

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Szkoła Doktorska Nauk Przyrodniczych

Wydział Nauk Geograficznych i Geologicznych

ROZPRAWA DOKTORSKA

mgr inż. Weronika Warachowska

Wspomaganie zarządzania ryzykiem powodziowym
na obszarach okresowo zalewanych
przy wykorzystaniu rozwiązań opartych na przyrodzie

Flood risk management support on periodically flooded areas using nature-based solutions

Promotorzy

Prof. dr hab. Zbigniew Zwoliński, Instytut Geoekologii i Geoinformacji UAM

Prof. nzw. dr hab. Piotr Matczak, Wydział Socjologii UAM

Rozprawa realizowana była w ramach projektu GEO+: wysokiej jakości program studiów doktoranckich realizowany na Wydziale Nauk Geograficznych i Geologicznych Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu nr POWR.03.02.00-00-I039/16

Poznań 2023 r.

Spis treści

1.	Wprowadzenie	3
2.	Koncepcja i cele rozprawy	4
3.	Materiały i metody.....	5
4.	Gospodarka polderowa w Polsce i jej efektywność w zarządzaniu ryzykiem powodziowym.....	7
5.	Bariery dla wdrażania rozwiązań opartych na przyrodzie.....	9
6.	Możliwości ograniczania konfliktów	10
7.	Współpraca podmiotów procesu decyzyjnego	11
8.	Wnioski.....	13
9.	Literatura.....	14
10.	Kopie artykułów wchodzących w skład rozprawy doktorskiej.....	20

1. Wprowadzenie

Powódź jako jedno z największych zagrożeń dla życia i zdrowia człowieka, środowiska, dziedzictwa kulturowego oraz działalności gospodarczej stanowi przedmiot wielu badań, w różnych aspektach i ujęciach (Kundzewicz i in. 2014, Magnuszewski i Moran 2014, Jongman i in. 2015, Działek i in. 2017, Wasko i in. 2021, Venegas-Cordero i in. 2022). Przewidywany wzrost ryzyka powodziowego związany jest głównie z postępującymi zmianami klimatu, wywołującymi coraz gwałtowniejsze zjawiska meteorologiczne (Jania, Zwoliński 2011, IPCC 2022). Nie bez znaczenia jest także coraz częstsze zagospodarowanie terenów okresowo zalewanych (Kundzewicz i in. 2014, KZGW 2022).

Zarządzanie ryzykiem powodziowym stanowi przedmiot licznych badań, skupiających się m.in. na środkach ograniczania skutków powodzi oraz procesie ich wdrażania (Seher i Löschner 2016, Raška i in. 2022). Zarówno w Polsce jak i na świecie długoterminowe działania służące zarządzaniu ryzykiem powodziowym opierają się w głównej mierze na ograniczaniu skutków powodzi przy wykorzystaniu infrastruktury technicznej (Graf 2014, Ellis i in. 2021, KZGW 2022). Mimo uznanej skuteczności rozwiązań technicznych konieczne jest poszukiwanie i wdrażanie nowych sposobów mitygacji stale zwiększającego się ryzyka powodziowego (Jongman i in. 2014).

Odpowiedzią na rosnące zapotrzebowanie w zakresie efektywnych metod zarządzania ryzykiem powodziowym mogą być rozwiązania oparte na przyrodzie (ang. *Nature-based solutions, Nbs*). Są to rozwiązania mające na celu zrównoważone zarządzanie, ochronę oraz przywracanie naturalnych oraz zmienionych ekosystemów w celu zaadresowania wyzwań społecznych, przy jednoczesnym zachowaniu geo- i bioróżnorodności, ochronie krajobrazu oraz dziedzictwa kultury (Raymond i in. 2017, IUCN 2021, Jakubínský i in. 2021). Rozwiązania oparte na przyrodzie wykorzystują procesy występujące naturalnie w przyrodzie (Ruangpan i in. 2020), są dostosowane do warunków lokalnych i umożliwiają dostosowanie do zmian klimatu. Wykorzystywane mogą być w wielu różnych kontekstach jak poprawa jakości wód (Acreman i in. 2021, Jarosiewicz i in. 2022) i powietrza (Mata i in. 2021), zrównoważony rozwój miast (Collier i in. 2013, Schweitzer i Gionfra 2018, Frantzeskaki 2019) czy turystyka (Padma i in. 2022). Niniejsza rozprawa skupia się na stosowaniu rozwiązań opartych na przyrodzie w zarządzaniu ryzykiem powodziowym. Ich stosowanie w tym zakresie odzwierciedla ogólną tendencję w zmianie podejścia do zarządzania ryzykiem, gdzie na znaczeniu zyskuje ochrona środowiska oraz zaspokajanie potrzeb społecznych, w tym ochrona życia i zdrowia ludzi (Wesselink 2016).

Skuteczność rozwiązań opartych na przyrodzie w mitygacji ryzyka powodziowego została wielokrotnie udokumentowana w literaturze (Novakova i in. 2014, Maczalowski 2015, Budiyo i in. 2017, Gao i in. 2018, Mawandha i in. 2018, Short i in. 2018, Wahyudi i in. 2018). Wdrażanie rozwiązań opartych na przyrodzie w zarządzaniu ryzykiem powodziowym związane jest jednak z licznymi trudnościami. Wskazać należy bowiem, że rozwiązania te wymagają znacząco więcej powierzchni, która często stanowi własność prywatną (Hartmann i in. 2019, Brokking i in. 2021). Podejmowanie działań na terenach prywatnych w celach publicznych, do których należy mitygacja ryzyka powodziowego, jest natomiast skomplikowane, prowadzi do licznych konfliktów i wymaga poszukiwania kompromisów pomiędzy różnymi podmiotami procesu decyzyjnego (Pereira 2010, Weikard i in. 2017, Hartmann i in. 2018).

Przykładem rozwiązań opartych na przyrodzie w zarządzaniu ryzykiem powodziowym są zalesienia (Warachowska i in. 2021), rozumiane jako wprowadzanie lasu na grunty nieleśne, dotychczas użytkowane rolniczo lub stanowiące nieużytki czasowe (Słownik Encyklopedyczny Leśnictwa 1996). Stanowią one główne działania nietechniczne uwzględnione w aktualizacji planów zarządzania ryzykiem powodziowym w II cyklu planistycznym (KZGW 2022). Zwiększenie ich powierzchni w zlewni prowadzić może do zwiększenia retencji, obniżenia ryzyka powodziowego oraz redukcji strat powodziowych (Laurance 2007, Van Dijk i in. 2009). Lasy dostarczają także innych korzyści, takich jak poprawa jakości gleb, ochrona krajobrazu oraz ochrona poszczególnych komponentów środowiska i środowiska jako całości (Dittrich i in. 2018, Bentley, Coomes 2020, Perpiña Castillo i in. 2020, Buechel i in. 2022).

Innym przykładem rozwiązań opartych na przyrodzie są poldery, łączące w sobie potencjał osiągnięć inżynierii hydrotechnicznej z naturalnymi procesami występującymi w środowisku w celu ochrony przeciwpowodziowej, przy jednoczesnym umożliwieniu produkcji rolnej czy innego gospodarczego wykorzystania terenu w okresie pomiędzy wezbraniem (Warachowska, Zwoliński 2023). Poldery mogą również służyć renaturyzacji dolin rzecznych, ochronie krajobrazu charakterystycznego dla teras zalewowych rzek, a także służyć przywróceniu i utrzymaniu geo- i bioróżnorodności. Procesowi renaturyzacji dolin rzecznych służyć może także działalność bobrów, która znacząco wpływa na zachodzące procesy fluwialne (Kobojek 2013, Rurek i in. 2013, Szpikowski i Szpikowska 2018).

2. Koncepcja i cele rozprawy

Niniejsza rozprawa podejmuje problematykę wdrażania rozwiązań opartych na przyrodzie, ze szczególnym uwzględnieniem polderów oraz zalesień służących zarządzaniu ryzykiem powodziowym. Rozprawa doktorska stanowi spójny cykl trzech powiązanych ze sobą tematycznie publikacji. Cykl składa się z następujących artykułów naukowych:

Publikacja nr 1

Warachowska W., Zwoliński Z. (2023). Gospodarka polderowa w Polsce – wyzwania naturalnej retencji powodziowej. *Landform Analysis* 42: 3-22. DOI: 10.12657/landfana-042-001.

Publikacja nr 2

Warachowska W., Ungvári G., Kis A., Zwoliński Z., Matczak P. (2023). Social, economic and legal aspects of polder implementation for flood risk management in Poland and Hungary. *Journal of Flood Risk Management*. DOI: 10.1111/jfr3.12897.

Publikacja nr 3

Warachowska W., Alvarez X., Bezak N., Gómez-Rúa M., Janeiro-Otero A., Matczak P., Vidal-Puga J., Zupanc V. (2021). A Cooperative Game for upstream–downstream river flooding risk prevention in four European river basin. w: *Nature-Based Solutions for Flood Mitigation. The Handbook of Environmental Chemistry*, vol 107. Springer, Cham. DOI: 10.1007/698_2021_766.

Problem badawczy rozprawy jest osadzony w zagadnieniach ochrony przeciwpowodziowej, a szczególnie zarządzaniu ryzykiem powodziowym przy wykorzystaniu rozwiązań opartych na przyrodzie, ze szczególnym uwzględnieniem sytuacji konfliktowych występujących w procesie decyzyjnym. Głównym celem pracy jest określenie możliwości zwiększenia efektywności zarządzania ryzykiem powodziowym na terenach okresowo zalewanych w dolinach rzecznych przy wykorzystaniu rozwiązań opartych na przyrodzie.

Na potrzeby realizacji celu głównego sformułowano następujące cele szczegółowe:

1. Rozpoznanie gospodarki polderowej w Polsce i ocena efektywności polderów w zarządzaniu ryzykiem powodziowym;

Cel realizowany jest w publikacji nr 1 (Warachowska, Zwoliński 2023) stanowiącej przeglądowe opracowanie w zakresie gospodarki polderowej w Polsce.

2. Identyfikacja barier geograficznych, społeczno-ekonomicznych i prawnych wykorzystania rozwiązań opartych na przyrodzie w zarządzaniu ryzykiem powodziowym;

Cel realizowany jest we wszystkich publikacjach cyklu – w publikacji nr 1 (Warachowska, Zwoliński 2023) bariery określone zostały w odniesieniu do funkcjonalnych i prawnych aspektów gospodarki polderowej w Polsce. W publikacji nr 2 (Warachowska i in. 2023) przeanalizowano proces wdrażania polderów w celu ustalenia barier na poszczególnych jego etapach. W publikacji nr 3 (Warachowska i in. 2021) określono bariery dotyczące negocjacji w zakresie zarządzania przestrzenią w celu mitygacji ryzyka powodziowego przy wykorzystaniu zalesień.

3. Określenie możliwości ograniczania występowania sytuacji konfliktowych;

Cel zrealizowany został w publikacji nr 3 (Warachowska i in. 2021), która stanowi studium przypadku efektywności zalesienia w czterech zlewniach europejskich przy wykorzystaniu modelu teorii gier.

4. Określenie możliwości współpracy podmiotów procesu decyzyjnego w wykorzystaniu rozwiązań opartych na przyrodzie.

Cel zrealizowany w publikacjach nr 2 i 3 (Warachowska i in. 2021, 2023), w których zawarto rekomendacje w odniesieniu do wybranych rozwiązań opartych na przyrodzie.

3. Materiały i metody

Realizacja wszystkich celów rozprawy została poprzedzona przeglądem dostępnych materiałów literaturowych, kartograficznych i prawnych, a także kwerendą danych zawartych w bazach danych i innych otwartych zasobach jednostek administracji publicznej. Wstępny przegląd dostępnych materiałów umożliwił określenie ich przydatności do realizacji poszczególnych celów oraz określenia odpowiednich metod do ich analizy. Metody badawcze wraz z danymi wejściowymi scharakteryzowano poniżej w odniesieniu do poszczególnych publikacji oraz realizacji poszczególnych celów.

W celu rozpoznania gospodarki polderowej i oceny jej efektywności w zarządzaniu ryzykiem powodziowym (cel 1) dokonano przeglądu literatury oraz aktów prawa regulujących ustanawianie i funkcjonowanie polderów w Polsce, na podstawie którego ustalono podmioty odpowiedzialne za zarządzanie polderami w kraju. W trybie udzielenia informacji o środowisku jednostki administracji publicznej Państwowego

Gospodarstwa Wodnego Wody Polskie oraz Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej udostępniły posiadane w swoich zasobach informacje na temat nadzorowanych polderów. Dane pozyskano od 63 podmiotów, przy czym jedynie 11 z nich wskazało, iż na zarządzanym obszarze zlokalizowane są poldery. Informacje na temat polderów pozyskiwano także w wyniku analizy aktów prawa miejscowego (miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego, programów ochrony środowiska, planów utrzymania wód), decyzji administracyjnych (decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach oraz pozwoleń wodnoprawnych), raportów o stanach gmin, planów zarządzania ryzykiem powodziowym, danych literaturowych oraz materiałów kartograficznych (map hydrograficznych w skali 1:10 000 i 1:50 000, ortofotomap z ostatnich kilku lat pozyskanych za pośrednictwem geoportalu krajowego). Integracja i standaryzacja zgromadzonych danych przestrzennych i nieprzestrzennych umożliwiła opracowanie bazy danych o polderach, zawierającej łącznie 323 rekordy opisane przez 16 zmiennych (odnoszących się do lokalizacji polderów, parametrów morfometrycznych oraz zagospodarowania i funkcji oraz źródła pochodzenia informacji). Dane zgromadzone w bazie danych poddane zostały analizie statystycznej w zakresie podstawowych statystyk opisowych oraz różnic pomiędzy polderami zlokalizowanymi w różnych regionach kraju. W celu klasyfikacji polderów wykorzystano metodę naturalnego podziału Jenksa (1967). W wyniku prac nad bazą danych o polderach stwierdzono także występowanie szeregu barier dla efektywnego wdrażania polderów w zarządzaniu ryzykiem powodziowym (cel 2).

Zakres potencjalnych barier w efektywnym wykorzystaniu polderów (cel 2) został zweryfikowany podczas analizy porównawczej dwóch studiów przypadku – procesów wdrożenia polderów Golina na Warcie (Polska) oraz Tiszaroff na Cisie (Węgry). Analizie porównawczej poddano proces wdrażania polderów w zakresie wpływu na środowisko, uwarunkowań społecznych, formalno-prawnych i ekonomicznych oraz wpływu na ryzyko i straty powodziowe. Analiza oparta zastała na danych literaturowych, wynikach badań terenowych, a także danych udostępnionych przez jednostki administracji publicznej w ramach wniosku o udostępnienie informacji o środowisku w zakresie prowadzonych postępowań administracyjnych w związku z ustanawianiem polderów. Wyniki analizy porównawczej umożliwiły także na określenie możliwości współpracy podmiotów procesu decyzyjnego (cel 4).

W wyniku przeprowadzonych prac określono także potencjalną metodę ograniczania występowania konfliktów (cel 3), którą stanowi modyfikacja modelu teorii gier w kombinacji z oceną kosztów i korzyści. Model teoretyczny, którego szczegółową charakterystykę zawarto w publikacji nr 3 posłużył modelowaniu strategii podmiotów procesu decyzyjnego w zakresie zmiany zagospodarowania terenu w celu zwiększenia retencji powodziowej oraz określenia możliwej dystrybucji kosztów i korzyści związanych z zalesianiem terenów okresowo zalewanych.

Danymi wejściowymi do analizy w modelu teorii gier były wyniki analizy kosztów i korzyści, przeprowadzonej dla przyjętego okresu 100 lat oraz przy uwzględnieniu stopy dyskontowej na poziomie 3,5%. W analizie uwzględniono kategorie kosztów i korzyści w następującym zakresie:

- Przewidywane straty powodziowe dla początkowego zagospodarowania terenu oraz po jego zmianie przy uwzględnieniu ryzyka powodziowego określonego na podstawie jednolitych w skali Unii Europejskiej danych udostępnionych w projekcie Global Flood Awareness System (GloFAS) programu Copernicus;

- Zyski i koszty związane z początkowym zagospodarowaniem terenu, obejmujące potencjalne zyski ze zbiorów z upraw, koszty związane z kultywacją terenu oraz dotacje wspierające działalność rolniczą;
- Zyski i koszty związane ze zmianą zagospodarowania terenu (obejmujące koszty związane z działaniami nad przekształceniem zagospodarowania terenu), koszty kultywacji terenów leśnych, dotacje wspierające kultywację leśną oraz zyski z upraw terenów leśnych.

W badaniu z wykorzystaniem modelu teorii gier przeanalizowano cztery europejskie zlewnie: Lea w Hiszpanii, Vipava w Słowenii, Pysznica w Polsce oraz Stille Oder w Niemczech. Wytypowane zlewnie spełniały trzy podstawowe kryteria: zidentyfikowane zostało znaczące ryzyko powodziowe o prawdopodobieństwie 1%, pokrycie terenu i użytkowanie ziemi (znaczący udział terenów rolnych) umożliwiła wprowadzenie zalesień w celu zwiększenia retencji, a struktura własnościowa umożliwiła wyznaczenie grup (koalicji) podmiotów procesu decyzyjnego, którzy wspólnie mogli podjąć decyzję o zmianie zagospodarowania terenu. Badanie z wykorzystaniem modelu teorii gier skupiało się na możliwości kooperacji w procesie podejmowania decyzji i polegało na porównaniu zysków poszczególnych podmiotów indywidualnie oraz zysków osiągniętych w przypadku ich współpracy. Wyniki analiz przeprowadzonych z wykorzystaniem modelu teorii gier posłużyły również określeniu możliwości współpracy podmiotów procesu decyzyjnego w zakresie wykorzystania rozwiązań opartych na przyrodzie w zarządzaniu ryzykiem powodziowym (cel 4).

4. Gospodarka polderowa w Polsce i jej efektywność w zarządzaniu ryzykiem powodziowym

Poldery, stanowiące połączenie naturalnych procesów przyrodniczych z osiągnięciami inżynierii hydrotechnicznej przy wykorzystaniu objętości retencyjnej wynikającej z ukształtowania terenu oraz wykorzystania urządzeń hydrotechnicznych umożliwiających sterowanie przepływem, służyć mogą zarządzaniu ryzykiem powodziowym przy jednoczesnej ochronie naturalnych zasobów środowiska. Ich wdrażanie jest jednak utrudnione m.in. z uwagi na brak jasnych i spójnych uwarunkowań formalnych dla ustanawiania i funkcjonowania polderów przy jednoczesnym braku spójnej definicji uwzględniającej wszystkie rodzaje polderów funkcjonujących w Polsce (Warachowska, Zwoliński 2023). Brak systematyzacji wiedzy na temat polderów w Polsce, a także niewielkie dotychczas rozpoznanie tematu w literaturze stanowiło przyczynę podjęcia przedmiotowych badań i poświęcenia szczególnej uwagi zagadnieniom gospodarki polderowej i ich implikacji dla zarządzania ryzykiem powodziowym.

Problematyka definicji polderów i konieczności jej usystematyzowania podejmowana była uprzednio przez wielu autorów (Klugewicz 1992, Kowalik 1991, Liziński 2007), co nie doprowadziło dotychczas do sformułowania spójnej i uniwersalnej definicji umożliwiającej jej praktyczne stosowanie i stanowiącej podstawę funkcjonowania gospodarki polderowej w Polsce. Nieład definicyjny oraz jego przyczyny zostały szeroko omówione w części 3 artykułu nr 1. W oparciu o kompleksowy przegląd literatury w publikacji nr 1 podjęto próbę sformułowania zestawu głównych cech charakterystycznych polderów, który może być podstawą do ich klasyfikacji. Cechami tymi są:

- (i) wykorzystanie terenu o naturalnym, wklęsłym ukształtowaniu, np. zagłębienia bezodpływowe, rozległe terasy zalewowe,
- (ii) oddzielenie polderu od cieku lub zbiornika wodnego, np. obwałowaniami, nasypami,
- (iii) możliwość sterowania przepływem wody w polderze przy wykorzystaniu urządzeń hydrotechnicznych, np. jazów, zapór, tam, przepompowni czy przelewów wałowych,
- (iv) możliwość wielofunkcyjnego wykorzystania polderu, np. rolniczego, rekreacyjnego.

Na podstawie przyjętych kryteriów opracowano bazę danych o polderach, zawierającą informację na temat ich lokalizacji, parametrów morfometrycznych, zagospodarowania przestrzennego oraz funkcji. Baza danych o polderach stanowi pierwsze kompleksowe opracowanie na temat polderów w skali kraju, uwzględniające zagadnienia środowiskowe, społeczne i formalno-prawne (Warachowska, Zwoliński 2023).

Na podstawie bazy danych ustalono, iż w dorzeczach Wisły, Odry, Pregoty oraz rzek Przymorza znajdują się łącznie 244 poldery (rycina 1 publikacji nr 1), zajmujące łączną powierzchnię 257 224,7 ha. Poldery charakteryzują się całkowitą zdolnością retencyjną na poziomie 472,8 mln m³, co stanowi ok. 0,5% średniego rocznego odpływu wód z wielolecia w Polsce. Wskazuje się równocześnie, że warunki fizyczno-geograficzne w Polsce stwarzają możliwość zmagazynowania 15% średniego rocznego odpływu (Informacja o gospodarowaniu wodami 2012, 2014). Podkreśla się jednak, iż z uwagi na zróżnicowanie przestrzenne stopnia ryzyka i zagrożenia powodziowego na terenie kraju potencjał retencyjny polderów powinien być analizowany w skali regionalnej, przy uwzględnieniu lokalnych warunków hydrologicznych oraz w odniesieniu do rzeczywistych sytuacji powodziowych występujących w przeszłości oraz prognozowanych do wystąpienia w nadchodzącym wieloleciu. Odpowiednie planowanie przestrzenne w kontekście lokalizacji rozwiązań opartych na przyrodzie wpływa znacząco na ich efektywność (Potocki 2022 i in., Raška i in. 2022).

Oprócz efektywności w zakresie mitygacji ryzyka powodziowego poldery mogą mieć także pozytywny wpływ na środowisko przyrodnicze, stanowiąc formy ochrony istniejących ekosystemów i krajobrazu terenów okresowo zalewanych. Intensywne zabudowywanie rzek wałami przeciwpowodziowymi prowadzi do znacznego zwężenia koryt dużych rzek, naturalne tereny zalewowe zostają odcięte od rzeki, przez co retencja doliny zostaje zmniejszona (Wiśniewski 2016), natomiast wdrażanie polderów na obszarach zalewowych stanowić może poniekąd renaturyzację dolin rzecznych, rozumianą jako przywracanie rzekom ich naturalnego koryta. Wdrażanie polderów stanowiących rozwiązania oparte na przyrodzie służyć może również zachowaniu geo- i bioróżnorodności i ochronie poszczególnych komponentów środowiska. Aż 205 polderów w Polsce zlokalizowanych jest w części lub w całości w zasięgu co najmniej jednego obszaru objętego ochroną (Warachowska, Zwoliński 2023).

Efektywność wdrażania rozwiązań opartych na przyrodzie może być także wyrażona przez wymierne korzyści ekonomiczne. Ich ustanawianie, z uwagi na wykorzystanie naturalnych procesów występujących w środowisku i ograniczenie udziału infrastruktury hydrotechnicznej, może wiązać się w pierwszej kolejności z ograniczeniem kosztów inwestycyjnych. Wykorzystanie polderów służy także intensyfikacji produkcji rolnej. Poldery poza okresami wezbrań wykorzystywane mogą być w celach rolnych, a ponadto okresowe zalewanie ich terenów może służyć poprawie jakości gleb. W uzupełnieniu produkcji rolniczej

prowadzone na terenach polderowych jest także przetwórstwo rolne i inne nieuciążliwe gałęzie przemysłu, a także turystyka i rekreacja. Efektywność ekonomiczna jest także wyrażona poprzez ograniczenie strat powodziowych – zwiększenie retencji powodziowej prowadzi do ograniczenia zasięgu powodzi oraz zmniejszenia obszaru występowania strat powodziowych (Warachowska, Zwoliński 2023).

Efektywność polderów w zakresie retencji powodziowej, ochrony środowiska i ekonomicznym jest intensyfikowana poprzez ich wielofunkcyjność. Z uwagi na możliwość wielorakiego zagospodarowania polderów efektywność w zakresie retencji powodziowej wykorzystywana jest w trakcie wezbrań, natomiast w pozostałym okresie kultywacja terenów rolnych czy prowadzenie działalności przetwórczej wpływa na efektywność w zakresie ekonomiczno-gospodarczym (Warachowska, Zwoliński 2023).

5. Bariery dla wdrażania rozwiązań opartych na przyrodzie

Mimo potencjalnej efektywności rozwiązań opartych na przyrodzie wyrażonej w kontekście mitygacji ryzyka powodziowego, ochrony środowiska czy efektywności ekonomicznej ich wdrażanie jest aktualnie znacząco ograniczone. Jednym z celów szczegółowych niniejszej pracy było określenie barier geograficznych, społeczno-ekonomicznych oraz prawnych dla wdrażania rozwiązań opartych na przyrodzie, ich dalszego wykorzystania oraz zarządzania nimi, ze szczególnym uwzględnieniem polderów oraz zalesień.

Ograniczenia związane z wdrażaniem rozwiązań opartych na przyrodzie w zarządzaniu ryzykiem powodziowym związane są często ze strukturą własności gruntów, w szczególności znaczącym udziałem gruntów prywatnych (Hartmann i in. 2019, Brokking i in. 2021). Wykorzystanie terenów prywatnych do celu publicznego, który stanowi zarządzanie ryzykiem powodziowym, wymaga bowiem określonych ustaleń oraz wypracowanych metod umożliwiających negocjacje pomiędzy podmiotami procesu decyzyjnego. W związku z powyższym wdrażanie rozwiązań opartych na przyrodzie w zarządzaniu ryzykiem powodziowym powinno być oparte o jasne ustalenia, określające prawa i odpowiedzialności wszystkich interesariuszy procesu decyzyjnego.

Aktualnie w Polsce brak jest jednoznacznych uwarunkowań formalnych dla wdrażania polderów. Obowiązujące przepisy prawa nie określają podstawy prawnej dla ich ustanawiania, natomiast wąska definicja polderu zawarta w ustawie prawo wodne (Ustawa prawo wodne 2017) stanowi przyczynę licznych komplikacji na każdym z etapów procesu decyzyjnego. Możliwe konsekwencje braku formalizacji gospodarki polderowej w Polsce omówiono szczegółowo w publikacji nr 1 (Warachowska, Zwoliński 2023). Publikacja nr 2 stanowi natomiast studium przypadku jednego z polskich polderów – polderu Golina w dolinie Warty, w którym potwierdzono faktyczne wystąpienie licznych barier natury formalnej, ograniczających efektywność procesu wdrażania polderów (Warachowska i in. 2023).

Brak lub niespójności uwarunkowań formalno-prawnych prowadzą również do problemów w zakresie ekonomicznym. Wielofunkcyjność polderów wyklucza możliwość zdefiniowania ich zgodnie z definicją formalną, która jest podstawą rozpatrywania roszczeń w zakresie strat powodziowych na terenach prywatnych. Ekonomiczne bariery dla wdrażania rozwiązań opartych na przyrodzie są również upatrywane w procesie wykupu gruntów (McCarthy i in. 2018, Raska i in. 2022) z uwagi na fakt iż rozwiązania te

wymagają znacząco większej powierzchni, która często stanowi własność prywatną. Proces negocjacji w zakresie pozyskania terenów dla rozwiązań opartych na przyrodzie wymaga uzasadnienia ekonomicznego, a jego brak wpływa na akceptację nowych rozwiązań przez lokalne społeczności. Wpływ na wdrażanie rozwiązań opartych na przyrodzie ma także kierunek polityki regionalnej, wyrażony we wprowadzonych instrumentach dotacyjnych. Brak dofinansowania w zakresie zagospodarowania terenu sprzyjającego rozwiązaniom opartym na przyrodzie może uniemożliwiać lub znacząco ograniczać ich wdrażanie (Warachowska i in. 2021).

Istotnym ograniczeniem dla wykorzystania rozwiązań opartych na przyrodzie może być także brak systematyzacji i upowszechnienia wiedzy na temat ryzyka powodziowego i wpływu rozwiązań opartych na przyrodzie na jego obniżenie, a także ich wpływu na środowisko. Ograniczona wiedza lokalnych społeczności w tym zakresie może ograniczać akceptację dla wdrażania nowych rozwiązań (Gray i in. 2017, Martinez-Juarez i in. 2019, Han, Kuhlicke 2021, Raska i in. 2022). Z uwagi na brak systematyzacji zagadnień związanych z gospodarką polderową w Polsce ich dokładna zdolność retencyjna jest nieznaną (Warachowska, Zwoliński 2023). Ponadto mimo potencjalnego pozytywnego wpływu rozwiązań opartych na przyrodzie na poszczególne komponenty środowiska ich regularne zalewanie może przyczynić się do pojawienia i kumulowania się różnych typów zanieczyszczeń (Garcia-Garizabal i in. 2012, Yan, Gao 2021). Akumulacja zanieczyszczeń może prowadzić do obniżenia jakości gleb i ograniczenia możliwości kultywacji terenów rolnych (Golik i in. 2019), może także stanowić zagrożenie dla zdrowia ludzi (Bett i in. 2021).

Ogół problemów występujących w procesie podejmowania decyzji w zakresie wykorzystania rozwiązań opartych na przyrodzie w zarządzaniu ryzykiem powodziowym prowadzi do występowania sytuacji konfliktowych, których ograniczanie jest niezbędne aby możliwe było podejmowanie efektywnych działań (Warachowska i in. 2023).

6. Możliwości ograniczania konfliktów

Wdrażanie rozwiązań opartych na przyrodzie, mimo ich potencjalnych korzyści, spotyka się z brakiem akceptacji przez lokalne społeczności. Brak systematyzacji wiedzy w zakresie rzeczywistego wpływu na ryzyko powodziowe oraz środowisko, a także niejasność uwarunkowań formalno-prawnych i brak zasadności ekonomicznej mogą być przyczynami konfliktów środowiskowych, często towarzyszących wdrażaniu rozwiązań opartych na przyrodzie (Martinez-Juarez i in. 2019, Raska i in. 2022). Konflikty środowiskowe rozumiane są jako konflikty społeczne, przejawiające się poprzez mobilizację jednostek lub grup w odpowiedzi na postrzegane zagrożenia środowiskowe niosące negatywny wpływ na społeczeństwo (Scheidel i in. 2020). Mogą one stanowić znaczącą komplikację w procesie wdrażania rozwiązań opartych na przyrodzie. Często stanowią jednak także motywację do wprowadzenia zmian w funkcjonujących systemach zarządzania ryzykiem powodziowym (Warachowska i in. 2023). Ich występowanie jest naturalnym elementem procesu wprowadzania innowacji (Schumpeter 1911) jednakże ich przewlekłość i złożoność ogranicza efektywne wprowadzanie zmian. Koniecznym wydaje się być zatem wypracowanie metod ograniczania konfliktów w procesie wdrażania rozwiązań opartych na przyrodzie w zarządzaniu ryzykiem powodziowym.

Jednym z celów szczegółowych niniejszej rozprawy było określenie możliwości ograniczania konfliktów środowiskowych w zakresie zarządzania zmianą zagospodarowania terenu w sposób sprzyjający wdrażaniu rozwiązań opartych na przyrodzie, polegającą na zwiększeniu powierzchni terenów leśnych w celu ograniczenia ryzyka powodziowego w zlewni (Dittrich i in. 2018, Bentley i Coomes 2020, Perpiña Castillo i in. 2020, Buechel i in. 2022).

Aby zalesienia mogły istotnie wpłynąć na ograniczenie ryzyka powodziowego zajmować powinny odpowiednio dużą powierzchnię (Hartmann i in. 2019, Brokking i in. 2021). Konieczne jest zatem wdrożenie odpowiednich rozwiązań organizacyjnych na różnych szczeblach administracji, odnoszących się do odpowiednich metod planowania przestrzennego (Hartmann i in. 2014). Planowanie przestrzenne wymaga natomiast zaangażowania wielu podmiotów, kierowanych różnymi motywacjami (Forester 2004) co dodatkowo zwiększa prawdopodobieństwo wystąpienia sytuacji konfliktowych. Zagadnienia dotyczące procesu podejmowania decyzji przy udziale wielu interesariuszy są szczególnie ważne w zakresie ochrony powodziowej z uwagi na fakt, iż zarządzanie ryzykiem powodziowym odbywa się w skali zlewniowej, przez co liczba zainteresowanych podmiotów jest znacząca (Hartmann i in. 2018, Jakubínský i in. 2021).

Kluczowa w kontekście podejmowania decyzji w zakresie wdrażania rozwiązań opartych na przyrodzie w zlewni jest również relacja pomiędzy górnym i dolnym biegiem rzeki (Seher i Löschner 2016). Podmioty zarządzające nieruchomościami zlokalizowanymi w części zlewni bliższej ujścia czerpią bezpośrednie zyski wynikające z ograniczenia ryzyka powodziowego, związane z działaniami podejmowanymi w górnej części zlewni na rzecz retencji wód powodziowych, podczas gdy koszty ponoszone są przez podmioty zarządzające terenami zlokalizowanymi bliżej źródła.

Metodą umożliwiającą badanie strategii podmiotów procesu decyzyjnego przy uwzględnieniu znacznej liczby interesariuszy oraz ich relacji w strukturze zlewni jest teoria gier. Jest to narzędzie analityczne umożliwiające modelowanie interakcji racjonalnych graczy (podmiotów procesu decyzyjnego) dążących do maksymalizacji zysków (Neumann i Morgenstern 1944, Alvarez i in. 2019).

Wyniki przeprowadzonych analiz wykazały, iż model teorii gier umożliwia określenie zasad kompromisu pomiędzy podmiotami procesu decyzyjnego w przypadku, w którym zmiana zagospodarowania terenu (zalesienie) jest opłacalna ekonomicznie. Zastosowana metoda może stanowić efektywne narzędzie negocjacyjne pomiędzy podmiotami procesu decyzyjnego, stanowiąc podstawę do wyznaczania dalszych działań w zakresie możliwych scenariuszy kompensacji strat powodziowych (Warachowska i in. 2021).

7. Współpraca podmiotów procesu decyzyjnego

Trudności związane z wdrażaniem rozwiązań opartych na przyrodzie, takie jak brak lub niejednoznaczność uwarunkowań formalnoprawnych, brak jasnych zasad w zakresie kompensacji strat powodziowych czy zasadności podejmowanych działań, są bezpośrednimi lub pośrednimi przyczynami występowania konfliktów środowiskowych. Efektywność procesu wdrażania rozwiązań opartych na przyrodzie może być wyrażona w kategoriach zdolności systemów zarządzania ryzykiem powodziowym do rozwiązywania owych konfliktów.

Przeprowadzone analizy wskazują, iż wdrażanie rozwiązań opartych na przyrodzie uwarunkowane jest powiązanymi ze sobą czynnikami, które w zależności od kontekstu mogą pozytywnie bądź negatywnie wpływać na efektywność procesu podejmowania decyzji.

Udział społeczeństwa w procesie podejmowania decyzji w zakresie wdrażania nowych rozwiązań opartych na przyrodzie przyczynia się do akceptacji rozwiązań przez lokalne społeczności i ograniczenia występowania sytuacji konfliktowych. Zaangażowanie lokalnych społeczności wpływa jednak znacząco na tempo wdrażania nowych rozwiązań (Warachowska, Zwoliński 2023, Warachowska i in. 2023). Na proces podejmowania decyzji wpływa także niejednoznaczność i niejasność lub brak uwarunkowań formalno-prawnych dla podejmowania działań w zakresie wdrażania nowych rozwiązań.

Efektywność wdrażania nowych rozwiązań może zostać zwiększona dzięki sformułowaniu prostych i jasnych zasad związanych z zarządzaniem przestrzenią. Uproszczenie procedury wdrażania nowych rozwiązań wpływa na poziom zaangażowania lokalnych społeczności, co może skrócić czas podejmowania decyzji w zakresie samego wdrożenia rozwiązań opartych na przyrodzie, jednak brak zaangażowania wpływa na poziom akceptacji dla wdrażanych rozwiązań i przyczynia się do występowania ewentualnych konfliktów na etapie faktycznego wykorzystania i zarządzania rozwiązaniami opartymi na przyrodzie w trakcie powodzi.

Te same czynniki mogą umożliwiać lub ograniczać wdrażanie nowych rozwiązań. W związku z powyższym konieczne jest poszukiwanie optymalnych kombinacji poszczególnych czynników.

1. W zakresie uwarunkowań formalno-prawnych wskazane jest ustalenie zasad dla wdrażania nowych rozwiązań oraz zarządzania nimi. Zasady te nie powinny jednak ograniczać roli poszczególnych interesariuszy w procesie podejmowania decyzji.
2. Wdrażanie nowych rozwiązań powinno być uzasadnione ekonomicznie, a skuteczność wdrażanych rozwiązań musi być poprzedzona rzetelnymi analizami kosztów i korzyści aby możliwa była kooperacja podmiotów procesu decyzyjnego. Możliwość współpracy w procesie podejmowania decyzji może być znacząco ograniczona w przypadku braku zasadności ekonomicznej.
3. Wdrażanie rozwiązań opartych na przyrodzie zgodne powinno być z kierunkiem polityki regionalnej, wpływ instrumentów dotacyjnych na proces podejmowania decyzji jest znaczący.

Z uwagi na powyższe konieczne jest poszukiwanie nowych metod umożliwiających zarządzanie konfliktami środowiskowymi oraz redefiniowanie dotychczas stosowanych strategii w celu efektywnego wprowadzania zmian. Istotne w tym kontekście jest uwzględnienie interesów wszystkich podmiotów procesu decyzyjnego oraz relacji pomiędzy nimi w procesie podejmowania decyzji. Teoria gier jako analityczne narzędzie modelowania strategii podmiotów procesu decyzyjnego może służyć ograniczaniu występowania konfliktów.

8. Wnioski

Jak wskazują wyniki przeprowadzonych badań rozwiązania oparte na przyrodzie mogą mieć istotne znaczenie w obniżeniu ryzyka powodziowego, w szczególności w skali lokalnej. Ich wdrażanie wiąże się także z innymi korzyściami, związanymi przede wszystkim z ochroną poszczególnych komponentów środowiska (w tym krajobrazu oraz geo- i bioróżnorodności), ale także z intensyfikacją produkcji rolnej oraz leśnej. Mimo znaczącego potencjału oraz wyraźnej konieczności wdrażania nowych rozwiązań umożliwiających zarządzanie dynamicznie zmieniającym się ryzykiem, wdrażanie rozwiązań opartych na przyrodzie związane jest z licznymi trudnościami.

Jednym z celów niniejszej rozprawy, z uwagi na dotychczas niewielkie rozpoznanie tematu w literaturze, było przedstawienie gospodarki polderowej w Polsce jako nowego rozwiązania opartego na przyrodzie w zarządzaniu ryzykiem powodziowym. W wyniku przeprowadzonych prac przygotowana została baza danych, obejmująca informacje na temat polderów w Polsce. Na podstawie bazy danych dokonano ogólnej charakterystyki polderów w zakresie lokalizacji, morfometrii, zagospodarowania przestrzennego i funkcji. Oceniono także efektywność polderów, stwierdzając iż mogą one przyczyniać się do istotnego ograniczenia ryzyka w skali lokalnej, służąc jednocześnie ochronie środowiska oraz intensyfikacji produkcji rolnej.

Przeprowadzone analizy umożliwiły także identyfikację barier dla efektywnego wdrażania i wykorzystania rozwiązań opartych na przyrodzie. W zakresie gospodarki polderowej bariery te odnoszą się do braku jednoznacznych uwarunkowań formalno-prawnych oraz braku systematyzacji wiedzy, które prowadzą do przewlekłości procesu ustanawiania polderów, rodzą komplikacje w zakresie kompensacji strat powodziowych oraz utrudniają efektywne zarządzanie polderami. Istotne bariery związane są także z brakiem dokładnych informacji na temat zdolności retencyjnych polderów oraz ich wpływu na środowisko. Bariera istotną w kontekście zalesień jest natomiast kwestia zasadności ekonomicznej oraz dystrybucji kosztów i korzyści związanych z ich wdrażaniem. Istotne są również zagadnienia związane z instrumentami dotacyjnymi, które mogą ograniczać możliwości wdrażania nowych rozwiązań. Szereg wskazanych powyżej barier jest przyczyną konfliktów, które ograniczają (lub uniemożliwiają) wdrażanie rozwiązań opartych na przyrodzie w zarządzaniu ryzykiem powodziowym.

Występowanie konfliktów środowiskowych w sposób znaczący wpływać może na efektywność zarządzania ryzykiem powodziowym. Ograniczanie występowania konfliktów może następować dzięki odpowiedniemu projektowaniu i przeprowadzaniu procesu decyzyjnego. Istotne w tym kontekście jest uwzględnienie wszystkich interesariuszy, ponoszących koszty lub czerpiących materialne i niematerialne zyski z wdrożenia nowych rozwiązań. Ważna w procesie podejmowania decyzji jest także relacja pomiędzy podmiotami zarządzającymi terenami w różnych częściach zlewni. Określenie wpływu decyzji poszczególnych podmiotów na innych interesariuszy może sprzyjać wypracowaniu kompromisu oraz ustaleniu zasad w zakresie sprawiedliwego podziału kosztów i korzyści związanych z wdrażaniem nowych rozwiązań. Uwzględnienie powyższych zagadnień możliwe jest dzięki wykorzystaniu metod badania strategii podmiotów procesu decyzyjnego, takich jak teoria gier, która umożliwia analizę warunków konfliktowych w celu opracowania sposobu współpracy podmiotów procesu decyzyjnego. Model teorii gier umożliwia określenie optymalnych warunków dla podejmowania decyzji w zakresie zarządzania zmianą

zagospodarowania terenu w celu zwiększenia zdolności retencyjnych. Niniejsza rozprawa stanowi pierwszą próbę zastosowania teoretycznego modelu teorii gier do praktycznych zagadnień związanych z negocjacją w zakresie wdrażania rozwiązań opartych na przyrodzie. Uzyskane wyniki wskazują na wysoki potencjał tej metody w modelowaniu zagadnień dotyczących konfliktów i kooperacji podmiotów procesu decyzyjnego.

Z uwagi na rosnące ryzyko powodzi oraz predykcje jego wzrostu w przyszłości, konieczne jest wdrażanie efektywnych rozwiązań w celu ograniczania negatywnych skutków powodzi. Rozwiązania oparte na przyrodzie mogą pozytywnie wpływać na ryzyko powodziowe, przynosząc również dodatkowe korzyści środowiskowe i gospodarcze. Konieczne jest jednak poszukiwanie metod umożliwiających pokonywanie barier dla ich wdrażania i efektywnego zarządzania. Istotne w tym zakresie może być usystematyzowanie wiedzy w zakresie zdolności retencyjnych oraz faktycznego wpływu na mitygację ryzyka powodziowego, ustalenie procedur dla określania zasadności ekonomicznej oraz ustalenie jednoznacznych uwarunkowań formalno-prawnych dla ich wdrażania i zarządzania. Najistotniejszą kwestią jest natomiast zarządzanie konfliktami w procesie podejmowania decyzji – zdolność ich rozwiązywania definiować może efektywność systemów zarządzania ryzykiem powodziowym.

9. Literatura

Acreman M., Smith A., Charters L., Tickner D., Opperman J., Acreman S., Edwards F., Sayers P., Chivava F., 2021. Evidence for the effectiveness of nature-based solutions to water issues in Africa. *Environmental Research Letters* 16(6), 063007, DOI10.1088/1748-9326/ac0210.

Alvarez X., Gómez-Rúa M., Vidal-Puga J., 2019. River flooding risk prevention: A cooperative game theory approach. *J Environ Manage* 248, 109284.

Bett B., Tumusiime D., Lindahl J., Roesel K., Delia G., 2021. The role of floods and pathogene dispersion. *Nature-based Solutions for Flood Mitigation: Environmental and Socio-Economic Aspects, Handbook of Environmental Chemistry* 107: 139-158. DOI: 10.1007/698_2021_761.

Bentley L., Coomes D.A., 2020. Partial river flow recovery with forest age is rare in the decades following establishment. *Global change biology*, 26(3), 1458-1473.

Brokking P., Mörtberg U., Balfors, B., 2021. Municipal Practices for Integrated Planning of Nature-Based Solutions in Urban Development in the Stockholm Region. *Sustainability*, 13(18), 10389. <https://doi.org/10.3390/su131810389>.

Buechel M., Slater L., Dadson S., 2022. Hydrological impact of widespread afforestation in Great Britain using a large ensemble of modelled scenarios. *Communications Earth and Environment*, 3(1).

Budiyono Y., Marfai M. A., Aerts J., de Moel H., Ward P. J., 2017. Flood Risk in Polder Systems in Jakarta: Present and Future Analyses. *Book Series Disaster Risk Reduction*, 517-537, DOI10.1007/978-3-319-54466-3_21.

- Collier M., Nedović-Budić Z., Aerts J., Connop S., Foley D., Foley K., Newport D., McQuaid S., Slaev A., Verburg P., 2013. Transitioning to resilience and sustainability in urban communities. *Cities* 32(1), 21-28.
- Dittrich R., Ball T., Wreford A., Moran D., Spray C. J., 2018. A cost-benefit analysis of afforestation as a climate change adaptation measure to reduce flood risk. *Journal of Flood Risk Management*, e12482.
- Działek J., Biernacki R., Konieczny W., Fiedzeń Ł., Franczak P., Grzeszna K., Listwan-Franczak K., 2017. Zanim nadejdzie powódź wpływ wyobrażeń przestrzennych, wrażliwości społecznej na klęski żywiołowe oraz komunikowania ryzyka na przygotowanie społeczności lokalnych do powodzi. Kraków: Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ.
- Ellis N., Anderson K., Brazier R., 2021. Mainstreaming natural flood management: A proposed research framework derived from a critical evaluation of current knowledge. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment* 45(6): 819-841. <https://doi.org/10.1177/0309133321997299>.
- Forester J., 2004. Reflections on trying to teach planning theory. *Planning Theory Pract*, 5(2): 242–251.
- Frantzeskaki N., 2019. Seven lessons for planning nature-based solutions in cities. *Environmental Science & Policy* 93, 101-111, DOI10.1016/j.envsci.2018.12.033.
- Gao Y. Q., Yuan Y., Wang H. Z., Zhang Z. X., Ye L., 2018. Analysis of impacts of polders on flood processes in Qinhuai River Basin, China, using the HEC-RAS model. *Water Science And Technology-Water Supply*, 18(5), 1852-1860, DOI 10.2166/ws.2018.008.
- Garcia-Garizabal I., Abrahao R., Causape J., 2012. Irrigation management and pollution by salts and nitrate: flood vs. pressurized system. *Itea-Informacion Tecnica Economica Agraria* 108(4): 482-500.
- Golik D., Gortych M., Kołodziejczyk U., 2019. Directions of Polderization in the Middle Basin of the Odra River. *Civil and Environmental Engineering Reports* 28(3):103–110. DOI: 10.2478/ceer-2018-0038.
- Graf R., 2014. Mitigation of Flood Risk in Poland [Mitygacja Ryzyka Powodziowego w Polsce]. Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej PAN XX(January).
- Gray J.D.E., O'Neill K., Qiu, Z.Y., 2017. Coastal residents' perceptions of the function of and relationship between engineered and natural infrastructure for coastal hazard mitigation. *Ocean & Coastal Management* 146: 144–156.
- Han S., Kuhlicke C., 2021. Barriers and Drivers for Mainstreaming Nature-Based Solutions for Flood Risks: The Case of South Korea; *Int J Disaster Risk Sci* 12, 661–672.
- Hartmann T., Jílková J., Schanze J., 2018. Land for flood risk management: A catchment-wide and cross-disciplinary perspective. *Journal of Flood Risk Management*, 11(1), 3–5. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12344>
- Hartmann T., Slavíková L., McCarthy S., 2019. *Nature-Based Solutions in Flood Risk Management*. Cham, Switzerland: SpringerOpen.

IUCN [International Union for Conservation of Nature], 2021. Nature-based solutions. <https://www.iucn.org/theme/nature-based-solutions/about>.

Jakubínský J., Prokopová M., Raška P., Salvati L., Bezak N., Cudlín O., Cudlín P., Purkyt J., Vezza P., Camporeale C., Daněk J., Pástor M., Lepeška T., 2021. Managing floodplains using nature-based solutions to support multiple ecosystem functions and services. *Wiley Interdisciplinary Reviews Water* 8(5), e1545.

Jania J., Zwoliński Zb., 2011. Extreme meteorological, hydrological and geomorphological events in Poland. *Landform Analysis* 15: 51-64.

Jarosiewicz P., Fazi S., Zalewski M., 2022. How to boost Ecohydrological Nature-Based Solutions in water quality management. *Ecohydrology & Hydrobiology* 22(2), 226-233, 10.1016/j.ecohyd.2021.11.005.

Jenks G.F., 1967. The data model concept in statistical mapping. *International Yearbook of Cartography* 7: 186–190.

Jongman B., Hessel C., Aerts C., Coughlan de Perez E., van Aalst M., Kron W., Ward P., 2014. Declining vulnerability to river floods and the global benefits of adaptation. *Environmental Sciences* 112(18): 2271-2280. DOI: 10.1073/pnas.1414439112.

Jongman B., Winsemius H.C., Aerts, J.C.J.H., de Perez E.C., van Aalst M.K., Kron W., Ward P.J., 2015. Declining vulnerability to river floods and the global benefits of adaptation, *Proceedings Of The National Academy Of Sciences Of The United States Of America*, 112(18): 2271-2280, DOI:10.1073/pnas.1414439112.

Klugewicz J., 1992. Polderyzacja Terenów Depresyjnych. *Towarzystwo Wolnej Wszechnicy Polskiej*.

Koboжек E., 2013. Wpływ działalności bobrów na lokalne procesy fluwialne w wybranych rzekach Równiny Łowicko-Błońskiej. *Acta Universitatis Lodzianensis, Folia Geographica Physica*, 12: 17–32.

Kowalik P., 1991. Polderowe systemy melioracyjne: 5–56. W: *Zasady modernizacji polderowych systemów melioracyjnych na Żuławach*. Wydawnictwo IMUZ, Elbląg.

Kundzewicz W., Kanae S., Seneviratne S., Handmer J., Nicholls N., Peduzzi P., Mechler R., Bouwer L., Arnell N., Mach K., Muir-Wood R., Brakenridge R., Kron W., Benito G., Honda Y., Takahashi K., Sherstyukov B., 2014. Flood risk and climate change: global and regional perspectives, *Hydrological Sciences Journal- Journal Des Sciences Hydrologiques* 59(1): 1-28, DOI: 10.1080/02626667.2013.857411.

KZGW [Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej], 2022. Aktualizacja planu Gospodarowania Wodami Na Obszarze Dorzecza Wisły.

Laurance W.F., 2007. Environmental science: Forests and floods. *Nature* 449, 409. <https://doi.org/10.1038/449409a>

Liziński T., 2007. Problemy zarządzania ryzykiem w kształtowaniu przestrzeni polderowej na przykładzie delty Wisły. *Wydawnictwo IMUZ, Falenty*.

Maczalowski A., 2015. Initial estimation of the impact of the polder retention to reduce the risk of the flood. *Acta Scientiarum Polonorum-Formatio Circumiectus*, 14(2), 125-136.

Magnuszewski A., Moran S., 2014. Vistula River bed erosion processes and their influence on Warsaw's flood safety. *Sediment Dynamics from the summit to the Sea* 367, 147-154.

Martinez-Juarez P., Chiabai A., Suarez C., Quiroga S., 2019. Insights on urban and periurban adaptation strategies based on stakeholders' perceptions on hard and soft responses to climate change. *Sustainability*, 11(3): Article 647.

Mata T.M., Oliveira G.M., Monteiro H., Silva G.V., Caetano N.S., Martins A.A., 2021. Indoor Air Quality Improvement Using Nature-Based Solutions: Design Proposals to Greener Cities. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18(16), 8472, 10.3390/ijerph18168472.

Mawandha H.G., Wignyosukarto B.S., Jayadi, R., 2018. Mini Polders as Alternative Flood Management in the Lower Bengawan Solo River, Indonesia. *Irrigation And Drainage* 67(1), 72-80, DOI10.1002/ird.2198.

McCarthy S., Viavattene C., Sheehan J., Green C., 2018. Compensatory approaches and engagement techniques to gainflood storage in England and Wales. *Journal of Flood Risk Management*, 11, 85–94.

Neumann J., Morgenstern O., 1944. *Theory of games and economic behavior*. Princeton University Press.

Novakova J., Dospivova P., Melcakova I., 2014. Utilizing dry polder as flood measures in agricultural landscape, geoconference on water resources, forest, marine and ocean ecosystems, vol I (SGEM 2014), Book Series International Multidisciplinary Scientific GeoConference-SGEM, 823-828.

Padma P., Ramakrishna S., Rasoolimanesh S.M., 2022. Nature-Based Solutions in Tourism: A Review of the Literature and Conceptualization. *Journal of Hospitality & Tourism Research*, 46(3), 442–466. <https://doi.org/10.1177/1096348019890052>

Pereira S.N., 2010. Payment for environmental services in the Amazon forest: how can conservation and development be reconciled?. *J Environ Dev* 19(2): 171-190.

Perpiña Castillo C., Coll Aliaga E., Lavalle C., Martínez Llario J.C., 2020. An Assessment and Spatial Modelling of Agricultural Land Abandonment in Spain (2015–2030). *Sustainability* 12(2): 560.

Potocki K., Hartmann T., Slavikova L., Collentine D., Veidemane K., Raska P., Berstad J., Evans R., 2022. Land Policy for Flood Risk Management-Toward a New Working Paradigm. *Earths future* 10(4). DOI10.1029/2021EF002491

Raymond C.M., Berry P., Breil M., Nita M.R., Kabisch N., de Bel M., Enzi V., Frantzeskaki N., Geneletti D., Cardinaletti M., Lovinger L., Basnou C., Monteiro A., Robrecht H., Sgrigna G., Muhari L., Calfapietra C., 2017. An Impact Evaluation Framework to Support Planning and Evaluation of Nature-based Solutions Projects. Report Prepared by the EKLIPSE Expert Working Group on Nature-based Solutions to Promote Climate Resilience in Urban Areas. Center for Ecology & Hydrology, Wallington, United Kingdom.

Raška P., Bezak N., Ferreira S. S. C., Kalantari Z., Banasik K., Bertola M., Bourke M., Cerda M., Davids P., Madruga de Brito M., Evans R., Finger D. C., Halbac-Cotoara-Zamfir R. Housh M., Hysa A., Jakubínský J., Kapovic Solomun M., Kaufmann M., Keesstra S., Keles E., Kohnova S., Pezzagno M., Potocki K., Rufat S., Seifollahi-Aghmiuni S., Schindelegger A., Sraj M., Stankunavicius G., Stolte J., Stricevic R., Szolgay J., Zupanc V., Slavikova L., Hartmann T., 2022. Identifying barriers for nature-based solutions in flood risk management: An interdisciplinary overview using expert community approach. *Journal of Environmental Management* 310(2022): 114725.

Ruangpan L., Vojinovic Z., Di Sabatino S., Sandra Leo L., Capobianco V., Oen A., McClain M., Lopez-gunn E., 2020. Nature-based solutions for hydro-meteorological risk reduction: A state-of-the-art review of the research area, 243–70.

Rurek M., Krupa A., Hojan M., Giętkowski T., 2013. Wpływ działalności bobrów na rzeźbę małych dolin na przykładzie doliny Gajdówki, południowe Bory Tucholskie, Polska. *Journal of Health Sciences* 3(15): 257–266.

Scheidel A., Del Bene D., Liu J., Navas G., Mingorria S., Demaria F., Avila S., Roy B., Ertör R., Temper L., Martínez-Alier J., 2020. Environmental conflicts and defenders: A global overview. *Global Environmental Change*, 63, 102104.

Schumpeter, J.A. (1911). *The Theory of Economic Development*. Harvard University Press, Cambridge.

Schweitzer J.P., Gionfra S., 2018. Nature-Based Education for Resilient Cities. W: Azeiteiro U., Akerman M., Leal Filho W., Setti A., Brandli L. *Lifelong Learning and Education in Healthy and Sustainable Cities*. World Sustainability Series. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-69474-0_21.

Seher W, Löschner L., 2016. Balancing upstream-downstream interests in flood risk management: experiences from a catchment-based approach in Austria. *Journal of Flood Risk Management* <https://doi.org/10.1111/jfr3.12266>.

Short C., Clarke L., Carnelli F., Uttley C., Smith B., 2018. Capturing the multiple benefits associated with nature-based solutions: Lessons from a natural flood management project in the Cotswolds, UK. *Land Degradation & Development*, 30(3), 241-252.

Słownik encyklopedyczny leśnictwa, drzewnictwa, ochrony środowiska, łowiectwa oraz dziedzin pokrewnych, 1996. Praca zbiorowa pod red. E. Więcko. Wydawnictwo SGGW. Warszawa.

Szpikowski J., Szpikowska G., 2018. Akumulacja osadów w rozlewiskach bobrowych w świetle oceny wielkości denudacji mechanicznej zlewni młodoglacjalnej (Kłuda, Pomorze Zachodnie). W: A.Kostrzewski, A.Stach, M.Majewski (red.), *Geneza, litologia i stratygrafia utworów czwartorzędowych*, t. VII, Instytut Geoekologii i Geoinformacji UAM: 197–204.

Ustawa z dnia 20 lipca 2017 r. prawo wodne, 2017. Dz. U. z 2022 r. poz. 2185.

Van Dijk A.I., Van Noordwijk M., Calder I.R., Bruijnzeel S.L., Schellekens J., Chappell N.A., 2009. Forest-flood relation still tenuous-comment on 'global evidence that deforestation amplifies flood risk and severity

in the developing world' by CJA Bradshaw, NS Sodi, KS-H. Peh and BW Brook. *Global Change Biol.* 15, 110-115.

Venegas-Cordero N., Kundzewicz Z., Jamro S., Piniewski M., 2022. Detection of trends in observed river floods in Poland. *Journal of Hydrology: Regional Studies* 41(101098). <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101098>

Wahyudi S.I., Adi H.P., Lekerkerk J., Bakker L., Van de Ven M., Vermeer D., Adnan M.S., 2019. Assessment of Polder System Drainage Experimentation Performance Related to Tidal Floods in Mulyorejo, Pekalongan, Indonesia. *International Journal Of Integrated Engineering* 11(9), 73-82.

Warachowska W., Zwoliński Z. (2023). Gospodarka polderowa w Polsce – wyzwania naturalnej retencji powodziowej. *Landform Analysis* 42: 3-22. DOI: 10.12657/landfana-042-001.

Warachowska W., Ungvári G., Kis A., Zwoliński Z., Matczak P. (2023). Social, economic and legal aspects of polder implementation for flood risk management in Poland and Hungary. *Journal of Flood Risk Management*. DOI: 10.1111/jfr3.12897.

Warachowska W., Alvarez X., Bezak N., Gómez-Rúa M., Janeiro-Otero A., Matczak P., Vidal-Puga J., Zupanc V., 2021. A Cooperative Game for upstream–downstream river flooding risk prevention in four European river basin. w: *Nature-Based Solutions for Flood Mitigation. The Handbook of Environmental Chemistry*, vol 107. Springer, Cham. DOI: 10.1007/698_2021_766.

Wasko C., Westra S., Nathan R., Orr H.G., Villarini G., Villalobos H. R., Fowler H. J., 2021. Incorporating climate change in flood estimation guidance. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical, & Engineering Sciences*, 379(2195), DOI: 10.1098/rsta.2019.0548.

Weikard H.P., Kis A., Ungvári G., 2017. A simple compensation mechanism for flood protection services on farmland. *Land Use Policy*, 65, 128–134. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.04.006>

Wesselink A., 2016. Trends in flood risk management in deltas around the world: Are we going “soft”? *International Journal of Water Governance*, (4), 25–46. <https://doi.org/10.7564/15-IJWG90>.

Wiśniewski J., 2016. Dlaczego powinniśmy zbudować polder Golina na Warcie? *Gospodarka Wodna* 1: 25–32.

Yan R., Gao J., 2021. Key factors affecting discharge, soil erosion, nitrogen and phosphorus exports from agricultural polder. *Ecological modelling* 452(109586), DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2021.109586.

Gospodarka polderowa w Polsce – wyzwania naturalnej retencji powodziowej

Polder management in Poland – opportunities for natural flood retention

Weronika Warachowska , Zbigniew Zwoliński 

Institut Geoeologii i Geoinformacji, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, warachowska@amu.edu.pl

Zarys treści: Powódź stanowi jedno z największych zagrożeń naturalnych w Polsce. Z uwagi na przewidywany wzrost ryzyka powodzi poszukiwanie nowych sposobów zarządzania ryzykiem powodziowym jest istotnym wyzwaniem krajowej gospodarki wodnej. Jednym z rozwiązań mogących służyć ograniczeniu ryzyka powodziowego, przy jednoczesnej możliwości utrzymania produkcji rolnej oraz ochronie istniejących ekosystemów i krajobrazu są poldery. Mimo potencjalnych korzyści związanych z wykorzystaniem polderów, ich potencjał jest jednak niewykorzystany z uwagi na liczne bariery dla ich efektywnego wdrażania i zarządzania nimi. Artykuł ma na celu rozpoznanie gospodarki polderowej w Polsce wraz z ustaleniem zdolności retencyjnych na podstawie parametrów morfometrycznych polderów, określeniem ich funkcjonalności oraz możliwości w zakresie ochrony poszczególnych komponentów środowiska. Na podstawie opracowanej charakterystyki zdefiniowano również bariery ograniczające efektywne wykorzystanie polderów, a także podjęto próbę sformułowania rozwiązań problemów związanych z wdrażaniem i zarządzaniem polderami. Rezultatem przeprowadzonych badań jest propozycja definicji polderu oraz rekomendacje w zakresie możliwości usystematyzowania zagadnień związanych z gospodarką polderową w Polsce.

Słowa kluczowe: polder, gospodarka polderowa, zarządzanie ryzykiem powodziowym, naturalna retencja powodziowa

Abstract: Flood is the most significant natural hazard in Poland. Due to the expected flood risk increase finding new flood risk management measures is a considerable challenge. An example of such measures are polders as an integration of the flood mitigation function with the agricultural cultivation of the land and protection of existing ecosystems and landscape. Despite benefits of polders their potential is untapped due to the numerous barriers for their effective implementation and management. This study aims to investigate the polder management in Poland, including the assessment of retention capacity on the basis of morphometric parameters, the determination of polder functionality and the possibilities for the protection of individual environmental components. On the basis of the developed characteristics, barriers limiting the effective use of polders were defined, and an attempt was made to formulate solutions to problems related to the implementation and management of polders. The result of the conducted research is a proposal for a definition of a polder and recommendations regarding the possibility of systematizing issues related to polder management in Poland.

Keywords: polder, polder management, flood risk management, natural flood retention

Wprowadzenie

Powódź jako jedno z największych zagrożeń dla życia i zdrowia człowieka, środowiska, dziedzictwa geologicznego i kulturowego oraz działalności gospodarczej jest tematem podejmowanym dotychczas wielokrotnie w różnych aspektach i ujęciach (Graf 2014, Kundzewicz i in. 2014, Jongman i in. 2015, Działek i in. 2017, Wasko i in. 2021). Zmiany klimatu, wywoływane wieloma przyrodniczymi i poza-przyrodniczymi czynni-

kami prowadzą do wzrostu częstości występowania wzbrań, w tym powodzi (Jania, Zwoliński 2011), a w dalszej kolejności do obniżenia bezpieczeństwa ludności i wzrostu kosztów związanych ze zniszczeniami powodziowymi (Sowiński 2008). Tematyka związana z zarządzaniem ryzykiem powodziowym, w tym także ze środkami ograniczania skutków powodzi jest szeroko podejmowana w dotychczasowych badaniach, co jednak wciąż nie doprowadziło do wystarczającego rozpoznania tematu.

Zarządzanie ryzykiem powodziowym w Polsce jest głównie ukierunkowane na ograniczanie skutków powodzi, a w mniejszym stopniu na zapobieganie wystąpieniu szkód poprzez zrównoważone zarządzanie zasobami wodnymi (Graf 2014). Dotychczas podejmowane działania (przede wszystkim oparte na wykorzystywaniu tzw. szarej infrastruktury, obejmującej rozwiązania inżynierii hydrotechnicznej, tj. wały, tamy, przepusty, jazy czy zastawki) nie są wystarczające w perspektywie rosnącego prawdopodobieństwa wystąpienia powodzi (Jongman i in. 2014). Z uwagi na ograniczoną dostępność przestrzeni niezbędnej do pozyskania odpowiedniej pojemności retencyjnej dla realizacji polityki powodziowej państwa konieczne jest uzupełnienie dotychczasowych działań o rozwiązania oparte na przyrodzie (ang. *Nature-based Solution, NBs*), wykorzystujące procesy naturalnie występujące w przyrodzie (Ruanganpan i in. 2020). W zakresie zarządzania ryzykiem powodziowym takie rozwiązania mają na celu ochronę oraz zwiększenie naturalnego potencjału retencyjnego terenu. Ograniczają one potrzebne nakłady finansowe na działania przeciwpowodziowe, sprzyjają rozwojowi gospodarstwu (głównie w rolnictwie i leśnictwie) oraz ochronie georóżnorodności i bioróżnorodności, chroniąc jednocześnie krajobraz przed niekorzystnym wpływem tzw. szarej infrastruktury.

Jednym z rozwiązań umożliwiających połączenie naturalnych procesów przyrodniczych z osiągnięciami inżynierii hydrotechnicznej są poldery, które przy wykorzystaniu ich objętości retencyjnej, wynikającej z ukształtowania terenu oraz urządzeń hydrotechnicznych pozwalających na sterowanie przepływem, umożliwiają zarządzanie ryzykiem powodziowym przy jednoczesnej ochronie naturalnych zasobów środowiska. Z punktu widzenia geomorfologicznego poldery są formami terenu pochodzenia antropogenicznego, wykorzystującymi często naturalne formy negatywne, depresyjne lub płaskie. O niedocenieniu tych form terenu może świadczyć fakt, że poldery nie zostały uwzględnione w legendach map geomorfologicznych w skalach szczegółowych i przeglądowych, np. Starkel (1980), Klimaszewski (1982) czy Rączkowska, Zwoliński (2015). Z uwagi na brak jasnych i skoordynowanych uwarunkowań formalnych dla ustanawiania i funkcjonowania polderów, przy jednoczesnym braku spójnej definicji polderu, umożliwiającej uwzględnienie wszystkich rodzajów polderów funkcjonujących w Polsce, potencjał tej formy zarządzania powodziowego jest w znacznym stopniu niewykorzystany.

Artykuł ma na celu przedstawienie stanu gospodarki polderowej w Polsce w zakresie historycznym, klasyfikacyjnym, morfometrycznym i przestrzennym, ocenę potencjału polderów w zarządzaniu ryzykiem powodziowym, intensyfikacji produkcji rolnej oraz ochronie georóżnorodności i bioróżnorodności,

a także wskazanie trudności w ustanawianiu i funkcjonowaniu polderów jako rozwiązań opartych na przyrodzie w zarządzaniu ryzykiem powodziowym. Podjęto także próbę sformułowania kompleksowej definicji polderu jako wielofunkcyjnej formy terenu i zarządzania ryzykiem powodziowym.

Materiały i metody

Przedstawione w opracowaniu wyniki badań oparte są na przeglądzie dostępnych materiałów literaturowych, kartograficznych i prawnych, a także na wynikach analizy danych zawartych w bazach danych i innych zasobach jednostek administracji publicznej, zawierających informacje na temat polderów oraz możliwości ich wykorzystania w Polsce.

Na podstawie przeglądu literatury oraz aktów prawa regulujących ustanawianie i funkcjonowanie polderów w Polsce ustalono podmioty odpowiedzialne za zarządzanie polderami w kraju, do których zwrócono się z wnioskiem o udostępnienie informacji o środowisku (łącznie 83 jednostki administracji publicznej Państwowego Gospodarstwa Wodnego Wody Polskie oraz Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej). Wniosek obejmował przekazanie informacji na temat stosowanej definicji polderu oraz danych o polderach gromadzonych w zasobach poszczególnych jednostek. Odpowiedzi uzyskano od 63 podmiotów, przy czym jedynie 11 z nich wskazało, iż na zarządzanym obszarze zlokalizowane są poldery. Uzyskano informacje o stosowanych definicjach polderu i ich interpretacjach oraz szczegółowe informacje o 131 polderach (dla wszystkich z nich przekazano dane na temat powierzchni, natomiast dla 33% przekazano również informacje o objętości). Dla 10% polderów wskazana została także lokalizacja na mapie. W przypadku poszczególnych podmiotów przeprowadzono także wywiady telefoniczne, mające na celu potwierdzenie lub doprecyzowanie udostępnionych informacji. Prace w zakresie pozyskania danych od jednostek administracji publicznej trwały od marca 2018 r. do stycznia 2020 r.

Informacje na temat polderów pozyskiwano także w wyniku analizy aktów prawa miejscowego (miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego, programów ochrony środowiska, planów utrzymania wód), decyzji administracyjnych (decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach oraz pozwoleń wodnoprawnych), raportów o stanach gmin, planów zarządzania ryzykiem powodziowym, danych literaturowych oraz materiałów kartograficznych (mapy hydrograficzne w skali 1:10 000 i 1:50 000 oraz ortofotomapy z ostatnich kilku lat pozyskanych za pośrednictwem geoportalu krajowego).

Integracja i standaryzacja zgromadzonych danych przestrzennych i nieprzestrzennych (atrybutowych) umożliwiła opracowanie bazy danych o polderach, zawierającej łącznie 323 rekordy opisanych przez 16 zmiennych (odnoszących się do lokalizacji polderów, parametrów morfometrycznych, zagospodarowania i funkcji oraz źródła pochodzenia informacji).

Historia polderów

Początki gospodarki polderowej w Polsce sięgają końca XIII wieku, kiedy to rozpoczęto prace nad budową obwałowań w celu rolniczego wykorzystania terenów depresyjnych na Żuławach Wiślanych (Cyberski, Mikulski 1976). Istotnym wydarzeniem dla rozwoju polderyzacji w Polsce było osiedlenie się holenderskich Mennonitów na terenach Żuław, którzy posiadali doświadczenie w odwadnianiu terenów depresyjnych (Klugewicz 1992). Intensyfikacja działań zapoczątkowanych przez osadników z Holandii następowała wraz z rozwojem technologii, która umożliwiała efektywniejsze odwadnianie spolderyzowanych terenów, początkowo z wykorzystaniem kół czerpalnych, następnie z końcem XIX w. maszyn parowych oraz współcześnie silników spalinowych i elektrycznych. Początkowo wszystkie działania polegające na odwadnianiu i obwałowywaniu terenów zalewowych miały na celu pozyskanie nowych terenów uprawnych i intensyfikację produkcji rolnej. Z uwagi jednak na postęp technologiczny w produkcji żywności i zmniejszenie atrakcyjności polderów jako terenów uprawnych, a także ze względu na wzrost zagrożenia powodziowego na tych terenach, nastąpiła zmiana dotychczasowego postrzegania polderów, które zaczęły pełnić coraz istotniejszą funkcję przeciwpowodziową.

Kolejnym ważnym zagadnieniem związanym z historią gospodarki polderowej w Polsce była komasacja polderów na początku XX wieku, która doprowadziła do zmniejszania liczby małych polderów oraz ograniczenia liczby urządzeń odwadniających (Klugewicz 1992). Szacuje się, że w okresie niespełna stu lat (w latach 1854–1945) liczba polderów na terenie Żuław zmniejszyła się ze 133 do zaledwie 10 (Cebulak 1976). Na zmniejszenie liczby polderów, nie tylko na Żuławach, ale również na terenie całego kraju, miały wpływ także celowe działania wycofujących się wojsk hitlerowskich, polegające na zniszczeniu urządzeń hydrotechnicznych współpracujących z polderami i w dalszej konsekwencji zalaniu i podtopieniu pól uprawnych, budowli mieszkaniowych i przemysłowych (Kowalczyk 1986a, b). W okresie powojennym prace renowacyjne urządzeń wodnych oraz prace porządkowe (modyfikacyjne) polderów podejmowano

wielokrotnie aż do roku 1962. Zakończyło się to jednak jedynie częściowym odtworzeniem istniejących przed wojną polderów (Klugewicz 1992). Współczesna historia polderów w Polsce związana jest natomiast głównie z tworzeniem się prawa wodnego. W 1962 r. uchwalona ustawa systematyzowała m.in. kwestie związane z melioracjami, które podlegały zarządzaniu Ministerstwa Rolnictwa (Ustawa prawo wodne 1962). W roku 2001, po pierwszej nowelizacji prawa wodnego, do zagadnień melioracji i urządzeń hydrotechnicznych współpracujących z polderami zaimplementowano uwarunkowania ramowej dyrektywy wodnej (Ustawa prawo wodne 2001), natomiast w roku 2017, przy drugiej nowelizacji, sformułowano definicję polderu przeciwpowodziowego (Ustawa prawo wodne 2017). Nowelizacja prawa wodnego w 2017 roku doprowadziła także do zlikwidowania Zarządów Melioracji i Urzędzeń Wodnych, odpowiedzialnych dotychczas za zarządzanie polderami. Kompetencje i odpowiedzialności w tym zakresie przekazane zostały nowo utworzonemu Państwowemu Gospodarstwu Wodnemu Wody Polskie. W długiej historii gospodarki polderowej nacisk kładziony był – w zależności od kontekstu i potrzeb – zarówno na ochronę przeciwpowodziową jak i na intensyfikację produkcji rolnej. Funkcje te traktowane były jednak najczęściej rozłącznie, co doprowadziło do współczesnych problemów w ustanawianiu polderów i zarządzaniu nimi.

Nieład definicyjny

Istotne dla zrozumienia potencjału polderów w Polsce jest ich poprawne zdefiniowanie oraz podkreślenie ich unikalności w skali lokalnej oraz regionalnej. Odmienne bowiem postrzegane i definiowane są poldery funkcjonujące zarówno w poszczególnych częściach świata, jak również w różnych regionach Europy (Schuetze, Chelleri 2011, Novakova i in. 2014, Cui i in. 2019, Zaman, Mondal 2020). Także w Polsce istnieją lokalne różnice w pojmowaniu istoty polderów, a w konsekwencji różne ich wykorzystanie.

Konieczność usystematyzowania wiedzy w zakresie polderów, przede wszystkim w aspekcie definicyjnym, dyskutowana jest od dekad i poruszana była wcześniej przez wielu autorów (Kowalik 1991, Klugewicz 1992, Liziński 2007), co jednak nie doprowadziło do sformułowania spójnej i uniwersalnej definicji, umożliwiającej jej praktyczne stosowanie i stanowiącej podstawę funkcjonowania gospodarki polderowej w Polsce. Ze względu na zróżnicowane uwarunkowania powstawania polderów oraz ustanawianie i funkcjonowanie wielu polderów bez jakichkolwiek podstaw formalnych, obecnie jest to nadal zagadnienie niewystarczająco usystematyzowane.

Pojęcie „polder” zostało zapożyczone bezpośrednio z języka niderlandzkiego, gdzie ta forma zarządzania ryzykiem powodziowym rozwinęła się i nadal rozwija się najintensywniej spośród krajów europejskich (Liziński 2007, Haartsen, Thissen 2019). W Polsce określenie to było początkowo utożsamiane z obszarem chronionym wałami (Maslov 2009), jest to jednak pojęcie bardzo szerokie, mogące obejmować różne formy ukształtowania terenu w dnie doliny.

Równie szerokie znaczenie nadano polderom w definicji Słownika Języka Polskiego, zgodnie z którą polder stanowi *depresyjny teren nadmorski, sztucznie osuszony i otoczony groblami w celu ochrony przed zalaniem* (SJP 2017). Niepoprawność tej definicji w ujęciu hydrotechnicznym jest oczywista, ale jej analiza nie jest bez znaczenia dla pełnego zrozumienia problemu. Z uwagi na fakt braku spójnej bazy danych na temat polderów oraz jasnych wytycznych co do sposobu ich definiowania, definicja ta przyjmowana jest często przez jednostki administracji publicznej nie tylko do opisu polderów, ale także zbiorników retencyjnych. Takie podejście do polderów jest naturalną konsekwencją braku pełnej, formalnej definicji polderu i prowadzi do dodatkowych problemów w związku z ich funkcjonowaniem.

Funkcjonująca powszechnie w literaturze definicja sformułowana przez Volkera (1982) zakłada, iż polder to *obszar, który pierwotnie (permanently lub okresowo) podlegał wysokiemu zalaniu wodami powierzchniowymi lub gruntowymi i został oddzielony od otaczającego systemu rzecznoego, aby umożliwić niezależne kontrolowanie poziomu wody*. Definicja ta jest często modyfikowana przy uwzględnieniu różnych kryteriów, np.: lokalizacji polderów – nadmorskie, nadrzeczne i przyjeziorne (Liziński 2007), stopnia ochrony i wykorzystania obszaru depresyjnego (Maslov 2009), okresu w którym poldery mogą być zalewane (Zakaszewski 1964) lub sposobu sterowania przepływem (Cebulak 1966).

W literaturze polskiej poldery określane są także jako *obszary o względnie płaskim ukształtowaniu, otoczone wałem ciągłym i odwadniane mechanicznie za pośrednictwem własnej sieci wodnej, wyposażone w dodatkowe systemy odwadniające (wyloty drenów, rowy czy kanały)* (Kowalik 1980) lub jako *obszar łądu położony w depresji stałej lub okresowej, chroniony przed zalewem i podtapianiem przez zewnętrzne obwałowanie i wewnętrzną sieć odwadniającą, z którego nadmiar wody odprowadza się za pomocą urządzeń i budowli wodnych (np. przepompowni, śluz czy lewarów)*. Obie wspomniane powyżej definicje szczególny nacisk kładą na budowę towarzyszące służące sterowaniu przepływem. Nie uwzględniają jednak wielu dodatkowych czynników, takich jak funkcja czy sposób zagospodarowania całego terenu.

W warunkach polskich, oprócz przytoczonych wcześniej definicji, uznawana jest definicja formalna polderu przeciwpowodziowego wprowadzona w ustawie prawo wodne z dnia 20 lipca 2017 r. (Usta-

wa prawo wodne 2017). W myśl Prawa wodnego polder stanowi: *budowlę przeciwpowodziową, będącą urządzeniem wodnym odgrodzonym od koryta rzeki, mogącą okresowo przetrzymywać nadmiar wód powodziowych, zalewaną, a następnie odwadnianą przy pomocy urządzeń wlotowych i upustowych, samoczynnie lub w sposób kontrolowany*. Takie pojmowanie polderu nawiązuje do struktury i jego eksploatacji wyłącznie w kontekście zarządzania ryzykiem powodziowym. Nie uwzględnia natomiast funkcji związanej z intensyfikacją lub utrzymaniem produkcji rolnej, która jest istotna nie tylko w przypadku polderów zlokalizowanych w rejonie polskich Żuław i występuje najczęściej łącznie – poldery służą retencji powodziowej podczas wezbrań, natomiast w pozostałym okresie mogą być wykorzystywane np. rolniczo. Definicja ograniczająca się wyłącznie do funkcji przeciwpowodziowej prowadzi bezpośrednio do trudności w wykorzystaniu polderów w trakcie wezbrań. System kompensacji strat powodziowych oparty jest bowiem na definicji polderu przeciwpowodziowego i dla polderów, które jednocześnie wykorzystywane są rolniczo uzyskanie odszkodowań z tytułu zalania jest utrudnione (orzeczenia WSA w Warszawie 2011a, 2011b, 2011c, 2011d, 2013, WSA w Opolu 2011, NSA 2012, SA we Wrocławiu 2018).

Trudności w spójnym zdefiniowaniu polderu związane są także z różnym pojmowaniem obszaru polderowego przez jednostki odpowiedzialne za gospodarowanie wodami na terenie kraju. Przeprowadzone badania pokazują, że jedynie część Regionalnych Zarządów Gospodarki Wodnej wskazała, iż polder definiowany jest zgodnie z Ustawą prawo wodne (2017). W pozostałych przypadkach przekazano w trybie udzielenia informacji o środowisku i jego ochronie informacje na temat stosowanych definicji, w których polder definiowany jest między innymi jako *obszar położony poniżej poziomu odbiornika wodnego (obszar depresyjny), który chroniony jest przed zalaniem przez system wałów (grobli, tam), a rowy melioracyjne oraz urządzenia hydrotechniczne (pompy, śluzy) umożliwiają odprowadzanie wody z terenu polderu do odbiornika*. Funkcją polderów jest *ochrona przeciwpowodziowa terenów sąsiadujących, natomiast żyzne gleby terenów polderowych mogą być także wykorzystywane rolniczo*.

Niejednoznaczność funkcjonujących definicji podkreślają także rozbieżności w zakresie udostępnionych informacji, jak np. brak przekazania informacji na temat funkcjonowania polderu Żelazna na Odrze, przy jednoczesnym publikowaniu informacji na temat polderu na stronie internetowej Krajowego Zarządu Gospodarki Wodnej czy też przekazanie informacji na temat „polderu” Flora, który jest „suchym zbiornikiem” retencyjnym.

Stosunkowo szeroką i pełną definicję polderu ujęto w wytycznych technicznych GIS-3 do mapy hydrograficznej Polski w skali 1:50 000 (GUGiK 2005).

Definicja ta określa poldery jako *obszary izolowane od otoczenia budowlami hydrotechnicznymi (wałami, groblami itp.) o obiegu wody wymuszonym przez urządzenia odwadniające, nawadniające lub odwadniająco-nawadniające*. Wytyczne wskazują również, iż poldery spotyka się na terenach nadmorskich nizin aluwialnych (depresyjnych), deltach wielkich systemów rzecznych (Żuławy Wiślane) oraz terenach zalewowych (w dolinach większych rzek) itp. Za granicę polderów uznaje się najniższą wysokość bezwzględną korony grobli. Powyższa definicja dostała rozbudowaną w projekcie EnviDMS, poprzez dodatkowe wskazanie, iż polder stanowić może *element systemu melioracyjnego na obszarach depresyjnych, stanowiący ogroblowany teren, z którego wody spływają do jednej stacji pomp lub też zbiornik inundacyjny – obszar zalewany, położony na zawalu, zalewany w czasie wezbrań, osiagających określony poziom w międzywalu. Zalew może wystąpić samoczynnie poprzez przelanie się wody przez obniżenie w koronie wału lub w sposób kontrolowany za pośrednictwem jazów*. W definicji projektu EnviDMS wyróżnia się poldery stałe i przepływowe (GUGiK 2017). Takie ujęcie polderów nie ma jednak faktycznego odzwierciedlenia na arkuszach mapy hydrograficznej. Wiele polderów, których lokalizacja została potwierdzona przez jednostki administracji publicznej, poprzez analizę dostępnych materiałów kartograficznych, a w niektórych przypadkach także poprzez inwentaryzację terenową, nie znajduje swojego odzwierciedlenia na wspomnianej mapie. Przykładem powyższych rozbieżności jest przede wszystkim znaczna część polderów żuławskich, natomiast ich przyczyną może być częściowo czas powstawania opracowań kartograficznych (brak uwzględnienia polderów najnowszych), jednakże w wielu przypadkach mapa nie uwzględnia także polderów istniejących przed rokiem 2005.

Wymienione powyżej definicje, mimo iż opisują ogólną zasadę działania polderów, tj. możliwość sterowania przepływem wody i jej czasowej retencji, zasadniczo pomijają kwestie związane z możliwością wielokierunkowego wykorzystania polderów. Zaletą polderów nie jest bowiem jedynie sam fakt możliwości sterowania przepływem, który jest charakterystyczny również dla funkcjonowania zbiorników retencyjnych czy sztucznych zbiorników wodnych, ale przede wszystkim możliwość wykorzystania polderu wielofunkcyjnie, np. wdrożenie funkcji przeciwpowodziowej na czas wezbrań i rolnicze ich wykorzystanie w czasie obniżonego lub normalnego poziomu wód rzecznych.

Przedstawiona dyskusja wielorakiego rozumienia polderów stanowi podstawę do wskazania głównych cech, które charakteryzują funkcjonowanie polderów w Polsce. Należą do nich:

1. wykorzystanie terenu o naturalnym, wklęsłym ukształtowaniu, np. zagłębienia bezodpływowe, rozległe terasy zalewowe,
2. oddzielenie polderu od cieków lub zbiorników wodnych, np. obwałowaniami, nasypami,
3. możliwość sterowania przepływem wody w polderze przy wykorzystaniu urządzeń hydrotechnicznych, np. jazów, zapór, tam, przepompowni,
4. możliwość wielofunkcyjnego wykorzystania polderu, np. rolniczego, rekreacyjnego.

Istotnym zagadnieniem związanym z eksploatacją polderów jest ich funkcja, która często ograniczana jest albo do ochrony przeciwpowodziowej albo do intensyfikacji produkcji rolnej. W większości przytoczonych definicji poldery mogą, ale nie muszą być związane bezpośrednio z zarządzaniem ryzykiem powodziowym.

Z uwagi na częste utożsamianie polderu tylko z jedną funkcją przeciwpowodziową lub konkretnym regionem, większość badań ogranicza się przede wszystkim do polderów Żuławskich (Kowalik 2001, Liziński 2007, Cebulak 2013), czasem całkowicie pomijając poldery występujące w innych częściach kraju, a opracowania odnoszące się do polderów spoza terenu Żuław dotyczą jedynie pojedynczych polderów (Janiak, Parzona 1968, Przybyła 2011, Walczak i in. 2016, Wiśniewski 2016, Laks, Lewandowska 2017, Napierała i in. 2018, Laks, Walczak 2020) lub ewentualnie grup polderów w skali regionalnej (Hudak i in. 2018a, Golik i in. 2019). W każdym powyższym przypadku pomijana jest różnorodność form polderowych w Polsce.

Kompleksowe ujęcie tematu polderów sporadycznie znajduje swoje odzwierciedlenie w literaturze. Należy tu wskazać prace Kowalika (1991) oraz Klugewicza (1992), ostatnie kompleksowe analizy gospodarki polderowej w Polsce, które opublikowane zostały pod koniec XX wieku i nie uwzględniają aktualnego stanu wiedzy. Ponadto mimo uwzględnienia polderów z różnych części Polski wskazane publikacje pomijają istotne aspekty gospodarki polderowej, takie jak uwarunkowania formalno-prawne tworzenia i funkcjonowania polderów lub stosując znaczące uproszczenia, np. traktując polder jako przepompownię lub sztuczne zbiorniki retencyjne (Stepnowski 1963, Wołoszyn 1964, Dębski 1978).

Różnorodność publikacji, zarówno w zakresie przestrzennym, czasowym jak i problemowym, podkreśla dodatkowo konieczność usystematyzowania wiedzy w zakresie gospodarki polderowej w Polsce. Niektórzy polscy badacze wskazują na potrzebę szerszego rozeznania kwestii związanych z polderami, zarówno w odniesieniu do sposobu ich ustanawiania, funkcjonowania, jak i skutecznego zarządzania (Klugewicz 1992). Wynika to z faktu, iż poldery początkowo tworzone były dowolnie, bez zasad i wymogów formalnych, a dopiero w dalszej kolejności zajęto się systematyzacją wiedzy na ich temat. Konieczność systematyzacji dotyczy nie tylko definicji polderu, ale także kryteriów ich klasyfikacji.

Klasyfikacja polderów

Próby klasyfikacji polderów podejmowane były już w pierwszych publikacjach dotyczących gospodarki polderowej zarówno w Polsce (Wołoszyn 1964, Cebulak 1976, Klugewicz 1992) jak i na świecie (De Jong, Wiggers 1982). Z uwagi jednak na wskazywane wcześniej ograniczenia, przede wszystkim nieuwzględnienie wszystkich polderów w skali kraju, klasyfikacje te były niepełne lub nieaktualne z uwagi na czas publikacji. W dotychczas publikowanych opracowaniach dostrzegano potrzebę klasyfikacji, jednak same klasyfikacje ograniczały się często do pojedynczych kryteriów.

Zakaszewski (1964) podzielił obszary dolinne na zawałach rzek na poldery letnie (zapewniające zabezpieczenie przed zalewaniem w okresie wegetacyjnym, tj. w okresie letnim, a poza nim dopuszczone jest zalewanie, przy czym wykluczona jest możliwość zabudowy) oraz poldery zimowe (chroniące obszary depresyjne w ciągu całego roku, zatem nie istnieją ograniczenia w zakresie zabudowy).

Cebulak (1966) wyróżnił obszary depresyjne całkowicie pozbawione grawitacyjnego odpływu (obszary położone w depresji bezwzględnej, obszary przydepresyjne, których system odwadniający łączy się z systemem obszaru depresyjnego oraz obszary przy sztucznych zbiornikach wody położone w depresji względnej) oraz obszary przydepresyjne czasowo pozbawione grawitacyjnego odpływu (obszary położone w obrębie dolin rzecznych i sąsiedztwie jezior, obszary płaskie lub przyjeziorne, zdrenowane, przydepresyjne).

Wyróżnia się także poldery rzeczne, nizinne i przymorskie (Klugewicz 1992). Poldery rzeczne i nizinne nazywa się dodatkowo zalewiskowymi. Poldery rzeczne buduje się w miejscach zalewowych rzek dla regulowania okresu zatopienia i ochrony terasy zalewowej podczas wezbrania. Poldery nizinne budowane są w ujściowych i deltowych odcinkach rzek wpadających do mórz i zalewów oraz w sąsiedztwie obszarów przymorskich i zbiorników nizinnych. Odróżniają się one od polderów rzecznych dynamiką wahań zwierciadła wody w odbiorniku, elementami konstrukcyjnymi i reżimem pracy przepompowni. Poldery przymorskie budowane są wzdłuż brzegów mórz, zalewów i w ujściowych odcinkach rzek, gdzie wahania zwierciadła wody wywoływane są przyptykami i odpływami morza (w estuariach).

Inne kryteria w klasyfikacji polderów stosuje Muotiala (1972). Autor ten wyróżnia poldery niskie, nie mające nigdy swobodnego (grawitacyjnego) odpływu oraz poldery nizinne, które są tylko okresowo depresyjne. Dodatkowo wyróżnia poldery odciążające (rencyjne), a także morskie, jeziorne i rzeczne.

Klugewicz (1992) w przeglądzie istniejących w ostatniej dekadzie XX wieku klasyfikacji wyróżnił

poldery zatapiane (obejmujące poldery letnie i inundacyjne) i poldery niezatapiane (obejmujące poldery zimowe, morskie i nadmorskie), opierając swą klasyfikację na fakcie, iż właśnie od powyższego zależy konstrukcja polderu, a w dalszej kolejności także jego funkcja i zagospodarowanie.

Mnogość sformułowanych dotychczas klasyfikacji związana jest ze swobodnym, subiektywnym doborem kryteriów i skupieniem uwagi jedynie na części polderów występujących w Polsce. Przeprowadzony przegląd różnych klasyfikacji polderów i terenów depresyjnych wskazuje, iż poldery dzielone mogą być według stopnia ochrony obszaru przed wodami zewnętrznymi, głębokości depresji, charakteru odpływu wody do sąsiednich polderów lub odbiorników, sposobu zagospodarowania i pełnionych funkcji w ochronie przeciwpowodziowej. Tak więc te same poldery mogą niekiedy pełnić kilka funkcji, zatem będą także wchodzić kilkakrotnie do różnych klasyfikacji. W tym opracowaniu podjęto próbę klasyfikacji polderów w Polsce z uwagi na cztery główne kryteria, które są najczęściej omawiane w literaturze przedmiotu:

1. rodzaj zalewu – w zależności od możliwości stałego lub okresowego zalania polderu wyróżniono poldery:
 - a) zatapiane okresowo (letnie, przepływowe) – umożliwiające okresowe zalanie polderu w celu zagwarantowania ochrony przeciwpowodziowej z ograniczoną możliwością pełnego zagospodarowania,
 - b) zatapiane całorocznie (zimowe, stałe) – ochraniające przed zalewami całorocznymi, umożliwiające stałe, intensywne zagospodarowanie i wykorzystanie terenu,
2. rodzaj funkcji – w zależności od sposobu zagospodarowania oraz wykorzystania wyróżniono poldery:
 - a) przeciwpowodziowe – umożliwiające retencję wód wezbraniowych w trakcie powodzi służące ochronie terenów sąsiadujących przed skutkami powodzi,
 - b) rolnicze – poddawane intensywnej produkcji rolnej; z uwagi na fakt, że zdecydowana większość (86%) polderów w Polsce stanowi grunty orne; można przyjąć, że aby polder został sklasyfikowany jako rolniczy, udział gruntów rolnych musi wynosić co najmniej 25%,
 - c) ekologiczne (w obrębie rezerwatów przyrody, obszarów chronionego krajobrazu i użytków ekologicznych) – ochraniające przyrodę lub krajobraz, w tym georóżnorodność i bioróżnorodność charakterystyczne dla form polderowych,
 - d) wielofunkcyjne – łączące co najmniej dwie z wyżej wymienionych funkcji,
3. morfometria – w zależności od powierzchni oraz objętości wyróżniono poldery:

- a) bardzo małe – o powierzchni mniejszej niż 550 ha oraz objętości nie przekraczającej 1 200 tys. m³;
 - b) małe – o powierzchni w zakresie od 550 ha do 1800 ha oraz objętości w zakresie od 1201 do 4 000 tys. m³;
 - c) średnie – o powierzchni w zakresie od 1801 ha do 5500 ha oraz objętości w zakresie od 4 001 do 12 000 tys. m³;
 - d) duże – o powierzchni w zakresie od 5501 ha do 15 000 ha oraz objętości w zakresie od 12 001 do 40 000 tys. m³;
 - e) bardzo duże – o powierzchni większej niż 15 000 ha oraz objętości większej niż 40 000 tys. m³;
4. rodzaj statusu – w zależności od poziomu sformalizowania polderów (ujęcie w dokumentach planistycznych, istnienie decyzji środowiskowych, zgód czy pozwoleń wodnoprawnych, ujęcie w bazach danych właściwych jednostek) wyróżniono poldery:
- a) sformalizowane – których ustanowienie oparte jest o decyzję administracyjną bądź uwzględnienie w dokumentach planistycznych właściwych dla regionu lub dla których zostały wydane pozwolenia lub zgody wodnoprawne na towarzyszące urządzenia hydrotechniczne lub dla których prowadzony jest rejestr podejmowanych działań w ramach zadań PGW Wody Polskie,
 - b) niesformalizowane – dla których brak jest decyzji administracyjnych i które nie zostały uwzględnione w dokumentach planistycznych, a które odpowiadają definicji polderu,
 - c) zwyczajowe – które stanowią suchy lub mokry zbiornik retencyjny, a które nie spełniają kryteriów 1) i 2), choć ich funkcjonowanie jest zbieżne z funkcjonowaniem polderu.

Gospodarka polderowa

Gospodarka polderowa nie jest terminem powszechnie używanym i jej ewentualne odniesienie dotyczy utrzymania pożądanego stanu stosunków wodnych na obszarze występowania polderu (Liziński 2007). Takie rozumienie powyższego terminu nawiązuje bardziej do polderowej gospodarki wodnej i ogranicza się do wąskiego zakresu funkcjonowania polderów. Z uwagi na fakt, iż poldery są aktualnie wykorzystywane m.in. do zarządzania ryzykiem powodziowym, odpowiednie byłoby zastosowanie pojęcia gospodarki polderowej jako ogółu działań związanych z ustanawianiem, funkcjonowaniem i zarządzaniem polderami. Takie podejście do powyższego zagadnienia obejmuje zarówno polderową

gospodarkę wodną (Liziński 2007), polderową gospodarkę rolną, a także ogół działań administracyjnych umożliwiających formalne i praktyczne zarządzanie terenami polderowymi w skali kraju. Warto dodać, że oprócz roli jaką pełnią poldery w nawadnianiu obszarów rolnych, są one też wykorzystywane w gospodarce rybackiej.

Aktualnie gospodarka polderowa jest zagadnieniem nieusystematyzowanym w zakresie teoretycznym jak i praktycznym. Z uwagi na wielofunkcyjność polderów, jednostki administracji publicznej z różnych gałęzi specjalizacji traktują poldery w różny sposób, często wykluczając możliwość potraktowania ich wielorako.

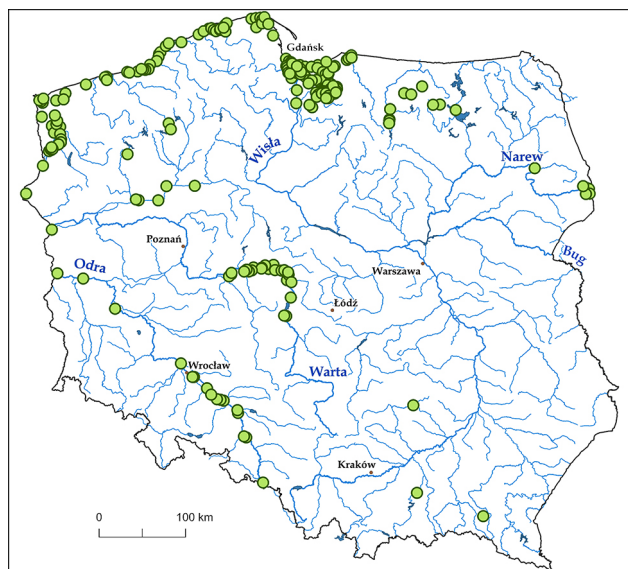
Ponadto z nieścisłościami definicyjnymi i klasyfikacyjnymi wiąże się także problem właściwości jednostek administracji publicznej do zarządzania polderami. Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie zarządza polderami służącymi wyłącznie ochronie przeciwpowodziowej i tylko te poldery uwzględnione są w bazach danych nadzorowanych przez te jednostki. Poldery służące intensyfikacji produkcji rolnej nie są w żaden sposób uwzględniane w tych bazach, mimo że ich funkcjonowanie opiera się na tych samych zasadach (dotyczy to także polderów wielofunkcyjnych, w których przeważa funkcja rolna). Powyższe prowadzi do braku zarządzania polderami i niewykorzystania ich potencjału. Konieczne jest usystematyzowanie wiedzy i objęcie polderów wspólną bazą danych.

Na podstawie przeprowadzonych badań ustalono, że w Polsce, zgodnie z danymi na dzień 18 grudnia 2022 r. zlokalizowane są 244 poldery, zajmujące łączną powierzchnię 257 224,7 ha. Dokonano ich charakterystyki w zakresie rozkładu przestrzennego, morfometrii i zdolności retencyjnej, zagospodarowania i struktury własności, a także ochrony poszczególnych komponentów środowiska.

Lokalizacja polderów

Poldery w Polsce zlokalizowane są w dorzeczach Wisły, Odry, Pregoty oraz rzek Przymorza (ryc. 1). Analiza danych odnoszących się do lokalizacji polderów wskazała na istotne różnice, występujące w odniesieniu do polderów zlokalizowanych w różnych częściach kraju. Z uwagi na rozkład przestrzenny dokonano charakterystyki polderów zlokalizowanych w poszczególnych regionach.

Najintensywniej spolderyzowanym regionem w Polsce są Żuławy, w granicach których zlokalizowane są 104 poldery, zajmujące łączną powierzchnię 127 848,9 ha (ryc. 2), co stanowi niemal 50% całkowitej powierzchni terenów polderowych w Polsce. Poldery zlokalizowane na terenie Żuław, spośród wszystkich polderów w Polsce, zostały również w najszybszy sposób scharakteryzowane w litera-

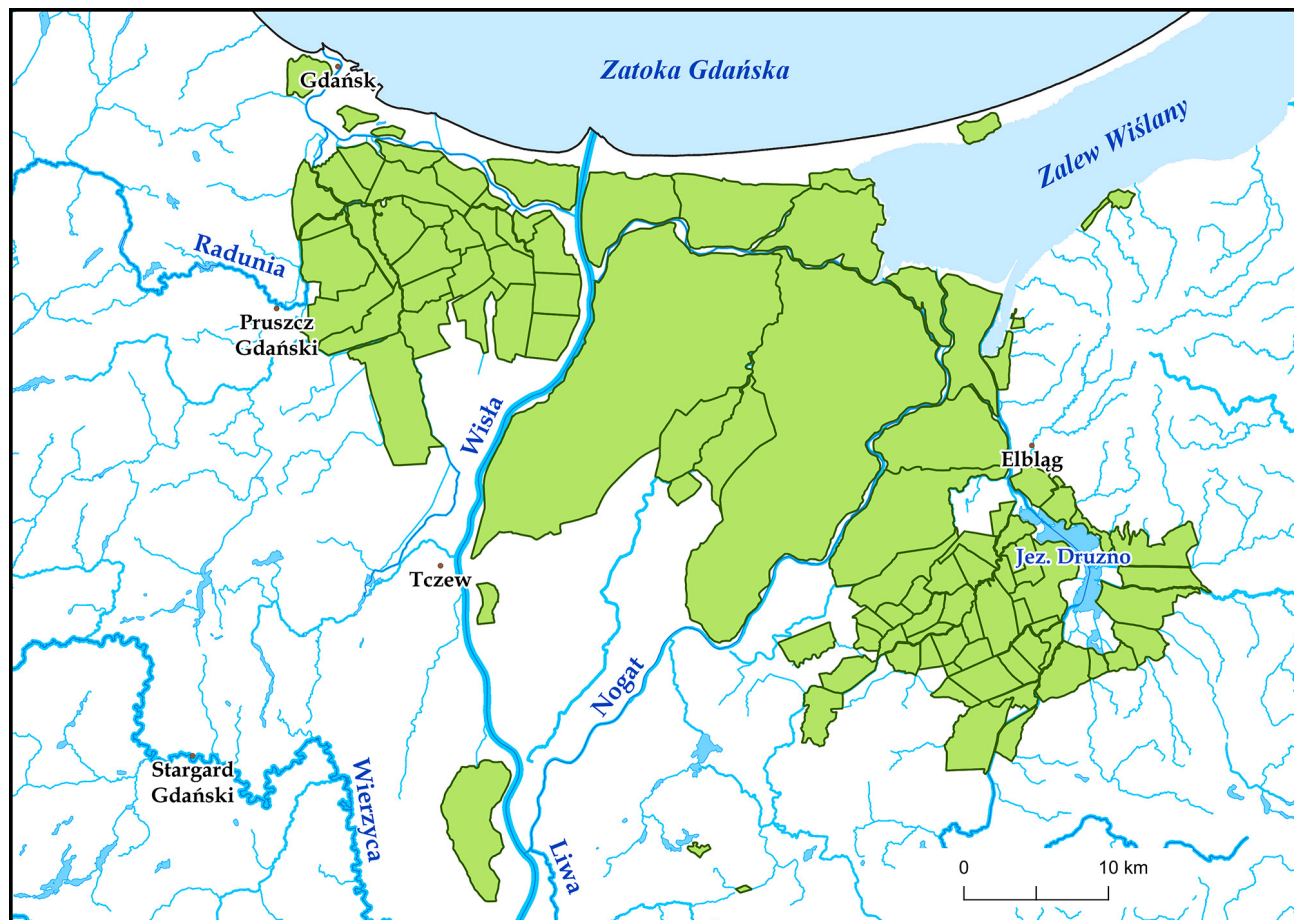


Ryc. 1. Lokalizacja polderów w Polsce
 Fig. 1. Location of polders in Poland

turze i stanowią częsty przedmiot badań (Cebulak 1976, Cyberski, Mikulski 1976, Kowalczyk 1986a, b, Klugewicz 1992, Kowalik 2001, Cebulak 2013). Charakteryzują się one zwartą strukturą przestrzenną

– liczne poldery zlokalizowane są w swoim bezpośrednim sąsiedztwie, oddzielone wąskimi kanałami i rowami melioracyjnymi, umożliwiającymi kontrolowanie przepływu wód. Poldery na terenie Żuław zarządzane są bezpośrednio przez właściwe Nadzory Wodne, działające przy Zarządach Zlewni PGW Wody Polskie. Dla polderów Żuławskich utworzona została ewidencja, w której określono powierzchnie polderów, powierzchnię odwadnianą, a także liczbę oraz wydajność przepompowni.

Poza spolderyzowanymi terenami Żuław, na wybrzeżu Morza Bałtyckiego zlokalizowane są jeszcze 52 poldery o łącznej powierzchni 45 386,7 ha (ryc. 3). Położone są one najczęściej w bezpośrednim sąsiedztwie jezior przybrzeżnych oraz nad Zalewem Szczecińskim, tworząc wokół zbiorników systemu polderowe. Ich struktura przestrzenna jest luźna, natomiast stosunki wodne są bezpośrednio zależne od stanu wód Morza Bałtyckiego. Poldery Przymorza, za wyjątkiem trzech z nich, nie są uwzględnione w żadnej z dostępnych ewidencji prowadzonych przez jednostki administracji publicznej (lub informacja na ich temat nie została udostępniona), a określenie ich lokalizacji możliwe było przy wykorzystaniu mapy hydrograficznej Polski w skali 1:50 000.

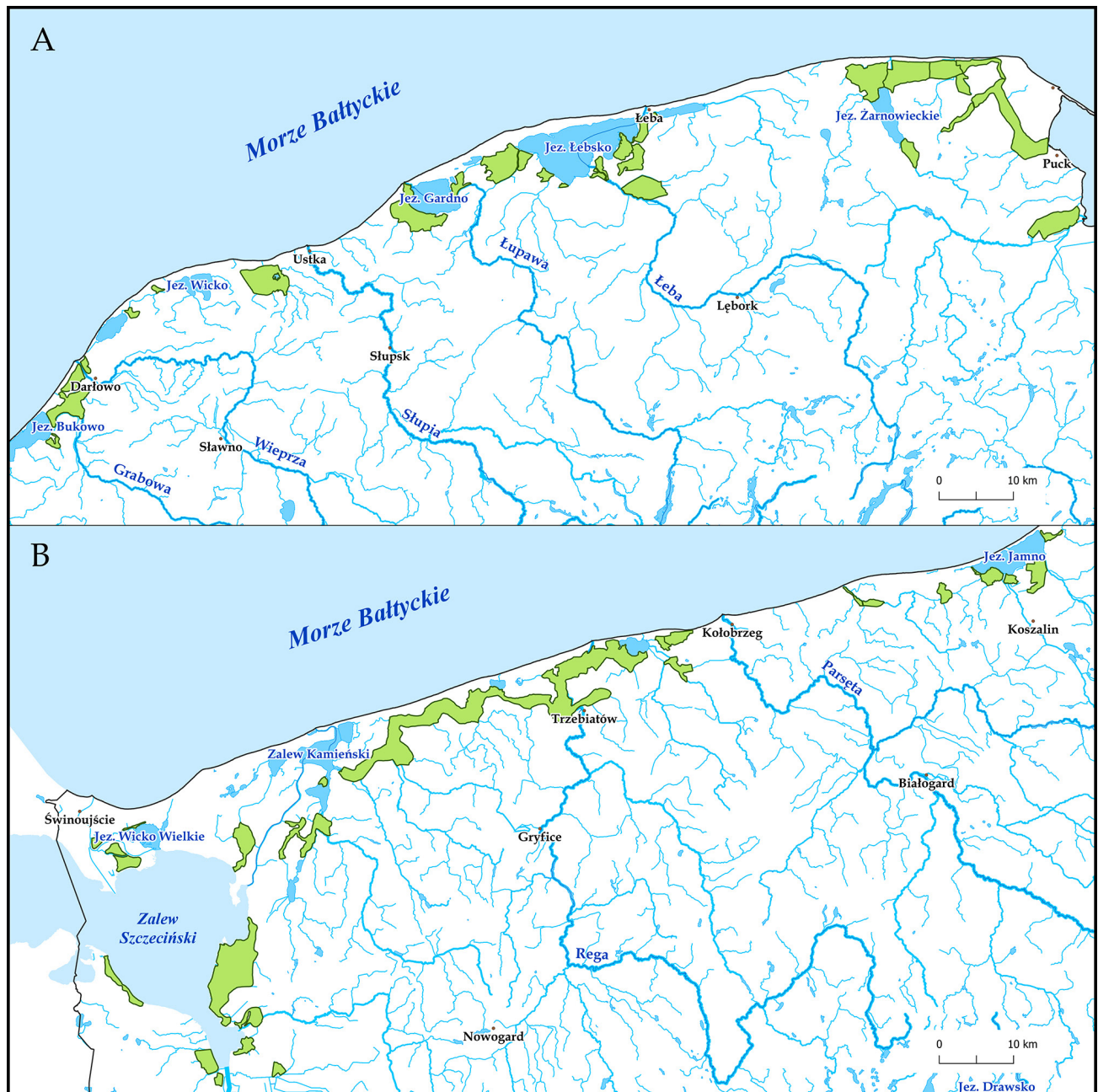


Ryc. 2. Rozkład przestrzenny polderów na terenie Żuław
 Fig. 2. Spatial distribution of polders in Żuławy

Dorzecze Odry jest najintensywniej spolderyzowanym dorzeczem w Polsce. W bezpośrednim sąsiedztwie głównej rzeki zlokalizowanych jest 31 polderów o łącznej powierzchni 26 959 ha. Poldery Odry zlokalizowane są na całej długości rzeki w znaczących odległościach od siebie (ryc. 4). Po II Wojnie Światowej wiele z nadodrzańskich polderów zostało intensywnie zabudowanych, co w istotny sposób wpłynęło na realne możliwości ich zagospodarowania (Hudak i in. 2018, Kołodziejczyk i in. 2019).

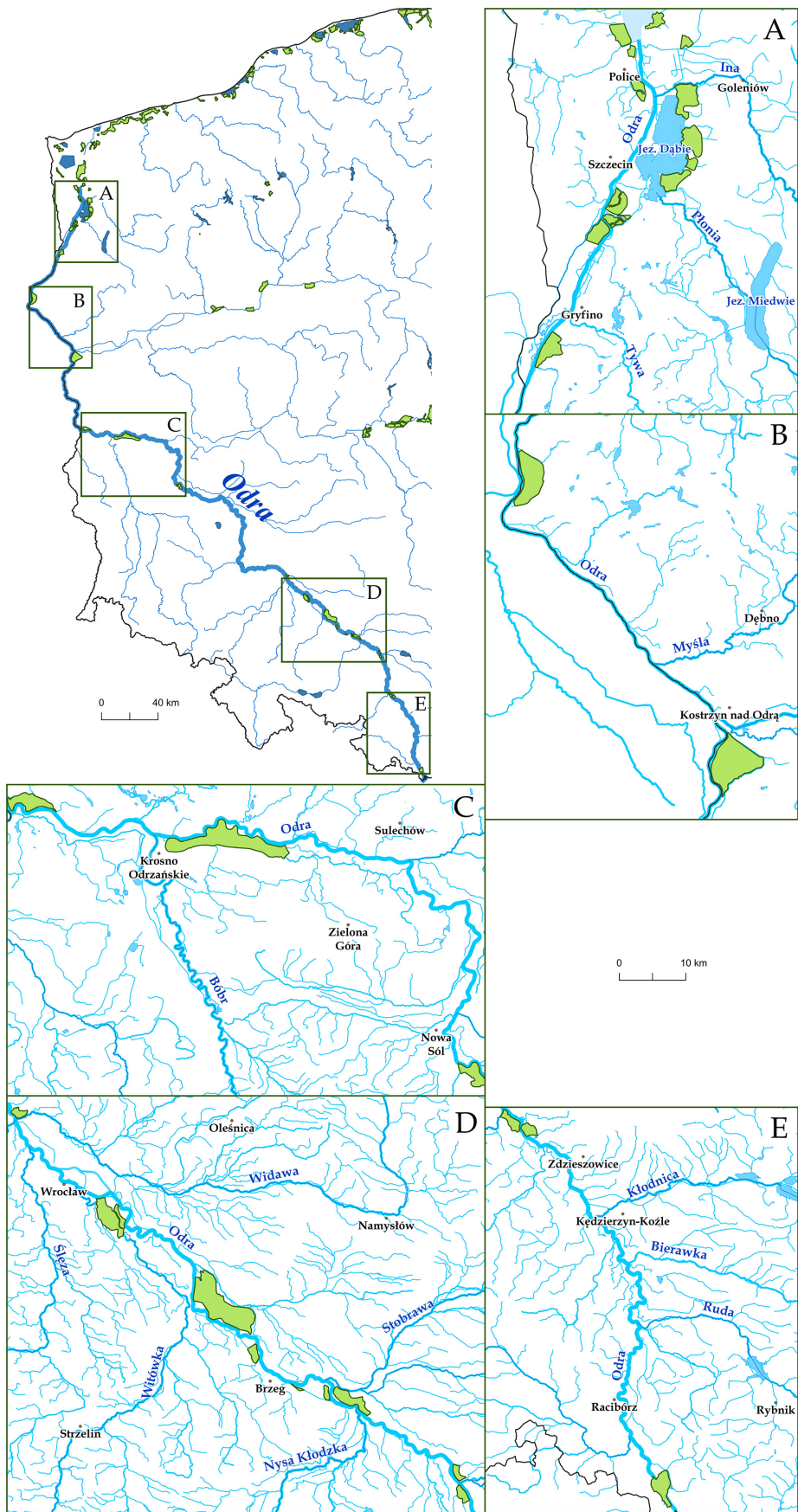
Również w dolinie Warty, drugiej największej rzeki dorzecza, zlokalizowane są poldery w łącznej liczbie 31. Zajmują one łączną powierzchnię ok. 46 274,9

ha, choć biorąc pod uwagę skomplikowaną strukturę własności gruntów oraz niejasne uwarunkowania formalno-prawne, precyzyjne ustalenie ich lokalizacji i powierzchni stanowią trudność. Wszystkie poldery zlokalizowane są pomiędzy Zbiornikiem Jeziorsko, a miejscowością Puzdry (ryc. 5), ich lokalizacja została określona przy wykorzystaniu mapy hydrograficznej. Prace nad zabudową doliny rozpoczęto w połowie ubiegłego wieku (Przybyła 2011; Kryszak i in. 2014), jednakże przez liczne konflikty społeczne oraz dalsze intensywne zagospodarowanie, ich efektywne wykorzystanie jest znacząco ograniczone (Laks 2017, Laks, Lewandowska 2017). Również poza samą doli-

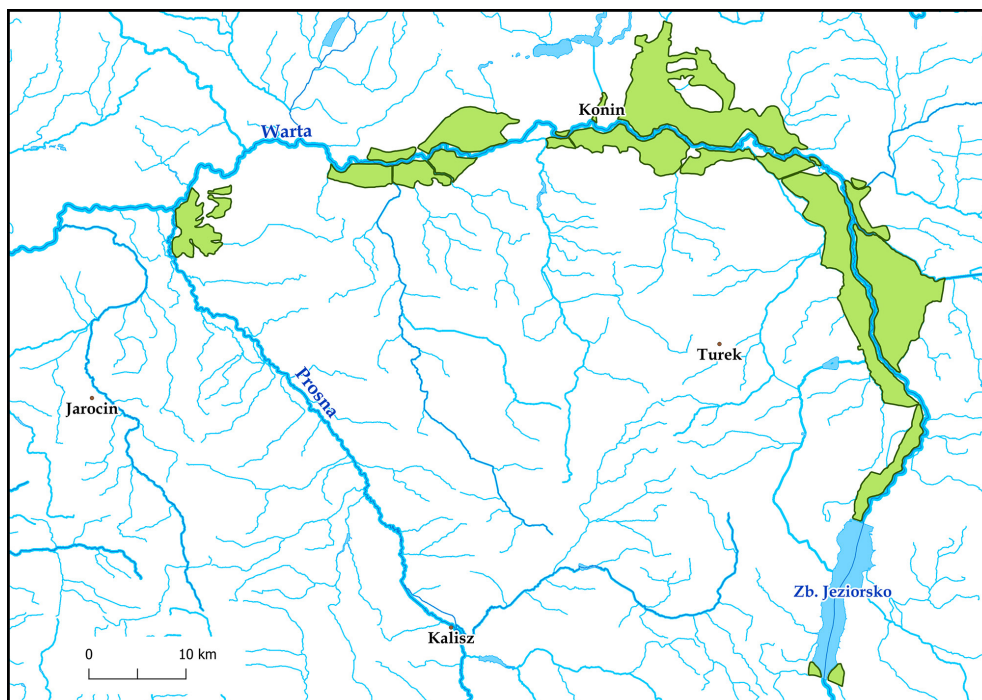


Ryc. 3. Rozkład przestrzenny polderów Przymorza (A – część wschodnia, B – część zachodnia)

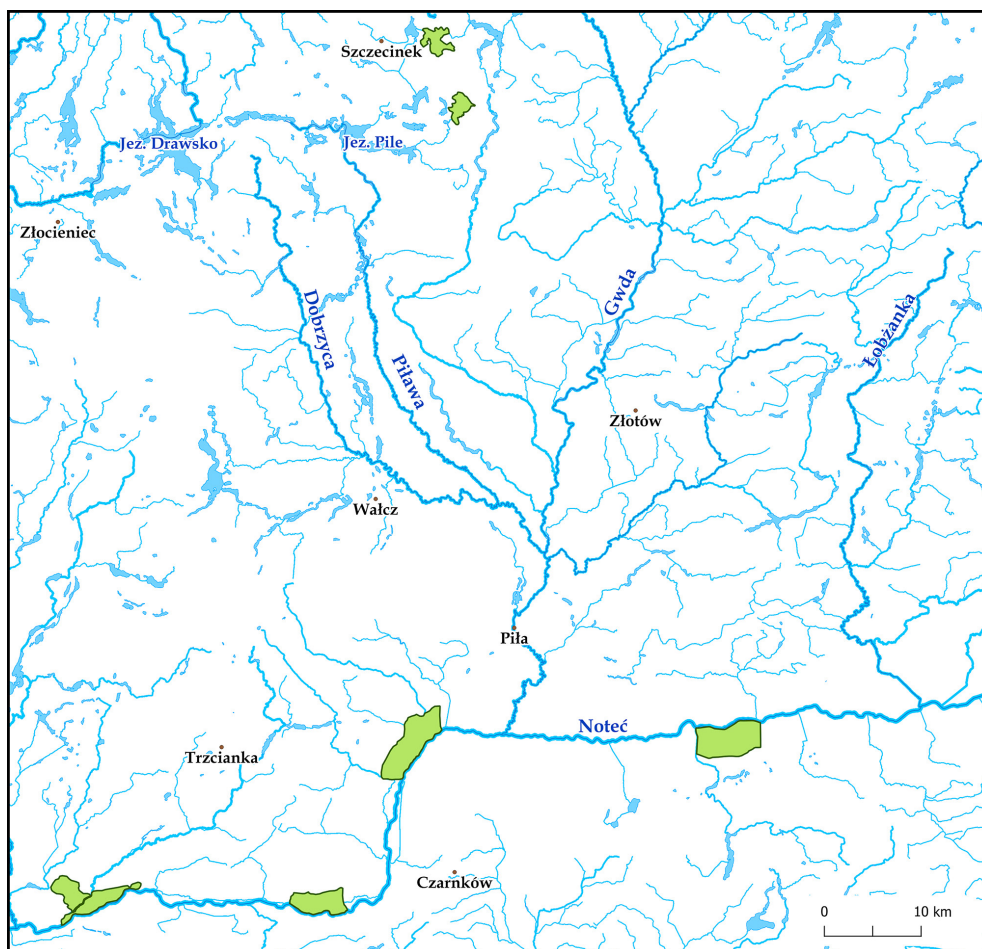
Fig. 3. Spatial distribution of polders of Seashore (A – east side, B – west side)



Ryc. 4. Rozkład przestrzenny polderów w dolinie Odry
Fig. 4. Spatial distribution of polders in Odra river valley



Ryc. 5. Rozkład przestrzenny polderów w dolinie Warty
Fig. 5. Spatial distribution of polders in Warta river valley



Ryc. 6. Rozkład przestrzenny polderów w zlewni Noteci
Fig. 6. Spatial distribution of polders in Noteć catchment

na Warty zlokalizowane są poldery – znajdują się one nad Notecią (5 polderów), w dolinie Gwdy (2 poldery) oraz Drawy (ryc. 6)

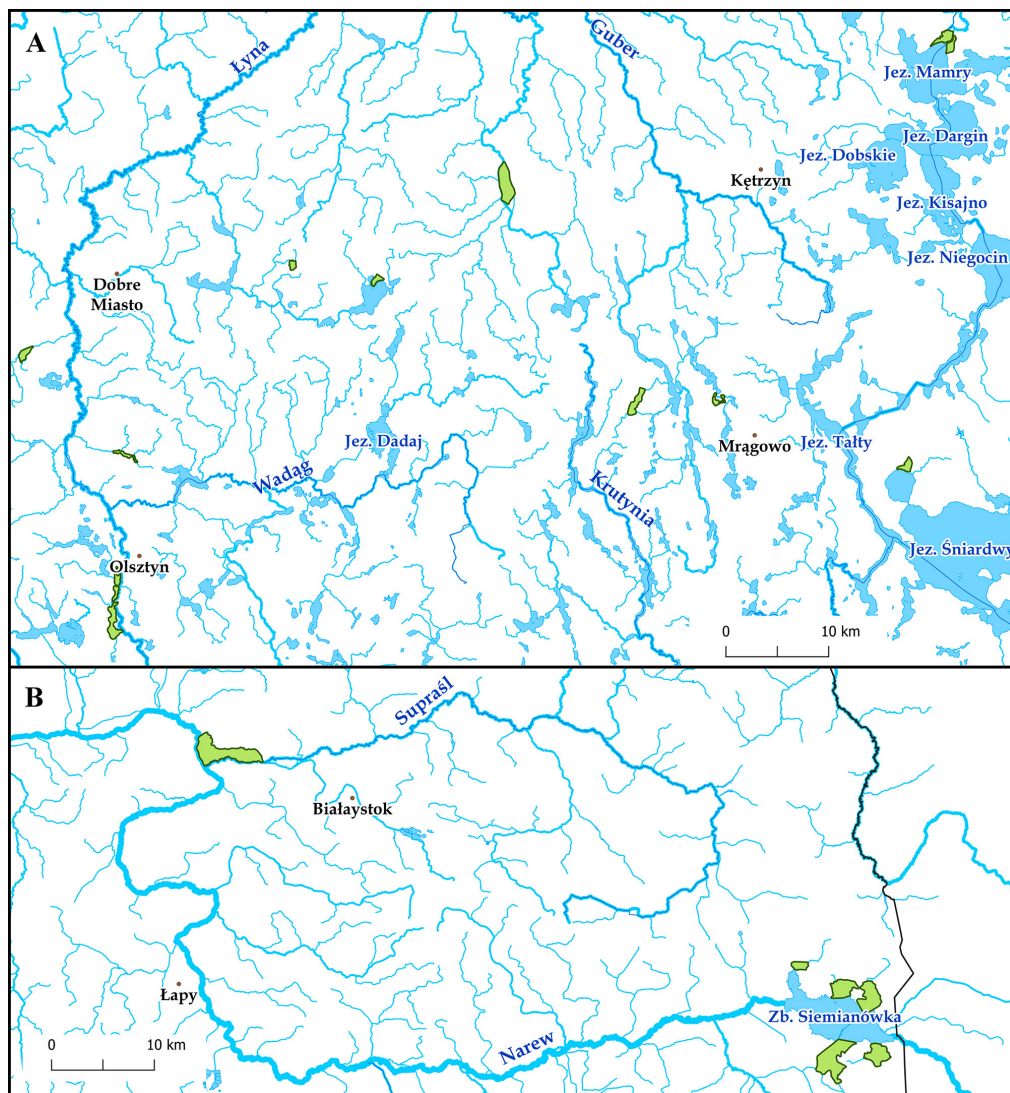
W dorzeczu Wisły znajduje się znacząco mniej polderów niż w pozostałej części kraju. Aktualnie w górnej oraz środkowej części dorzecza znajdują się dwa niewielkie poldery, jednakże w planie zarządzania ryzykiem powodziowym dla dorzecza Wisły uwzględniono szereg inwestycji strategicznych polegających na budowie nowych polderów zarówno wzdłuż brzegów Wisły jak i wzdłuż jej dopływów (m.in. Nidy, Sanu i Wieprza) (KZGW 2022). Nieco liczniej poldery występują w dolnej części dorzecza, w szczególności w dolinie rzeki Narwii, nad którą znajduje się 6 polderów o łącznej powierzchni 2 872,1 ha. Odrębnie scharakteryzowane zostały poldery zlokalizowane na Warmii i Mazurach. W tym regionie znajduje się ich 15 i zajmują łączną powierzchnię ok. 5 108,8 ha. Są to poldery o małej powierzchni, zloka-

lizowane w sąsiedztwie niewielkich cieków wodnych w zlewniach Łyny i Pisy (ryc. 7).

Poldery Warmii i Mazur zostały w większości zewidencjonowane w zasobach PGW Wody Polskie, a za ich zarządzanie odpowiedzialne są poszczególne Nadzory Wodne. W perspektywie do 2030 w regionie zaplanowano budowę 22 nowych polderów (ZMiUW Olsztyn 2016), jednakże powyższe nie znajduje swojego odzwierciedlenia w planach zarządzania ryzykiem powodziowym dla dorzecza Wisły.

Morfometria i zdolność retencyjna

Jedną z najważniejszych funkcji polderów jest możliwość retencjonowania wód podczas powodzi. Zdolność retencyjna polderów zależy ściśle od ich parametrów morfometrycznych. Dane morfometryczne dotyczące polderów gromadzone są częściowo przez poszczególne jednostki administracji



Ryc. 7. Rozkład przestrzenny polderów Warmii i Mazur (A) oraz doliny Narwi (B)

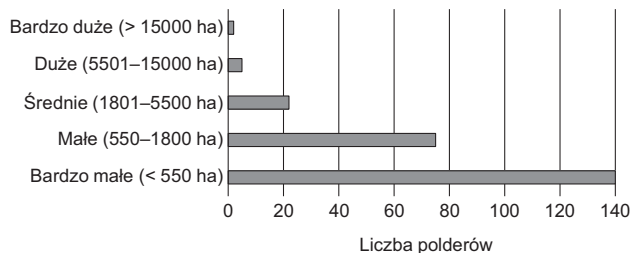
Fig. 7. Spatial distribution of polders in Warmia and Masuria (A) and Narew (B) river valley

publicznej PGW Wody Polskie, głównie w zakresie powierzchni, rzadziej w odniesieniu do ich objętości. Z uwagi na fakt, iż tylko dla części polderów uzyskano dokładne informacje na temat ich pojemności, dla pozostałych dokonano jej oszacowania przy wykorzystaniu cyfrowego modelu wysokościowego SRTM.

Na podstawie zgromadzonych danych na temat polderów istniejących w Polsce, przy wykorzystaniu metody naturalnego podziału Jenksa (1967) dokonano klasyfikacji ze względu na powierzchnię oraz objętość (zdolność) retencyjną (ryc. 8 i 9).

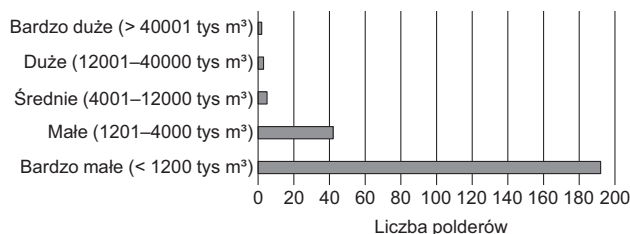
Poldery w Polsce zajmują łączną powierzchnię 257 224,7 ha, przy czym dominujące są poldery o małej i bardzo małej powierzchni, są to również obszary o stosunkowo małej głębokości, w związku z czym również ich objętość (a zarazem zdolność retencyjna) jest niska. Łączna objętość polderów wynosi 472,8 mln m³. Powyższe wskazuje, iż poldery w Polsce są obszarami płytkimi, o niskim stosunku głębokości do powierzchni. Jest to cecha charakterystyczna również dla polderów w innych częściach świata (Schultz 2008).

Określona zdolność retencyjna odniesiona została do wartości średniego rocznego odpływu wód z wielolecia (GCNP 2018). Oszacowano, iż usystematyzowanie zagadnień związanych z gospodarką polderową w Polsce, np. ustalenie warunków eksploatacji, wykup gruntów prywatnych ulokowanych na terenie



Ryc. 8. Charakterystyka morfometryczna polderów w Polsce – powierzchnia polderów; przedziały wyznaczone metodą naturalnego podziału (Jenks 1967)

Fig. 8. Morphometric characteristic of polders in Poland – area of polders; intervals determined by the natural breaks division method (Jenks 1967)



Ryc. 9. Charakterystyka morfometryczna polderów w Polsce – objętość polderów; przedziały wyznaczone metodą naturalnego podziału (Jenks 1967)

Fig. 9. Morphometric characteristic of polders in Poland – volume of polders; intervals determined by the natural breaks division method (Jenks 1967)

polderu czy modernizacja istniejących urządzeń hydrotechnicznych doprowadziłoby hipotetycznie do zwiększenia naturalnej retencji o 0,5%. Wskazuje się równocześnie, że warunki fizycznogeograficzne w Polsce stwarzają możliwość zmagazynowania 15% średniego rocznego odpływu (Informacja o gospodarowaniu wodami w Polsce w latach 2010–2011 oraz w latach 2012–2013 przedkładana Sejmowi przez ministra właściwego do spraw gospodarki wodnej na podstawie art. 4 ust. 2 Ustawy Prawo wodne). Z uwagi jednak na zróżnicowanie przestrzenne stopnia ryzyka i zagrożenia powodziowego na terenie kraju, a także zróżnicowanie w rozmieszczeniu polderów, potencjał retencyjny wód powodziowych powinien być analizowany w skali regionalnej, przy uwzględnieniu lokalnych warunków hydrologicznych oraz w odniesieniu do rzeczywistych sytuacji powodziowych występujących w przeszłości oraz prognozowanych do wystąpienia w nadchodzącym wieloleciu.

Prowadzone dotychczas badania Hudaka i in. (2018) oraz Golika i in. (2019) wskazują, iż przywrócenie funkcjonowania polderów, które eksploatowane były przed II Wojną Światową, a które z uwagi na brak norm formalno-prawnych, zniszczenia towarzyszących urządzeń hydrotechnicznych czy intensywne zagospodarowanie, nie są wykorzystywane zgodnie z pierwotnym przeznaczeniem, mogłoby prowadzić do istotnego zwiększenia zdolności retencyjnej i efektywniejszej ochrony przeciwpowodziowej określonych części dorzeczy. Wskazuje się również, iż usystematyzowanie zagadnień dotyczących funkcjonowania poszczególnych polderów mogłoby sprzyjać istotnemu obniżeniu ryzyka powodziowego (Wiśniewski 2016, Laks, Lewandowska 2017). Podkreśla się także, iż działania mające na celu odrestaurowanie istniejących polderów wiążą się ze znacząco niższymi kosztami niż inwestycje polegające na budowie nowych zbiorników retencyjnych czy obwałowań.

W wyniku przeprowadzonej analizy morfometrycznej nie stwierdzono istotnych różnic w zakresie powierzchni oraz objętości polderów pomiędzy poszczególnymi regionami. Dwa największe pod względem powierzchni poldery – Chłodniewo oraz Osłonka, zlokalizowane są na terenie Żuław, natomiast poldery o największej objętości to poldery Buków oraz Połupin-Szczawno zlokalizowane na Odrze.

Zagospodarowanie przestrzenne i struktura własności

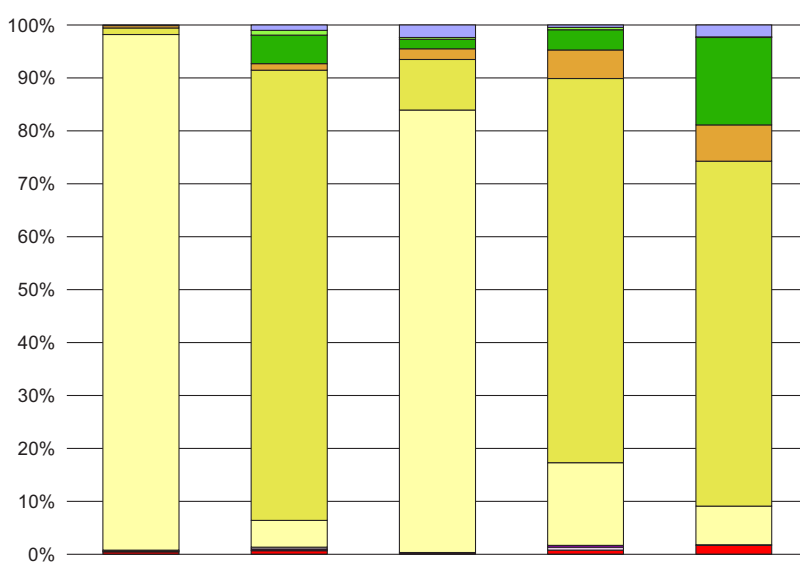
Historia polderów w Polsce wyraźnie wskazuje na tendencję do zmiany funkcjonalności na przestrzeni lat. Początkowo poldery tworzone były przede wszystkim w celu pozyskania żyznych gleb do celów rolniczych (Cyberski, Mikulski 1976), bez perspektywy zarządzania ryzykiem powodziowym z ich

wykorzystaniem (Cebulak 2010). Również aktualnie poldery w Polsce aż w 98,15% pokryte są terenami rolnymi. Znaczący udział terenów rolnych charakterystyczny jest dla polderów we wszystkich regionach Polski, przy czym w dorzeczu Wisły (przede wszystkim w dolinie Narwi) większy jest udział terenów leśnych. Na rycinie 10 przedstawiono charakterystykę zagospodarowania polderów w poszczególnych regionach Polski.

Znaczące różnice pomiędzy poszczególnymi regionami odnotowane są w zakresie poszczególnych typów terenów rolnych. Poldery żuławskie oraz poldery Przymorza zagospodarowane są w głównej mierze przez grunty orne, natomiast w pozostałych regionach przeważający jest udział łąk i pastwisk. Z uwagi na bliskość rzek na terenach polderowych przeważają mady rzeczne wytworzone z piasków, glin, pyłów i ilów, znaczący jest także udział gleb brunatnych właściwych i wylugowanych wytworzonych z pisaków gliniastych, glin, wytworów wodnego pochodzenia i ilów (Uggla 1979). Analiza jakości gleb

terenów polderowych w odniesieniu do jakości gleb Polski, nie wykazała istotnych statystycznie różnic w tym zakresie. Stwierdzono jednak, że procentowy udział gleb I oraz II klasy bonitacyjnej jest większy w przypadku terenów polderowych (w porównaniu z gruntami ornymi w kraju).

Oprócz intensywnego zagospodarowania rolnego terenów polderowych, ich część stanowią także obszary antropogeniczne, stanowiące 0,86% całkowitej powierzchni polderów. Mimo iż udział terenów antropogenicznych w powierzchni całkowitej jest niewielki to ich obecność wpływa znacząco na możliwości efektywnego wykorzystania polderów w trakcie wezbrań (Hudak i in. 2019, Kołodziejczyk i in. 2019). Poszczególne poldery już na etapie ich projektowania przeznaczane są do funkcji mieszkaniowych i rekreacyjno-sportowych (jak np. polder Darłowo w powiecie sławieńskim) (SUiKZP gminy Darłowo). Przywrócenie polderów do pierwotnego użytkowania, tj. ograniczenia ich zabudowy na rzecz kultury gruntów ornyczych czy pastwisk i łąk, w istotny sposób



Powierzchnia [ha]	Żuławy	Przymorze	Warmia i Mazury	Dorzecze Odry	Dorzecze Wisły
■ Zabudowa miejska	8771,8	778,0	15,0	1405,4	60,6
■ Tereny przemysłowe, handlowe i komunikacyjne	4134,3	161,6	0,0	861,7	5,2
■ Kopalnie, wyrobiska i budowy	1986,1	186,9	11,2	627,8	0,0
■ Miejskie tereny zielone i wypoczynkowe	754,1	302,3	0,0	56,0	0,0
■ Grunty orne	1988573,3	5570,7	5610,7	26566,3	256,7
■ Łąki i pastwiska	26104,9	91923,1	637,4	123313,8	2297,4
■ Obszary upraw mieszanych	8425,9	1348,0	138,5	9282,5	239,6
■ Lasy	2297,0	5881,7	118,9	6374,3	582,1
■ Zespoły roślinności drzewiastej i krzewiastej	369,3	919,5	24,5	889,0	6,3
■ Śródlądowe obszary podmokłe	372,8	1147,2	161,2	756,6	79,0

Ryc. 10. Typy użytkowania ziemi na obszarze polderów w poszczególnych regionach Polski na podstawie bazy Corine Land Cover 2018 poziomu 2

Fig. 10. Types of land use of polders in regions of Poland based on Corine Land Cover 2018 level 2

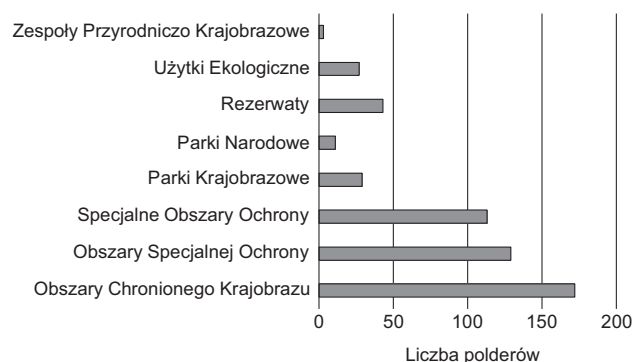
mogłoby przyczynić się do redukcji ryzyka powodziowego w regionie (Golik i in. 2019).

Nie bez znaczenia w kontekście efektywności wykorzystania polderów jest także struktura własności gruntów. Jej szczegółowe określenie dla wszystkich polderów, z uwagi na znaczną powierzchnię oraz dostępność danych było niemożliwe. Na podstawie danych pozyskanych dla części polderów z dostępnych źródeł ewidencyjnych, w tym udostępnionych przez jednostki administracji publicznej, oszacowano, iż nawet do 75% powierzchni terenów polderowych mogą stanowić nieruchomości prywatne lub będące we władaniu osób prywatnych. Powyższe znacząco ogranicza możliwość efektywnego wykorzystania polderów w trakcie powodzi, ponieważ podejmowanie działań na terenach prywatnych w celach publicznych, do których należy mitygacja ryzyka powodziowego jest skomplikowane i prowadzi do licznych konfliktów społecznych (Warachowska i in. 2023).

Ochrona przyrody

Oprócz dwóch podstawowych funkcji, tj. ochrony przeciwpowodziowej oraz intensyfikacji produkcji rolnej poszczególne poldery przyczyniają się również do ochrony georóżnorodności i bioróżnorodności, stanowiąc naturalne lub prawne formy ochrony przyrody. Aż 205 polderów zlokalizowanych jest w części lub w całości w zasięgu co najmniej jednego obszaru objętego ochroną (ryc. 11).

Poszczególne poldery zostały także ustanowione jako formy ochrony, których celem jest ochrona krajobrazu oraz ekosystemów charakterystycznych dla terenów polderowych. Przykładami takich form ochrony są: polder Cedyński (rezerwat przyrody Bielinek w powiecie gryfińskim), polder Osieki (rezerwat przyrody „Łazy” w powiecie koszalińskim) oraz polder Sątopy-Samulewo (rezerwat przyrody Sątopy-Samulewo w powiecie bartoszyckim). Należy także wskazać, że wiele z funkcjonujących polderów, mimo braku formalnego uregulowania, stanowi te-



Ryc. 11. Liczba polderów zlokalizowanych na obszarach chronionych

Fig. 11. Number of polders located in protected areas

ren ochrony georóżnorodności i bioróżnorodności, poprzez naturalną formę zalewową.

Wielofunkcyjność

Jak wskazano wcześniej, poldery na terenie kraju pełnią zwykle więcej niż jedną funkcję, łącząc możliwości retencji wód w trakcie powodzi oraz rolne wykorzystanie terenów polderowych poza okresem wezbrań. Poldery mogą także pełnić funkcje form ochrony przyrody, krajobrazu czy georóżnorodności i bioróżnorodności, przy jednoczesnym utrzymaniu funkcji ochrony przeciwpowodziowej. Przestrzeń polderów wzbogacana jest także przez zasoby kultury materialnej tj. budowle wodne, wiatraki, mosty czy zabudowę wiejską i zagrodową.

Realizując cele zrównoważonej gospodarki rolnej obszary wiejskie na terenach polderowych mają charakter przestrzeni wielofunkcyjnych, gdzie obok produkcji rolniczej rozwija się także przetwórstwo rolne oraz inne gałęzie przemysłu nieuciążliwe dla środowiska, a także usługi związane ze sprzedażą produktów gospodarki rolnej oraz zaopatrzeniem lokalnych społeczności (Liziński 2000). Funkcjonowanie terenów polderowych związane jest również z działalnością turystyczną, agroturystyczną i edukacją ekologiczną, a także rozwojem usług sportowo-rekreacyjnych, w szczególności odnoszących się do sportów sezonowych (Liziński 2007).

Podkreślić należy, że retencja wód w polderach jest istotna nie tylko ze względu o ochronę przeciwpowodziową czy intensyfikację produkcji rolnej, ale także ze względu na konieczność utrzymania zasobów wód w Polsce dla zaspokojenia potrzeb obywateli oraz dla poprawnego funkcjonowania gospodarki (Mioduszeński 2004).

Aktualnie eksploatowane w Polsce poldery są również zagospodarowywane przez tereny mieszkaniowe oraz przemysłowe, co aktualnie ogranicza możliwość ich eksploatacji, jednakże przy odpowiednim projektowaniu infrastruktury terenów polderowych może być sposobem na ich efektywne wykorzystanie (Schuetze, Chelleri 2011).

Wyzwania gospodarki polderowej

Poldery jako wielofunkcyjna forma retencji przeciwpowodziowej posiadają istotny potencjał w kontekście zarządzania ryzykiem powodziowym przy jednoczesnej intensyfikacji produkcji rolnej oraz możliwości ochrony charakterystycznego dla tej formy krajobrazu i ekosystemów. Aktualnie efektywne wykorzystanie polderów w zakresie poszczególnych funkcji jest jednak istotnie ograniczone z uwagi na szereg czynników omówionych w tej części artykułu.

Uwarunkowania formalno-prawne

Trudności w efektywnym wykorzystaniu polderów związane są przede wszystkim z podstawami formalnymi ich ustanawiania oraz funkcjonowania. Problemów tych należy upatrywać przede wszystkim w braku spójnej i jednoznacznej definicji. Wielokrotnie wskazywano, że poldery stanowią wielofunkcyjną formę ochrony przeciwpowodziowej, która może pełnić jednocześnie więcej niż jedną funkcję. Dotychczas sformułowana w prawie wodnym definicja polderu odnosi się natomiast wyłącznie do polderów przeciwpowodziowych, pomijając lub nawet wykluczając wielofunkcyjne zagospodarowanie terenów polderowych. Zawężenie definicji polderów w prawie wodnym prowadzi do szeregu komplikacji:

1. poldery wielofunkcyjne, w których zagospodarowaniu przeważa funkcja rolnicza, nie są wykorzystywane w trakcie powodzi, mimo istotnej zdolności retencyjnej oraz technicznych możliwości retencji,
2. w wielu analizowanych przypadkach, wielofunkcyjność polderu wyklucza jego ujęcie w rejestrach podmiotów odpowiedzialnych za zarządzanie ryzykiem powodziowym, natomiast podmioty realizujące działania w zakresie gospodarki rolnej, nie prowadzą żadnej odpowiedniej ewidencji, która uwzględniałaby potencjał retencyjny polderów,
3. wykluczenie polderów wykorzystywanych rolniczo prowadzi do sporów sądowych związanych z kompensacją strat wywołanych zalaniem polderów w trakcie wezbrań; poldery, z uwagi na swoje naturalne ukształtowanie oraz lokalizację, wykorzystywane są do retencjonowania wód w trakcie powodzi, natomiast kompensacja strat powodziowych jest niemożliwa z uwagi na fakt, iż poldery wykorzystane rolniczo, nie są klasyfikowane jako poldery przeciwpowodziowe (mimo potencjalnej możliwości retencjonowania wód oraz faktycznego wykorzystania polderów w trakcie powodzi),
4. zdolność retencyjna polderów nie zostaje w pełni wykorzystana z uwagi na brak organów odpowiedzialnych za funkcjonowanie wielofunkcyjnych polderów (decyzja o zalaniu polderów nie zostaje podjęta na czas, przez co nie dochodzi do spłaszczenia kulminacji fali powodziowej).

Nieostrość definicyjna prowadzi także do dużej swobody w interpretacji i pozostawia dowolność w sposobie ustanawiania polderów, usankcjonowania ich funkcjonowania czy sposobie zarządzania. Aktualnie nie istnieją jednoznaczne formalne przesłanki pozwalające dokonać kwalifikacji polderu, natomiast mnogość możliwości sformalizowania ustanawiania i funkcjonowania polderów komplikuje zarządzanie i ogranicza wykorzystanie ich potencjału. Konieczność przeprowadzenia zmian legislacyjnych w celu pełnego wykorzystania potencjału polderów wskazy-

wana jest także bezpośrednio przez jednostki administracji publicznej, w tym PGW Wody Polskie (Pawlaczyk 2020).

Zagospodarowanie terenu

Brak formalnych podstaw funkcjonowania wielu polderów w Polsce prowadzi do utrudnionego zarządzania polderami w trakcie powodzi oraz utrudnionego nadzoru nad zagospodarowaniem terenów polderowych pomiędzy wezbrańcami. Poldery oprócz retencji wód powodziowych oraz intensyfikacji produkcji rolnej mogą służyć także osadnictwu oraz rozwojowi przemysłu. Udział uzupełniających funkcji polderów powinien być jednak stosunkowo niewielki, aby możliwe było retencjonowanie wód powodziowych w trakcie wezbrań jeśli warunki przyrodnicze zmuszą do takich decyzji. Realizacja funkcji uzupełniających możliwa jest jedynie przy zastosowaniu odpowiednich rozwiązań zapewniających ochronę istniejącej zabudowy mieszkaniowej i przemysłowej oraz kontroli przepływu wód na terenie polderu.

Z uwagi na brak odpowiednich rozwiązań organizacyjnych i formalnych wiele z istniejących polderów uległo intensywnemu zagospodarowaniu, uniemożliwiającemu w dalszej konsekwencji retencyjne wykorzystanie polderów. Powyższe dotyczy przede wszystkim polderów na Pomorzu Zachodnim, gdzie antropogeniczne zagospodarowanie przekracza 50% całkowitej powierzchni (Kołodziejczyk i in. 2019), a także polderów doliny Warty, których lokalizacja została określona na podstawie mapy hydrograficznej (np. poldery Pocijowo czy sąsiadujący z nim od południa polder o nieustalonej nazwie). Problem zagospodarowania terenów polderowych dotyczy także sytuacji zgoła odwrotnej od powyższej. Część polderów eksploatowanych na terenie kraju, uwzględniona jest w miejscowych planach zagospodarowania przestrzennego, w których nałożony został zakaz zabudowy terenów polderowych lub zakaz rolniczego ich wykorzystania (np. w przypadku polderu Połupin-Szczawno w powiecie krośnieńskim oraz polderu Gryfińskiego w powiecie szczecińskim). Uniemożliwia to realizację pozostałych funkcji polderów.

Konflikty społeczne

Wskazane w artykule liczne wyzwania gospodarki polderowej prowadzić mogą bezpośrednio do powstawania i narastania konfliktów społecznych (Raška i in. 2022). Sytuacje konfliktowe związane z eksploatacją polderów pojawiały się dotychczas wielokrotnie. Poniżej przedstawiono wybrane trzy studia przypadku.

Polder Golina (województwo wielkopolskie) – jest zlokalizowany na prawym brzegu rzeki Warty pomiędzy kilometrem 385 a 398. Polder o powierzchni ok. 2 500 ha, wykonany w ramach projektu zabu-

dowy Doliny Konińsko-Pyzdrskiej, w celu ochrony terenów środkowego odcinka Warty (w tym miasta Poznań). Mimo podjęcia decyzji o wybudowaniu polderu Golina już w roku 1975, aż do roku 2020, kiedy wydana została decyzja o środowiskowych uwarunkowaniach przedsięwzięcia polegającego na budowie polderu Golina, nie zostały usystematyzowane kwestie formalno-prawne funkcjonowania polderu (przy czym do końca stycznia 2023 r. decyzja środowiskowa nie stała się prawomocna). Polder uległ zalaniu podczas dwóch dużych wezbrań – w roku 1997 oraz 2010. Z uwagi na nieusystematyzowanie stosunków formalnych, przede wszystkim dotyczących praw własności (wykupu gruntów od prywatnych właścicieli) oraz brak jasnych i spójnych zasad odnośnie kompensacji strat powodziowych, w przypadku obu wezbrań doszło do konfliktów społecznych. Lokalni mieszkańcy w celu ochrony własności prywatnej podjęli decyzje o umieszczeniu na dolnym oraz górnym przelewie worki z piaskiem w celu uniemożliwienia zalania polderu (Laks, Lewandowska 2017).

Poldery na terenie gminy Babice (województwo małopolskie) – w ramach projektu „program działań nietechnicznych i retencyjnych stanowiący element zarządzania ryzykiem powodziowym w regionach wodnych Małej Wisły i Górnej Wisły (zlewnia powyżej Krakowa), z uwzględnieniem ochrony przed powodzią miasta Krakowa” przewidziano realizację 10 polderów oraz 2 wielozadaniowych zbiorników retencyjnych, które zrealizowane mają zostać w latach 2021–2026. Na terenie gminy wiejskiej Babice zaplanowano wybudowanie trzech polderów przeciwpowodziowych – polderu Mętków, Olszyny i Rozkochów, co na etapie konsultacji społecznych wywołało liczne sprzeciwy lokalnych mieszkańców odnośnie lokalizacji polderów, przebiegu obwałowań oraz samego funkcjonowania terenów polderowych (<http://www.wislakonsultacje.pl/>). W związku z realizowanym projektem na etapie konsultacji społecznych, mieszkańcy gminy złożyli petycję wyrażającą sprzeciw dla działań inwestycyjnych.

Polder Żelazna (województwo opolskie) – jest on zlokalizowany na prawym brzegu Odry i ma powierzchnię 200 ha. Wybudowany został w 1939 roku i na przestrzeni lat, w różnym zakresie, pełnił funkcję ochrony przeciwpowodziowej m.in. terenu specjalnej strefy ekonomicznej w Opolu oraz dzielnicy Sławice, miasta Opola. W roku 2017 podjęta została decyzja o przebudowie polderu, prowadzącej do podwojenia jego powierzchni oraz znaczącego zwiększenia zdolności retencyjnych. Przebudowa polderu należała początkowo do zadań Marszałka Województwa Opolskiego jednak z uwagi na nowelizację Ustawy Prawo wodne (2017), prace modernizacyjne winny ostatecznie zostać zrealizowane przez Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie. Sytuacja konfliktowa dotyczyła w tym przypadku środków dotacyjnych

– współfinansującym zadanie było miasto Opole, które nie było uprawnione do przekazania dotacji na rzecz Spółki Państwowej. Ponadto zaistniała także sytuacja konfliktowa pomiędzy Opolskim Urzędem Wojewódzkim, a Urzędem Marszałkowskim Województwa Opolskiego związana z przekazaniem dokumentacji projektowej oraz planowanym terminem rozpoczęcia prac. Ostatecznie konflikt doprowadził do opóźnienia prac modernizacyjnych o trzy lata.

Wpływ na środowisko

Istotnym zagadnieniem dotyczącym wykorzystania potencjału polderów jest także pełne zrozumienie potencjalnego wpływu ich ustanawiania i eksploatacji na środowisko. Intensywne zabudowywanie rzek wałami przeciwpowodziowymi prowadzi do znacznego zwężenia koryt dużych rzek, naturalne tereny zalewowe zostają odcięte od rzeki, przez co retencja doliny zostaje zmniejszona (Wiśniewski 2016), natomiast budowa polderów w dolinach rzecznych jest poniekąd renaturyzacją dolin, rozumianą jako przywracanie rzekom ich naturalnego koryta. Z drugiej strony budowa nowych polderów może negatywnie wpłynąć na istniejące już obszary chronione poprzez zmianę warunków hydrologicznych panujących na terenie utworzonych zbiorników. Analizy przeprowadzane przez Panasiuka i Miłaszewskiego (2015) wykazują, iż budowa polderu, niezależnie od stosowanych wariantów, może powodować zanik większej lub mniejszej powierzchni obszarów chronionych i cennych przyrodniczo.

Należy także wskazać, iż mimo potencjalnego pozytywnego wpływu polderów na poszczególne komponenty środowiska, regularne zalewanie polderów może przyczynić się do pojawienia i kumulowania się różnych typów zanieczyszczeń na terenach okresowo zalewanych (Garcia-Garizabal i in. 2012, Jankowski 2017, Gao 2021). Akumulacja zanieczyszczeń może prowadzić do obniżenia jakości gleb i ograniczenia możliwości kultywacji terenów rolnych (Golik i in. 2019), może także stanowić zagrożenie dla zdrowia ludzi (Bett i in. 2021).

Ustanawianie oraz funkcjonowanie polderów może także powodować istotne zmiany w środowisku przyrodniczym (Klugewicz 1992, Sosnowska 2016). W wielu regionach kraju, w szczególności na terenie Żuław, odwodnienie terenów depresyjnych doprowadziło do przekształcenia obszarów bagiennych w użytki rolne, natomiast pierwotna roślinność lasów uległa częściowej lub całkowitej degradacji. Poldery stanowią zatem alternatywę dla tzw. szarej infrastruktury, umożliwiając ochronę poszczególnych komponentów środowiska, a z uwagi na możliwość sterowania przepływem wody charakteryzują się także większym potencjałem w kontekście zarządzania ryzykiem powodziowym.

Możliwości usystematyzowania gospodarki polderowej

Konieczność systematyzacji zagadnień związanych z gospodarką polderową jest dostrzegana zarówno przez naukowców (Klugewicz 1992) jak i przez organy administracji publicznej różnego szczebla. Wiele z opracowywanych dokumentów planistycznych, takich jak programy małej retencji poszczególnych województw (DZMIUW 2006, SZMIUW 2016, ZMIUW Olsztyn 2016) oraz plany gospodarowania wodami na obszarze dorzeczy (KZGW 2011, 2016, 2022) wskazują na planowane budowy nowych polderów, w celu zwiększenia retencji wód powodziowych, zwiększenie zasobów wód oraz ochrony lokalnych społeczności. Ma to szczególne znaczenie w okresie postępujących susz hydrologicznych i rolniczych.

Oprócz wskazanych powyżej działań w zakresie planistycznym, promowane są także projekty dofinansowujące działania mające na celu wsparcie zadań samorządów terytorialnych w zakresie retencji na obszarach wiejskich (NFOŚiGW 2020). Działania te dotyczą także prac modernizacyjnych urządzeń hydrotechnicznych współtowarzyszących polderom. Jednak same działania modernizacyjne, bez usystematyzowania kwestii formalno-prawnych oraz rozwiązania konfliktów społecznych, nie doprowadzą do zwiększenia retencji polderowej. Mimo wprowadzanych programów kształtowania polityki regionalnej w zakresie polderyzacji oraz planowania budowy nowych polderów, powstawanie w pełni funkcjonujących polderów realizowane jest w niewielkim zakresie lub wcale.

Brak formalnych podstaw do funkcjonowania polderów sprawia, iż nawet w przypadku powstania tej formy retencji, niemożliwe jest jej pełne wykorzystanie z uwagi na intensywne zagospodarowanie terenów zalewowych m.in. na cele mieszkaniowe. Obecne uwarunkowania formalne, zakazujące zabudowy polderów, mają swoje odzwierciedlenie w aktach prawa miejscowego (MPZP) oraz w definicji polderu zawartej w ustawie Prawo wodne. Definicja ta, jak wykazano wcześniej jest jednak niespójna z istotą polderu jako wielofunkcyjną formą retencji wody.

Nieostrość definicyjna prowadzi także do dużej swobody w interpretacji i pozostawia dowolność w sposobie ustanawiania polderów, usankcjonowania ich funkcjonowania czy sposobie zarządzania. Aktualnie nie istnieją jednoznaczne formalne przesłanki pozwalające dokonać kwalifikacji polderu. Na podstawie przeprowadzonej analizy ustalono jednak, iż podstawą ustanowienia, wybudowania lub funkcjonowania polderu mogą być:

1. decyzje o środowiskowych uwarunkowaniach przedsięwzięcia polegającego na budowie polderu

- lub budowie czy eksploatacji towarzyszących polderom urządzeń hydrotechnicznych,

2. pozwolenia wodnoprawne na eksploatację towarzyszących polderom urządzeń hydrotechnicznych,
3. uwzględnienie polderów w ewidencji właściwych organów administracji publicznej,
4. zdefiniowanie lokalizacji polderów w aktach prawa miejscowego lub regionalnych dokumentach planistycznych (miejscowych planach zagospodarowania przestrzennego, programach małej retencji, planów zarządzania ryzykiem powodziowym, czy programach ochrony środowiska).

Niezbędnym elementem uporządkowania sytuacji prawnej polderów w Polsce jest ustalenie definicji. Przeprowadzona analiza i dyskusja wielu aspektów polskich polderów przedstawiona w artykule skłania do zaproponowania definicji polderu traktującej polder jako teren o naturalnym lub sztucznym, wklęsłym ukształtowaniu, umożliwiającym okresową retencjonując wód, oddzielony od rzeki lub zbiornika wodnego, z możliwością sterowania przepływem wody oraz wielofunkcyjnego wykorzystania.

Podsumowanie

Poldery stanowią wielofunkcyjną formę mitygacji ryzyka powodziowego, która może przyczynić się do istotnego zwiększenia naturalnej zdolności retencyjnej dolin rzecznych przy jednoczesnej intensyfikacji produkcji rolnej, ochronie poszczególnych komponentów środowiska i różnorodnym wykorzystaniu. Poldery mogą przyczynić się do zmniejszenia kulminacji fali powodziowej jednak spełnionych musi zostać szereg warunków, aby wykorzystanie polderów podczas wezbrań było efektywne. Przede wszystkim formalny proces wdrażania powinien zostać usystematyzowany aby możliwe było prawidłowe projektowanie i ustanawianie polderów. Kluczowe w kontekście projektowania polderów jest umożliwienie sterowania przepływem wód w celu ścięcia piku fali powodziowej (Cui i in. 2007). Ponadto na etapie ustanawiania nowych polderów oraz zmian gospodarowania istniejących wskazane jest prowadzenie konsultacji społecznych, np. poprzez aplikacje geoankiety lub geodyskusji (Jankowski i in. 2017) oraz informowanie na temat sposobu funkcjonowania polderów zalewowych, możliwego oddziaływania polderów na środowisko oraz ludzi oraz przebiegu procesu kompensacyjnego, w przypadku wystąpienia strat powodziowych. Udział społeczeństwa umożliwi ograniczenie występowania konfliktów społecznych, które stanowią istotną przeszkodę dla wykorzystania tej formy retencji. Istotnym zagadnieniem jest także

usystematyzowanie kwestii centralnego zarządzania polderami oraz prowadzenie spójnej w skali kraju (lub co najmniej regionu) ewidencji polderów oraz podejmowanych działań. Dokładna ocena zdolności retencyjnych i ustalenie zasad wykorzystywania polderów mogłoby przyczynić się do efektywnego zarządzania ryzykiem powodziowym.

Podziękowania

Autorzy dziękują anonimowym recenzentom za uwagi i ulepszenia do pierwotnej wersji artykułu. Poza tym autorzy dziękują licznym jednostkom organizacyjnym Państwowego Gospodarstwa Wodnego Wody Polskie oraz Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej za udostępnienie danych do przygotowania bazy danych o polderach oraz konsultacje w zakresie merytorycznym.

Badania zrealizowane zostały w ramach projektu „GEO+: wysokiej jakości program studiów doktoranckich realizowany na Wydziale Nauk Geograficznych i Geologicznych Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu nr POWR.03.02.00-00-I039/16”.

Dostępność danych

Baza danych polderów w Polsce jest dostępna u autora korespondencyjnego.

Wkład autorów

Weronika Warachowska: koncepcja badań, projekt badawczy i planowanie zadań, gromadzenie danych, wykonanie analiz i przetwarzanie danych, przegląd literatury, redakcja tekstu publikacji, opracowanie materiałów kartograficznych i graficznych. Zbigniew Zwoliński: koncepcja badań, projekt badawczy i planowanie zadań, redakcja tekstu publikacji, zarządzanie procesem publikacji.

Literatura

- Bett B., Tumusiime D., Lindahl J., Roesel K., Delia G., 2021. The role of floods and pathogene dispersion. *Nature-based Solutions for Flood Mitigation: Environmental and Socio-Economic Aspects*, Handbook of Environmental Chemistry 107: 139–158. DOI: [10.1007/978-2021-761](https://doi.org/10.1007/978-2021-761).
- Cebulak K., 1966. Stacje Pomp Dla Potrzeb Melioracji. SITWM, Zielona Góra: 21–43.
- Cebulak K., 1976. System Wodno-Melioracyjny. W: Żuławy Wiślane. Gdańskie Towarzystwo Naukowe, Ossolineum, Gdańsk: 662–672.
- Cebulak K., 2013. Delta Wisły Powyżej i Poniżej Poziomu Morza. Stowarzyszenie Żuławy i Lokalna Grupa Działania Żuławy i Mierzeja.
- Cui Z., Huang J.C., Tian F., Gao J.F., 2019. Modeling the response of river nutrient conditions to land use changes in lowland artificial watersheds (polders), *Ecological Engineering* 135: 98–107. DOI: [10.1016/j.ecoleng.2019.05.012](https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.05.012).
- Cyberski J., Mikulski Z., 1976. Stosunki hydrologiczne Żuławy. W: Żuławy Wiślane, Gdańskie Towarzystwo Naukowe, Ossolineum, Gdańsk: 239–288.
- De Jong J., Wiggers A.J., 1982. Polders and Their Environment in the Netherlands. W: *International Symposium in Netherlands “Polders of the World”*.
- Dębski K., 1978. Regulacja Rzek. PWN.
- Działek J., Biernacki R., Konieczny W., Fiedzeń Ł., Franczak P., Grzeszna K., Listwan-Franczak K., 2017. Zanim nadejdzie powódź wpływ wyobrażeń przestrzennych, wrażliwości społecznej na klęski żywiołowe oraz komunikowania ryzyka na przygotowanie społeczności lokalnych do powodzi. Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ, Kraków.
- DZMIUW [Dolnośląski Zarząd Melioracji i Urządzeń Wodnych we Wrocławiu], 2006. Program Małej Retencji Wodnej.
- Garcia-Garizabal I., Abrahao R., Causape J., 2012. Irrigation management and pollution by salts and nitrate: flood vs. pressurized system. *Itea-Information Tecnica Economica Agraria* 108(4): 482–500.
- GCNP [Global Compact Network Poland], 2018. Zarządzanie zasobami wodnymi w Polsce.
- Golik D., Gortych M., Kołodziejczyk U., 2019. Directions of Polderization in the Middle Basin of the Odra River. *Civil and Environmental Engineering Reports* 28(3):103–110. DOI: [10.2478/ceer-2018-0038](https://doi.org/10.2478/ceer-2018-0038).
- Graf R., 2014. Mitigation of Flood Risk in Poland. *Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej PAN XX* (January).
- GUGiK [Główny Urząd Geodezji i Kartografii], 2005. Wytyczne techniczne GIS-3: Mapa hydrograficzna Polski, skala 1:50 000 w formie analogowej i numerycznej. Warszawa.
- GUGiK [Główny Urząd Geodezji i Kartografii], 2017. Podręcznik dla Uczestników Szkolenia: Wykorzystanie kartograficznych opracowań tematycznych w postaci cyfrowych map hydrograficznych opracowanych w ramach Projektu envDMS. Warszawa.
- Haartsen T., Thissen F., 2019. Physical and Social Engineering in the Dutch Polders: The case of the Noordoostpolder. W: R.Jones, A.M.A.Diniz, *Twentieth Century Land Settlement Schemes*, Routledge, London: 159–78.
- Hudak M., Karczmar C., Kołodziejczyk U., Kostecki J., 2018. Flood Protection on the Odra River in the Segment Between Nowa Sól and Cigacice. *Civil and Environmental Engineering Reports* 28(1):54–63. DOI: [10.2478/ceer-2018-0005](https://doi.org/10.2478/ceer-2018-0005).
- Jania J., Zwoliński Zb., 2011. Extreme meteorological, hydrological and geomorphological events in Poland. *Landform Analysis* 15: 51–64.
- Janiak Z., Parzona W., 1968. Ocena wpływu polderów na przepływy powodziowe w dolinie górnej Odry. *Gospodarka Wodna* 3: 90–94.
- Jankowski P., Kaczmarek T., Zwoliński Zb., Mikula Ł., Wójcicki M., Bąkowska E., Czepkiewicz M., Młodkowski M., Brudka C., 2017. Narzędzia internetowe w konsultacjach społecznych w planowaniu przestrzennym: idea, obszary zastosowań i wdrażanie. Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań.
- Jankowski W., 2017. Przyrodnicze skutki budowy i funkcjonowania zbiorników suchych i wielofunkcyjnych – doświadczenia z oceny wybranych zbiorników. *Przegląd Przyrodniczy* 28(4): 135–151.
- Jenks G.F., 1967. The data model concept in statistical mapping. *International Yearbook of Cartography* 7: 186–190.
- Jongman B., Hessel C., Aerts C., Coughlan de Perez E., van Aalst M., Kron W., Ward P., 2014. Declining vulnerability to river floods and the global benefits of adaptation. *Environmental Sciences* 112(18): 2271–2280. DOI: [10.1073/pnas.1414439112](https://doi.org/10.1073/pnas.1414439112).
- Jongman B., Winsemius H.C., Aerts, J.C.J.H., de Perez E.C., van Aalst M.K., Kron W., Ward P.J., 2015. Declining vulnerability to river floods and the global benefits of adaptation. *Proceedings Of The National Academy Of Sciences Of The United States Of America* 112(18): 2271–2280. DOI: [10.1073/pnas.1414439112](https://doi.org/10.1073/pnas.1414439112).
- Klimaszewski M., 1982. Detailed geomorphological maps. *ITC Journal* 3: 265–271.

- Klugewicz J., 1992. Polderyzacja Terenów Depresyjnych. Towarzystwo Wolnej Wszechnicy Polskiej.
- Kołodziejczyk U., Karczmar C., Gortych M., Kostecki J., 2019. Geośrodowiskowe uwarunkowania polderu Miłsko. Uniwersytet Zielonogórski.
- Kowalczyk A., 1986a. Działalność i osiągnięcia meliorantów przy odbudowie i osuszeniu Żuław zalanych przez Niemców w 1945 roku – Część I. Wiadomości Melioracyjne i Łąkowe 2: 35–37.
- Kowalczyk A., 1986b. Działalność i osiągnięcia meliorantów przy odbudowie i osuszeniu Żuław zalanych przez Niemców w 1945 roku – Część II. Wiadomości Melioracyjne i Łąkowe 3: 79–82.
- Kowalik P., 1980. Gospodarka wodna na Żuławach Wiślanych. *Peribalticum*: 125–130.
- Kowalik P., 1991. Polderowe systemy melioracyjne: 5–56. W: Zasady modernizacji polderowych systemów melioracyjnych na Żuławach. Wydawnictwo IMUZ, Elbląg.
- Kowalik P., 2001. Polderowa gospodarka wodna na Żuławach delty Wisły. Monografie. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- Kryszak J., Lewandowska W., Strychalska A., Kryszak A., Maćkowiak Ł., 2014. Ecological Compensation area in the Zagórów washland and its ecotourism potential. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering* 59: 13–19.
- Kundzewicz W., Kanae S., Seneviratne S., Handmer J., Nicholls N., Peduzzi P., Mechler R., Bouwer L., Arnell N., Mach K., Muir-Wood R., Brakenridge R., Kron W., Benito G., Honda Y., Takahashi K., Sherstyukov B., 2014. Flood risk and climate change: global and regional perspectives. *Hydrological Sciences Journal* 59(1): 1–28. DOI: [10.1080/02626667.2013.857411](https://doi.org/10.1080/02626667.2013.857411).
- KZGW [Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej], 2011. Plan Gospodarowania Wodami Na Obszarze Dorzecza Wisły.
- KZGW [Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej], 2016. Plan Gospodarowania Wodami Na Obszarze Dorzecza Wisły.
- KZGW [Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej], 2022. Projekt planu Gospodarowania Wodami Na Obszarze Dorzecza Wisły.
- Laks I., 2017. Wpływ retencji polderu Golina na transformację fali powodziowej z 2010 r. *Gospodarka wodna* 2017(2): 49–57.
- Laks I., Lewandowska J., 2017. Analiza warunków eksploatacji budowli hydrotechnicznych polderu Golina – uwarunkowania dla rewitalizacji, modernizacji i instrukcji gospodarowania wodą. *Hydrotechnika* 4: 25–29.
- Laks I., Walczak Z., 2020. Efficiency of polder modernization for flood protection. Case study of Golina polder (Poland). *Sustainability* 12(19)8056. DOI: [10.3390/su12198056](https://doi.org/10.3390/su12198056).
- Liziński T., 2000. Drużno lake basin as an example of polder function and function of polder water-melioration systems. *Acta Agrophysica* 1: 28–30.
- Liziński T., 2007. Problemy zarządzania ryzykiem w kształtowaniu przestrzeni polderowej na przykładzie delty Wisły. Wydawnictwo IMUZ, Falenty.
- Maslov B.S., 2009. Agricultural land improvement: amelioration and reclamation. W: *Encyclopedia of Food and Agricultural Sciences, Engineering and Technology Resources*.
- Mioduszewski W., 2004. Gospodarowanie zasobami wodnymi w aspekcie wielofunkcyjnego rozwoju obszarów wiejskich. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie* 4(10): 11–29.
- Muotiala S., 1972. Tereny polderowe w Finlandii. Materiały Konferencyjne: Talin, 14–23.
- Napierała M., Bykowski J., Przybyła C., Mrozik K., 2018. Functioning of low lift pumping stations on polders – a case study of Zagorow, Poland. *Fresenius Environmental Bulletin* 27(10): 6598–6609.
- NFOŚiGW [Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej], 2020. Nabór wniosków w ramach programu priorytetowego „Adaptacja do zmian klimatu oraz ograniczanie skutków zagrożeń środowiska” – finansowanie retencji na wsi regulamin naboru ciągłego – retencja na wsi. Online: archiwum.nfosigw.gov.pl/oferta-finansowania/srodki-krajowe/programy-priorytetowe/przeciwdzialanie-zagrozeniom-srodowiska/nabor-2020-2021--retencja-na-obszarach-wiejskich/ (dostęp: 20 lipca 2020).
- Novakova J., Dospivova P., Melcakova I., 2014. Utilizing dry polder as flood measures in agricultural landscape, geoconference on water resources, forest, marine and ocean ecosystems, vol I (SGEM 2014), Book Series International Multidisciplinary Scientific GeoConference-SGEM, 823–828.
- NSA [Naczelny Sąd Administracyjny], 2012. Orzeczenie z dnia 19.06.2012 r. w sprawie o sygnaturze II OSK 792/12.
- Panasiuk D., Miłaszewski R., 2015. Koszty środowiskowe różnych wariantów eksploatacji suchego zbiornika Racibórz Dolny. *Gospodarka Wodna* 2015(1): 9–13.
- Pawłaczyk P., Biedroń I., Brzóska P. Dondajewska-Pielka R., Furdyna A., Gołdyn R., Grygoruk M., Grześkowiak A., Horka-Schwarz S., Jusik Sz., Klósek K., Krzymiński W., Ligieża J., Łapuszek M., Okrański K., Przesmycki M., Popek Z., Szalkiewicz E., Suska K., Żak J., 2020. Podręcznik dobrych praktyk renaturyzacji wód powierzchniowych. Oprac. w ramach przedsięwzięcia „Opracowanie krajowego programu renaturyzacji wód powierzchniowych”. Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie, Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej, Warszawa.
- Przybyła Cz., Bykowski J., Mrozik K., Napierała M., 2011. Znaczenie polderu Zagórów w ochronie przeciwpowodziowej. *Rocznik Ochrona Środowiska* 13: 801–813.
- Raška P., Bezak N., Ferreira S. S. C., Kalantari Z., Banasik K., Bertola M., Bourke M., Cerda M., Davids P., Madruga de Brito M., Evans R., Finger D. C., Halbac-Cotoara-Zamfir R. Housh M., Hysa A., Jakubínský J., Kapovic Solomun M., Kaufmann M., Keesstra S., Keles E., Kohnova S., Pezzagno M., Potocki K., Rufat S., Seifollahi-Aghmiuni S., Schindelegger A., Sraj M., Stankunavicius G., Stolte J., Stricevic R., Szolgay J., Zupanc V., Slavikova L., Hartmann T., 2022. Identifying barriers for nature-based solutions in flood risk management: An interdisciplinary overview using expert community approach. *Journal of Environmental Management* 310(2022): 114725.
- Rączkowska Z., Zwoliński Zb., 2015. Digital Geomorphological Map of Poland. *Geographia Polonica* 88(2): 205–210
- Ruangpan L., Vojinovic Z., Di Sabatino S., Sandra Leo L., Capobianco V., Oen A., Mcclain M., Lopez-gunn E., 2020. Nature-based solutions for hydro-meteorological risk reduction: A state-of-the-art review of the research area. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 20: 243–270. DOI: [10.5194/nhess-20-243-2020](https://doi.org/10.5194/nhess-20-243-2020).
- SA we Wrocławiu [Sąd Apelacyjny we Wrocławiu], 2018. Orzeczenie Sądu Apelacyjnego we Wrocławiu z dnia 06.03.2018 r. w sprawie o sygnaturze: I ACa 1801/17.
- Schuetze T., Chelleri L., 2011. Climate adaptive urban planning and design with water in Dutch polders. *Water Science And Technology* 64(3): 722–730. DOI: [10.2166/wst.2011.688](https://doi.org/10.2166/wst.2011.688).
- Schultz B., 2008. Water management and flood protection of polders in the Netherlands under the impact of climate changes in land use. *Journal of Water and Land Development* 12: 71–94.
- SJP [Słownik Języka Polskiego], 2021. Polder. Wydawnictwo PWN, Warszawa.
- Sosnowska A., 2016. Możliwości polderyzacji obszaru zawała w rejonie Stężycy nad Wisłą. *Acta Scientiarum Polonorum* 15(4): 309–19.
- Sowiński M., 2008. Szkody powodziowe jako element wyznaczenia ryzyka. *Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich* 7: 121–30.
- Starkel L. (red.), 1980. Przegładowa Mapa Geomorfologiczna Polski: 1:500,000. Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN, Warszawa.
- Stepnowski C., 1963. Zabezpieczenie Doliny Środkowej Wisły Przed Powodzią. *Gospodarka Wodna* 11: 424–26.
- SUIKZP [Studium Uwarunkowań i Kierunków Zagospodarowania Przestrzennego gminy Darłowo], 2022. Uchwała Rady Gminy Darłowo Nr XXXVII/503/2010 Rady Gminy z dnia 10 listopada 2010 r. w sprawie przyjęcia Studium Uwarunkowań i Kierunków Zagospodarowania Przestrzennego gminy Darłowo.
- ŚZMIUW [Śląski Zarząd Melioracji i Urządzeń Wodnych], 2016. Program małej retencji dla Województwa Śląskiego – aktualizacja 2016 r.

- Ugla Z., Mapa gleb Polski. JRC, ESDAC. Online: esdac.jrc.ec.europa.eu/content/soil-mapa-poland-mapa-gleb-polski-0 (dostęp: 12 grudnia 2022).
- Ustawa z dnia 30 maja 1962 r. Prawo wodne, 1962.
- Ustawa z dnia 18 lipca 2001 r. Prawo wodne, 2001.
- Ustawa z dnia 20 lipca 2017 r. Prawo wodne, 2017.
- Walczak Z., Sojka M., Wróżyński R., Laks I., 2016. Estimation of polder retention capacity based on ASTER, SRTM and LIDAR DEMs: The case of Majdany polder (West Poland). *Water* 8(6), 230. DOI: [10.3390/w8060230](https://doi.org/10.3390/w8060230).
- Wasko C., Westra S., Nathan R., Orr H.G., Villarini G., Villalobos H. R., Fowler H. J., 2021. Incorporating climate change in flood estimation guidance. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical & Engineering Sciences* 379(2195). DOI: [10.1098/rsta.2019.0548](https://doi.org/10.1098/rsta.2019.0548).
- Warachowska W., Ungvari G., Kis A., Zwoliński Zb., Matczak P., 2023. Social, economic and legal aspects of polder implementation for flood risk management in Poland and Hungary. *Journal of Flood Risk Management*. W druku.
- Wiśniewski J., 2016. Dlaczego powinniśmy zbudować polder Golińska na Warcie? *Gospodarka Wodna* 1: 25–32.
- WSA w Opolu [Wojewódzki Sąd Administracyjny w Warszawie], 2011. Orzeczenie z dnia 08.12.2011 r. w sprawie o sygnaturze II SA/Op 335/11.
- WSA w Warszawie [Wojewódzki Sąd Administracyjny w Warszawie], 2011a. Orzeczenie z dnia 11.06.2011 r. w sprawie o sygnaturze IV SA/Wa 793/11.
- WSA w Warszawie [Wojewódzki Sąd Administracyjny w Warszawie], 2011b. Orzeczenie z dnia 15.06.2011 r. w sprawie o sygnaturze IV SA/Wa 787/11.
- WSA w Warszawie [Wojewódzki Sąd Administracyjny w Warszawie], 2011c. Orzeczenie z dnia 21.06.2011 r. w sprawie o sygnaturze IV SA/Wa 818/11.
- WSA w Warszawie [Wojewódzki Sąd Administracyjny w Warszawie], 2011d. Orzeczenie z dnia 08.12.2011 r. w sprawie o sygnaturze 08.12.2011.
- WSA w Warszawie [Wojewódzki Sąd Administracyjny w Warszawie], 2013. Orzeczenie z dnia 18.01.2013 r. w sprawie o sygnaturze IV SA/Wa 2328/12.
- Wołoszyn J., 1964. *Regulacje Rzek i Potoków*. PWN, Warszawa.
- Volker A., 1982. *Lessons from history of impoldering in the world*. W: *International Symposium in Netherlands "Polders of the world"*.
- Yan R., Gao J., 2021. Key factors affecting discharge, soil erosion, nitrogen and phosphorus exports from agricultural polder. *Ecological modelling* 452(109586), DOI: [10.1016/j.ecolmodel.2021.109586](https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2021.109586).
- ZMIUW Olsztyn [Zarząd Melioracji i Urządzeń Wodnych w Olsztynie], 2016. *Program Małej Retencji Dla województwa Warmińsko-Mazurskiego na lata 2016–2030 powiat olsztyński*, 1–16.
- Zakaszewski C., 1964. *Melioracje rolne*. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Warszawa.
- Zaman S., Mondal M.S., 2020. Risk-based determination of polder height against storm surge hazard in the south-west coastal area of Bangladesh, *Progress in Disaster Science* 8(100131). DOI: [10.1016/j.pdisas.2020.100131](https://doi.org/10.1016/j.pdisas.2020.100131).

OŚWIADCZENIE O WKŁADZIE W POWSTANIE PUBLIKACJI NAUKOWEJ

STATEMENT OF CONTRIBUTION TO A SCIENTIFIC PUBLICATION

Tytuł publikacji Gospodarka polderowa w Polsce – wyzwania naturalnej retencji
Publication title powodziowej

Autorzy Weronika Warachowska, Zbigniew Zwoliński
Authors

Niniejszym oświadczam o wkładzie w powstanie przedmiotowej publikacji naukowej
w poniższym zakresie

Hereby I declare the scope of contribution in the aforementioned scientific paper as follows

<input checked="" type="checkbox"/>	Przygotował/a koncepcję badań Conceived the research
<input checked="" type="checkbox"/>	Przygotował/a projekt badawczy i zaplanował zadania Designed the research project and planned the tasks
<input checked="" type="checkbox"/>	Zarządzał/a zadaniami oraz ich wykonaniem Managed the tasks performance
<input checked="" type="checkbox"/>	Zgromadził/a dane Collected the data
<input checked="" type="checkbox"/>	Uczestniczył/a w wykonaniu analiz i przetwarzaniu danych Contributed to the analysis and data processing
<input checked="" type="checkbox"/>	Przeprowadził/a przegląd literatury Performed literature query
<input checked="" type="checkbox"/>	Dokonał/a redakcji tekstu publikacji Wrote the publication content
<input checked="" type="checkbox"/>	Opracował/a materiały kartograficzne i graficzne Prepared cartographic and graphic matherials
<input checked="" type="checkbox"/>	Zarządzał/a procesem publikacji Managed the publication process

10.03.2023 r. Weronika Warachowska

(data i podpis)

(date and signature)

OŚWIADCZENIE O WKŁADZIE W POWSTANIE PUBLIKACJI NAUKOWEJ

STATEMENT OF CONTRIBUTION TO A SCIENTIFIC PUBLICATION

Tytuł publikacji Gospodarka polderowa w Polsce – wyzwania naturalnej retencji
Publication title powodziowej

Autorzy Weronika Warachowska, Zbigniew Zwoliński
Authors

Niniejszym oświadczam o wkładzie w powstanie przedmiotowej publikacji naukowej
w poniższym zakresie

Hereby I declare the scope of contribution in the aforementioned scientific paper as follows

<input checked="" type="checkbox"/>	Przygotował/a koncepcję badań Conceived the research
<input checked="" type="checkbox"/>	Przygotował/a projekt badawczy i zaplanował zadania Designed the research project and planned the tasks
<input type="checkbox"/>	Zarządzał/a zadaniami oraz ich wykonaniem Managed the tasks performance
<input type="checkbox"/>	Zgromadził/a dane Collected the data
<input type="checkbox"/>	Uczestniczył/a w wykonaniu analiz i przetwarzaniu danych Contributed to the analysis and data processing
<input type="checkbox"/>	Przeprowadził/a przegląd literatury Performed literature query
<input checked="" type="checkbox"/>	Dokonał/a redakcji tekstu publikacji Wrote the publication content
<input type="checkbox"/>	Opracował/a materiały kartograficzne i graficzne Prepared cartographic and graphic materials
<input checked="" type="checkbox"/>	Zarządzał/a procesem publikacji Managed the publication process

16.02.2023



.....
(data i podpis)

(date and signature)

Social, economic and legal aspects of polder implementation for flood risk management in Poland and Hungary

Weronika Warachowska¹  | Gábor Ungvári² | András Kis² | Piotr Matczak³ | Zbigniew Zwoliński¹

¹Faculty of Geographical and Geological Science, Adam Mickiewicz University in Poznań, Greater Poland district, Poland

²Regional Center for Energy Policy Research, Corvinus University Budapest, Hungary

³Department of Sociology, Adam Mickiewicz University in Poznań, Greater Poland district, Poland

Correspondence

Weronika Warachowska, Faculty of Geographical and Geological Science, Adam Mickiewicz University in Poznań, Poland
Address: ul. Krygowskiego 10, 61-680 Poznań
Email: warachowska@amu.edu.pl

Founding information

GEO+ – high quality interdisciplinary doctoral studies programme conducted at the Faculty of Geographical and Geological Sciences of the Adam Mickiewicz University in Poznań (no. POWR.03.02.00-00-1039/16).

Abstract

The implementation of nature-based solutions that involve natural processes to mutually decrease flood risk and protect natural ecosystems can be an answer to the demand for resilient flood risk management (FRM). As an example of a nature-based solution, flood polders have the potential to deliver those benefits; however, a need for innovation is observed in the field of redefining, combining, and reformulating existing approaches to improve the welfare and wellbeing of individuals and communities.

This paper aims to investigate polder implementation and management processes, perceived as a potential introduction of social innovation in Poland and Hungary, where social innovation in FRM is required but where the introduction of innovative solutions stalls at different stages. Based on a comparative analysis, a set of factors for effective social innovation was formulated regarding formal and legal conditions and economic and social aspects of polder management and implementation. Each of identified factors can either allow or hinder public engagement and successful social innovation.

KEYWORDS

floods, nature-based solution, Golina polder, Tiszaroff polder, social innovation

1 | INTRODUCTION

Although climate change has had significant implications for flood risk management (FRM) over the years, these have not induced actual action for flood risk mitigation (Wasko et al., 2021). At the same time, the vast majority of long-term FRM actions that have been undertaken have so far relied mostly on technical measures that have often been ineffective in combating increasing flood risk (Ellis et al., 2021). Flood damages, caused not only by the very nature of the flood events (Zwoliński, 1992) but also by negligence in the technical infrastructure of flood protection measures or the establishment of insufficient measures to cope with increasing flood risk, are predicted

to increase and expand in the future (Jania, Zwoliński, 2011; Hirabayashi et al., 2013; Alfieri et al., 2015; Wing et al., 2018; Kreibich et al., 2022). While many initiatives emerge in the immediate aftermath of a flood event, there is still a general scarcity of substantial actions undertaken a priori to mitigate such risks (Albrecht & Hartmann, 2021).

The frequently observed post-factum approach to FRM action is characteristic of post-socialist countries influenced by their former centralized policies, resulting in certain specific kinds of flood risk perception among authorities as well as in society (Raška, 2015). Substantial transformations in established FRM systems are constantly required, especially in countries that have

This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs License, which permits use and distribution in any medium, provided the original work is properly cited, the use is non-commercial and no modifications or adaptations are made.

© 2020 The Authors. Journal of Flood Risk Management published by Chartered Institution of Water and Environmental Management and John Wiley & Sons Ltd.

experienced floods on scales exceeding predictions of possible size of the disaster in the past (Matczak, 2018). Even in regions where actions to mitigate flood risk are actively undertaken, new innovative measures need to be implemented in response to social and environmental needs (OECD, 2016).

Due to dynamic societal transformation, more focus is usually dedicated to social innovations born out of new ideas that work to satisfy social goals (Mulgan, 2006) or to innovative services and activities aimed at meeting social needs (Mulgan et al., 2007; Cajaiba-Santana, 2014). An innovative approach to flood risk reduction can be expressed as a shift toward implementing solutions based on natural processes—that is, nature-based solutions (NbS)—to decrease flood risk while simultaneously preserving and maintaining geo-, bio-, and cultural diversity as well as the ability of ecosystems to evolve over time, thus producing societal benefits in a fair and equitable manner (Raymond et al., 2017; IUCN, 2021; Jakubínský et al., 2021).

One example of an NbS in FRM is polders, which combine the potential of hydrotechnical engineering with nature-derived features and processes to mitigate floods (Daigneault et al., 2016). The effectiveness of polders in flood risk mitigation has been proven in several sites and under various conditions (Novakova et al., 2014; Maczalski, 2015; Budiyo et al., 2017; Gao et al., 2018; Mawandha et al., 2018; Short et al., 2018; Wahyudi et al., 2018). However, despite their benefits, the implementation and management of polders is not straightforward and is limited by numerous factors and conditions.

This contribution aims to investigate polder implementation and management processes, perceived as a potential introduction of social innovation. A comparative analysis was conducted for two case study polders located in Central-European countries—Golina in Poland and Tiszaroff in Hungary—where similar background conditions were observed, such as their history of former flood events, increasing flood risk, and maladjusted FRM systems and their transformation. However, the implementation of these polders rendered different outcomes.

The research also addresses the questions of whether polders, despite their social and ecological benefits, may be assessed as social innovation and, if so, to what extent they contribute to the improvement of societal wellbeing.

To address these questions, a set of factors influencing the effectiveness of social innovation was identified.

2 | POLDERS AND SOCIAL INNOVATION

Ensuring flood safety is considered one of the basic needs of communities in flood-prone areas (Yusoff & Yusoff, 2021). As the negative consequences of flood events increase and expand over the years, new innovative solutions are required to cope with increasing flood risk and constantly changing background conditions (social, environmental, economic, and formal). In that context, polders, as regulated areas along rivers for the multiple goals of flood defense and a bundle of other public and private benefits, can be perceived as an innovation when compared to hydraulic infrastructure, such as dikes or dams (Vingre, 2017; Bark et al., 2021; Moreau et al., 2022). This reflects a general shift in FRM that emphasizes the role of protecting nature and human beings (Wesselink, 2016).

Polder implementation requires new arrangements, methods, and approaches, the introduction of which is both a necessity and an opportunity for different groups; land owners, land users, public administration, and indirect beneficiary groups activate themselves to defend interests or mobilize for new goals. As the role of citizens in decision-making processes gains importance (Guerriero & Penning-Rowsell, 2021), especially in post-communist countries (Raška, 2015), there is a strong need to investigate the process of designing and implementing new solutions that imply conceptual, process, product, or organizational change, ultimately aiming to improve the welfare and wellbeing of individuals and communities, defined as social innovation (OECD, 2016). Presented research perceives polders as an innovative solution with the potential to induce those changes, but the implementation and management of polders manifests as a host of intertwined and complex processes, and this potential is untapped.

The concept of social innovation provides an analytical perspective for these complex processes (Cajaiba-Santana, 2014). This approach acknowledges the proactiveness of all actors in decision-making processes and addresses the contingencies of historical and local situations while allowing the exploration of patterns across cases (Christmann et al., 2020; Mumford, 2002). The novelty of the concept of social innovation is expressed in its applicability to multiple socio-environmental problems that are not addressed by traditional innovation (Solis-Navarrete et al., 2021). Social innovation is however an answer for context-specific challenges as the background conditions determine the emergence and development of local social innovations (Branden et al., 2016, p 8; Domanski et al., 2020) that can be upscaled and transferred to different applicable contexts (Thaler et al.,

2019). Social innovation proposes new and better ways of solving social problems and fostering positive social change (The Young Foundation, 2012). Presented study focus on process oriented innovation that may however lead to an innovative results (EC, 1995).

The literature describes the preconditions of social innovation as the satisfaction of basic needs, reconfigured social relations (social transformation), and socio-political empowerment or mobilization (Moulaert et al., 2005). Transformation, leading to social innovation, can be triggered by deviations that create the need for a system to change (Thaler et al., 2019). Social innovation has its starting point in notions of social beneficence and public good that support people in organizations, communities, and society in general (Dawson & Daniel, 2010). A driver for change is a so-called window of opportunity, often referring to natural disasters (such as flood events) as a starting point of transformation (Few et al., 2017; Tortajada et al., 2021).

3 | CASE STUDIES

A comparative analysis of polders located in two purposively chosen Central European river basins in Poland and Hungary was performed. In recent decades, both countries have faced severe flood events (Kundzewicz et al., 1999, Kundzewicz et al., 2012; Szlávik, 2003). In Poland, floods endangered the majority of society, caused dozens of deaths and induced significant economic losses estimated at billions of euros (Kundzewicz, 2014). In Hungary, apart from inducing significant defence operations, a series of major floods in the Tisza river basin resulted in a dike breach and, consequently, a large-scale inundation of settlements (Szlávik, 2003), which, until now, were considered events of the past and largely forgotten. For both regions, as well as for the whole of Europe, flood risk and flood damage are predicted to increase in the next decade due to the highly dynamic nature of climate change (IPCC, 2021). Because of the constantly increasing flood risk in both river basins, attempts are being made to find and implement innovative flood protective measures. In both regions, polders play an

important role in FRM. Although the background conditions for both regions appear to be similar, the processes adopted by the two countries to achieve the same goal, i.e. implementation of polders for flood risk reduction, were different and brought about different outcomes. The location of case study areas is presented on Fig. 1. and all basic information are presented in table 1.

3.1 | Golina polder

The Polish polder Golina is located in the central part of the country, on the right bank, between 385 and 398 km of the Warta River. The polder was constructed as part of a project to develop the widely spread, natural Konin-Pyzdry valley. This complete project involved the construction of embankments that would divide the valley into nine polders with dedicated hydrotechnical structures designed to protect areas in the lower section of the Warta, particularly the city of Poznan (Laks, 2017). Due to limited financial resources and construction of another flood retention reservoir named Jeziorsko upstream, the initial development plan for Golina was abandoned for almost 40 years, and then narrowed down to two polders (Golina and Zagórow) instead of a complex polder system (Laks & Lewandowska, 2017). Ultimately, only Golina was designed for flood protection purposes, with its area intended for agricultural use and optional flood retention (Laks, 2017). The legal and formal framework for establishing polders in Poland did not specifically define the conditions to set up operational polders and manage water retention during flood events. Hydrotechnical infrastructure (consisting of embankment spillways, weirs, pumping stations and sluices) was built in 1980 to enable the flood water to uncontrollably flow into the polder and mitigate the flood wave peak. However, due to unsettled ownership relations and lack of formal regulation, the retention potential of the polder was left untapped and social conflicts emerged (Laks, 2017). Despite the lack of agreement between the local community and the authorities (lack of formal regulations for land reclamation and managing the polder), the Golina polder was flooded several times between 1997 and 2020.

Feature	Golina	Tiszaroff
Location	Warta river (Poland)	Tisza river (Hungary)
Area [ha]	2678,5	2336
Retention capacity [mln m ³]	37	97
Water level reduction [cm]	29	38
Land cover	95% agricultural areas	95% agricultural areas
	4% artificial surfaces	3% forests
	1% forests	2% water bodies
Share of private land (%)	78	94

TABLE 1 Description of Tiszaroff and Golina polders.

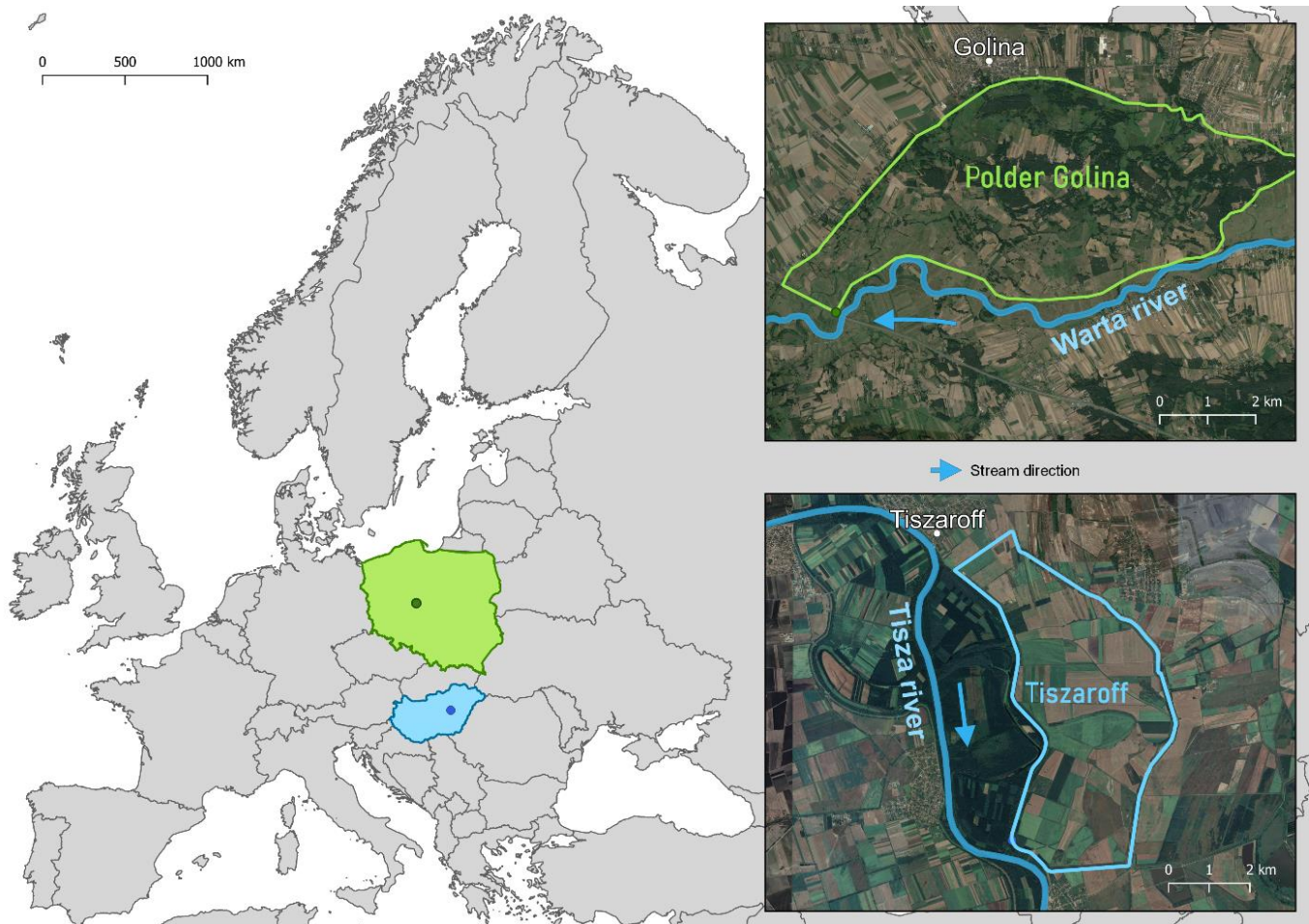


FIGURE 1 Location of selected case studies - Tiszaroff and Golina polder.

During the last severe flooding in 2010, owners of the land located within the polder tried to block the water flow with sandbags, which led to a loss of flow control and severely damaged the hydrotechnical infrastructure of the polder. Damages were also caused by a lack of maintenance. Analysis performed on the impact of the Golina polder on the transformation flood wave revealed that, despite its considerable distance, the polder influenced the water level in the gauging station in the city of Poznań (Laks, 2017; Malinger et al., 2023). During the flood event in 2010, uncontrolled polder retention reduced the water level by 17 cm and water flow by 37 m³/s, thus significantly decreasing flood risk, although normal operating conditions would have caused a reduction of 29 cm and 65 m³/s, respectively. This indicates a necessity for clarification of legal relations, particularly with regard to land ownership and renovation of infrastructure (Laks, 2017). A concrete decision to build a fully operational flood retention polder was made in 2015, in which implementation of the Golina polder was included in a FRM plan for the Odra river basin as a technical strategic investment for flood risk mitigation (Rozporządzenie, 2016). Multi-criteria analysis performed for the purpose of the FRM plan included a comparison of three scenarios: (i)

building the Golina polder, (ii) embankment relocation in the Golina municipality and (iii) embankments removal in the Golina municipality. Based on economic, social, environmental and flood criteria, the first scenario was selected for implementation.

Due to the fact that the whole area of the Golina polder intended for inundation is protected in various forms, such as Natura 2000 birds and habitat directive sites as well as protected landscape areas, its implementation was preceded by detailed environmental impact analysis. The scope of analysis and environmental monitoring have been defined in detail in the decision on environmental conditions taken in the project involving the construction of a polder (RDOŚ 2020a). During the environmental impact assessment different variants of flow control were compared to select the most effective method for polder inundation that would not negatively influence the environment. Decision on environmental conditions in relation to the Golina polder also included conditions of land use during the implementation and operation phases. The environmental impact assessment procedure provides public participation in whole decision making process (Ustawa 1960, Ustawa 2008) and local communities actively exercised their rights submitting reservations that

were further included in the assessment. However, extensive and detailed environmental impact analyses, constrained by numerous formal defects, led to a significant delay in the factual establishment of the fully operational polder. An environmental conditions decision was issued in 2020, where a specific variant of flow control was settled (RDOŚ 2020a). However in 2022 the appeal proceedings is in progress and polder implementation is still withheld (RDOŚ 2020b, GDOŚ 2022).

3.2 | Tiszaroff polder

The Tiszaroff flood peak polder is located in the middle section of the river Tisza in the Hungarian Plain, on the left bank at 375–380 km of the river section. It was completed in 2009 and was inundated during the 2010 flood.

The unprecedented series of major floods on the Tisza river between 1998 and 2001 as well as the dike breach in 2001 at the Hungarian upper section triggered a reconsideration of the prevailing flood defence strategy that had focused on heightening dikes to cope with flood peaks (Szlávik, 2003), albeit the height requirements were not fulfilled along the whole length of the river (Somlyódy & Aradi, 2002). The revision that concluded in the 2004/67 Law (named The Further Development of the Vásárhelyi Plan—VTT by its Hungarian acronym) combined three approaches: (i) strengthening the dikes, (ii) decreasing the roughness of the river corridor and (iii) creating flood peak polders. Notably, the Tiszaroff polder was the first element of the VTT development programme. This polder system provides a total storage volume of 1.5 billion m³ (Dobó, 2019) along the upper and middle sections of the Tisza River. Its flood wave reduction effect, albeit in a decreasing manner, lasts across the whole Hungarian stretch of the river.

The Tiszaroff polder was built adjacent to an existing dike line on an already protected part of the former Tisza floodplain, dominated with croplands, with no significant environmental value. It is a controlled inundation site where the operation of flood gates controls the timing and discharge volume of the inundation. This technical feature, based on a flood wave forecast simulation, provides the most effective flood peak reduction in what a given storage volume can reach.

During the initial planning phase of the polder development programme according to the 2004/67 Law, it aimed for intertwined land usage based on nature-related floodplain farming activities that would be less exposed to damages in case of inundation and would form high natural value areas. Background documents of the VTT planning process estimated that nature-based farming activities would have higher public benefits than crop-dominated ones. However, the support provided by the EU

CAP system for such activities (tailor-made for these flood polders) was not attractive enough to trigger land use adaptation. The bias, induced by the EU-CAP subsidies' crop-friendly preferences was a major driver of sustaining a rigid crop-dominated landscape.

Ex-post simulations showed that the inundation of the Tiszaroff polder in 2010 resulted in a 38 cm decrease in the flood peak at the gates and a 36 cm decrease at the nearby downstream city of Szolnok (Kötivizig, 2010). The impacts of these reductions were felt in a diminishing manner along the whole section of the Hungarian river. The peak level reduction also nullified the need to build temporary defence structures against extreme pressure from the city section of the river in Szolnok. From an economic perspective, the balance of the 2010 intervention was positive—the flood risk reduction outweighed the damage compensation paid for sacrificing agricultural produce (Ungvári, 2016). A subsequent analysis (Ungvári & Kis, 2018) demonstrated that the 20-year return frequency flood is the breakeven one. In the case of more extreme floods, the use of the polder would be justified from an economic point of view. It is important to highlight that this breakeven flood peak level is much lower than the 100-year return frequency flood that was designed to be the trigger for polder use, based only on the hydrologic conditions outlined by the law under the VTT development program (Ungvári & Kis, 2022). It was concluded that flood risks alone do not provide enough additional benefits, compared to the actual operation, to justify the investment. Financially robust results on additional environmental benefits of a major land management change are necessary to be in the position to investigate whether such a step is justifiable—whether it is worth investing in the socio-economic improvement of the site and whether its users will be able to live up to the expectations of managing a site with higher performance on all three—environmental, social and flood risk reduction—aspects (Ungvári, 2022).

4 | COMPARATIVE STUDY OF POLDER IMPLEMENTATION

For this study, a comparative case study analysis was applied (Coletta et al. The analysis relied on content analysis of technical literature and reports and an extensive review of legal frameworks and administrative procedures. The research also includes the results of media coverage analysis and field visits. Data and information were analyzed to identify procedural steps and conditions in the polders' establishment. Moreover, thematic analysis methods were used to identify and report patterns in the themes obtained (Liamputtong, 2010; Pertanika, 2021). Qualitative data and information

were studied descriptively and then presented in the form of descriptions and tables to facilitate the reporting of findings. The analysis was performed in three thematic groups relating formal, economic, and social aspects as they overlap in innovation processes (Mumford, 2002).

4.1 | Formal and legal conditions

A significant factor hampering the implementation of polders is related to legal background and institutional settings (Raška et al., 2022, Warachowska & Zwoliński 2023). A sufficient legal basis (including land acquisition, compensation and incentives) as well as efficient administrative systems and structures support NbS implementation and management (Neumann & Hack, 2020; Brokking et al., 2021; Han & Kuhlicke, 2021). The above factor is of particular importance in the implementation of polders, because NbS requires significantly more land than hard engineering constructions (Hartmann et al., 2019). Another crucial factor related to implementation is the fact that polder retention is also highly dependent on ownership structures (Brokking et al., 2021). Moreover, if precise methods for land reclamation agreements are not formulated and established, land acquisition and its further management would appear as both time- and money-consuming activities.

Regarding the factors mentioned above, FRM systems in Poland and Hungary are characterized by numerous common features. In both countries, due to the introduction of Directive 2007/60/EC for the assessment and management of flood risk (the Floods Directive) by the European Commission, frameworks for FRM and flood impact reduction have been implemented (EC, 2007). The implementation of the Floods Directive played a role in stimulating discussions and FRM planning in many member states that lacked a pre-existing national framework, thus positively influencing the creation of legal instruments for FRM (Priest et al., 2016). Also, the implementation of Directive 2000/60/EC of the European Parliament as well as the framework established by the Council for community action in the field of water policy (EC, 2000) had significant impacts on the water management systems in both countries, while introducing the rules for water management in cross-national river basins.

Issues related to FRM in Poland are regulated by the Water Law Act (Water Law, 2017), in which obligations related to the Water Framework Directive and Floods Directive have been implemented. The amendment to the Water Law Act in Poland in 2017 introduced a definition for a flood protective polder (Water Law, 2017), which focused only on its flood protection function, regardless of the fact that

the hallmark of such a measure lies its multifunctionality. This substantially narrowed down the definition of a polder, together with the lack of specific rules for land reclamation and flood damage compensation, directly caused significant social difficulties in polder establishment and its subsequent management.

First, the hydrotechnical infrastructure of the Golina polder was partially built in the 1980s during the realization of a project to embank the widely spread, natural valley for agricultural purposes in the Konin-Pyzdry section. After 1989, the project was re-prioritized. After this, although the polder was never finished as a fully operational flood-protective measure, existing infrastructure enabled flooding of the Golina polder area during the flood events in 1997 and 2010 (Przybyła et al., 2011; Ministerstwo Środowiska, 2012). Because of the lack of formalization in managing the polder and unfinished infrastructure for flood water flow control, the Golina polder could neither be qualified as a flood-protection polder nor could the land located within it be eligible for compensation for flooding (Sąd Administracyjny, 2011a, 2011b), according to the Polish Water Law Act (2001, 2017).

In Hungary, the legal bases of polder establishment and management were steered by a law (2004/67) that declared its development to be of fundamental public interest. It established the hydrological goal (1 metre decrease in extreme flood-peaks along the river) and the legal framework for polder implementation and exploitation that was applied in the Tiszaroff case. The land trail for the new defence infrastructure was expropriated, but the area inside the new polder could still be owned privately. The authorization of polder inundation initiated an upfront payment for the landowners, based on land quality, as compensation for future constraints on land development. It also offered full damage compensation in the case of any future inundation event. Landowners who would decline the offer faced expropriation.

The aforementioned legal instrument (Law 2004/67) called for the multipurpose use of polders as an integration of the flood mitigation function with the agricultural cultivation of the land. It also established that the financial burden of maintenance of the floodplain farming water management infrastructure within the polder lies on the state budget and the connecting water uses are exempted from the Water Resource Fee.

4.2 | Economic aspects of establishing polders

Financial barriers related to polder implementation are perceived mostly during the land acquisition process (McCarthy et al., 2018; Raska, 2022), while negotiation

with private actors appears to be difficult, especially in large-scale projects (van Dijk, 2003).

In the case of both polders investigated in this study (Golina and Tiszaroff), the land is mostly a private property. Using private land to decrease the downstream flood level is an intervention to pursue public benefits for a wide range of citizens while imposing its costs on a small group of people situated upstream. With the increasing distance between the two groups (beneficiaries and cost bearers) in terms of localization and communality, there is an urgent need to establish a clear contractual term for such service provisions (Thaler et al., 2016).

From an economic point of view, establishing and exploiting a polder for flood risk reduction purposes is worthwhile if its overall risk reduction impact is higher than the cost of establishing the infrastructure and management of the land within the polder. The public benefits of polder use (expressed as flood risk reduction) must be compared to the total cost related to polder implementation and management in monetary terms in order to justify the use of public financial resources. Also the largest element of performed economic analysis was expenses related to land expropriation what emphasizes the role of economic analysis in FRM bargain.

In the Polish case, the inherited legal definition of polders can be viewed as an ambiguous allocation of property rights concerning the boundary of state responsibilities on protection against floods. Overcoming competitive interests between the state and local communities was attempted through legal actions based on the definition of polder delineation, without accounting for its full economic impact on landowners and their real impact on flood protection in the region. The state tried to limit its financial burden of buying flood risk reduction services by using ambiguous delineations, but the lack of economic bases thwarted the unequivocal execution of what the law authorised. In the Tiszaroff polder case, a cost minimization approach was applied where the expected cost of initial and event-based payments over several decades of polder operation was verified by a threefold difference between the investment cost of the polder system and the large-scale dike height increase along the impacted river stretch downstream from the polder (Ungvári & Kis, 2022). It was assumed that the development alternatives were identical—both fulfil the defined hydrological goal, and the difference between their investment costs provided a basis to verify the decision and the compensation commitments as part of the polder development programme that took shape with the law (Law 2004/67). Up to the mid-2010s, the Golina site was never analysed with similar economic accuracy (KZGW, 2015a, 2015b).

4.3 | Social aspects of FRM using polders

Several factors that influence polder implementation and management are perceived in knowledge distribution and share amongst stakeholders (Chou, 2016; Brokking et al., 2021; Małecka-Ziemińska & Janicka, 2022). People's knowledge about NbS effectiveness and their awareness of increasing flood risk can influence their general acceptance of NbS (Gray et al., 2017; Martinez-Juarez et al., 2019; Han & Kuhlicke, 2021; Raska et al., 2022). Furthermore, transdisciplinary knowledge transfer between specialists and stakeholders is necessary for the sustainable management of these measures (Neumann & Hack, 2020). Common awareness of flood risk and well-established knowledge can foster the involvement of local communities and communication during the entire NbS management process (Neumann & Hack, 2020).

The lack of awareness about flood risk, deficiency in the availability of information on polders—including their real impact on private property—as well as the absence of clear and consistent formal and legal conditions for polder implementation and management (Sosnowska, 2016) may directly lead to the emergence and proliferation of social conflicts. When water flowed into the Golina polder area uncontrollably during the flood events in 1997 and 2010, the local community decided to block the overflow shaft with sandbags to prevent further inundation and protect the private property located inside the polder. Later, as intended, the provisional protection was removed and the polder area was filled with water. However, because of unscheduled water flow, flood peak attenuation was unsuccessful and the polder did not play a significant role in the flood protection system.

Social tensions in Poland were also observed regarding land acquisition, substantial decisions on establishing polders were taken after decades of hesitation and specific rules for land expropriation were not formulated. Also, flood damage compensation rules were unclear, as they referred to an ambiguous formal definition for a polder (Water law 2017, (Sąd Administracyjny, 2011a, 2011b; Sąd Najwyższy, 2020).

The lack of administrative response towards social needs resulted in bottom-up initiatives—several interpellations were addressed at the municipal and national levels, formulating key questions for landowners, such as the course and rules for land expropriation, financial security for eventual claims and possible land use and cultivation of areas intended for inundation.

Polder management and establishment in the Tisza river basin did not induce such social tensions and protests because the VTT law created simple take it or leave it rules for landowners to cooperate. With no other viable solution in sight, strong political support for the development plan

was observed. From the perspective of the landowners, the rules for compensation were advantageous—a significant upfront payment and full compensation in the case of uncertain future events (in the case of average or below average quality land, the imposed cultivation constraints were not effectively binding on the actual agricultural activities).

5 | DISCUSSION

A comparative analysis of case studies revealed several factors influencing effective social innovation. However, the polder implementation process is complex. It can be observed in the development of both the physical infrastructure and the institutional framework that incorporates agreements between public agents of the beneficiaries (downstream communities) and landowners, who are the service providers for flood risk reduction (upstream communities) (Warachowska et al., 2021). Ultimately, the influence of all formulated factors is ambiguous; they can have both positive and negative influences depending on the context.

5.1 | Formal and legal conditions

The evidence from both case studies indicates that the establishment and effective management of polders is impossible unless their formal and legal backgrounds are substantially settled and a set of clear rules for the land negotiation process is formulated and directly communicated. However, it should be noted that the above instances do not prejudice the success of the implementation process of a fully multipurpose, nature-based solution, as shown in the Hungarian case study.

In both case studies, institutional FRM is characterized by several common features, such as geopolitical history, the legacy of centralization, and the dominant role of the state hampering social participation. In both polder implementation processes, the role of local communities was limited. In Hungary, landowners were restricted to choosing between two pre-designed options: participating in a compensation scheme or expropriation of the land. In Poland, complaints from local communities opened a window of opportunity at the beginning but were considered only minimally in the later stages of polder implementation.

A strong legal and formal background can serve as a basis and support for social innovation, but if too strong, it can deter people from undertaking actions.

5.2 | Economic aspects of social innovation

Comprehensive economic analysis can significantly enhance the process of polder implementation (Ungvari, 2022), helping to justify the use of public finances and formulate an acceptable financial scheme for landowners. In the Hungarian case, as the land was accessed to fulfill a public goal, seemingly the legitimacy of the compensation was sufficiently established. The case shows that the simple take it or leave it rule limited the role of the people in the decision-making process.

NbS implementation processes require economic justification, but negotiation processes supported by the results of economic analysis (especially land expropriation) hold great potential for innovation. Any agreement with landowners that makes them accept transitional water cover on their land results in nullification of payment of the full price of the land. This arrangement is a reasonable and usual aspiration for implementing nature-based FRM solutions. It is also the preferred option from a social point of view, since expropriation decreases the livelihood prospects of inhabitants, which goes against other development initiatives, such as countryside development strategies.

The implementation of NbS invokes agreements that encourage positive actions instead of obedience to imposed rules. This requires skills, adequate approaches, and perceptions that institutions are yet to acquire, but citizens should demand as well. Implementing these approaches has an indirect positive effect on the social cohesion of the areas concerned, which is also of great importance.

5.3 | Social aspects of FRM using polders

The analysis showed that facing the disastrous consequences of flood events is a strong driver for undertaking flood risk mitigation actions, yet the responses in local communities differ.

In the Polish case, strong social conflicts emerged after the flood event, and communities actively participated in the initial phase of polder implementation. Then, the bottom-up action collided with the insufficiency of the administrative system and ambiguous rules for polder implementation, resulting in further limitation of public participation. Social conflicts, initially perceived as a problem to be solved, can become a window of opportunity to initiate change in contrast to the status quo. Conflict, in this case, can be seen as an inevitable part of social innovation processes (Schumpeter, 1911). The environmental impact assessment on polder implementation involved public participation during the whole decision-making process, yet active engagement

appeared only at the beginning and strong trust in local and national authorities has stopped further efforts. The environmental impact assessment was also a protracted process due to the ambiguity of legal regulation and the complexity of the negotiation process.

In the Hungarian case, the status quo flood defense strategy prevailed for decades due to there being no apparent reason to change track. The disastrous flood event triggered a feedback process, but the reaction of the state was so firm in its invocation of a regional-scale implementation that it also limited public participation—the role of citizens was limited to choosing between two options. This corresponds to a phenomenon often observed in post-communist countries: people mostly rely on the state for long-term flood risk mitigation, and people's engagement, if it extends beyond ensuring their own wellbeing at all, is rather limited (Raška et al., 2021).

5.4 | Social innovation

Social innovation can refer to such a changes that aim to improve the welfare and wellbeing of individuals and communities (OECD, 2016). This approach to social innovation is reflected in the concept of nature-based solutions, meaning actions and technologies that are established to protect, sustainably manage, and restore natural and modified ecosystems that address societal challenges effectively and adaptively, simultaneously benefiting people and nature (IUCN, 2021). The implementation of NbS, involving natural processes to simultaneously protect natural ecosystems and provide human wellbeing (Cohen-Schacham et al., 2016; Fernandes & Guiomar, 2018), seems to be an answer to meet the demand for resilient FRM. Yet, polders, as NbS in FRM, satisfy social needs on the one hand, but on the other hand, their implementation and management require innovation in redefining, combining, and reformulating these approaches to induce successful change.

Assembling multi-purpose land management schemes that include flood risk reduction, among other public and private benefits, in places where it is necessary to maintain a steady and dynamic balance between competing interests requires institutional skills that only states with advanced governance capacities possess. Central-European countries (even after over 30 years since the transition) struggle to restructure governance culture toward such capacities (Gorzalak, 1996; Sykora & Bouzarovski, 2012; Dąbrowski & Piskorek, 2018). Without such a shift in governance culture, negotiating NbS solutions is bound to be an uphill struggle. The primary issue here is not the choice of innovations to foster flood risk reduction agreements; rather, it is whether the challenges to FRM can create a pilot field to cultivate better governance solutions.

The case study analysis proved that polders can be perceived as an innovative and effective measure in FRM. Moreover, the implementation of polders meets the preconditions of social innovation. In the implementation of polders to mitigate flood risk, basic needs were satisfied, significant transformative processes were induced to implement polders, and local communities and institutions were mobilized to induce change. However, substantial and long-lasting change in society has yet to be induced.

6 | CONCLUSION

The dynamic nature of climate change, together with intensive floodplain development, have resulted in flood damage of an enormous scale. This has fueled discussions on the implementation of innovative flood-protective measures capable of coping with constantly changing environmental, social, formal, and economic conditions.

Depending on context polders can be seen as an innovation, especially when compared to hydraulic engineering solutions in FRM. They also bring benefits to the environment by protecting natural ecosystems, as well as to people by decreasing flood risk and ensuring safety. Although their innovativeness and effectiveness seem evident in terms of flood risk mitigation, the potential in introducing social innovations is untapped. The evidence from the comparative analysis shows that facing the disastrous consequences of flood events is a strong driver for undertaking flood risk mitigation actions. Yet this does not always evoke a change aimed at improving the welfare and wellbeing of society. Effective introduction of social innovation is bounded by several factors that are full of contradictions—the same aspect can either allow or hinder public engagement and successful social innovation. Furthermore, there are hardly any necessary conditions, while several combinations of sufficient conditions can lead to success.

Lack of systematization of the formal and legal frameworks precludes the introduction of innovation in FRM systems and at the same time significantly complicates the flood damage compensation process. Moreover, clear and simplified rules for land reclamation and polder implementation can help people engage in decision-making processes but can also significantly limit their factual active engagement. Furthermore, formal and legal ambiguity, along with its consequences, leads to social conflicts, which can be seen as a complication in FRM measure implementation but often becomes a window of opportunity as well. The implementation of polders was induced in response to the context-specific challenges such as social pressure to undertake effective flood risk mitigation actions. Local communities anticipated

innovation in FRM that the authorities were expected to deliver. Social transformation is a continuous process, and as flood risks increase dynamically, constant adjustments in the formal, economic, and social variables are required. Thus, the introduction of social innovation requires the optimization of those variables as they overlap in the process of innovation.

ACKNOWLEDGEMENTS

The study was conducted as part of project supported by 'GEO+' – high quality interdisciplinary doctoral studies programme conducted at the Faculty of Geographical and Geological Sciences of the Adam Mickiewicz University in Poznań (no. POWR.03.02.00-00-I039/16).

DATA AVAILABILITY STATEMENT

The data that support the findings of this study are available from the corresponding author upon reasonable request.

ORCID

Weronika Warachowska  <https://orcid.org/0000-0002-3041-1420>

REFERENCES

- Albrecht, J., Hartmann, T. (2021). Land for flood risk management-Instruments and strategies of land management for polders and dike relocations in Germany. *Environmental Science & Policy*, 118, 36-44.
- Alfieri, L., Feyen, L., Dottori, F., & Bianchi, A. (2015). Ensemble flood risk assessment in Europe under high end climate scenarios. *Global Environmental Change*, 35, 199-212.
- Bark, H. R., Martin-Ortega, J., Waylen, K. A. (2021). Stakeholders' views on natural flood management: Implications for the nature-based solutions paradigm shift? *Environmental Science & Policy*, 115, 91-98.
- Brandsen, T., Cattacin, S., Evers, A., & Zimmer, A. (2016). *Social innovations in the urban context*. Basel: Springer: 3-18.
- Brokking, P., Mörtberg, U., & Balfors, B. (2021). Municipal Practices for Integrated Planning of Nature-Based Solutions in Urban Development in the Stockholm Region. *Sustainability*, 13(18), 10389. <https://doi.org/10.3390/su131810389>.
- Budiyono, Y., Marfai, M. A., Aerts, J., de Moel, H., Ward, P. J. (2017). Flood Risk in Polder Systems in Jakarta: Present and Future Analyses. *Book Series Disaster Risk Reduction*, pp 517-537, DOI10.1007/978-3-319-54466-3_21.
- Cajaiba-Santana, G. (2014). Social innovation: Moving the field forward. *A conceptual framework*. *Technological Forecasting and Social Change*, 82, issue C, 42-51.
- Chou, R. J. (2016). Achieving successful river restoration in dense urban areas: Lessons from Taiwan. *Sustainability* 8(11), Article 1159.
- Christmann, G. B., Ibert, O., Jessen, J & Walther, U-J. (2020) Innovations in spatial planning as a social process – phases, actors, conflicts, *European Planning Studies*, 28:3, 496-520, doi: 10.1080/09654313.2019.1639399.
- Cohen-Schacham, E., Walters, G., Janzen, C., Maginnis, S. (2016). Nature-based solutions to address global societal challenges. In: *Nature-based Solutions to Address Global Societal Challenges*. <https://doi.org/10.2305/iucn.ch.2016.13.en>.
- Coletta, V. R., Pagano, A., Pluchinotta, I., Fratino, U., Scricciu, A., Nanu, F., Giordano, R. (2021). Causal Loop Diagrams for supporting Nature Based Solutions participatory design and performance assessment. *Journal of Environmental Management*, 280, 111668.
- Daigneault, A., Brown, P., & Gawith, D. (2016). Dredging versus hedging: Comparing hard infrastructure to ecosystem-based adaptation to flooding. *Ecological Economics* 122: 25–35.
- Dąbrowski, M. & Piskorek, K. (2018). The development of strategic spatial planning in Central and Eastern Europe: between path dependence, European influence, and domestic politics. *Planning Perspectives*, 33(4), pp. 571-589, <https://doi.org/10.1080/02665433.2018.1513373>.
- Dawson, P., & Daniel, L. (2010). Understanding social innovation: A provisional framework. *International Journal of Technology Management*, 51(1), 9–21. doi:10.1504/IJTM.2010.033125.
- Dobó, K. (2019). A hazai árvízvédelmi stratégia főbb irányai. *Műszaki Katonai Közlöny*, 29(2), 133–144. <https://doi.org/10.32562/mkk.2019.2.11>.
- Domanski, D., Howaldt, J., & Kaletka, C. (2020). A comprehensive concept of social innovation and its implications for the local context—on the growing importance of social innovation ecosystems and infrastructures. *European Planning Studies*, 28(3), 454–474. <https://doi.org/10.1080/09654313.2019.1639397>
- EC [European Commission]. (1995). Green paper on innovation. Retrieved 10/24/2019 from https://europa.eu/documents/comm/green_papers/pdf/com95_688_en.pdf.
- EC [European Commission]. (2000). Directive 2000/60/EC Of The European Parliament and of the Council of 23 October 2000 on establishing a framework for Community action in the field of water policy, Luxembourg City, Luxembourg.
- EC [European Commission]. (2007). Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks. *Official Journal of the European Union*, L 288:27-34. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg City, Luxembourg.
- Ellis, N., Anderson, K., & Brazier, R. (2021). Mainstreaming natural flood management: A proposed research framework derived from a critical evaluation of current knowledge. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment* 45(6): 819-841. <https://doi.org/10.1177/0309133321997299>.
- Fernandes, J.P. & Guiomar, N. (2018). Nature-based solutions: the need to increase the knowledge on their potentialities and limits. *Land Degrad. Dev.* 29 (6), 1925–1939.
- Few, R., Morchain, D., Spear, D., Mensah, A., Bendapudi, R. (2017). Transformation, adaptation and development: relating concepts to practice. *Palgrave Commun.* 3, 17092. <https://doi.org/10.1057/palcomms.2017.92>.

- Gao, Y. Q., Yuan, Y., Wang, H. Z., Zhang, Z. X., Ye, L. (2018). Analysis of impacts of polders on flood processes in Qinhuai River Basin, China, using the HEC-RAS model. *Water Science And Technology-Water Supply*, 18(5), 1852-1860, DOI 10.2166/ws.2018.008.
- GDOŚ [Generalna Dyrekcja Ochrony Środowiska] (2022). Zawiadomienie z dnia 18 marca 2022 r. znak: D00Ś-WDŚZOO.420.13.2020.maz.PCh.3.
- Gorzela, G. (1996). *The regional dimension of transformation in Central Europe: v. 10 (Regional Policy & Development S.)*, London: Jessica Kinglsey Publisher.
- Gray, J.D.E., O'Neill, K., & Qiu, Z.Y. (2017). Coastal residents' perceptions of the function of and relationship between engineered and natural infrastructure for coastal hazard mitigation. *Ocean & Coastal Management* 146: 144-156.
- Guerriero, R., & Penning-Rowsell, E. C. (2021). Innovation in flood risk management: An 'Avenues of Innovation' analysis. *Journal of Flood Risk Management*, 14:e12677. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12677>.
- Hartmann, T., Slavíková, L., & McCarthy, S. (2019). *Nature-Based Solutions in Flood Risk Management*. Cham, Switzerland: SpringerOpen.
- Hirabayashi, Y., Mahendran, R., Koirala, S., Konoshima, L., Yamazaki, D., Watanabe, S., Kim, H., & Kanaes, S. (2013). Global flood risk under climate change. *Nature Climate Change* 3, 816-821.
- IPCC [Intergovernmental Panel on Climate Change] (2021). *Climate Change 2021: the Physical Science Basis*. The Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva.
- IUCN [International Union for Conservation of Nature] (2021). Nature-based solutions. <https://www.iucn.org/theme/nature-based-solutions/about>.
- Jakubínský, J., Prokopová, M., Raška, P., Salvati, L., Bezak, N., Cudlín, O., Cudlín, P., Purkyt, J., Vezza, P., Camporeale, C., Daněk, J., Pástor, M., Lepeška, T. (2021). Managing floodplains using nature-based solutions to support multiple ecosystem functions and services. *Wiley Interdisciplinary Reviews Water* 8(5), e1545.
- Jania, J., Zwoliński, Zb. (2011). Extreme meteorological, hydrological and geomorphological events in Poland. *Landform Analysis*, 15: 51-64.
- Kötivizig (2010). Évi árvíz, Zárójelentés rendkívüli május-június mellékletek.
- KZGW [Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej] (2015a). *Metodyka opracowania planów zarządzania ryzykiem powodziowym dla obszarów dorzeczy i regionów wodnych*.
- KZGW [Krajowy Zarząd Gospodarki Wodnej] (2015b). *Plany zarządzania ryzykiem powodziowym dla obszarów dorzeczy i regionów wodnych - Raport z opracowania programów działań dla regionu wodnego Warty*.
- Kreibich, H., Van Loon, A.F., Schröter, K. et al. (2022). The challenge of unprecedented floods and droughts in risk management. *Nature* 608, 80-86. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04917-5>.
- Kundzewicz, Z. W., Szamalek, K., Kowalczak, P. (1999). The great flood of 1997 in Poland. *Hydrological Science Journal*, 44, 855-870.
- Kundzewicz, Z. W., Dobrowolski, A., Lorenc, H., Niedźwiedź, T., Pinskiwar, I. & Kowalczak, P. (2012). Floods in Poland. In: Z.W. Kundzewicz, ed. *Changes in flood risk in Europe*. Wallingford: IAHS Press.
- Kundzewicz, Z. W. (2014). Adapting flood preparedness tools to changing flood risk conditions: the situation in Poland. *Oceanologia*, 56(2), 385-407, 10.5697/oc.56-2.385.
- Laks, I. (2017). Wpływ retencji polderu Golina na transformację fali powodziowej z 2010 r. *Gospodarka Wodna*, 2, 49-57.
- Laks, I. & Lewandowska, J. (2017). Analiza warunków eksploatacji budowli hydrotechnicznych polderu Golina - uwarunkowania dla rewitalizacji, modernizacji i instrukcji gospodarowania wodą. *Przegląd budowlany*, 4/2017, 25-29.
- Liamputtong, P. (2010). Cross-cultural research and qualitative inquiry. *Turkish Online Journal of Qualitative Inquiry*, 1(1), 1-83.
- Maczalski, A. (2015). Initial estimation of the impact of the polder retention to reduce the risk of the flood. *Acta Scientiarum Polonorum-Formatio Circumiectus*, 14(2), 125-136.
- Mawandha, H. G., Wignjosukarto, B. S., Jayadi, R. (2018). Mini Polders as Alternative Flood Management in the Lower Bengawan Solo River, Indonesia. *Irrigation And Drainage* 67(1), 72-80, DOI10.1002/ird.2198.
- Malinger, A., Wawrzyniak, M., Rybacki, M., Dysarz, T., Szałkiewicz, E. (2023). Reducing flood hazard by effective polder operation: A case study of the Golina polder. *Meteorology Hydrology and Water Management*. <https://doi.org/10.26491/mhwm/156516>.
- Małeczka-Ziembińska, E. & Janicka, I. (2022). Nature-Based Solutions in Poland against Climate Change. *Energies*, 15, 357. <https://doi.org/10.3390/en15010357>.
- Martinez-Juarez, P., Chiabai, A., Suarez, C., and Quiroga, S. (2019). Insights on urban and periurban adaptation strategies based on stakeholders' perceptions on hard and soft responses to climate change. *Sustainability*, 11(3): Article 647.
- McCarthy, S., Viavattene, C., Sheehan, J., Green, C. (2018). Compensatory approaches and engagement techniques to gain flood storage in England and Wales. *Journal of Flood Risk Management*, 11, 85-94.
- Matczak, P., Lewandowski, J., Choryński, A. (2018). Doing more while remaining the same? Flood risk governance in Poland. *Journal of Flood Risk Management*, 11, 239-249. DOI:10.1111/jfr3.12300
- Ministerstwo Środowiska (2012). *Odpowiedź sekretarza stanu w Ministerstwie Środowiska - z upoważnienia ministra - na interpelację nr 2634 w sprawie polderu Golina*, Warszawa.
- Moreau, C., Cottet, A., Rivière-Honegger, A., François, A., Evette, A. (2022). Nature-based solutions (NbS): A management paradigm shift in practitioners' perspectives on riverbank soil bioengineering. *Journal of Environmental Management*, 308, 114638.
- Moulaert, F., Martinelli, F., Swyngedouw, E., & Gonzalez, S. (2005). *Towards Alternative Model(s) of Local Innovation*. *Urban Studies*, 42(11), 1969-1990.
- Mulgan, G. (2006). The process of social innovation. *Innov.: Technol., Governance, Globalization*, 1(2), 145-162.

- Mulgan, G., Tucker, S., Ali, R., Sanders, B. (2007). *Social Innovation. What it is, Why it Matters and How it Can Be Accelerated*. The Young Foundation, London.
- Mumford, M. D. (2002). Social innovation: Ten cases from Benjamin Franklin. *Creativity Research Journal*, 14(2), 253–266. doi:10.1207/S15326934CRJ1402_11.
- Neumann, V. A. & Hack, J. (2020). A Methodology of Policy Assessment at the Municipal Level: Costa Rica's Readiness for the Implementation of Nature-Based-Solutions for Urban Stormwater Management. *Sustainability*, 12(1), 230; <https://doi.org/10.3390/su12010230>.<https://doi.org/10.3390/su12010230>.
- Novakova, J., Dospivova, P., Melcakova, I. (2014). Utilizing dry polder as flood measures in agricultural landscape. *Geoconference on water resources, forest, marine and ocean ecosystems*, Book Series International Multidisciplinary Scientific GeoConference-SGEM, Stef92 Technology Ltd, (Vol 1, 823-828).
- OECD [Organisation for Economic Co-operation and Development] (2016). *Social Innovation Policy Framework for Croatia*, http://dx.doi.org/www.oecd.org/south-east/europe/programme/Social_Innovation_Policy_Framework_Croatia.pdf.
- Pertanika J. (2021). Case Study Building Social Resilience after the 2014 Flood Disaster. *Soc. Sci. & Hum.* 29 (3): 1709 – 1722.
- Priest, S. J., Sukens, C., van Rijswick, H., Schellenberger, T., Goytia, S., Kundzewicz, Z. W., van Doorn-Hoekveld, W. J., Beyers, J.-C., & Homewood, S. (2016). The European Union approach to flood risk management and improving societal resilience: Lessons from the implementation of the floods directive in six European countries. *Ecology and Society*, 21(4), 50–66. <https://doi.org/10.5751/es-08913-210450>.
- Przybyła, C., Bykowski, J., Mrozik, K., Napierała, M. (2011). Znaczenie polderu Zagórów w ochronie przeciwpowodziowej. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 13, 801-814. ISSN 1506-218X.
- Raška, P. (2015). Flood risk perception in Central-Eastern European members states of the EU: a review. *Natural Hazards* 79(3), 2163-2179.
- Raška, P., Warachowska, W., Slavíková, L., Aubrechtová, T. (2020). Expectations, disappointments, and individual responses: Imbalances in multilevel flood risk governance revealed by public survey. *J Flood Risk Management*, e12615, 1-14. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12615>.
- Raška, P., Bezak, N., Ferreira, S. S. C., Kalantari, Z., Banasik, K., Bertola, M., Bourke, M., Cerda, M., Davids, P., Madruga de Brito, M., Evans, R., Finger, D. C., Halbac-Cotoara-Zamfir, R., Housh, M., Hysa, A., Jakubínský, J., Kapovic Solomun, M., Kaufmann, M., Keesstra, S., Keles, E., Kohnova, S., Pezzagno, M., Potocki, K., Rufat, S., Seifollahi-Aghmiuni, S., Schindelegger, A., Sraj, M., Stankunavicius, G., Stolte, J., Stricevic, R., Szolgay, J., Zupanc, V., Slavíková, L., Hartmann, T. (2022). Identifying barriers for nature-based solutions in flood risk management: An interdisciplinary overview using expert community approach. *Journal of Environmental Management*, 310(2022), 114725.
- Raymond, C.M., Berry, P., Breil, M., Nita, M.R., Kabisch, N., de Bel, M., Enzi, V., Frantzeskaki, N., Geneletti, D., Cardinaletti, M., Lovinger, L., Basnou, C., Monteiro, A., Robrecht, H., Sgrigna, G., Muhari, L., Calfapietra, C. (2017). *An Impact Evaluation Framework to Support Planning and Evaluation of Nature-based Solutions Projects*. Report Prepared by the EKLIPSE Expert Working Group on Nature-based Solutions to Promote Climate Resilience in Urban Areas. Center for Ecology & Hydrology, Wallington, United Kingdom.
- RDOŚ [Regionalna Dyrekcja Ochrony Środowiska w Poznaniu] (2020a). Decyzja z dnia 17.02.2020 o środowiskowych uwarunkowaniach przedsięwzięcia pn. Poprawa Bezpieczeństwa Przeciwpowodziowego w Dolinie Rzeki Warty - Budowa Polderu Golina w Powiecie Konińskim, według wariantu 2.3+, przedstawionego w raporcie o oddziaływaniu na środowisko jako wariant 2.
- RDOŚ [Regionalna Dyrekcja Ochrony Środowiska w Poznaniu] (2020b). Zawiadomienie z dnia 11.03.2020 o wniesieniu odwołania od decyzji Regionalnego Dyrektora Ochrony Środowiska z dnia 17.02.2020 o środowiskowych uwarunkowaniach przedsięwzięcia pn. Poprawa Bezpieczeństwa Przeciwpowodziowego w Dolinie Rzeki Warty - Budowa Polderu Golina w Powiecie Konińskim, według wariantu 2.3+, przedstawionego w raporcie o oddziaływaniu na środowisko jako wariant 2.
- Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 18 października 2016 r. w sprawie przyjęcia Planu zarządzania ryzykiem powodziowym dla obszaru dorzecza Odry. (2016). *Dz. U. poz.* 1938.
- Sąd Administracyjny, (2011a). Wyrok Wojewódzkiego Sądu Administracyjnego w Warszawie z dnia 16 czerwca 2011 r. IV SA/Wa 793/11.
- Sąd Administracyjny, (2011b). Wyrok Wojewódzkiego Sądu Administracyjnego w Warszawie z dnia 16 czerwca 2011 r. IV SA/Wa 794/11.
- Sąd Najwyższy, (2020). Wyrok Sądu Najwyższego z dnia 26 lutego 2020 r. V CSK 449/18.
- Schumpeter, J.A. (1911). *The Theory of Economic Development*. Harvard University Press, Cambridge.
- Short, C., Clarke, L., Carnelli, F., Uttley, C., Smith, B. (2018). Capturing the multiple benefits associated with nature-based solutions: Lessons from a natural flood management project in the Cotswolds, UK. *Land Degradation & Development*, 30(3), 241-252.
- Solis-Navarrete, J., Bucio-Mendoza, S., Paneque-Galvez, J. (2021). What is not social innovation. *Technological Forecasting & Social Change*, 173, 121190.
- Somlyódy, L., & Aradi, C. (2002). A Hazai vízgazdálkodás stratégiai kérdései. *Magyar Tudományos Akadémia*.
- Sosnowska, A. (2016). Możliwości polderyzacji obszaru zawala w rejonie Stężycy nad Wisłą. *Acta Sci. Pol. Formatio Circumiectus*, 15(4), 309–319.
- Han, S., & Kuhlicke, C. (2021). Barriers and Drivers for Mainstreaming Nature-Based Solutions for Flood Risks: The Case of South Korea; *Int J Disaster Risk Sci* 12, 661–672.
- Sykora, L. & Bouzarovski, S. (2012). Multiple Transformations: Conceptualising the Post-communist Urban Transition. *Urban Studies*, 49(1), 43-60.
- Szlávik, L. (2003). Az ezredforduló árvizeinek és belvizeinek hidrológiai jellemzése. *Vízügyi Közlemények*, LXXXV(4), 561–579.

- Thaler, T. A., Priest, S. J., & Fuchs, S. (2016). Evolving inter-regional co-operation in flood risk management: Distances and types of partnership approaches in Austria. *Regional Environmental Change*, 16(3), 841–853. <https://doi.org/10.1007/s10113-015-0796-z>.
- Thaler, T., Attems, M. S., Bonnefond, M., Clarke, D., Gatién-Tournat, A., Gralepois, M., Fournier, M., Murphy, C., Rauter, M., Papatoma-Köhle, M., Servain, S., Fuchs, S. (2019). Drivers and barriers of adaptation initiatives – How societal transformation affects natural hazard management and risk mitigation in Europe. *Science of the Total Environment*, 650, 1073–10852.
- The Young Foundation. (2012). *Defining Social Innovation. A deliverable of the Project: The theoretical, Empirical and Policy Foundations For Building Social Innovation in Europe (TEPSIE). European Commission 7th Framework.*
- Tortajada, C., Koh, R., Bindal, I., & LIM, W.K. (2021). Compounding focusing events as windows of opportunity for flood management policy transitions in Singapore. *Journal of Hydrology*, 599, 126345.
- Ungvári, G. (2016). *Közgazdasági elemzés lehetősége az árvízi védekezésben. Rekk – Policy Brief 01/2016.* https://rekk.hu/downloads/projects/rekk_policybrief_hu_01.pdf (accessed: 04/20/2022).
- Ungvári, G. (2022). Combining Flood Risk Mitigation and Carbon Sequestration to Optimize Sustainable Land Management Schemes: Experiences from the Middle-Section of Hungary's Tisza River. *Land*, 11(7), 985. <https://doi.org/10.3390/land11070985>
- Ungvári, G., & Kis, A. (2018). *Közgazdasági döntéstámogatás a Tisza-völgyi árapasztó tározók üzemrendjének kialakításához [Final report]. REKK, Budapest.*
- Ungvári, G., & Kis, A. (2022). Reducing flood risk by effective use of flood-peak polders: A case study of the Tisza River. *Journal of Flood Risk Management*, e12823, 1–15. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12823>.
- Ustawa z dnia 14 czerwca 1960 r. Kodeks postępowania administracyjnego (1960). Dz. U. 2022 poz. 2000.
- Ustawa z dnia 3 października 2008 r. o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko. (2008). Dz. U. 2022 poz. 1029.
- van Dijk, T. (2003). Scenarios of central European land fragmentation. *Land Use Pol.* 20(2), 149–158. [https://doi.org/10.1016/S0264-8377\(02\)00082-0](https://doi.org/10.1016/S0264-8377(02)00082-0).
- Vingre, A. (2017). The role of state in social innovation: the case of Latvia. *Proceedings of the 2017 International Conference “economic science for rural development” No 46*, 189–197.
- Wesselink, A. (2016). Trends in flood risk management in deltas around the world: Are we going “soft”? *International Journal of Water Governance*, (4), 25–46. <https://doi.org/10.7564/15-IJWG90>.
- Water Law (2001). Ustawa z dnia 18 lipca 2001 r. prawo wodne, Dz. U. z 2017 poz. 1121.
- Water Law (2017). Ustawa z dnia 20 lipca 2017 r. prawo wodne, Dz. U. z 2021 poz. 2233.
- Wahyudi, S. I., Adi, H. P., Lekerkerk, J., Bakker, L., Van de Ven, M., Vermeer, D., Adnan, M. S. (2019). Assessment of Polder System Drainage Experimentation Performance Related to Tidal Floods in Mulyorejo, Pekalongan, Indonesia. *International Journal Of Integrated Engineering* 11(9), 73–82.
- Warachowska, W., Alvarez, X., Bezak, N., Gomez-Rua, M., Janeiro-Otero, A., Matczak, P., Vidal-Puga, J., Zupanc, V. (2021). A Cooperative Game for Upstream–Downstream River Flooding Risk Prevention in Four European River Basins. In: *The Handbook of Environmental Chemistry*. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-60211-7_66
- Warachowska, W., & Zwoliński, Zb. (2023). *Gospodarka polderowa w Polsce – wyzwania naturalnej retencji powodziowej.* *Landform analysis* 42, 3–23.
- Wasko, C., Westra, S., Nathan, R., Orr, H. G., Villarini, G., Villalobos, H. R., and Fowler, H. J. (2021). Incorporating climate change in flood estimation guidance. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical, & Engineering Sciences*, 379(2195). <https://doi.org/10.1098/rsta.2019.0548>
- Wing, O. E. J., Bates, P. D., Smith, A. M., Sampson, C. C., Johnson, K. A., Fargione, J., & Morefield, P. (2018). Estimates of present and future flood risk in the conterminous United States. *Environ. Res. Lett.* 13 034023.
- Yusoff, S., & Yusoff, N.H. (2021). Building Social Resilience after the 2014 Flood Disaster. *Pertanika Journal of Social Science and Humanities*, 29(3). <https://doi.org/10.47836/pjssh.29.3.13>
- Zwoliński, Zb. (1992). Sedimentology and geomorphology of overbank flows on meandering river floodplains. *Geomorphology, Special Issue*, 4(6): 367–379. DOI: 10.1016/0169-555X(92)90032-J.

How to cite this article: Warachowska W, Ungvári G, Kis A, Matczak P, Zwoliński Z. Social, economic and legal aspects of polder implementation for flood risk management in Poland and Hungary *J Flood Risk Management*. 2023;e12897. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12897>

OŚWIADCZENIE O WKŁADZIE W POWSTANIE PUBLIKACJI NAUKOWEJ

STATEMENT OF CONTRIBUTION TO A SCIENTIFIC PUBLICATION

Tytuł publikacji Social, economic and legal aspects of polder implementation for
Publication title flood risk management in Poland and Hungary

Autorzy Weronika Warachowska; Gábor Ungvári; András Kis; Piotr
Authors Matczak; Zbigniew Zwoliński

Niniejszym oświadczam o wkładzie w powstanie przedmiotowej publikacji naukowej
w poniższym zakresie

Hereby I declare the scope of contribution in the aforementioned scientific paper as follows

<input checked="" type="checkbox"/>	Przygotował/a koncepcję badań Conceived the research
<input checked="" type="checkbox"/>	Przygotował/a projekt badawczy i zaplanował zadania Designed the research project and planned the tasks
<input checked="" type="checkbox"/>	Zarządzał/a zadaniami oraz ich wykonaniem Managed the tasks performance
<input checked="" type="checkbox"/>	Zgromadził/a dane Collected the data
<input checked="" type="checkbox"/>	Uczestniczył/a w wykonaniu analiz i przetwarzaniu danych Contributed to the analysis and data processing
<input checked="" type="checkbox"/>	Przeprowadził/a przegląd literatury Performed literature query
<input checked="" type="checkbox"/>	Dokonał/a redakcji tekstu publikacji Wrote the publication content
<input checked="" type="checkbox"/>	Opracował/a materiały kartograficzne i graficzne Prepared cartographic and graphic materials
<input checked="" type="checkbox"/>	Zarządzał/a procesem publikacji Managed the publication process

08.02.2023 r.

Weronika Warachowska

(data i podpis)

(date and signature)

OŚWIADCZENIE O WKŁADZIE W POWSTANIE PUBLIKACJI NAUKOWEJ

STATEMENT OF CONTRIBUTION TO A SCIENTIFIC PUBLICATION

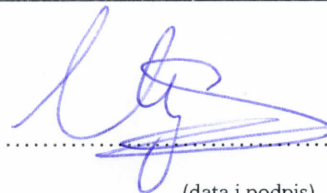
Tytuł publikacji Social, economic and legal aspects of polder implementation for
 Publication title flood risk management in Poland and Hungary

Autorzy Weronika Warachowska; Gábor Ungvári; András Kis; Piotr
 Authors Matczak; Zbigniew Zwoliński

Niniejszym oświadczam o wkładzie w powstanie przedmiotowej publikacji naukowej
 w poniższym zakresie

Hereby I declare the scope of contribution in the aforementioned scientific paper as follows

<input type="checkbox"/>	Przygotował/a koncepcję badań Conceived the research
<input type="checkbox"/>	Przygotował/a projekt badawczy i zaplanował zadania Designed the research project and planned the tasks
<input type="checkbox"/>	Zarządzał/a zadaniami oraz ich wykonaniem Managed the tasks performance
<input checked="" type="checkbox"/>	Zgromadził/a dane Collected the data
<input checked="" type="checkbox"/>	Uczestniczył/a w wykonaniu analiz i przetwarzaniu danych Contributed to the analysis and data processing
<input checked="" type="checkbox"/>	Przeprowadził/a przegląd literatury Performed literature query
<input checked="" type="checkbox"/>	Dokonał/a redakcji tekstu publikacji Wrote the publication content
<input type="checkbox"/>	Opracował/a materiały kartograficzne i graficzne Prepared cartographic and graphic matherials
<input type="checkbox"/>	Zarządzał/a procesem publikacji Managed the publication process



(data i podpis)

(date and signature)

(GABOR Ungvári)
 17.02.2023

OŚWIADCZENIE O WKŁADZIE W POWSTANIE PUBLIKACJI NAUKOWEJ

STATEMENT OF CONTRIBUTION TO A SCIENTIFIC PUBLICATION

Tytuł publikacji Social, economic and legal aspects of polder implementation for
 Publication title flood risk management in Poland and Hungary

Autorzy Weronika Warachowska; Gábor Ungvári; András Kis; Piotr
 Authors Matczak; Zbigniew Zwoliński

Niniejszym oświadczam o wkładzie w powstanie przedmiotowej publikacji naukowej
 w poniższym zakresie

Hereby I declare the scope of contribution in the aforementioned scientific paper as follows

<input type="checkbox"/>	Przygotował/a koncepcję badań Conceived the research
<input type="checkbox"/>	Przygotował/a projekt badawczy i zaplanował zadania Designed the research project and planned the tasks
<input type="checkbox"/>	Zarządzał/a zadaniami oraz ich wykonaniem Managed the tasks performance
<input type="checkbox"/>	Zgromadził/a dane Collected the data
<input checked="" type="checkbox"/>	Uczestniczył/a w wykonaniu analiz i przetwarzaniu danych Contributed to the analysis and data processing
<input type="checkbox"/>	Przeprowadził/a przegląd literatury Performed literature query
<input type="checkbox"/>	Dokonał/a redakcji tekstu publikacji Wrote the publication content
<input type="checkbox"/>	Opracował/a materiały kartograficzne i graficzne Prepared cartographic and graphic materials
<input type="checkbox"/>	Zarządzał/a procesem publikacji Managed the publication process

17/02/2023 

(data i podpis)

(date and signature)

OŚWIADCZENIE O WKŁADZIE W POWSTANIE PUBLIKACJI NAUKOWEJ

STATEMENT OF CONTRIBUTION TO A SCIENTIFIC PUBLICATION

Tytuł publikacji Social, economic and legal aspects of polder implementation for
Publication title flood risk management in Poland and Hungary

Autorzy Weronika Warachowska; Gábor Ungvári; András Kis; Piotr
Authors Matczak; Zbigniew Zwoliński

Niniejszym oświadczam o wkładzie w powstanie przedmiotowej publikacji naukowej
w poniższym zakresie

Hereby I declare the scope of contribution in the aforementioned scientific paper as follows

<input type="checkbox"/>	Przygotował/a koncepcję badań Conceived the research
<input type="checkbox"/>	Przygotował/a projekt badawczy i zaplanował zadania Designed the research project and planned the tasks
<input type="checkbox"/>	Zarządzał/a zadaniami oraz ich wykonaniem Managed the tasks performance
<input type="checkbox"/>	Zgromadził/a dane Collected the data
<input type="checkbox"/>	Uczestniczył/a w wykonaniu analiz i przetwarzaniu danych Contributed to the analysis and data processing
<input type="checkbox"/>	Przeprowadził/a przegląd literatury Performed literature query
<input checked="" type="checkbox"/>	Dokonał/a redakcji tekstu publikacji Wrote the publication content
<input type="checkbox"/>	Opracował/a materiały kartograficzne i graficzne Prepared cartographic and graphic materials
<input checked="" type="checkbox"/>	Zarządzał/a procesem publikacji Managed the publication process

16.02.23



(data i podpis)

(date and signature)

OŚWIADCZENIE O WKŁADZIE W POWSTANIE PUBLIKACJI NAUKOWEJ

STATEMENT OF CONTRIBUTION TO A SCIENTIFIC PUBLICATION

Tytuł publikacji Social, economic and legal aspects of polder implementation for
Publication title flood risk management in Poland and Hungary

Autorzy Weronika Warachowska; Gábor Ungvári; András Kis; Piotr
Authors Matczak; Zbigniew Zwoliński

Niniejszym oświadczam o wkładzie w powstanie przedmiotowej publikacji naukowej
w poniższym zakresie

Hereby I declare the scope of contribution in the aforementioned scientific paper as follows

<input type="checkbox"/>	Przygotował/a koncepcję badań Conceived the research
<input type="checkbox"/>	Przygotował/a projekt badawczy i zaplanował zadania Designed the research project and planned the tasks
<input type="checkbox"/>	Zarządzał/a zadaniami oraz ich wykonaniem Managed the tasks performance
<input type="checkbox"/>	Zgromadził/a dane Collected the data
<input type="checkbox"/>	Uczestniczył/a w wykonaniu analiz i przetwarzaniu danych Contributed to the analysis and data processing
<input type="checkbox"/>	Przeprowadził/a przegląd literatury Performed literature query
<input checked="" type="checkbox"/>	Dokonał/a redakcji tekstu publikacji Wrote the publication content
<input type="checkbox"/>	Opracował/a materiały kartograficzne i graficzne Prepared cartographic and graphic materials
<input checked="" type="checkbox"/>	Zarządzał/a procesem publikacji Managed the publication process

16.02.2023



.....
(data i podpis)

(date and signature)

A Cooperative Game for Upstream– Downstream River Flooding Risk Prevention in Four European River Basins



Weronika Warachowska, Xana Alvarez, Nejc Bezak, María Gómez-Rúa,
Andrea Janeiro-Otero, Piotr Matczak, Juan Vidal-Puga, and Vesna Zupanc

W. Warachowska (✉)

Faculty of Geographical and Geological Sciences, Adam Mickiewicz University in Poznań,
Poznań, Poland

e-mail: warachowska@amu.edu.pl

X. Alvarez

Engineering Department of Natural Resources and Environment, School of Forestry
Engineering, University of Vigo, Vigo, Spain

e-mail: xaalvarez@uvigo.es

N. Bezak

Faculty of Civil and Geodetic Engineering, University of Ljubljana, Ljubljana, Slovenia

e-mail: nejc.bezak@fgg.uni-lj.si

M. Gómez-Rúa

Faculty of Economics and Business, University of Vigo, Vigo, Spain

e-mail: mariarua@uvigo.es

A. Janeiro-Otero

Faculty of Environment and Natural Resources, University of Freiburg, Freiburg im Breisgau,
Germany

P. Matczak

Faculty of Sociology, Adam Mickiewicz University in Poznań, Poznań, Poland

e-mail: matczak@amu.edu.pl

J. Vidal-Puga

Facultade de Ciencias Sociais e da Comunicación, Universidade de Vigo, Vigo, Spain

e-mail: vidalpuga@uvigo.es

V. Zupanc

Biotechnical Faculty, University of Ljubljana, Ljubljana, Slovenia

e-mail: vesna.zupanc@bf.uni-lj.si

Carla S. S. Ferreira, Zahra Kalantari, Thomas Hartmann, and Paulo Pereira (eds.),
Nature-Based Solutions for Flood Mitigation: Environmental and Socio-Economic Aspects,
Hdb Env Chem (2022) 107: 379–398, DOI 10.1007/698_2021_766,

© The Author(s), under exclusive license to Springer Nature Switzerland AG 2021,

Published online: 6 May 2021

Contents

1	Introduction	380
2	Game Theory in Flood Issues	382
3	Method	383
4	Study Areas	385
5	Costs and Benefits	387
6	Results	389
7	Discussion	392
8	Conclusion	393
	References	394

Abstract This chapter tests whether a group of landowners living in the upstream part of a river basin could change land use to increase retention and thus decrease flood risk of the other group living in downstream parts of the river basin.

A cooperative game theory model combined with cost–benefit analysis is applied in four river basin settings in Europe: Stille Oder (Germany), Pysznica (Poland), Vipava (Slovenia), and Lea (Spain). These settings demonstrate various characteristics differentiating among catchments in terms of their size and land use, such as agricultural, forestry, and urbanisation.

Analysis reveals that in two of four river basins – Stille Oder (Germany) and Pysznica (Poland) – it is possible to find a mutually beneficial compromise between landowners to change land use (afforestation), which is economically reasonable for both of them, leading to flood risk reduction.

The cost–benefit analysis was applied to estimate the possible total benefit of afforestation that was an input data to the game theory model. The model applied in this chapter offers insights for flood risk reduction relying on nature-based solutions. It determines the benefits of cooperation that can be achieved by decision-making process participants separately and their coalition when cooperating. The sharing-rule function can help planners to distribute the total benefits from flood loss reduction among landowners fairly. Afforestation appears a feasible method for flood risk management.

The chapter also formulates further directions for game theory application in the field of environmental chemistry such as transportation of pollutants during flood events.

Keywords Cost-benefit analysis, Flood risk management, Game theory, Land use change

1 Introduction

Flood is the most significant hydrological hazard worldwide in terms of risks to life and property [1, 2]. Climate change and increasing exposure of people and assets increase the probability of future flood events that lead to a reduction in safety for

local populations and higher costs for flood damage [3–5]. It is also expected that the damage caused by floods will increase in the coming decades, influencing infrastructure and the health and lives of the affected people [6, 7].

To cope with the growing flood risk, it is necessary to establish feasible flood protection measures. Recent developments suggest that nature-based solutions could play an important role instead of or in addition to traditional engineered approaches. Controlled flood retention is one strategy considered to have potential for flood risk management [8]. While nature-based solutions are claimed to provide effective solutions, they require land to reach the desired capacity, and land use planning needs to be involved in the development of solutions. Taking into account inconsistent approaches of spatial planners and water engineers appears a difficult task [9]. Furthermore, spatial planning involves multiple stakeholders (such as sectors, interest groups, and individuals) driven by diverse interests that need to be integrated [10]. How to align these interests is subject to much debate, from theoretical and practical points of view. Consequently, a defined public interest concept needs to be developed [11, 12] that can provide legitimate solutions [13].

For flood risk management, the river basin scale is fundamental. The relation between the downstream and upstream of a river basin needs to be considered in terms of expected damage reduction, because actions undertaken upstream influence the risk of flood downstream. In general, downstream areas benefit from upstream flood retention services [14], whereby downstream homeowners, commercial businesses, public institutions, and infrastructure operators benefit directly from the reduction in flood risk. Moreover, landowners of flood-protected land, both agricultural and (undeveloped) building land, benefit indirectly from upstream flood retention, as land located in flood-prone areas would be exposed to lower flood risk or even classified outside flood hazard zones; thus, it may become legally suitable for development. This is usually accompanied by a significant appreciation in property value [8].

Afforestation in the upstream part of a river basin is usually considered for increasing retention capacity. However, the introduction of upstream flood retention requires a change in land use that involves costs. Therefore, convincing upstream landowners to modify their land use becomes a crucial step in establishing protection measures. Property rights and fairness are key in such negotiations. While one agent is expected to act for the good of others, the question of strategic behaviour becomes imminent. A proper distribution of resources, welfare, rights, duties, and opportunities need to be considered within a comprehensive framework to solve common distributive problems [15]. In addition, change in land use is strictly regulated in many countries. For instance, in Galicia (Spain) forest policy allows agricultural land that has been explicitly abandoned for more than 10 years to be afforested [16]. At the same time, agricultural land abandonment is the largest land use change process in Europe. More specifically, in the study area of Galicia, it is estimated the abandonment rate will reach 44% by 2030 [17]. This suggests significant potential for afforestation as a flood risk management measure.

In this study, a game theory model is applied to four different European basins to simulate a decision-making process aimed at reducing the negative consequences of

flood. The costs and benefits of actions/inactions are examined in terms of potential cooperation between both upstream and downstream agents. This approach is based on game theory, a mathematical tool that enables analysis to solve allocation problems where two or more agents have their own interests, both seeking to maximise benefits. Here, a cooperative ‘game’ is defined, where ‘players’ cooperate and a mutually beneficial compromise is possible.

2 Game Theory in Flood Issues

Game theory is an analytical tool that enables interactions of rational players pursuing their interests to be modelled. Hence, it is a suitable tool to be applied in research on water resource management such as conflicts on irrigation or transboundary water conflicts, as well as for flood risk management, which involves parties with a conflict of interest. For instance, communities occupying both riversides may compete in heightening their levees. In this game, increasing safety on one riverside decreases safety on the other [18]. The same situation can occur when considering the upstream–downstream distinction. Machac et al. [19] discuss scenarios for negotiations between upstream and downstream from a game theory perspective. The authors analysed how changes in conditions (such as a preference for upstream or downstream) influence the outcomes of the game.

Many types of games have been developed and can be applied to specific conflict situations related to flood risk management. Parrachino et al. [15], Zara et al. [20, 21] provide the basics and a review of some applications of cooperative game theory to issues of water resources. There is also a wide literature devoted to the study of allocation problems to solve issues related to transboundary rivers using cooperative game theory. Applications include water resource development [22], water allocation [23], pollution control costs [24], and flood cost sharing [25]. Non-cooperative game theory has also been applied to water management problems [26], water right conflicts [27], and efficient allocation of water [28]. Gómez-Rúa [29], van den Brink et al. [30], and Sun et al. [31] address the problem of sharing the cost of cleaning a polluted river, for example, using environmental taxes. Béal et al. [32] and Beard [33] provide surveys on the use of cooperative game theory to model water allocation problems.

There is an important distinction between cooperative and non-cooperative games. In non-cooperative games, players compete and make decisions independently, whereas in cooperative game players make decisions together [26]. Hui et al. [18] argue that cooperative games involve methods of optimisation that assume perfect cooperation between players. However, in many areas of natural resource management, non-cooperation is players’ dominant strategy [34]. For example, the prisoner’s dilemma and other non-cooperative types of games depict such situations leading to non-Pareto optimal results.

To make further progress in this field of research, a multi-model and multidisciplinary approach is recommended [35]. In particular, flood damage is

attributed to increasing exposure due to high population growth and economic development in flood-prone areas [36–38]; therefore, awareness of floods and effectiveness of flood protection measures are also taken into account as factors that influence the decisions of private landowners in land management cases [39].

Álvarez et al. [40] apply game theory to study the problem of incentivising land owners to use their land in a way that reduces flood risk. Mitigating flood risk has numerous benefits; for instance, a reduction of the costs derived from flooding. Using the game theory framework, a wide literature related to transboundary rivers exists that studies different problems associated with the river. This literature developed in two directions. First, models were proposed that study how to share the costs of cleaning a river among the regions located along it. Second, other models have been proposed for studying how to share water resources among the different regions located along a river.

The first problem consists of two main approaches: some studies consider a river a segment divided into different regions and assume that the cost of cleaning each region is exogenously given (observable) [41–44]. These studies propose different allocation rules for distributing the cost of cleaning the river among the regions. The second approach is taken in Gengenbach et al. [45] and van der Laan and Moes [46], where the cost allocation method adopted is thought to affect the decision of each region about how much waste to discharge.

For other types of problems, the focus is on analysing water allocation and achieving fair distribution of welfare resulting from distributing river water among different regions. The first paper by Ambec and Sprumont analysed how water should be allocated among agents, proposing monetary transfers among them from the point of view of the game theory [47]. Several other papers followed considering this topic [48, 49].

3 Method

This study applies the cooperative game theory model combined with cost–benefit analysis. The main goal is to use a sharing-rule function to distribute the total benefit among agents. A sharing-rule function determines the way benefits of cooperation should be shared for a given situation modelled by a cooperative game. A cooperative game determines the benefits of cooperation that can be achieved by: (a) each agent separately, and (b) each coalition when cooperating. This enables us to determine the most stable and fair share given by the sharing-rule function. The sharing rule can be used to set compensations and incentives to achieve a fair allocation of costs and benefits, as proposed in the cooperative game theory model presented by Álvarez et al. [40]. The model establishes distribution rules that satisfy a core idea of stability, namely that no agent or group of agents can find themselves in a worse position than working separately. Álvarez et al. [40] propose three such rules. The first rule is the most favourable possible for the upstream agent. The second is the most favourable possible for the downstream agent. Finally, the third

Table 1 Area for each agent in selected basins (ha)

	Stille Oder (Germany)	Pysznicza (Poland)	Vipava (Slovenia)	Lea (Spain)
Agent 1 (upstream)	5,729	3,517	38,605	13,219
Agent 2 (downstream)	4,229	3,026	19,317	2,011
Total	9,958	6,543	57,922	15,230

balances both approaches by taking a compromise solution between the previous two.

This study is explorative; therefore, the model is simplified with the following assumptions: (1) there are only two agents in the drainage basin; (2) two main land uses are considered (defined as ‘forest’ and ‘other’). According to Bentley and Coomes [50], afforestation of lands previously degraded by agriculture helps to repair the soil so that it can retain more water and reduce the flow of the nearby river.

Agents in a so-called flood game (as defined in [40]) are spatial units located in different parts of the drainage basin. In this study, for each of four selected basins, two agents (players) were defined as decisions-making process participants. Agent represent the regions including all subbasins in each part of the drainage basins and was delineated as follows: (a) upstream agent, located in the upstream part of the river where the flood risk is low and flood protection measures and actions are to be undertaken (agent 1); (b) downstream agent, located in the downstream part of the river where the flood risk is high (agent 2). Agents have the freedom to change the use of their own land and the right to deny any change on their own land that they do not agree with. Although game theory enables to represent each landowner as a separate agent, the approach had to be simplified. Because this analysis is the first attempt to apply this model, the agents represent collectives of landowners located in each part of the drainage basin. Delimitation for each basin was considered separately. The main factor was delimitation of the flood extent based on flood hazard maps at both a European and global scale based on streamflow data from the European and Global Flood Awareness System (Flood Maps). The shape and size of the basin were also considered.

Areas for each agent for each selected basin are presented in Table 1.

To apply the game theory model, we need to consider the worth of upstream and downstream agents (w_1 and w_2 , respectively) when acting individually, and the worth of both agents when they cooperate (w_{12}). For the former, we have $w_1 = \max(A; F)$, and for the later, $w_{12} = \max(A, F + B)$, where:

A = How much agent 1 gets if it does not change the land use to forest.

F = How much agent 1 gets if it does change the land use to forest.

B = Benefit provided by the decrease in flood damage due to agent 1 changing the land use to forest.

We also normalise $w_2 = 0$, since it does not play a role in the share.

Given these values, a stable sharing rule should provide the following payoff allocation (x_1 and x_2):

- Agent 1: $x_1 = w_1 + (w_{12} - w_1 - w_2) d$
- Agent 2: $x_2 = w_2 + (w_{12} - w_1 - w_2) (1 - d)$

where d is a value between 0 and 1. For $d = 1$, we obtain the most favourable deal for agent 1. For $d = 0$, we obtain the most favourable deal for agent 2. For $d = 0.5$, we obtain a compromise deal.

4 Study Areas

Four European river basins were subjected to analysis: the Stille Oder river basin (Germany), the Pysznica river basin (Poland), the Vipava river basin (Slovenia), and the Lea river basin (Spain) (see Fig. 1). The criteria for the selection of case studies



Fig. 1 Location of the studied basins: (a) Stille Oder, (b) Pysznica, (c) Vipava, (d) Lea

were as follows: an area where a significant flood risk exists and where a potential upstream–downstream conflict could be present was selected, the idea was to capture different climate zones and different hydro-meteorological conditions within the Europe and finally the selected catchment need to have the required data available.

The Stille Oder river, also known as Mucker, is a former branch of the Oder River. It is located in the north-east part of the federal state of Brandenburg in Germany, as part of the Oderbruch, a former delta of the Oder river. Today, the Oder's main channel is restrained to the eastern edge of the depression, and the remnants of the former branches bear designations like the Stille Oder. Approximately 86% of the basin area consists of non-irrigated arable land, with another 11% of pasture, 3% of discontinuous urban fabric, and the remaining consisting of small percentages of agricultural land with significant areas of natural vegetation, broad-leaved and coniferous forests, inland marshes, and water courses [20, 21]. The Oderbruch suffered from heavy flooding in 1785, 1838, 1947, 1981/82, 1997, and 2010, the most recent event reaching a water level above 7 m due to rainfall of up to 200 l/m³ [51].

The Pysznica River basin is a right tributary of the Parsęta River located in the north-west of Poland. Dominant types of land use in the catchment include agricultural areas (74%), which is mainly non-irrigated arable land, pastures, complex cultivation patterns, and land principally occupied by agriculture, with significant areas of natural vegetation. Complementary types of land use are broad-leaved, coniferous and mixed forests (24%) and discontinuous urban fabric (2%) [20, 21]. According to Polish maps of flood risk and flood danger [52], flood risk on the Pysznica river catchment is low; however, it is assumed it will increase significantly over the next 10 years.

The Vipava River catchment (upstream of the Miren discharge gauging station) is located approximately 1 km before the border with Italy and 2.5 km before the confluence with the Soča River. The annual maximum discharge at the location of the Miren station can be as much as 400 m³/s, while minimum annual flows can be less than 1 m³/s [53]. Thus, the difference between minimum and maximum flows is quite large, which is a consequence of rainfall generation mechanisms in the area where extreme rainfall events are relatively frequent. Forest covers approximately 65% of the Vipava River catchment and agricultural areas around 32%, while urban areas represent approximately 3% of the total area [20, 21]). Since the climate is Mediterranean, the agriculture is well-developed in the area and at specific locations supported by irrigation systems.

The Lea River basin, located in Galicia (North-western Spain), is a tributary of the Miño River in the upper part of the basin. The river catchment is associated with complex cultivation patterns (38%), forests and semi natural areas (59%), land principally occupied by agriculture (1.5%), and artificial surfaces (1.5%) [20, 21]. According to Spanish maps of flood risk [52], it exhibits a medium risk of flooding for the lower basin and a very low risk for the upper river basin. Therefore, it would not change its level of risk for the next 10 years.

5 Costs and Benefits

Costs related to flood damage can be all assigned to agent 2, since according to the flood maps, the risk of flooding only occurs in the downstream part of the river basin. Agent 1's strategy for initial land use is defined as the initial state where none of the costs or benefits appear. The flood risk has not been reduced, no costs are incurred, and the payoffs are normalised to zero. Payoffs for agent 1's forest strategy constitute the difference between flood damage before and after land use change. The total benefit derived from land use change has been assigned to agent 1, as all activities related to change of land use are undertaken only in the upstream part of the basin.

A cost–benefit analysis has been conducted for a time period of 100 years, which means the most important aspects (described in the following) can be captured. Notice that money in the present is worth more than the same amount in the future because of both inflation and earnings from alternative investments that could be made during the 100-year period. For example, any investor would prefer to get 100 € today than 100 € next year. We expect, however, that there is an amount (e.g. 105 €), so that an average investor would be indifferent between obtaining 100 € today and 105 € next year. In that case, we say that the money has a yearly discount rate of 5%. In the economic literature, a standard way to compare cash flows in different periods of time is by the net present value (NPV), which represents the value inflows in present currency.

Concerning the discount rate for the analysis, the *'Guide to Cost Benefit Analysis of Investment Projects'* proposed a 5.5% discount rate for cohesion countries and 3.5% for other countries for the 2007–2013 period. However, taking a 100-year time horizon, the discount rate applied was 3.5% for all four basins. Similar values were adopted in other studies [54]. All costs and benefits were assigned to three main groups: (a) expected flood damage related to initial land use; (b) expected costs and benefits related to initial land use; and (c) expected costs and benefits related to land use change. These groups are presented in the following description.

- (a) Expected flood damage for initial land use, including all the costs related to potential damage caused by flood both before and after land use change. Calculations (before land use changes) were conducted on the basis of global flood depth-damage functions developed by Huizinga et al. [55]. The damage curves depict fractional damage as a function of water depth as well as the relevant maximum damage values for specific assets and land use classes. Damage curves and maximum damage values were adjusted for local circumstances for each of the four analysed basins. Flood extent was attributed following the flood maps. Equation (1) displays the formula for calculating expected damage for initial land use.

$$T1 = A * D * M \tag{1}$$

where: $T1$ = total damage [€], A = area covered by specific impact category (Residential, Commercial, Industrial, Agriculture, Infrastructure) [ha],

D = damage function (adjustment for specific flood depth), M = max damage (according to EU flood depth-damage functions) [€/ha].

Flood damage after land use change was calculated, based on the assumption of Salazar et al. [56] regarding the influence of afforestation on peak discharge reduction. Specific peak discharges for each basin were compared to the function defined by Salazar et al. [56] on the basis of case study analysis in different European hydro-climatological regions. Then, the flood damage after land use change was estimated, assuming the total damage would decrease by the same percentage as the peak discharge. Although this method does not allow for costs to be precisely specified, it is still possible to estimate the general tendency for how afforestation influences flood risk and flood damage.

(b) Expected costs and benefits related to initial land use.

The total benefit of initial land use was calculated using the NPV, and by including (1) potential benefit from harvested crops (Eq. 2) defined as a generalised benefit from agricultural land, (2) costs of land cultivation (Eq. 3), and (3) subsidies for agricultural activities. Equation (4) presents the formula for calculating the total benefit from initial land use. All three equations consider the discount rate for 100 years period, including the first year for which the initial costs, benefits, and subsidies were defined.

Costs and benefits were considered only for part of the area that is meant to be afforested, located upstream.

$$T2 = A * P * \frac{1 - (1/(1 + d))^{101}}{1 - (1/(1 + d))} \quad (2)$$

where: $T2$ = total benefit from harvests [€], A = area cover by agriculture [ha], P = price in 2020 [€/ha], d = discount rate (3.5%)

$$T3 = A * C * \frac{1 - (1/(1 + d))^{101}}{1 - (1/(1 + d))} \quad (3)$$

where: $T3$ = total cost of cultivation [€], A = area cover by agriculture [ha], C = cost of land cultivation in 2020 [€/ha], d = discount rate (3.5%).

$$T = T2 - T3 + S \quad (4)$$

where: T = total benefit from initial land use [€], $T2$ = total benefit from harvests [€], $T3$ = total cost of cultivation [€], S = agricultural subsidies [€].

(c) Costs and benefits related to land use change.

The main assumption of the study is that the change of land use upstream would reduce flood risk and limit flood damage downstream. To assess the positive potential influence of land use change, the costs and the benefits were analysed,

including (1) cost of land use change and land cultivation after change, including one-off investment costs and land cultivation for the whole period of analysis (Eq. 5); (2) subsidies for afforestation; and (3) benefits from harvesting (Eqs. 6 and 7). Equation (8) displays the formula for the total benefit from afforested land. Equations (6), (7), and (8) use the NPV that was also used in Eqs. (2) and (3). However, here the benefit flow total value of harvest is null during the first years and increases steadily until reaching the optimal flow in 10 years' time.

In just the same way as the case of initial land use, costs and benefits were considered only for the area that is meant to be afforested. The subsidies were not included for the Slovene case because afforestation is not governmentally supported. For Germany, Poland, and Spain, national and regional government support is provided, which includes one-off support for afforestation either care or maintenance bonus for a 5–20 year period.

$$T4 = A * I + A * M * \frac{1 - (1/(1 + d))^{101}}{1 - (1/(1 + d))} \tag{5}$$

where: $T4$ = total cost of land use change and management [€], A = area meant to change land use [ha], I = investment costs (once for the whole area) [€/ha], M = management costs [€/ha], d = discount rate (3.5%).

$$T5 = NPV (A * W * P, d) \tag{6}$$

$$T6 = NPV (A * P, d) \tag{7}$$

where $NPV(X,d)$ is the function used to compute the NPV depending on the value of the 100-year cash flow (X) and the discount rate ($d = 3.5\%$), and where: $T5$ = benefit from harvests for Poland and Germany [€], $T6$ = benefit from harvest for Slovenia and Spain [€], A = area covered by forest [ha], W = amount of wood [m^3/ha], P = price of wood [€/ m^3] or [€/ha].

$$TF = T5 - T4 + S \text{ or } TF = T6 - T4 + S \tag{8}$$

where: TF = total benefit of land use change [€], $T4$ = total cost of land use change and management [€], $T5$ = benefit from harvests for Poland and Germany [€], $T6$ = benefit from harvests for Slovenia and Spain [€], S = subsidies [€].

6 Results

Due to defined flood risk in each of the analysed regions, the damage caused by flood events were estimated as input data for the game theory model. The differences in total damage values for each basin are related to the land use structure, the area of

flooded land, and the depth of flood. The results of calculations for flood damage before land use change (Eq. 1) are presented in Table 2.

The highest costs in the Vipava River basin (Slovenia) reflect the significant area covered by residential and industrial buildings, for which the highest maximum damage values were defined. The Stille Oder basin costs were mostly derived from agriculture as this comprises almost 95% of land use. Relatively small damages counted for the Lea river basin (Spain) are related to the area least endangered by flood risk of all the analysed basins. The least damage quantified for the Pysznica River basin (Poland) are the results of the small water depth and the high percentage of land covered by agricultural areas.

The results of cost–benefit analysis are the payoffs of the game for each agent in case of two undertaken strategies. The results of game theory model application and payoffs for each agent in the four analysed basins are presented in Table 3.

Differences between the benefits from initial land use for each basin are related to the area covered by agricultural land, the type of crop, and possible subsidies for agricultural activities. The difference in the total benefit between Germany and the other countries is mainly related to the fact that almost 95% of the basin area is covered by non-irrigated arable land. However, this result is only achieved with the

Table 2 Flood damage related to initial land use

Damage class	Damage (million €)			
	Stille Oder (Germany)	Pysznica (Poland)	Vipava (Slovenia)	Lea (Spain)
Residential buildings	0.091	0.143	50.315	0.244
Industrial buildings	–	–	26.916	1.242
Agriculture	10.719	0.323	0.246	0.071
Infrastructure	0.010	0.048	1.708	0.064
Total	10.820	0.514	79.185	1.621

Table 3 The share of costs and benefits (million €)

	Stille Oder (Germany)	Pysznica (Poland)	Vipava (Slovenia)	Lea (Spain)
The benefit for agent 1 if does not change the land use (<i>A</i>)	51.522	5.303	0.506	1.620
The benefit for agent 1 if does change the land use (<i>F</i>)	30.955	12.667	–5.209	9.944
Benefit from flood damage decrease if agent 1 change the land use (<i>B</i>)	1.407	0.093	1.822	0.073
The worth of agent 1 without cooperation (w_1)	51.522	12.667	0.506	9.944
The worth of both agents when they cooperate (w_{12})	51.522	12.760	0.506	10.017
Payoff allocation (x_1)	51.522	12.667 + 0.093d	0.506	9.944 + 0.073d

Table 4 Benefit from land use change (million €)

	Stille Oder (Germany)	Pysznica (Poland)	Vipava (Slovenia)	Lea (Spain)
Cost of land use change and land cultivation	3.714	5.605	9.744	1.908
Subsidies	10.017	4.362	–	2.868
Benefits from harvesting	24.652	13.910	4.536	8.984
Total benefit	30.955	12.667	–5.209	9.944

Table 5 Benefit transfer and possible land use change (million €)

	Stille Oder (Germany)	Pysznica (Poland)	Vipava (Slovenia)	Lea (Spain)
Land use change	No	Yes	No	Yes
Transfer more favourable to agent 1	–	0.093	–	0.073
Transfer more favourable to agent 2	–	No transfer	–	No transfer
Compromise deal	–	0.0465	–	0.0365

help of state payments (decoupled farm payment, compensation payments, and subsidies).

Differences in the benefits of land use change are influenced by relatively high subsidies for afforestation in Germany and a lack of them in Slovenia, which is depicted in Table 4 (results of the application of Eqs. 2 and 3).

Possible benefit distribution was analysed to assess the possibility of land use change. Table 5 presents the information about possible land use change and the transfer that agent 2 should make to agent 1 for compensation for land use change.

According to the information presented in Table 5, it was assumed that land use change in the Stille Oder (Germany) and Vipava (Slovenia) river basins is not a probable scenario. For both upstream and downstream players, land use change is unfavourable and no benefit is obtained. Therefore, the analysis of possible benefit transfer was performed only for the Pysznica (Poland) and Lea (Spain) river basins. In both cases, the benefit transfer direction from downstream to upstream agent is presented and the compromise deal constitutes a transfer of 0.0465 and 0.0365 million € (for Poland and Spain, respectively), which would gratify both players in the basin. Note that the compromise deal constitutes the half of the transfer more favourable to agent 2 (from agent 1). It is also the half of the benefit from flood damage decrease if agent 1 changes the land use. According to above the compromise deal is directly related to avoided damages caused by flood that appears downstream when upstream agent decides to change the land use.

7 Discussion

The main aim of this study was to investigate the potential cooperation between decision-making process participants to distribute the total costs and benefits related to land use change that leads to flood risk reduction. The findings of the analysis depict that in two of four analysed river basins it is possible to find a mutually beneficial compromise among landowners for flood risk reduction if land use change (afforestation) is economically reasonable for both agents.

This study offers a methodological contribution to establishing and applying distribution rules for sharing the benefits and the costs related to flood risk reduction and land use change.

The chapter presents the results of the application of a game theory model on four European basins, offering the first empirical approach to the theoretical model. Therefore, analysis was based on a number of assumptions. First, flood damage (both before and after land use change) was estimated rather than precisely modelled. Although the applied method does not allow direct specification of the costs, it is possible to estimate the general tendency for flood damage change. This simplification may influence the final result of the analysis; therefore, it is recommended for future analysis to apply combined hydrological and hydraulic models to accurately define the losses caused by flood events. Second, this work applies to only one scenario and a 100-year time horizon. Multiple scenarios, assuming different time spans, different land uses, or a different course of afforestation could enrich the analysis.

Third, this analysis relies on two players. As a future line of research, the number of players included in the game theory model could reflect the number of landowners in the basins, as this would imply a more complex model and consequently more precise results. However, this would require detailed land ownership structure analysis and adaptation of the model to account for local conditions. It should also be underlined that subsidies play a crucial role in the structure of costs and benefits, and local or national governments should be considered as a separate agent.

Fourth, cost–benefit analysis (CBA) could be extended by ecosystem co-benefits or regulating services like water quality improvement provided by reforestations. Game theory has significant potential in the field of water quality changes and transportation of pollutants during flood events. For example, Alcalde-Unzu et al. [41] use the clean-up cost vector to estimate the transfer rate of the waste in a polluted river. They use estimation to share of cost of cleaning the river. On the other side, Wei and Luo [57] focuses on how to reach a balance between the sustainable development of local economy and the effective protection of water resources from an ecological perspective for the local government, and how to maximise the profit of the local firm in an ecological compensation system. Besides a reduction in the risk of flooding, afforestation entails several other benefits, such as improving the landscape and the environment, and providing a source of income for forest owners. The payment for environmental services (PES) can be considered a method to incorporate services provided by the environment into calculations of costs and

benefits. Moreover, PES could encourage forest owners to maintain or implant forests by compensating them at equivalent or better rates than other activities that would otherwise provoke deforestation [58]. Thus, owners who are located in strategic areas for flood risk reduction (such as upstream) may consider reforestation as a viable alternative for land use. PES can be estimated through game theory and can be considered a way to assess and plan an efficient forest policy.

A possible negative aspect is that if reforestations are carried out without planning it is possible that the flow of a river is reduced (even disappearing) in regions where there are water shortages. Therefore, it is important to consider the impact on regional water availability. Bentley and Coomes [50] point out that afforestation of lands previously degraded by agriculture helps to repair the soil, enabling it to retain more water and reduce the flow of the nearby river. If this action were carried out in natural grasslands where the soil is in good condition, the flow of the river would be considerably reduced.

Within the planning and management of these reforestations, and taking into account the criteria of improving the water quality, one strategy commonly advanced to achieve this goal is the management of riparian vegetation [11]. Several studies have documented that riparian forest can strongly influence the chemical content of adjacent streams [59, 60], particularly through the removal of nutrients in runoffs from agricultural uplands [61]. Therefore, vegetation restoration and management in riparian areas is widely recommended and promoted, especially in agricultural areas [62], but also in those areas of medium-high risk of flooding. In the four basins in this study, a restoration of the riparian vegetation could be planned (both in forest areas and in those lands for agricultural use) and framed within the proposed reforestation. Accordingly, the ecosystem services of riparian vegetation can be helped through the improvement of chemical water quality in streams, while reducing the risk of flooding in these areas. Conversely, the managed change of agricultural land to forest cover proposed in this study is recommended to address the issue of high nitrate in groundwater, ensuring good quality groundwater in the long term [63]. This would lead to savings in the treatment of drinking water, since Lopez et al. [64] have found a positive and significant effect of local forest cover on water treatment cost savings. Although this study does not focus on the specific benefits that changes in land use can generate in water quality, it implies that such effects can be highlighted.

8 Conclusion

The chapter presents an application of the game theory concept to four catchments located in parts of Europe with diverse climate characteristics. The investigation revealed that in two of four cases (Poland and Spain) mutually beneficial compromise between landowners to change land use (afforestation) could be detected, while Germany and Slovenia would not benefit from such a change, due to the considerable influence of subsidies.

Presented results reflect the possible direction for further actions in compensation for establishing new flood protection measures, however the undertaken scope of analysis, based on several assumptions such as limited number of agents and simplified flood risk assessment could influence the results. We recommend further, investigations using a larger number of agents and more detailed analysis (e.g. more detailed definition of the flood risk before and after afforestation or investigation of other measures) in order to enhance the knowledge about the upstream–downstream relationship in the flood risk management.

Acknowledgments The study was conducted as part of a Short-Term Scientific Mission (STSM) within the LAND4FLOOD: Natural Flood Retention on Private Land (CA16209) Cost Action. The project is based on work supported also by: ‘GEO+’ – high quality interdisciplinary doctoral studies programme conducted at the Faculty of Geographical and Geological Sciences of the Adam Mickiewicz University in Poznań (no. POWR.03.02.00-00-I039/16); project P2-0180 founded by Slovenian Research Agency; ARRS research programme P4-0085 Agroecosystems; project no. ECO2017-82241-R founded by Spanish Ministerio de Economía, Industria y Competitividad; project no. ED431B 2019/34 founded by Xunta de Galicia and project no. R815 131H 64502 founded by Conselleira de Educación, Universidade e Formación Profesional, Xunta de Galicia, España.

References

1. Downton MW, Pielke RA (2005) How accurate are disaster loss data? The case of US flood damage. *Nat Hazards* 35:211–228
2. Hirabayashi Y, Mahendran R, Koirala S, Konoshima L, Yamazaki D, Watanabe S, Kanae S (2013) Global flood risk under climate change. *Nat Clim Chang* 3(9):816–821
3. Jania J, Zwoliński Z (2011) Ekstremalne zdarzenia meteorologiczne, hydrologiczne i geomorfologiczne w Polsce (Extreme meteorological, hydrological and geomorphological events in Poland). *Landform Anal* 15:51–64
4. Kundzewicz ZW, Kanae S, Seneviratne SI, Handmer J, Nicholls N, Peduzzi P, Sherstyukov B (2014) Flood risk and climate change: global and regional perspectives. *Hydrol Sci J* 59(1):1–28
5. Milly PCD, Wetherald RT, Dunne KA, Delworth TL (2002) Increasing risk of great floods in a changing climate. *Nature* 415(6871):514–517
6. Cook HF (2017) *The protection and conservation of water resources*. Wiley, Hoboken
7. Jongman B, Winsemius HC, Aerts JC, de Perez EC, van Aalst MK, Kron W, Ward PJ (2015) Declining vulnerability to river floods and the global benefits of adaptation. *Proc Natl Acad Sci* 112(18):E2271–E2280
8. Löschner L, Nordbeck R, Schindelegger A, Seher W (2019) Compensating flood retention on private land in Austria: towards polycentric governance in flood risk management? *Landsc Archit Front* 7(3):32–45
9. Hartmann T, Driessen P (2013) The flood risk management plan: towards spatial water governance. *J Flood Risk Manag* 10(2):145–154
10. Forester J (2004) Reflections on trying to teach planning theory. *Plann Theory Pract* 5(2):242–251
11. Alexander ER (2002) The public interest in planning: from legitimation to substantive plan evaluation. *Plan Theory* 1(3):226–249
12. Moroni S (2004) Towards a reconstruction of the public interest criterion. *Plan Theory* 3(2):151–171

13. Hegger DLT, Driessen PPI, Dieperink C, Wiering M, Raadgever GTT, van Rijswijk HFMW (2014) Assessing stability and dynamics in flood risk governance: an empirically illustrated research approach. *Water Resour Manag* 28(12):4127–4142
14. Seher W, Löschnner L (2016) Balancing upstream-downstream interests in flood risk management: experiences from a catchment-based approach in Austria. *J Flood Risk Manag*. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12266>
15. Parrachino I, Zara S, Patrone F (2006) Cooperative game theory and its application to natural, environmental and water resource issues : 2. Application to natural and environmental resources. Policy research working paper no. 4073, wps4073. World Bank, Washington
16. Xunta de Galicia. Ley 7/2012, de 28 de junio, de montes de Galicia. https://www.xunta.gal/dog/Publicados/2012/20120723/AnuncioC3B0-050712-0001_es.html. Accessed Aug 2020
17. Perpiña Castillo C, Coll Aliaga E, Lavalle C, Martínez Llario JC (2020) An assessment and spatial modelling of agricultural land abandonment in Spain (2015–2030). *Sustainability* 12(2):560
18. Hui R, Lund JR, Madani K (2015) Game theory and risk-based leveed river system planning with noncooperation. *Water Resour Res*. <https://doi.org/10.1002/2015WR017707>
19. Machac J, Hartmann T, Jilkova J (2017) Negotiating land for flood risk management: upstream-downstream in the light of economic game theory. *J Flood Risk Manag* 11(1):66–75
20. Zara S, Dinar A, Patrone F (2006) Cooperative game theory and its application to natural, environmental, and water resource issues: 2. Application to natural and environmental resources. World Bank
21. European Environment Agency (2020) CORINE Land Cover (CLC) 2018, Copenhagen K, Denmark. CRC/TR32 Database (TR32DB). <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018>
22. Suzuki M, Nakayama M (1976) The cost assignment of the cooperative water resource development: a game theoretical approach. *Manag Sci* 22:1081–1086
23. Wang LZ, Fang L, Hipel KW (2003) Water resources allocation: a cooperative game theoretic approach. *J Environ Inf* 2(2):11–22
24. Shi G, Wang J, Zhang B, Zhang Z, Zhang Y (2016) Pollution control costs of a transboundary river basin: empirical tests of the fairness and stability of cost allocation mechanisms using game theory. *Environ Manag* 177:145–152
25. Abraham A, Ramachandran P (2020) A solution for the flood cost sharing problem. *Econ Lett* 189:109030
26. Madani K (2010) Game theory and water resources. *J Hydrol* 381(3):225–238
27. Zanjani H, Abdolabadi H, Niksokhan MH, Sarang A (2018) Influential third party on water right conflict: a game theory approach to achieve the desired equilibrium (case study: Ilam dam, Iran). *Environ Manag* 214:283–294
28. Gudmundsson J, Hougaard JL, Ko CY (2019) Decentralized mechanisms for river sharing. *J Environ Econ Manag* 94:67–81
29. Dosskey MG, Vidon P, Gurwick NP, Allan CJ, Duval TP, Lowrance R (2010) The role of riparian vegetation in protecting and improving chemical water quality in streams. *J Am Water Resour Assoc* 46(2):261–277
30. van den Brink R, He S, Huang J-P (2018) Polluted river problems and games with a permission structure. *Games Econ Behav* 108:182–205
31. Sun P, Hou D, Sun H (2019) Responsibility and sharing the cost of cleaning a polluted river. *Math Methods Oper Res* 89(1):143–156
32. Béal S, Ghintran A, Rémila E, Solal P (2013) The river sharing problem: a survey. *Int Game Theor Rev* 15(03):1–19
33. Beard R (2011) The river sharing problem: a review of the technical literature for policy economists. University Library of Munich
34. Carraro C, Marchiori C, Sgobbi A (2005) Applications of negotiation theory to water issues, World Bank policy res. Working pap. 3641, World Bank, Washington

35. Teng J, Jakeman AJ, Vaze J, Croke BFW, Dutta D, Kim S (2017) Flood inundation modelling: a review of methods, recent advances and uncertainty analysis. *Environ Model Softw* 90:201–216
36. Bouwer LM (2011) Have disaster losses increased due to anthropogenic climate change? *B Am Meteorol Soc* 92
37. Neumayer E, Barthel F (2011) Normalizing economic loss from natural disasters: a global analysis. *Global Environ Change* 21(1):13–24
38. Visser H, Petersen AC, Ligtoet W (2014) On the relation between weather-related disaster impacts, vulnerability and climate change. *Clim Chang* 125:461–477
39. Di Baldassarre G, Viglione A, Carr G, Kuil L, Salinas JL, Blöschl G (2013) Socio-hydrology: conceptualising human-flood interactions. *Hydrol Earth Syst Sci* 17:3295–3303
40. Álvarez X, Gómez-Rúa M, Vidal-Puga J (2019) River flooding risk prevention: a cooperative game theory approach. *J Environ Manag* 248:109284
41. Alcalde-Unzu J, Gómez-Rúa M, Molis E (2015) Sharing the costs of cleaning a river: the upstream responsibility rule. *Games Econ Behav* 90:134–150
42. Gómez-Rúa M (2013) Sharing a polluted river through environmental taxes. *SERIEs* 4:137–153
43. Ni D, Wang Y (2007) Sharing a polluted river. *Games Econ Behav* 60:176–186
44. van den Brink R, van der Laan G (2008) Comment on “Sharing a polluted river”. Mimeo
45. Gengenbach MF, Weikard HP, Ansink E (2010) Cleaning a river: an analysis of voluntary joint action. *Nat Resour Model* 23:565–589
46. van der Laan G, Moes N (2012) Transboundary externalities and property rights: an international river pollution model. Tinbergen discussion paper 12/006-1. Tinbergen Institute and VU University, Amsterdam
47. Ambec S, Sprumont Y (2002) Sharing a river. *J Econ Theory* 107:453–462
48. Ambec S, Ehlers L (2008) Sharing a river among satiable agents. *Games Econ Behav* 64:35–50
49. Wang Y (2011) Trading water along a river. *Math Soc Sci* 61:124–130
50. Bentley L, Coomes DA (2020) Partial river flow recovery with forest age is rare in the decades following establishment. *Glob Chang Biol* 26(3):1458–1473
51. Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch Elbegebiet, Teil III 2014. (PDF)
52. Xunta de Galicia, Vicepresidencia e Consellería de Presidencia, Administracións Públicas e Xustiza, Dirección Xeral de Emerxencias e Interior (2016) Plan Especial de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones de Galicia. https://ficheiros-web.xunta.gal/cpapx/plans-de-emerxencia/inungal_cas.pdf. Accessed 21 Aug 2020
53. ARSO (2020) Slovenian Environment Agency. <https://www.arslo.gov.si/>
54. Dittrich R, Ball T, Wreford A, Moran D, Spray CJ (2018) A cost-benefit analysis of afforestation as a climate change adaptation measure to reduce flood risk. *Journal of Flood Risk Management*, e12482.
55. Huizinga J, De Moel H, Szweczyk W (2017) Global flood depth-damage functions: methodology and the database with guidelines. Joint Research Centre, Sevilla
56. Salazar S, Frances F, Komma J, Blume T, Francke T, Bronstert A, Blöschl G (2012) A comparative analysis of the effectiveness of flood management measures based on the concept of “retaining water in the landscape” in different European hydro-climatic regions. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 12:3287–3306
57. Wei C, Lou CC (2020) A differential game design of watershed pollution management under ecological compensation criterion. *J Clean Produc* 274
58. Couto Pereira SN (2010) Payment for environmental services in the Amazon forest: how can conservation and development be reconciled? *J Environ Dev* 19(2):171–190
59. Riis T, Kelly-Quinn M, Aguiar FC, Manolaki P, Bruno D, Bejarano MD, Portela AP (2020) Global overview of ecosystem services provided by riparian vegetation. *Bioscience* 70(6):501–514
60. Vidon P, Allan C, Burns D, Duval TP, Gurwick N, Inamdar S, Sebestyen S (2010) Hot spots and hot moments in riparian zones: potential for improved water quality management. *J Am Water Resour Assoc* 46(2):278–298

61. Dosskey MG (2001) Toward quantifying water pollution abatement in response to installing buffers on crop land. *Environ Manag* 28(5):577–598
62. NRC (National Research Council) (2002) Riparian areas: functions and strategies for management. National Academies Press, Washington
63. Zhang H, Hiscock KM (2011) Modelling the effect of forest cover in mitigating nitrate contamination of groundwater: a case study of the Sherwood sandstone aquifer in the East Midlands, UK. *J Hydrol* 399(3–4):212–225
64. López-Moreno JI, Beguería S, García-Ruiz JM (2006) Trends in high flows in the central Spanish Pyrenees: response to climatic factors or to land-use change? *Hydrol Sci J* 51(6):1039–1050

OŚWIADCZENIE O WKŁADZIE W POWSTANIE PUBLIKACJI NAUKOWEJ

STATEMENT OF CONTRIBUTION TO A SCIENTIFIC PUBLICATION

Tytuł publikacji A cooperative game for upstream-downstream river flooding
Publication title risk prevention in four European river basins

Autorzy Weronika Warachowska, Xana Alvarez, Nejc Bezak, María
Authors Gómez-Rúa, Andrea Janeiro-Otero, Piotr Matczak,
 Juan Vidal-Puga, Vesna Zupanc

Niniejszym oświadczam o wkładzie w powstanie przedmiotowej publikacji naukowej
w poniższym zakresie

Hereby I declare the scope of contribution in the aforementioned scientific paper as follows

<input checked="" type="checkbox"/>	Przygotował/a koncepcję badań Conceived the research
<input checked="" type="checkbox"/>	Przygotował/a projekt badawczy i zaplanował zadania Designed the research project and planned the tasks
<input checked="" type="checkbox"/>	Zarządzał/a zadaniami oraz ich wykonaniem Managed the tasks performance
<input checked="" type="checkbox"/>	Zgromadził/a dane Collected the data
<input checked="" type="checkbox"/>	Uczestniczył/a w wykonaniu analiz i przetwarzaniu danych Contributed to the analysis and data processing
<input checked="" type="checkbox"/>	Przeprowadził/a przegląd literatury Performed literature query
<input checked="" type="checkbox"/>	Dokonał/a redakcji tekstu publikacji Wrote the publication content
<input checked="" type="checkbox"/>	Opracował/a materiały kartograficzne i graficzne Prepared cartographic and graphic materials
<input checked="" type="checkbox"/>	Zarządzał/a procesem publikacji Managed the publication process

20.02.2023 r.

Weronika Warachowska

(data i podpis)

(date and signature)

OŚWIADCZENIE O WKŁADZIE W POWSTANIE PUBLIKACJI NAUKOWEJ

STATEMENT OF CONTRIBUTION TO A SCIENTIFIC PUBLICATION

Tytuł publikacji A cooperative game for upstream-downstream river flooding risk
Publication title prevention in four European river basins

Autorzy Weronika Warachowska, Xana Alvarez, Nejc Bezak, María Gómez-
Authors Rúa, Andrea Janeiro-Otero, Piotr Matczak,
 Juan Vidal-Puga, Vesna Zupanc

Niniejszym oświadczam o wkładzie w powstanie przedmiotowej publikacji naukowej
w poniższym zakresie

Hereby I declare the scope of contribution in the aforementioned scientific paper as follows

<input checked="" type="checkbox"/>	Przygotował/a koncepcję badań Conceived the research
<input checked="" type="checkbox"/>	Przygotował/a projekt badawczy i zaplanował zadania Designed the research project and planned the tasks
<input type="checkbox"/>	Zarządzał/a zadaniami oraz ich wykonaniem Managed the tasks performance
<input checked="" type="checkbox"/>	Zgromadził/a dane Collected the data
<input type="checkbox"/>	Uczestniczył/a w wykonaniu analiz i przetwarzaniu danych Contributed to the analysis and data processing
<input type="checkbox"/>	Przeprowadził/a przegląd literatury Performed literature query
<input checked="" type="checkbox"/>	Dokonał/a redakcji tekstu publikacji Wrote the publication content
<input type="checkbox"/>	Opracował/a materiały kartograficzne i graficzne Prepared cartographic and graphic materials
<input type="checkbox"/>	Zarządzał/a procesem publikacji Managed the publication process

ALVAREZ
BERMUDEZ XANA - 78551524S
- 78551524S

Firmado digitalmente
por ALVAREZ BERMUDEZ
XANA - 78551524S
Fecha: 2023.02.16
18:38:10 +01'00'

16/02/23

Xana Álvarez Bermúdez

OŚWIADCZENIE O WKŁADZIE W POWSTANIE PUBLIKACJI NAUKOWEJ

STATEMENT OF CONTRIBUTION TO A SCIENTIFIC PUBLICATION

Tytuł publikacji A cooperative game for upstream-downstream river flooding
Publication title risk prevention in four European river basins

Autorzy Weronika Warachowska, Xana Alvarez, Nejc Bezak, María
Authors Gómez-Rúa, Andrea Janeiro-Otero, Piotr Matczak,
 Juan Vidal-Puga, Vesna Zupanc

Niniejszym oświadczam o wkładzie w powstanie przedmiotowej publikacji naukowej
w poniższym zakresie

Hereby I declare the scope of contribution in the aforementioned scientific paper as follows

<input type="checkbox"/>	Przygotował/a koncepcję badań Conceived the research
<input type="checkbox"/>	Przygotował/a projekt badawczy i zaplanował zadania Designed the research project and planned the tasks
<input type="checkbox"/>	Zarządzał/a zadaniami oraz ich wykonaniem Managed the tasks performance
<input type="checkbox"/>	Zgromadził/a dane Collected the data
<input type="checkbox"/>	Uczestniczył/a w wykonaniu analiz i przetwarzaniu danych Contributed to the analysis and data processing
<input type="checkbox"/>	Przeprowadził/a przegląd literatury Performed literature query
<input checked="" type="checkbox"/>	Dokonał/a redakcji tekstu publikacji Wrote the publication content
<input type="checkbox"/>	Opracował/a materiały kartograficzne i graficzne Prepared cartographic and graphic matherials
<input checked="" type="checkbox"/>	Zarządzał/a procesem publikacji Managed the publication process

16.02.23



(data i podpis)

(date and signature)

OŚWIADCZENIE O WKŁADZIE W POWSTANIE PUBLIKACJI NAUKOWEJ

STATEMENT OF CONTRIBUTION TO A SCIENTIFIC PUBLICATION

Tytuł publikacji A cooperative game for upstream-downstream river flooding
Publication title risk prevention in four European river basins

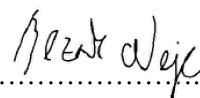
Autorzy Weronika Warachowska, Xana Alvarez, Nejc Bezak, María
Authors Gómez-Rúa, Andrea Janeiro-Otero, Piotr Matczak,
 Juan Vidal-Puga, Vesna Zupanc

Niniejszym oświadczam o wkładzie w powstanie przedmiotowej publikacji naukowej
w poniższym zakresie

Hereby I declare the scope of contribution in the aforementioned scientific paper as follows

<input type="checkbox"/>	Przygotował/a koncepcję badań Conceived the research
<input type="checkbox"/>	Przygotował/a projekt badawczy i zaplanował zadania Designed the research project and planned the tasks
<input type="checkbox"/>	Zarządzał/a zadaniami oraz ich wykonaniem Managed the tasks performance
<input type="checkbox"/>	Zgromadził/a dane Collected the data
<input checked="" type="checkbox"/>	Uczestniczył/a w wykonaniu analiz i przetwarzaniu danych Contributed to the analysis and data processing
<input type="checkbox"/>	Przeprowadził/a przegląd literatury Performed literature query
<input type="checkbox"/>	Dokonał/a redakcji tekstu publikacji Wrote the publication content
<input type="checkbox"/>	Opracował/a materiały kartograficzne i graficzne Prepared cartographic and graphic materials
<input type="checkbox"/>	Zarządzał/a procesem publikacji Managed the publication process

Ljubljana, 16.2.2023



(data i podpis)

(date and signature)

OŚWIADCZENIE O WKŁADZIE W POWSTANIE PUBLIKACJI NAUKOWEJ

STATEMENT OF CONTRIBUTION TO A SCIENTIFIC PUBLICATION

Tytuł publikacji A cooperative game for upstream-downstream river flooding
Publication title risk prevention in four European river basins

Autorzy Weronika Warachowska, Xana Alvarez, Nejc Bezak, María
Authors Gómez-Rúa, Andrea Janeiro-Otero, Piotr Matczak,
 Juan Vidal-Puga, Vesna Zupanc

Niniejszym oświadczam o wkładzie w powstanie przedmiotowej publikacji naukowej
w poniższym zakresie

Hereby I declare the scope of contribution in the aforementioned scientific paper as follows

<input checked="" type="checkbox"/>	Przygotował/a koncepcję badań Conceived the research
<input type="checkbox"/>	Przygotował/a projekt badawczy i zaplanował zadania Designed the research project and planned the tasks
<input type="checkbox"/>	Zarządzał/a zadaniami oraz ich wykonaniem Managed the tasks performance
<input type="checkbox"/>	Zgromadził/a dane Collected the data
<input checked="" type="checkbox"/>	Uczestniczył/a w wykonaniu analiz i przetwarzaniu danych Contributed to the analysis and data processing
<input checked="" type="checkbox"/>	Przeprowadził/a przegląd literatury Performed literature query
<input type="checkbox"/>	Dokonał/a redakcji tekstu publikacji Wrote the publication content
<input type="checkbox"/>	Opracował/a materiały kartograficzne i graficzne Prepared cartographic and graphic materials
<input type="checkbox"/>	Zarządzał/a procesem publikacji Managed the publication process

**VESNA
ZUPANC**

Digitally signed by
VESNA ZUPANC
Date: 2023.02.18
09:43:56 +01'00'

.....
(data i podpis)

(date and signature)