Mikami, M., Tanaka, T.Y., Wang, X. & Yoon, S. 2011. Dust cycle: an emerging core theme in Earth system science. *Aeolian Research*, 2: 181–204
50. SSSA. 2008. *Glossary of Soil Science Terms*. Madison, WI, Soil Science Society of America.
51. Stach A., Podsiadłowski S., 1998. The effect of wind erosion on spatial variability of cultivated soils in the Wielkopolska region (Poland). *International conference on agricultural engineering AgEng Oslo 98: Oslo, 24–27 August 1998, Part 2: 998–999*
52. Stach A., Podsiadłowski S., 2001: Wpływ erozji eolicznej na teksturę lekkich gleb Niziny Wielkopolskiej. *Wydawnictwo Naukowe UAM, Seria Geografi a 64: 359–379*
53. Strzemski M. 1957. Efekty erozji wietrznej na terenie południowo-wschodniej Polski w lutym 1956 roku, *Przeegl. Geogr.*, 29, 2: 371–374.
54. I. Tegen, 2003. Modelling the mineral dust aerosol cycle in the climate system *Quaternary Science Reviews*, 22 (2003), pp. 1821-1834
55. Walkowiak R. , Podsiadłowski S., 2006. WINDER-2: narzędzie do estymacji nateżenia erozji eolicznej na tle systemów WEPS i WEELS, *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu. Rolnictwo*, tom 65: 199-206
56. Wawer R., Nowocień E., Podolski B., 2007. Digital Map of Water Erosion Risk in Poland: A Qualitative, Vector-Based Approach. *Polish J. of Environ. Stud.* Vol. 16, No. 5 (2007): 763-772
57. Wojtanowicz J., 1990. Procesy eoliczne. Eołówyje processy. *Aeolian Processes*. P A N – Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania. Pr. Geogr. nr 153 s. 99-109.
58. Wojtanowicz J., 1972. Burze pyłowe i ich znaczenie geomorfologiczne w świetle dotychczasowych badań. *Czas. Geogr.* 43, 3, 265–294.
59. Wojtanowicz J., 1976. Występowanie i intensywność współczesnych procesów wywiewania i akumulacja pyłu eolicznego. *Biul. Inst. Geol* 297, Z badań czwartorzędu w Polsce 18, 93–102.
60. Wojtanowicz J., 1990. Procesy eoliczne, [w:] M. Bogacki (red.), *Współczesne przemiany rzeźby Polski Południowo-Wschodniej*, *Prace Geogr.* 153, 99–107.
61. Wojtanowicz J., 1991. Procesy eoliczne, [w:] L. Starkel (red.), *Geografi a Polski – środowisko przyrodnicze*, PWN, Warszawa, 427–430.

62. Wojtanowicz J., 2007. Zjawiska ekstremalne w procesie eolicznym – ich rola morfogenetyczna, [w:] E. Smolska, D. Gariat (red.), Rekonstrukcja dynamiki procesów geomorfologicznych – formy rzeźby i osady, Warszawa, 439–443.
63. Wojtanowicz J., 2009. Współczesne procesy eoliczne w Europie. Prace i Studia Geograficzne, tom 41: 235-244
64. Zhang C.-L., Zou X.-Y., Gong J.-R., Liu L.-Y., Liu Y.-Z., 2004. Aerodynamic roughness of cultivated soil and its influences on soil erosion by wind in a wind tunnel Soil and Tillage Research, 75 (2004), pp. 53-59
65. Zobeck T.M., Popham T.W., Skidmore E.L., Lamb J.A., Merrill S.D., Lindstrom M.J., Mokma D.L., Yoder R.E., 2003. Aggregate-mean diameter and wind-erodible soil predictions using dry aggregate-size distributions Soil Science Society of America Journal, 67 (2003), pp. 425-436

2.2 Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

2.2.1 Główne kierunki prowadzonych badań

- Modelowanie symulacyjne erozji wodnej dla celów oceny oddziaływania rolnictwa na środowisko oraz prognozowania zabiegów zaradczych

Już w trakcie prowadzenia badań do pracy doktorskiej skupiłem się na praktycznym zastosowaniu modelowania przestrzennego w projektowaniu melioracji przeciwoerozyjnych (Wawer, 2003a). Praktyka szacowania zagrożenia erozją w Polsce w ostatniej dekadzie XX wieku opierała się głównie na wskaźnikach jakościowych potencjalnego zagrożenia erozją wodną powierzchniową (Józefaciuk i Józefaciuk, 1996), którą również uwzględniono w normie branżowej BN-88/9100-07, przekształconej później w normę polską PN-R-04152 z 1997r. Wskaźniki jakościowe, jakkolwiek wygodne w stosowaniu nie dawały wystarczająco dużo informacji o rzeczywistej ilości wynoszenia materiału glebowego poza zlewnię oraz o miejscach maksymalnego nasilenia erozji i depozycji. Nielicznie autorzy publikowali pojedyncze prace opisujące zastosowanie modeli (m.in. Rejman i Link, 1996, Rejman i Usowicz, 1998, Piotrowska, 1998) jednak modelowanie wciąż nie stawało się powszechną praktyką szacowania erozji i projektowania melioracji przeciwoerozyjnych. Działo się tak przede wszystkim z powodu braku danych wejściowych jak i danych pomiarowych, niezbędnych do kalibracji i walidacji modeli.

Celem mojego doktoratu było sprawdzenie nowych metod oceny zagrożenia erozją oraz ich integracja umożliwiająca dokładną lokalizację źródeł rumowiska docierającego do wylotu zlewni na obszarze chronionego krajobrazu. W toku prac zastosowałem dwa modele: model EROSION 3D (Nowocień i Wawer, 2002; Wawer 2005) do wyznaczenia obszarów najbardziej zagrożonych erozją wodną oraz model SINMAP do oceny zagrożenia osuwiskami na obszarze zlewni potoku Grodarz (Wawer i Nowocień 2003, Wawer 2005, Wawer, 2007). Oba modele sprawdziły się doskonale w praktyce, pozwalając na precyzyjne określenie nasilenia zarówno erozji wodnej powierzchniowej jak i depozycji w modelu EROSION 3D oraz precyzyjnego określenia zagrożenia wystąpieniem osuwisk płytkich w przypadku modelu SINMAP. Model EROSION 3D okazał się niestety trudny w zastosowaniu w warunkach Polski ze względu na istotne różnice semantyczne między danymi glebowymi wymaganymi przez model a polską mapą glebowo-rolniczą. Model SINMAP okazał się bardziej przydatny w polskich warunkach i w następnych latach pojawiło się 11 prac cytujących mnie zarówno z Polski (Zydroń i Demczuk, 2012) jak i zagranicą (m.in. Tershorst i Kreja, 2009; Paulin in., 1997, Paulin i Bursik, 2017).

Model EROSION 3D wykorzystałem również do ilościowej oceny wskaźnika erozji wodnej potencjalnej i aktualnej (Nowocień i Wawer, 2002), udowadniając wstępnie prawidłowość kryteriów wskaźników jakościowych, które okazały się bardzo dobrą zmienną grupującą wyniki

ilościowe. Potwierdziło to moją tezę, prezentowaną na spotkaniu ekspertów OECD "Soil erosion and soil biodiversity indicators" w roku 2003 we Włoszech, że w skali międzynarodowej i globalnej, zwłaszcza tam, gdzie brakuje dobrej jakości danych przestrzennych, wskaźniki jakościowe są wystarczające zarówno do określania stopnia zagrożenia erozją jak i do tworzenia strategii zapobiegania erozji. Znalazło to odzwierciedlenie w późniejszych publikacjach (Gobin i in., 2004). Poprzednio traktowano wskaźniki jakościowe jako dalece niedoskonałe i mające raczej charakter poglądowy (Grim, Jones i Montanarella, 2002).

Od roku 2004 prowadziłem pionierskie w Polsce badania nad wykorzystaniem modelu SWAT – Soil and Water Assessment Tool w szacowaniu emisji, transportu i depozycji rumowiska oraz biogenów z obszarów rolniczych Polski. W ramach prowadzonych przeze mnie 3 badawczych projektów statutowych IUNG-PIB prowadziłem prace nad przygotowaniem baz danych wejściowych do modelu SWAT, składających się z kilku warstw informacji przestrzennej, z których dla każdej trzeba było przygotować od 14 do 35 zmiennych. Równolegle założono stację monitoringu przepływu i jakości wody w zlewni rzeki Bystrej, położonej na Płaskowyżu Nałęczowskim, gdzie od roku 2008 zbierane są dane o przepływie, mętności, stężeniu azotanów, przewodności elektrycznej, pH raz temperatury wody, uzupełnione o badania laboratoryjne: fosforu ogólnego, azotu azotanowego, azotu amonowego oraz okresowo BZT5 i ChZT (Jurga i Wawer, 2015; Wawer i in., 2013; Wawer, Nowocień i Kozyra, 2015; Wawer i in., 2015).

Równolegle z badaniami na rzece Bystrej, we współpracy z Zespołem z Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, przeprowadziłem modelowanie symulacyjne stanu bieżącego i scenariuszy zmian użytkowania i zmian klimatu dla zlewni Mielnicy wykorzystując model SWAT (Szewrański, Żmuda, 2008). Wyniki pozwoliły na określenie wpływu zmian klimatu i różnych scenariuszy użytkowania rolniczego (z założeniem wykonywania przez rolników Kodeksu dobrej praktyki rolniczej) obszaru zlewni Mielnicy na nasilenie erozji wodnej oraz wymywanie biogenów.

Model SWAT okazał się niezwykle przydatny w symulacjach różnych scenariuszy zarówno użytkowania terenu, praktyk rolniczych jak i zmian klimatycznych. Obecnie jednymi z wiodących instytucji w wykorzystaniu modelu SWAT jest zespół z SGGW, z którym współpracowałem w ramach analizy zanieczyszczeń obszarowych zlewni Zwolenki i Zagożdżonki w latach 2008-2010 (Hejduk i Igras (red.), 2011).

Wkrótce ukążą się publikacje mojego autorstwa dotyczące modelowania zmian użytkowania i klimatu dla zlewni Bystrej i zlewni rzeki Wisły, podsumowujące 10 lat badań. Spodziewam się, że wyniki modelowania dla zlewni Wisły umożliwią wyłonienie terenów rolnych stanowiących źródło emisji zanieczyszczeń obszarowych oraz racjonalną gospodarkę rolną na obszarze całego dorzecza. Umożliwią też dyskusję z rezultatami otrzymanymi przez inne zespoły (m.in. Piniewski i in., 2017) co pozwoli na głębszą dyskusję wyników i polemikę z wynikami publikowanymi przez HELCOM.

Literatura:

- Grimm M., Jones R., Montanarella L., 2002. Soil Erosion Risk in Europe. European Soil Bureau, JRC Ispra, pp: 40
- Hejduk L. Igras J., 2011. Dobre praktyki ochrony zlewni rzecznych w świetle Dyrektywy Azotanowej i innych standardów Unii Europejskiej, Wydawnictwo SGGW, Warszawa 2011, pp: 86
- Józefaciuk Cz, Józefaciuk A. 1996. Mechanizm i wskazówki metodyczne badania procesów erozji. Biblioteka Monitoringu Środowiska, pp: 148

- Jurga B., Wawer R., 2015. Indeks fosforowy jako narzędzie do szacowania strat fosforu do wód - zarys koncepcyjny modelu. Poster na Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej Fosfor – współczesne wyzwania dla rolnictwa i środowiska. Puławy, 15-16 czerwca 2015 r
 - Paulin G. L., Bursik M., Lugo-Hubp J., Zamorano Orozco J. J., 2010. Effect of pixel size on cartographic representation of shallow and deep-seated landslide, and its collateral effects on the forecasting of landslides by SINMAP and Multiple Logistic Regression landslide models. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, Volume 35, Issues 3–5, 2010, Pages 137-148*
 - Paulin G. L., Bursik M., 2017. Assessing a physical-based approach for landslide susceptibility in the Rio La Carbonera, SE flank of Pico de Orizaba volcano, Mexico. *Zeitschrift für Geomorphologie, Volume 61, Number 3: 181-189.*
 - Piniewski M., Szcześniak >, KArdeł I., Berezowski T., Okruszko T., Srinivasan R., Vikhamar-Schuler D., Kundzewicz Z. W., 2017. Hydrological modelling of the Vistula and Odra river basins using SWAT. *Hydrol. Sci. 62 (8): 1266-1289.*
 - Piotrowska I., 1998. Zastosowanie modelu DR-USLE w badaniach procesów erozji wodnej gleb w strefie młodoglacjalnej (zlewnia Górnej Parsęty, Pomorze Zachodnie). *Application of the DR-USLE Model to the Study of Water-Induced Soil Erosion in the Postglacial Zone (the Upper Parsęta Catchment, West Pomerania). Bad. Fizjogr. Pol. Zach. Ser. A t.49 s. 171-188.*
 - Rejman J., Link M., 1996. Eksperymentalna weryfikacja wskaźnika erozyjności opadu i przewidywanie jego wartości na podstawie opadów dobowych. *Experimental Evaluation of Rainfall Erosivity and its Prediction upon the Daily Records. Symp. Nauk. „Ochrona agroekosystemów zagrożonych erozją”, Puławy 11-13.09.1996. Druk IUNG w Puławach K (11/2). Pr. Nauk. cz. 2 s. 67-78.*
 - Rejman J., Usowicz B., 1999. Ilościowy opis przenoszenia gleby i wody w procesie erozji wodnej. *Acta Agrophysica, 23: 143-148*
 - Rejman J., Usowicz B., 1998. Zastosowanie modelu USLE do prognozowania natężenia erozji wodnej gleb powych Wyżyny Lubelskiej: teoria i praktyka. *Application of the USLE Model to Predict Soil Erosion on Loess Soil of Lublin Upland: Theory and Practice. Biblioth. Fragm. Agronom. t.4-A s.231-244*
 - Szewrański Sz., Żmuda R., 2008. Prognozowanie efektów środowiskowych spowodowanych wprowadzeniem zasad dobrych praktyk rolniczych. *Wyd. Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, pp: 104.*
 - Terhorst B., Kreja R., 2009. Slope stability modelling with SINMAP in a settlement area of the Swabian Alb. *Landslides, vol. 6, issue 4: 309-319*
 - Wawer R., Nowocień E., 2003. Application of Sinmap Terrain Stability Model in Grodarz Stream Watershed. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities. Environmental Development Series. Vol. 6, issue 1, 2003*
 - Wawer R., 2005. Cyfrowy model zlewni jako podstawa do planowania melioracji przeciwezyjnych w zlewniach rolniczych. *Acta Agrophysica, 115: 201-210.*
 - Wawer R., 2007. Modelowanie osuwisk płytkich z wykorzystaniem GIS. *Inżynieria Ekologiczna, 2007, 18: 110-112*
 - Wawer R., Nowocień E., Kozyra J., 2015. Hydrologia i denudacja w zlewni rzeki Bystrej. *Konferencja: PROBLEMY GOSPODAROWANIA ZASOBAMI ŚRODOWISKA W DOLINACH RZECZNYCH, 27-29.05.2015 r. Wrocław-Pierwszów*
 - Wawer R., Nowocień E., Kozyra K., Jurga B., Pudełko R., 2015. Monitoring transportu biogenów w cieku rzeki Bystrej. *Poster na Ogólnopolskiej Konferencji Naukowej Fosfor – współczesne wyzwania dla rolnictwa i środowiska. Puławy, 15-16 czerwca 2015 r.*
 - Wawer R., Podolski B., Nowocień E., Kozyra J., 2013. Monitoring hydrologii i denudacji zlewni rzeki Bystrej. *XXII Sympozjum Zintegrowanego Środowiska Przyrodniczego. ISBN 978-83-88344-97-8, 89-90.2013*
 - Zdroń T., Demczuk P., 2012. Ocena podatności powierzchniowych warstw zboczy na ruchy masowe z wykorzystaniem modelu SINMAP na przykładzie zlewni potoku Bystrzanka. *Inżynieria Morska i Geotechnika, tom 3: 207-215*
- Kartografia erozji wodnej i wietrznej

W latach '90 ubiegłego wieku zespół pod kierunkiem Ś. P. prof. dr hab. Czesława Józefaciuka przeprowadził kartowanie zagrożenia erozją wodną powierzchniową oraz występowania erozji

wąwozowej w skali kraju. Opracowanie oparte było o analogowe mapy topograficzne, glebowo-rolnicze i klimatyczne. Wraz z rozpoczęciem pracy w IUNG-PIB, jako uczestnik studiów doktoranckich zostałem skierowany do pracy nad cyfryzacją tych map. Opracowałem cyfrowe mapy potencjalnego zagrożenia erozją wodną wybranych obszarów kraju (Józefaciuk i in., 2000; Józefaciuk i in., 2002; Nowocień, Podolski i Wawer, 2002; Żmuda i in., 2006; Wawer i in., 2006) oraz dla całego kraju z wyszczególnieniem zagrożenia w gminach i powiatach (Józefaciuk, Nowocień i Wawer, 2014). Prace były oparte o zdigitalizowaną warstwę wektorową erozji potencjalnej, zdigitalizowane przez Zespół Zakładu Gleboznawstwa Eroзии i Ochrony Gruntów IUNG-PIB ze skanów map papierowych, opracowanych przez Zespół pod kierunkiem Czesława i Anny Józefaciuków.

W roku 2006 opracowałem mapę wskaźnika aktualnego zagrożenia erozją wodną powierzchniową (erozja wodna aktualna) według metodyki A. i Cz. Józefaciuków (1996) w skali kraju. Mapa powstała dzięki digitalizacji mapy potencjalnego zagrożenia erozją wodną powierzchniową i dostępności warstwy przestrzennej użytkowania terenu dla Polski CORINE Land Cover 2000 (Wawer i Nowocień, 2006a,bc; 2007, 2008). W roku 2010 opublikowałem mapę eroзии wodnej aktualnej dla struktury użytkowania terenu według CORINE Land Cover 2006 (Wawer, Nowocień i Podolski, 2010). Publikacje zagrożenia erozją uzyskały 26 cytowań przy czym prace, które cytowały uzyskały 251 cytowań. Są to dotychczas najdokładniejsze opracowania kartograficzne zagrożenia erozją wodną powierzchniową dla całej Polski oparte o wskaźniki jakościowe. Istniejące opracowania na poziomie Europy, jak CORINE czy PESERA (Grim, Jones i Montanarella, 2002; Gobin i in. 2004, Kirkby i in., 2004) zostały oparte o dane źródłowe w bardzo małej skali, na poziomie 1:1.000.000 i nie odzwierciedlały choć w przybliżeniu rzeczywistych warunków topografii terenu i zróżnicowania pokrywy glebowej, zwłaszcza na obszarze polodowcowych krajobrazów Polski. Obecnie najbardziej szczegółową mapą nasilenia eroзии wodnej dla obszaru UE jest mapa strat gleby wg modelu RUSLE opublikowana przez JRC (ESDAC, 2016) o rozdzielczości 100m. Jednak nawet tak dokładna mapa nadal nie może być traktowana jako reprezentatywna dla obszarów o bogatej rzeźbie terenu, ze względu na duże błędy w wyznaczaniu wskaźnika LS. Najnowsze badania moje i Badory (w przygotowaniu do druku) przeprowadzone dla wyżynnej zlewni rzeki Bystrej wskazują na maksymalną akceptowalną rozdzielczość cyfrowego modelu terenu na poziomie 30m. Powyżej tej wartości błędy w szacowaniu spadków terenu i wskaźnika LS są zbyt duże. Mapa eroзии wodnej potencjalnej i aktualnej bazuje na mapach topograficznych w skali 1:25.000, jest więc 16-krotnie bardziej dokładna niż mapa europejska i spełnia kryteria minimalnej skali odwzorowania rzeźby terenu.

W roku 2016 opracowałem z Zespołem również ogólnokrajowe mapy występowania eroзии wąwozowej w rozbiciu na województwa, powiaty i gminy (Józefaciuk, Nowocień i Wawer, 2016) w oparciu o prace zespołu Czesława i Anny Józefaciuków, zdigitalizowane przez zespół Zakładu Gleboznawstwa Eroзии i Ochrony Gruntów IUNG-PIB. Jest to jedyna tak dokładnie opracowana mapa dla polskich gmin.

Najnowszym osiągnięciem naszego Zespołu jest monografia zawierająca mapy zagrożenia użytków rolnych Polski erozją wietrzną (Józefaciuk, Nowocień i Wawer, 2018) w rozbiciu na województwa, powiaty i gminy. Mapa powstała na podstawie mapy glebowo-rolniczej w skali 1:25.000 i jest jedyną mapą zagrożenia erozją wietrzną dla Polski w skali wyższej 1:100.000. Dotychczasowa mapa zagrożenia erozją wietrzną obszaru Polski, opracowana przez Zespół pod kierownictwem A. i Cz. Józefaciuków (1996), miała skalę 1:1.000.000 i ukazywał bardzo zaniżone szacunki zagrożenia tym

typem erozji. Istniejąca mapa na poziomie UE, opracowana przez Borelli i innych w roku 2015 opisuje zagrożenie erozją wietrzną w oparciu o wskaźnik jakościowy EF (Borelli i in, 2015) w skali 1:500.000. Struktura przestrzenna tego wskaźnika dla Polski jest w dużej mierze zbieżna z wynikami, które otrzymaliśmy, choć ma znacznie mniejszą dokładność przestrzenną.

W czasie pracy nad doktoratem opracowałem też autorski wskaźnik położenia dróg rolniczych w rzeźbie terenu (Wawer, 2004), oparty o narzędzia GIS. Wskaźnik posłużył jako podstawa do wyznaczania odcinków dróg wymagających przeprojektowania w procesie scaleniowym (Nowocien i Wawer, 2007; Wawer i in., 2008; Nowocien i Wawer, 2014). Służy również innym autorom (m.in. Krocak, 2010 oraz Dąbek i in., 2017).

Literatura:

- Borrelli, P., Panagos, P., Montanarella, L. 2015. New Insights into the Geography and Modelling of Wind Erosion in the European Agricultural Land. Application of a Spatially Explicit Indicator of Land Susceptibility to Wind Erosion. Sustainability 2015, 7(7), 8823-8836; doi:10.3390/su7078823
- Dąbek P., Żmuda R., Kowalczyk T., Dąbrowska J., Moryl A., Kucharczak-Moryl E. 2017. Forest roads system in mountain relief: indicator evaluation of water-erosion risk. Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, Vol. 20, Issue 1. <http://www.ejpau.media.pl/volume20/issue1/art-03.html>
- Grimm M., Jones R., Montanarella L., 2002. Soil Erosion Risk in Europe. European Soil Bureau, JRC Ispra, pp: 40
- Gobin A., Jones R., Kirkby M., Campling P., Govers G., Kosmas C., Gentile A. R., 2004. Indicators for pan-European assessment and monitoring of soil erosion by water. Environmental Science & Policy, Volume 7, Issue 1, February 2004, Pages 25-38
- Józefaciuk A., Nowocien E, Wawer R., 2014. Erozja gleb w Polsce – skutki środowiskowe i gospodarcze, działania zaradcze. Monografie i rozprawy naukowe IUNG-PIB, nr 44, ss.: 263.
- Józefaciuk A., Józefaciuk Cz., Nowocien E., Wawer R., 2000. Struktura zagrożenia użytków rolnych i leśnych erozją wodną w województwie Zachodnio-Pomorskim Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis. Z 217 Agric. 87, s. 65-69
- Józefaciuk A., Nowocien E., Wawer R., 2016. Rozwój, skutki i występowanie erozji wąwozowej w Polsce oraz metody zagospodarowania wąwozów. Monografie i rozprawy naukowe – 48, ISBN 978-83-7562-208-9, IUNG-PIB Puławy, 2016, ss:376
- Józefaciuk A., Nowocien E., Wawer R., 2018. Erozja wietrzna w Polsce - występowanie, skutki, działania zaradcze. Monografie i rozprawy naukowe, 57, pp: 260
- Józefaciuk Cz, Józefaciuk A. 1996. Mechanizm i wskazówki metodyczne badania procesów erozji. Biblioteka Monitoringu Środowiska, pp: 148
- J. Kirkby, Robert J. A. Jones, Brian Irvine, Anne Gobin, Gerard Govers, Olivier Cerdan, Anton J.J. Van Rompaey, Yves Le Bissonnais, Joel Daroussin, Dominique King, Luca Montanarella, Mirco Grimm, Valerie Vieillefont, Juan Puigdefabregas, Matthias Boer, Costas Kosmas, Nicolas Yassoglou, Maria Tsara, Stephan Mantel, Godert J. Van Lynden and Jan Huting., 2003. Pan-European Soil Erosion Risk Assessment: The PESERA Map Version 1 October 2003, Explanation of: Special Publication Ispra 2004 no. 73, S.P.I.04.73. Belgium: European Communities.
- Krocak R., 2010. Geomorfologiczne i hydrologiczne skutki funkcjonowania dróg polnych na Pogórze Ciężkowskim. Wyd. IGiPZ PAN, Prace geograficzne nr 225, pp: 144.
- Nowocien E., Podolski B., Wawer R., 2002. Uwarunkowania rozwoju rolnictwa w polskich Karpatach. Visnyk of Lviv State Agrarian University: Organization of Land Exploitation and Land Cadastre. 2002. No 5: s. 87-91.
- Nowocien E., Wawer R., 2014. Potencjalne zagrożenie degradacją dróg gruntowych na terenach rolniczych i pilność ich utwardzania. W: Dudzińska M., Kocur-Bera K. (red.) i in. 2014. Bariery i stymulanty rozwoju obszarów wiejskich. Monografie, Partner Poligrafia Andrzej Kardasz, Białystok, p: 35-44
- Wawer R., 2004. An Indicator for Estimating Arrangement of Rural Roads in Terrains Relief and Its Digital Implementation in GIS on the Example of Grodarz Stream Watershed, Electronic Journal of Polish Agricultural Universities. Civil Engineering Series. Vol. 7, Issue 2

- Wawer R., Nowocień E., 2006a. Digital map of actual water erosion risk in Poland. A qualitative, vector based approach. Polish Journal of Environmental Studies. Vol. 16, No. 5 (2007), 763-772.
- Wawer R., Nowocień E., 2006b. Cyfrowa mapa występowanie erozji wodnej powierzchniowej obszaru polski w oparciu o Corine Land Cover 2000. Rozdzielczość przestrzenna 500m. Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu, CCCLXXV, Rolnictwo 65: 207-213
- Wawer R., Nowocień E., 2006c. Mapa erozji wodnej aktualnej w oparciu o CORINE Land Cover 2000. Pam. Puł. Z. 142: 537-546
- Nowocień E., Wawer R., 2007. Analiza sieci dróg rolniczych z wykorzystaniem GIS. Studium obszaru zlewni ciek Mielnica. Roczniki Geomatyki V, 2: 65–72
- Wawer R., Nowocień E., Kozyra J., Budzyńska K., 2006. Cyfrowa mapa zagrożenia erozją wodną powierzchniową obszaru polski. Rozdzielczość przestrzenna 500m. Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu, CCCLXXV, Rolnictwo 65: 215-223
- Wawer R., Nowocień E., Podolski B., Szwerański Sz., Żmuda R., 2008. Analiza sieci dróg rolniczych pod kątem ochrony przed erozją wodną powierzchniową. Inżynieria Ekologiczna, 2007, 18: 110-111
- Żmuda R., Szwerański Sz., Sasik J., Wawer R., 2006. Erozja wodna gleb na przykładzie geokoosystemu zlewni Mielnicy. Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu, CCCLXXV, Rolnictwo 65: 281-286

• Nawodnienia rolnicze

Od roku 2011 brałem udział w pracach nad utworzeniem innowacyjnego systemu wspierania decyzji dla nawodnień rolniczych o nazwie ENORASIS. System oparty został o czujniki wilgotności gleby sprzęgnięte w bezprzewodową sieć czujników WSN, automatyczne stacje meteorologiczne, zaawansowane modelowanie prognoz pogodowych oraz sceny satelitarne. Zespół w IUNG-PIB pod moim kierunkiem opracował modele i reguły decyzyjne dla serca systemu – modułu wspierania decyzji, opartego o koncepcję nawadniania deficytowego (Syropolou i in, 2017). Przeprowadzone badania eksperymentalne na plantacjach badawczych w Polsce i w Turcji oraz w gospodarstwach w Serbii i na Cyprze, wykazały bardzo wysokie wskaźniki oszczędności wody przy braku spadku plonu w porównaniu z dotychczasowymi praktykami nawodnieniowymi, opartymi o kalkulację potrzeb nawodnieniowych na podstawie dziennej ewapotranspiracji (Wawer, 2015; Wawer i in., 2016). Jestem współautorem projektu architektury tego systemu jak i polskiego systemu Aquastatus (Wawer i in., 2016). Od roku 2014 zajmuję się upowszechnieniem wiedzy i racjonalnym nawadnianiu upraw w formie wykładów oraz publikacji w czasopismach branżowych. Obecnie prowadzę doświadczenia ścisłe nad efektywnością zastosowania optymalizowanych dawek nawodnieniowych na plon i efekt ekonomiczny uprawy ziemniaka i kukurydzy w Rolniczym Zakładzie Doświadczalnym IUNG-PIB w Grabowie oraz badania we własnym gospodarstwie nad optymalizacją nawadniania borówki amerykańskiej. Wyniki zostaną opublikowane w roku 2019.

Literatura:

- Syropoulou P., Symeonidou M., Tekes S., Wawer R., Kazantzidis A., Crnojevic V., Bruggeman A., 2016. Developing an intelligent Decision Support System for environmentally optimized irrigation management using Sensors, Remote Sensing and Meteorological Forecast. Journal of Agricultural Informatics (ISSN 2061-862X) 2017 Vol. 8, No. 2: 22-32
- Wawer R., 2015. Innowacyjne narzędzie w wspomaganie decyzji w nawadnianiu upraw – system ENORASIS. Kongres Innowacji. Kraków: 10.03.2015
- Wawer R., Kozyra J., Łopatka A., Matyka M., Marszał M., 2016. Nawadnianie upraw z wykorzystaniem bezprzewodowej sieci czujników Konferencja Naukowa pt. "Rolnictwo XXI wieku - problemy i wyzwania". Materiały konferencyjne

2.2.2 Inne kierunki badawcze

W latach 2005-2009 zajmowałem się interoperacyjnością danych przestrzennych, teorią infrastruktur danych przestrzennych (SDI) i jej przełożeniem na praktyczną implementację Dyrektywy INSPIRE. Wraz z zespołem przeprowadziliśmy pionierskie badania potrzeb użytkowników w zakresie danych przestrzennych dotyczących bioróżnorodności w 4 związanych z bioróżnorodnością tematów danych INSPIRE: obszary chronione, regiony bio-geograficzne, siedliska i biotopy oraz rozmieszczenie gatunków. W wyniku intensywnych prac opracowałem wraz z Thierry'm (Wawer i Thierry, 2010) 3 propozycje modeli danych przestrzennych, które zostały później wdrożone w ramach Dyrektywy INSPIRE i obowiązują obecnie. Niestety ze względu na nieprecyzyjną umowę konsorcjum projektu w dziedzinie praw autorskich nie udało się opublikować wyników oceny potrzeb użytkownika, które wniosłyby wiele w zrozumienie przepływów danych o bioróżnorodności między różnymi interesariuszami z różnych krajów członkowskich Unii Europejskiej.

W tym samym okresie zajmowałem się również analizą przepływów danych o stanie środowiska w krajach EIONET w ramach sieci NESIS. Opracowałem kwestionariusz informacji o przepływach danych o jakości środowiska, który został przekazany EIONET Focal Points ulokowanych w ministerstwach środowiska krajów członkowskich EIONET. Otrzymane z ministerstw dane poddałem wnikliwej analizie i na podstawie autorskiego zestawu wskaźników stanu oszacowałem stopień digitalizacji przepływów informacji o środowisku w poszczególnych krajach EIONET (Wawer i Vandembroucke, 2010). Raport był częścią przygotowań do opracowania i wdrożenia nowej dyrektywy Komisji Europejskiej, wprowadzającej tzw. Shared Environmental Information System of systems (SEIS) - systemu mającego zapewnić każdemu obywatelowi UE dostęp do danych o jakości środowiska w jego otoczeniu. Wstępny projekt dyrektywy, oparty o komunikat SEIS wydany przez Komisję Europejską w 2008 roku (COM(2008) 46 final) zakładał oparcie systemu o istniejące już w krajach członkowskich EIONET systemy cyfrowe wymiany informacji o środowisku. Raport, który przedstawiłem wykazał, że stopień informatyzacji tych systemów w znacznej liczbie krajów jest zbyt niski, by zapewnić nisko kosztowe uruchomienie SEIS.

Od roku 2011 jestem aktywnie zaangażowany w budowanie konsorcjów mających na celu opracowanie i wdrożenie narzędzi informatycznych w rolnictwie. Moje zainteresowania obejmują: wykorzystanie czujników, integracja i interoperacyjność danych i usług, robotykę oraz systemy wspierania decyzji na poziomie pola i gospodarstwa. W roku 2015 oceniałem 13 projektów informatycznych dla rolnictwa w ramach konkursy FRACTALS. Biorę czynny udział w seminariach EIP-AGRI dotyczących wdrażania cyfrowej rewolucji w rolnictwie, reprezentując potrzeby nauki, branży ICT jak i małych i średnich gospodarstw rodzinnych.

Istotną częścią modelowania przestrzennego jest analiza wpływu zmian klimatycznych na plon i środowisko. W 2017 roku, w ramach projektów ClimaEast, prowadziłem badania z użyciem modelu WOFOST nad wpływem zmian klimatu na plon głównych roślin uprawnych w Białorusi (Wawer i in., 2019, w druku) oraz analizowałem ich wpływ na natężenie erozji dla obszaru zlewni Mielnicy w woj. dolnośląskim (Wawer i in., 2008) i Bystrej w woj. lubelskim (dane niepublikowane). Wyniki prognoz plonu kukurydzy, jęczmienia i rzepaku dla Białorusi, wykonane w rozdzielczości czasowej 1 doby w dwudziestu różnych wariantach przebiegu pogody w roku 2050, wskazują generalnie na wzrost plonowania ww. upraw, co wiąże się z dłuższym okresem wegetacyjnym i wyższą sumą temperatur dobowych. Wyniki te są zgodne z raportem IPCC z 2007 roku (IPCC, 2007). Jednak wprowadzenie dodatkowego czynnika, odzwierciedlającego gatunek gleby wykazało znaczne zróżnicowanie

spodziewanego plonowania i na glebach lekkich spodziewany plon będzie znacznie niższy od średniego. Wyniki badań zostaną wykorzystane przez Ministerstwo Środowiska Białorusi w dalszych badaniach nad pogłębiającym się potencjalnie stresem wodnym w uprawach w horyzoncie czasowym 2050 i sposobach adaptacji rolnictwa i gospodarki wodnej kraju do zmian klimatu.

Literatura:

- EC, 2008. Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions - Towards a Shared Environmental Information System. COM(2008) 46 final, pp: 10
- IPCC, 2007. Climate Change 2007 – Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Pp: 960.
- Wawer R., Kozyra J., Bertosh E., Filiutis I., Badora D., Król A., Nowocień E., Żmuda R., 2019. Potential change of yield of maize by 2050 on sandy and loamy soils in four Belarussian climatic regions modelled in WOFOST. Journal of Water and Land Development, w druku
- Wawer R., Sasik J., Szewrański Sz., Żmuda R., 2008. Modelowanie skutków środowiskowych przedsięwzięć rolnośrodowiskowych. W: Szewrański Sz., Żmuda R. (ed). Prognozowanie efektów środowiskowych spowodowanych wprowadzeniem zasad dobrych praktyk rolniczych. Wyd. Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, pp: 104.
- Wawer R., Tirry D., 2010. NatureSDIplus D3.4 Data Exchange Models. Pilot application schemas for INSPIRE biodiversity themes. NatureSDIplus deliverable, DGINFSO. Pp: 56.
- Wawer R., Vandenbroucke D. Summary Report on the Status of Environmental Monitoring and Reporting in Europe. NESIS deliverable. http://www.nesis.eu/documents/d3.1.sop_report_revised%20version_v6.1_100331.pdf

2.2.3 Sumaryczne zestawienie dorobku publikacji

W ciągu całego okresu pracy naukowej opublikowałem jako autor i współautor **56** prac w recenzowanych czasopismach naukowych, w tym 6 z IF (4 z nich stanowią Osiągnięcie). Jestem współautorem 4 monografii oraz 14 rozdziałów monografii. Pozostałe publikacje obejmują 51 publikacji konferencyjnych oraz 11 popularnonaukowych. Istotną częścią mojej pracy naukowej od 2004 roku pozostaje udział w projektach badawczych, w ramach których opublikowałem 31 raportów, w tym 2 wpływające bezpośrednio na politykę udostępniania danych i ochrony środowiska w Unii Europejskiej:

1. Wawer R., Vandenbroucke D., 2010. Summary Report on the Status of Environmental Monitoring and Reporting in Europe. NESIS deliverable. DGINFSO http://www.nesis.eu/documents/d3.1.sop_report_revised%20version_v6.1_100331.pdf
2. Wawer R., Tirry D., 2010. NatureSDIplus D3.4 Data Exchange Models. Pilot application schemas for INSPIRE biodiversity themes, NatureSDIplus deliverable, DGINFSO

Poniżej przedstawiono podsumowanie mojego dorobku publikacyjnego bez uwzględnienia publikacji stanowiących osiągnięcie (Dz. U. nr. 65, poz. 595 ze zm.) (tabele 4-7). Szczegółową listę publikacji zamieściłem w załączniku **6, punkt 1**.

Tabela 4. Liczba publikacji (poza Osiągnięciem) z podziałem na oryginalne prace twórcze, artykuły przeglądowe, prace i streszczenia konferencyjne oraz artykuły popularno-naukowe (w nawiasach zaznaczono publikacje przed doktoratem)

Rodzaj publikacji	Liczba	Suma *IF	Suma pkt. z roku opublikowania pracy	Suma pkt. wg. listy MNiSZW z dnia 09.12.2016 r.
Oryginalne prace twórcze opublikowane w czasopismach z listy JCR	2 (0)	1.146 (0)	30 (30)	30 (30)
Oryginalne prace twórcze opublikowane w czasopismach spoza listy JCR	49 (13)	-	262 (56)	373 (64)
Monografie	4 (1)		90 (20)	100 (20)
Rozdziały monografii	14 (0)		58 (0)	70 (0)
Prace i streszczenia w materiałach konferencyjnych	51 (0)			
Artykuły popularno-naukowe	11 (0)			
Raporty	31 (0)			
Aplikacje i serwisy internetowe	11 (0)			
Prace łącznie	173 (14)	1.146 (0)	440 (106)	573 (114)

* IF zgodne z rokiem opublikowania prac

Tabela 5. Spis wydawnictw w których publikowałem publikacje recenzowane (nie uwzględniając osiągnięcia)

Wydawnictwo	Liczba publikacji	Suma *IF	Suma pkt. z roku opublikowania pracy	Suma pkt. wg. listy MNiSZW z dnia 09.12.2016 r.
Inne monograficzne	8	0	34	40
Studia i Raporty IUNG-PIB	6	0	24	30
Pamiętnik Puławski	5	0	30	30
Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych	5	0	30	65
Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu	5	0	25	25
Monografie i Rozprawy Naukowe IUNG-PIB	4	0	95	100
Electronic Journal of Polish Agricultural Universities	4	0	28	48
Inżynieria Ekologiczna	4	0	21	36
Folia Universitatis Agriculturae Stetinensis	4	0	20	20
Przegląd Naukowy SGGW Inżynieria i Kształtowanie Środowiska	4	0	20	20
Polish Journal of Environmental Studies	2	1.146	30	30
Fragmenta Agronomica	2	0	10	10

Wydawnictwo	Liczba	Suma	Suma pkt. z	Suma pkt. wg.
Roczniki Geomatyki	2	0	10	20
Zeszyty Naukowe AR w Krakowie	2	0	6	6
Visnyk of Lviv State Agrarian University: Organization of Land Exploitation and Land Cadastre	2	0	4	4
Polish Journal of Soil Science	1	0	14	14
Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW	1	0	6	14
Acta Agrophysica	1	0	5	14
Journal of Agricultural Informatics	1	0	5	5
Roczniki Gleboznawcze	1	0	5	14
Biblioteka Monitoringu Środowiska	1	0	4	5
Gospodarka wodna	1	0	4	9
Regionalny Monitoring Środowiska Przyrodniczego	1	0	4	4
Wiadomości Melioracyjne i Łąkarskie	1	0	4	8
Naukowyj Wisnik Czerniowieckiego Uniwersytetu	1	0	2	2
Prace łącznie	69	1.146	440	573

Tabela 6 Zestawienie publikacji oryginalnych (poza Osiągnięciem) z podziałem ze względu na miejsce habilitanta wśród współautorów

Rodzaj publikacji	Prace samodzielne	Pierwszy autor	Drugi autor	Trzeci lub dalszy autor	łącznie
Oryginalne prace twórcze	5	15	5	26	51
Monografie				4	4
Rozdziały w monografiach	1	6	3	4	14
Prace i streszczenia w materiałach konferencyjnych	8	23	14	6	51
Artykuły popularno-naukowe	7	3		1	11
Raporty	1	9	11	10	31
Aplikacje	4	4		3	11
łącznie	26	59	33	55	173

Tabela 7. Wskaźniki naukometryczne dorobku habilitanta wg poszczególnych baz danych (w nawiasie zaznaczono publikacje z pominięciem osiągnięcia)

Baza danych	Liczba cytowanych prac	Liczba cytowań	Indeks Hirscha (h-index)
Web os Science (WoS)	6 (2)	27 (15)	4 (2)
Web of Science (WoS) Cited References Index	40 (18)	241 (104)	8 (5)
Scopus	7 (3)	32 (19)	3 (2)
Publish or Perish v6.18	43 (38)	119 (68)	6 (4)

2.3 Udział w projektach badawczych

Gros moich zadań jako adiunkta w IUNG-PIB związane jest z realizacją zadań w ramach projektów badawczych. Od początku mojej pracy brałem udział w 43 projektach badawczych i badawczo-rozwojowych, w tym 16 międzynarodowych. Byłem wykonawcą w 25 projektach, głównym wykonawcą w 2 projektach, kierownikiem zadania lub zadań w 6 projektach, koordynatorem pakietu roboczego w 5 projektach, kierownikiem 3 projektów, Dyrektorem Technicznym 1 projektu (Tabela 8). Szczegółowy spis projektów w których brałem udział ujęto w załączniku 7 (tab. 1).

Tabela 8. Funkcje w projektach badawczych

Instytucja finansująca	Rola				
	Koordynator	Główny wykonawca	Koordynator pakietu roboczego*	Koordynator zadania*	Wykonawca
Zadania statutowe IUNG-PIB	3	2	1		8
KBN/NCN/NCBiR		2			3
Komisja Europejska	1	-	3	9	6
Szwajcarski Mechanizm Finansowania					1
Norweski Mechanizm Finansowania					1
Inne krajowe					1
Inne zagraniczne			2		4
łącznie	4	4	6	9	24

* Podano liczbę zadań i pakietów roboczych

2.4 Złożone wnioski o finansowanie projektów badawczych, które nie uzyskały finansowania

Istotną częścią mojej pracy jest przygotowywanie wniosków na finansowanie badań naukowych. Od roku 2002 brałem udział w przygotowaniu 77 wniosków o finansowanie projektów badawczych, z czego 34 (w tym 23 międzynarodowe) nie uzyskało finansowania. Spośród tych 34 wniosków w 7 występowałem jako kierownik projektu, w 3 jako główny wykonawca, w 10 jako koordynator pakietu roboczego, w 5 jako kierownik zadania (tab. 9). Szczegółową listę wniosków projektowych, które nie uzyskały finansowania przedstawiono w załączniku 7 (tab. 2).

Tabela 9. Funkcje w złożonych wnioskach o finansowanie badań naukowych, które nie uzyskały finansowania

Instytucja finansująca	Rola				
	Koordynator	Główny wykonawca	Koordynator pakietu roboczego	Koordynator zadania	Wykonawca
KBN/NCN/NCBiR	3	3	1	2	2
Komisja Europejska	1		4	3	6
Inne zagraniczne	3		5		1
łącznie	7	3	10	5	9

2.5 Odbyte staże i szkolenia

Tabela 10. Staże i szkolenia, w których uczestniczył habilitant

Rok	Kraj	Instytucja	Szkolenie/Staż
2001	Polska	KPK w Krakowie	5 program ramowy UE. Przygotowanie wniosku.
2002	Wielka Brytania	University of Bermingham	Advanced Study Course on River Basin and Flood Modelling.
2004	Belgia	Katholieke Universiteit Leuven	Staż. Stypendium Królestwa Belgii.
2007	Belgia	Katholieke Universiteit Leuven	Acquiring for funding in 7th Framework Programme.

2.6 Wykonane recenzje oryginalnych prac, wniosków i projektów badawczych

łącznie wykonano 26 recenzji oryginalnych prac dla następujących czasopism:

- Catena (2018:3, 2017: 2, 2016: 1, 2012: 1, 2011: 1)
- Journal of Water and Land Development (2018:1, 2016: 2, 2015: 1)
- International Soil and Water Conservation Research (2017: 1)
- Research in Agricultural Engineering (2017: 2)
- Polish Journal of Soil Science (2018: 1)
- Agronomy Research (2018:1, 2017: 2, 2016: 1)
- Land Reclamation (2017: 1)
- Acta Agrobotanica (2016: 1)
- Biological Agriculture & Horticulture (2015: 1)
- Journal of Agricultural Science and Technology (2014: 1)
- Science of the Total Environment (STOTEN) (2013: 1)
- Acta geodynamica et geomaterialia (2013: 1)
- Land Degradation & Development (2013: 1)
- Studia i raporty IUNG-PIB (2014:1, 2013: 1)

W latach 2010-2012 oceniałem 2 wnioski do KBN oraz jeden raport końcowy. W roku 2014 byłem członkiem Scientific Committee programu FACEE EraNet+ „Climate-smart agriculture”, gdzie w ramach swoich obowiązków oceniłem 5 wniosków oraz pełniłem rolę sprawozdawcy dla 3 wniosków projektów badawczych. W 2015 roku ramach projektu FRACTALS oceniłem 13 wniosków projektowych na małe projekty wdrożeniowe informatyki w rolnictwie.

2.7 Działalność w towarzystwach naukowych

Tabela 11. Członkostwo habilitanta w stowarzyszeniach naukowych

Lp	Lata	Nazwa towarzystwa	Funkcja
1	1995-1997	Straż Ochrony Przyrody	członek
2	2002-2005	Polskie Towarzystwo Agronomiczne	członek
3	2011-	Towarzystwo Sztuk i Rzemiosł Dawnych	Sekretarz
4	2009- 2012	International Geospatial Society	członek założyciel
5	2003-2012	European Society for Soil Conservation	członek
6	2002-	International Association of Hydrological Sciences	członek
7	2000-2002, 2012-	Polskie Towarzystwo Gleboznawcze	członek
8	2004-2006	Polskie Towarzystwo Informacji Przestrzennej	członek
9	2007-	OSGeo Foundation	członek
10	2010	Open Geospatial Consortium	członek instytucjonalny
11	2007-2010	Global Spatial Data Infrastructure Association (GSDI)	członek instytucjonalny
12	2007-2010	Geographis Information Systems International Group (GISIG)	członek instytucjonalny
13	2015-	Polskie Stowarzyszenie Agroleśnictwa	członek
14	2016-	Polskie Towarzystwo Klasyfikatorów Gruntów	członek

2.8 Funkcje i udział w konferencjach krajowych i zagranicznych

- a) Przewodniczenie sesji na konferencjach naukowych, warsztatach i seminariach – 5
- CASCADOSS International Symposium. Moderator sesji. Warszawa, 16 czerwiec 2008.
 - CASCADOSS International Workshop. Moderator 2 sesji. Warszawa, 17-18 czerwiec 2008.
 - ENORASIS National Workshop “Możliwości optymalizacji zużycia wody w nawodnieniach rolniczych w Polsce”. Moderator warsztatów, Centrum Konferencyjne JAAK, Kosiorów, 8 wrzesień 2014
 - ENORASIS National Symposium “Innowacyjne narzędzia wspierania decyzji w nawadnianiu upraw na przykładzie systemu ENORASIS”. Moderator Sympozjum. CDR w Radomiu, 6 listopad 2014;
 - Warsztaty SustainFARm „Innowacyjna i zrównoważona intensyfikacja zintegrowanych systemów produkcji na cele żywnościowe i nieżywnościowe dla

rozwoju agroekosystemów odpornych na zmiany klimatu w Europie i poza jej obszarem”. Moderator sesji roboczej. CDR w Radomiu, 13 stycznia 2017

b) Ustna prezentacja prac na konferencjach - 37

c) Współautorstwo ustnych prezentacji prac na konferencjach - 8

d) Prezentacja wyników prac w formie posterów – 7

Szczegółowa lista publikacji konferencyjnych znajduje się w załączniku **6, punkt 2**.

2.9 Funkcje i udział w gremiach naukowych i branżowych

Tabela 12. Uczestnictwo habilitanta w pracach gremiów branżowych

Lp.	Rok	Wydarzenie/Gremium	Instytucja
1	2003	OECD Expert Meeting on Soil Erosion and Soil Biodiversity Indicators. Współautor raportu z Polski. Rapporteur.	OECD
2	2014	Członek Scientific Committee programu FACCE EraNet plus	FACCE
3	2016	Seminarium zorganizowane przed Komisję Europejską pt: "Data Revolution", Sofia, 22-23.06.2016	EIP-AGRI
4	2016	Seminarium organizowane przed Komisję Europejską pt: "Digitizing the Agri-food Sector", Bruksela, 28-29.09.2016	EIP-AGRI
5	2016	Członek Panelu Ekspertów Gospodarowanie Wodą MRiRW ds. programów operacyjnych	MRiRW
6	2016	Członek Panelu Ekspertów Innowacje w Rolnictwie MRiRW ds. programów operacyjnych	MRiRW
7	2016	Ekspert w programie EU ClimaEast. Projekt: Vulnerability of Belarussian Agriculture to Climate Change	ClimaEast
8	2017	Warsztaty zorganizowane przez Komisję Europejską "EIP-AGRI Workshop on Data Sharing", Bratysława 4-5.04.2017	EIP-AGRI
9	2017	Seminarium zorganizowane przez Komisję Europejską "EIP-AGRI Seminar "Digital Innovation Hubs: mainstreaming digital agriculture", Bratysława 1-2.06.2017	EIP-AGRI
10	2018	Członek Misji Gospodarczej Województwa Lubelskiego do Stanu Nevada	Urząd Marszałkowski Woj. lubelskiego

3. DZIAŁALNOŚĆ DYDAKTYCZNA

3.1 Prowadzone zajęcia dydaktyczne

W latach 2008-2009 prowadziłem zajęcia na Katholieke Universiteit Leuven, wykładając w sumie 9 przedmiotów (172h), w tym 8 (156h) na letniej szkole GIS dla ekspertów z krajów rozwijających się (której byłem współorganizatorem):

- 2008 - Short Training Initiative: "Free and Open Source Geomatics tools for Land evaluation and Land use planning".
- 2009 - Short Training Initiative: "Free and Open Source Geomatics tools for Processing and sharing of geospatial data in the context of Land evaluation and Land use planning"

W latach 2013-2017 prowadziłem wykłady z dziedziny gleboznawstwa i klasyfikacji gruntów w przedmiotach na studiach podyplomowych Gleboznawstwo i Klasyfikacja Gruntów w IUNG-PIB w wymiarze rocznym:

- Wprowadzenie do łąkarstwa (4h)
- Żyzność, urodzajność i zasobność gleb (3h)
- Podstawy gleboznawstwa. Mady. (2h)
- Klasyfikacja użytków zielonych (3h)

W latach 2015-2017 prowadziłem zajęcia terenowe w ramach ww. studiów w wymiarze 150h na semestr.

Ponadto prowadziłem szkolenia dla doradców rolniczych i rolników organizowane przez Centrum Doradztwa Rolniczego w Broniowie i LODR w Łodzi i Końskowoli 5 szkoleń w formie 1h wykładu.

Podsumowanie dorobku dydaktycznego przedstawiłem w tabeli 13.

Tabela 13. Dorobek dydaktyczny habilitanta

Rok	Wykład	Przedmiot/kurs	Uczelnia	Język wykładowy	liczba godzin na rok	liczba godzin ogółem
2008	Quantum GIS customization - Python programming	Short Training Initiative: "Free and Open Source Geomatics tools for Land evaluation and Land use planning".	Katholieke Universiteit Leuven	angielski	4	12
2008	Quantum GIS customization - core set of plugins				4	12
2008	Evaluating FOSS4G software projects				8	24
2008	Introduction to OGC web Mapping services				8	24
2009	Implementing OGC Web Mapping Services with MapServer	Short Training Initiative: "Free and Open Source Geomatics tools for Processing and sharing of geospatial data in the context of Land evaluation and Land use planning".	Katholieke Universiteit Leuven	angielski	16	32
2009	Evaluating FOSS4G software projects				8	24
2009	Introduction to Quantum GIS customization				4	12
2009	Introduction to Spatial Data Infrastructures and INSPIRE Directive				8	16

Rok	Wykład	Przedmiot/kurs	Uczelnia	Język wykładowy	liczba godzin na rok	liczba godzin ogółem
2009	Introduction to open standards and open software in cartography. OGC standards.	Training course	Katholieke Universiteit Leuven	angielski	8	16
2013-2017	Wprowadzenie do łąkarstwa	Podyplomowe Studium GLEBOZNAWSTWO, GLEBOZNAWCZA KLASYFIKACJA GRUNTÓW I KARTOGRAFIA GLEB	IUNG-PIB	polski	5	15
2013-2017	Żyzność, urodzajność i zasobność gleb				3	15
2013-2017	Podstawy gleboznawstwa. Mady.				2	10
2013-2017	Klasyfikacja użytków zielonych				3	15
2015-2017	Zajęcia praktyczne				150	450
2015	Nawadnianie z wykorzystaniem informacji o wilgotności gleby	Szkolenie CDR Brwinów „Rozpoznawanie i monitoring agrofagów w ramach systemu integrowanej ochrony roślin, ze szczególnym uwzględnieniem programów rolno środowiskowych i rolnictwa ekologicznego” (2h)	CDR-Radom	polski	2	2
2016	Nawadnianie upraw polowych	Szkolenie LODR	LODR Bratoszewice	polski	2	2
2016	Rola i znaczenie małej retencji dla jakości życia i środowiska na obszarach wiejskich, przeciwdziałanie zmianom klimatu	Szkolenie LODR "Mała retencja - duża sprawa"	LODR Piotrków Trybunalski, LODR Bratoszewice, LODR Kościerzyn	polski	6	6
2016	Nawadnianie z wykorzystaniem czujników wilgotności gleby	Seminarium LODR Kościerzyn "Walka z suszą w uprawach"	LODR Kościerzyn	polski	2	2
2017	Zapobieganie erozji gleb na obszarach wiejskich	Szkolenie LODR	CDR-Radom	polski	1	1
Suma						654

3.2 Przygotowanie i współudział w opracowaniu programów przedmiotów i szkoleń

W roku 2008 i 2009 byłem współautorem założeń dydaktycznych szkoły letniej GIS na Katholieke Universiteit Leuven w Belgii.

W roku 2016 byłem współautorem założeń dydaktycznych na kierunku magisterskim „Agricultural Data Management and Decision Models” na Uniwersytecie w Rouen we Francji z językiem angielskim jako wykładowym. W orku akademickim 2018/2019 będę prowadził zajęcia z zakresy infrastruktury danych przestrzennych oraz określania potrzeb użytkownika.

3.3 Przygotowanie materiałów dydaktycznych i szkoleniowych

Tabela 14. Materiały szkoleniowe przygotowane lub współprzygotowane przez habilitanta

Rok	Autorstwo	Temat	Szkolenie/kierunek
2008	Wawer R.,	Introduction to Quantum GIS customization.	Short Training Initiative: “Free and Open Source Geomatics tools for Land evaluation and Land use planning”. Katholieke Universiteit Leuven, pp: 131.
2008	Wawer R.,	Setting up WMS/WFS service and client using Quantum GIS and MapServer. MSWindows environment. MS4W.	Short Training Initiative: “Free and Open Source Geomatics tools for Land evaluation and Land use planning”. Katholieke Universiteit Leuven, pp: 12
2008	Wawer R.,	Setting up WMS/WFS service and client using Quantum GIS and MapServer. Linux environment - CASCADOSS LiveDVD.	Short Training Initiative: “Free and Open Source Geomatics tools for Land evaluation and Land use planning”. Katholieke Universiteit Leuven, pp: 12
2008	Wawer R.,	Evaluating OSS GIS/RS and EA software projects. Evaluation of MapServer. CASCADOSS LiveDVD.	Short Training Initiative: “Free and Open Source Geomatics tools for Land evaluation and Land use planning”. Katholieke Universiteit Leuven, pp: 8
2010	Nowocień E., Podolski B., Wawer R.	Usuwanie poerozyjnych szkód popowodziowych na gruntach użytkowanych rolniczo	Zalecenia popowodziowe dla rolników 2010r. Puławy, czerwiec 2010r., 19-34.
2010	Wawer R.,	Dyrektywa INSPIRE. Temat: gleby.	UNEP/GRID. Wdrażanie dyrektywy INSPIRE w Polsce.
2014	Wawer R., Kozyra J. , Łopatka A. , Matyka M.	Innowacyjne narzędzia wspomagania decyzji w nawadnianiu upraw – system ENORASIS., Szkolenie: „Praktyczne wykorzystanie i wdrażanie wyników badań naukowych do zastosowania w produkcji roślinnej”, 05-06.11.2014 r.,	CDR O/Radom, 12 ss

Rok	Autorstwo	Temat	Szkolenie/kierunek
2015	Wawer R.	Podstawowe zasady nawadniania	Dobre praktyki rolnicze na obszarach szczególnie narażonych (OSN) na azotany pochodzenia rolniczego. Europejski Fundusz na rzecz Rozwoju Obszarów Wiejskich: Europa inwestująca w obszary wiejskie". Wyd. CDR Brwinów: 58-61
2016	Kozyra J., Nieróbca A., Wawer R.	Analiza stanu warunków pogodowych w ostatniej dekadzie w Polsce, oraz aktualnego stanu i potrzeb w zakresie rozwoju innowacyjnego monitoringu suszowego. Analiza plonowania gatunków zbóż i innych roślin uprawnych w ostatniej dekadzie w powiązaniu z układem warunków pogodowych w województwie kujawsko-pomorskim.	Materiały szkoleniowe, Konferencja pt.: „Problemy nawożenia zbóż i innych roślin uprawnych w okresach posusznych – innowacyjne rozwiązania”, Przysiek, 17.11.2016
2017	Wawer R., Kozyra J. (red.)	Metody ochrony i racjonalnej gospodarki wodnej w rolnictwie i na obszarach wiejskich. Ss:47.	Publikacja opracowana przez Fundację na Rzecz Rozwoju Polskiego Rolnictwa w ramach operacji "Racjonalna i zasobno-oszczędna gospodarka zasobami w rolnictwie i na obszarach wiejskich" w ramach KSOW.

3.4 Publikacje metodyczne dotyczące dydaktyki

- Van Orshoven, J., R. Wawer and K. Duytschaever, 2009. Effectiveness of a train-the-trainer initiative dealing with free and open source software for geomatics. CD-ROM-proceedings of the AGILE International Conference on Geographic Information Science 2009, held in Hannover, Germany, 2-5-june-2009.
- Van Orshoven J., Wawer R., 2010. Adoption of free and open source software for geomatics as a function of time after a dedicated training initiative. Proceedings of the Seventh European GIS Education Seminar, September 9-12 2010, Greece.
- Van Orshoven J., Wawer R., 2010. Effectiveness Over Time of a Short Training Initiative Related to Free and Open Source Software for Earth Image Processing Book of Abstracts of the 30th Symposium of the European Association of Remote Sensing Laboratories in Europe on Remote Sensing for Science, Education and Culture. Symposium of the European Association of Remote Sensing Laboratories in Europe on Remote Sensing for Science, Education and Culture. Paris, France, 31 may - 3 june, 2010, 194-194

4. DZIAŁALNOŚĆ ORGANIZACYJNA

Od początku mojej pracy naukowej byłem aktywny w towarzystwach naukowych: Polskie Towarzystwo Gleboznawcze oraz Polskie Towarzystwo Agronomiczne. W następnych latach należałem do krajowych i międzynarodowych towarzystw naukowych, nie aspirując jednak do żadnych funkcji. Skupiłem się na tworzeniu i wspieraniu inicjatyw z dzieciny Open Source m.in. OSGeo Foundation. Dużo czasu poświęciłem zakładaniu towarzystw pozanaukowych: Polskie Stowarzyszenie Twórców Noży i Broni Białej, Puławskie Bractwo Kurkowe oraz Towarzystwo Sztuk i Rzemiosł

Dawnych. Do dziś pozostają kanclerzem Puławskiego Bractwa Kurkowego oraz sekretarzem Towarzystwa Sztuk i Rzemiosł Dawnych.

5. DZIAŁALNOŚĆ INNOWACYJNA I WDROŻENIOWA

Od początku mojej pracy moim celem było wdrażanie nowych metod w badaniach środowiskowych: nowych modeli symulacyjnych, algorytmów analiz przestrzennych oraz metod pomiarowych. Moja praca doktorska opierała się w znacznej części na pionierskim wykorzystaniu modeli symulacyjnych EROSION 3D oraz SINMAP w ocenie intensywności i przestrzennego zasięgu procesów erozji wodnej i ryzyka pojawienia się osuwisk w krajobrazie.

W roku 2004 podczas odbywania stażu na Katholieke Universiteit Leuven zapoznałem się z narzędziami Open Source do tworzenia serwisów mapowych oraz poznałem dobrze środowisko modelowania SAS. Dzięki intensywnej pracy udało mi się utworzyć innowacyjny (wówczas) serwis mapowy METAGE WebGIS, prezentujący wyniki projektu METAGE tj. emisje i budżet gazów cieplarnianych z ekosystemów rolniczych Belgii.

W latach 2008-2010 prowadziłem zadania w projekcie Nature SDIplus, finansowanym przez DG INFSO, gdzie byłem odpowiedzialny za przygotowanie propozycji modeli danych przestrzennych dla 3 tematów Dyrektywy INSPIRE związanych z bioróżnorodnością: Regiony Bio-geograficzne, Siedliska i Biotopy, Rozmieszczenie Gatunków.

W roku 2012 rozpocząłem pracę jako kierownik zespołu IUNG-PIB i koordynator pakietu roboczego w ramach projektu ENORASIS, mającego na celu utworzenie innowacyjnego systemu wspierania decyzji w nawadnianiu upraw rolniczych, opartego o czujniki, zaawansowane techniki teledetekcji oraz symulacje pogodowe. Zespół IUNG-PIB opracował ogólną architekturę systemu oraz przygotował zestaw algorytmów i reguł decyzyjnych, stanowiących serce systemu wspierania decyzji w nawodnieniach. Algorytmy te obejmowały równania i warunki brzegowe przekształcenia informacji o pogodzie i wilgotności gleby na optymalną dawkę nawodnieniową. ENORASIS opierał się na 3 głównych komponentach: bezprzewodowej sieci czujników, algorytmom obliczania dziennego ewapotranspiracji, prognozie pogody i pomiarom meteorologicznym, przy czym system mógł pracować ograniczony tylko do jednego źródła danych, co miało zapewnić jego ciągłe działanie. System używał sieci GSM do wysyłania danych o wilgotności gleby oraz sterowania zaworami. Informacje o wilgotności gleby były zestawiane z danymi meteorologicznymi oraz prognoza pogody i w wyniku skomplikowanych obliczeń system zwracał 3-dniowy plan nawodnieniowy dla danej strefy nawodnieniowej. System ENORASIS był testowany w latach 2013-2014 w Polsce, Serbii, Turcji oraz na Cyprze. Byłem odpowiedzialny za cały pakiet roboczy wdrożeń pilotażowych i wszystkie zadania w nim zawarte. Warsztaty i prezentacje prowadzone dla rolników i doradców rolniczych w Polsce, Grecji, Serbii, Turcji i na Cyprze pokazały duże zainteresowanie ze strony rolników oraz zebrały bardzo pozytywne opinie na temat funkcjonalności systemu ENORASIS, jednak koszt inwestycji (około 22000zł) oraz abonament za dedykowaną prognozę pogody (2000€ na rok) zniechęcały polskich rolników do zakupu, natomiast rolnicy z południa Europy szacowali te koszty jako niskie.

W roku 2015 zespół czterech pracowników naukowych skupionych do 2014 roku nad projektem ENORASIS wszedł w kooperację z zespołem specjalistów w dziedzinie informatyki i automatyki i opracował nowy, zupełnie odmienny od ENORASIS system wspierania decyzji dla celów nawodnień rolniczych o nazwie Aquastatus. Aquastatus był dostosowany do potrzeb i możliwości finansowych

polskiego rolnika: miał być intuicyjny w obsłudze, nie zawierać żadnych abonamentów oraz koszt inwestycji powinien wynosić maksymalnie 4000zł. Aby osiągnąć te założenia zrezygnowano z wysyłania informacji do sieci, co wiązało się z koniecznością utrzymania serwerów i zapewnienia dostępu do dobrego zasięgu GSM na polu. Aqaustatus składa się z bezprzewodowej sieci czujników (produkowanych przez Caselogics Sp. Z o.o.) wysyłających informacje o wilgotności gleby do centrali, zasilanej energia słoneczną, oraz aplikacji Android, która łączy się z centralką za pomocą protokołu Bluetooth i wylicza optymalną dawkę nawodnieniową dla danej gleby i rośliny u prawnej. System jest w sprzedaży od roku 2016 i powoli zdobywa rynek.

Od roku 2015 biorę udział w seminariach i warsztatach ICT-AGRI, reprezentując punkt widzenia osoby będącej zarówno pracownikiem nauki jak i deweloperem narzędzi informatycznych oraz doradcą rolniczym (w zakresie gleboznawstwa i nawodnień) i rolnikiem prowadzącym małoobszarowe gospodarstwo rolne. Dzięki zaangażowaniu w prace ICT-AGRI udało mi się wraz z partnerami różnych krajów EU złożyć wniosek na utworzenie Cyfrowego Centrum Innowacji dla rolnictwa, gdzie otrzymałem rolę dyrektora regionalnego centrum w Polsce. Centrum umożliwi kontakt między odbiorcami końcowymi (rolnicy) a deweloperami narzędzi informatycznych dla rolnictwa, testowanie tych narzędzi w warunkach pola oraz efektywne wdrażanie dobrych rozwiązań w rolnictwie.

