

BARTŁOMIEJ RZONCA

<https://orcid.org/0000-0002-8938-1457>

Uniwersytet Jagielloński w Krakowie

Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej

ul. Gronostajowa 7, 30-387 Kraków

b.rzonca@uj.edu.pl

KAROLINA MOSTOWIK

<https://orcid.org/0000-0003-2945-5909>

Uniwersytet Jagielloński w Krakowie

Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej

ul. Gronostajowa 7, 30-387 Kraków

karolina.mostowik@doctoral.uj.edu.pl

Zmiany warunków hydrologicznych wynikające z tworzenia nasypów – przegląd przypadków

Changes in Hydrologic Conditions Resulting from Embankment Formation –
Case Study Review

Abstract: The article discusses typical examples of the impact of embankments on the surrounding water conditions. The studied cases illustrate the two most common groups of changes in hydrological conditions related to the formation of embankments. One such change is the raising of the groundwater table under the embankment, which usually leads to high level of moisture in the immediate vicinity of the embankment. Three cases were discussed in this group. One is a typical impact of a large embankment that has caused a significant increase in soil moisture nearby. The second example is a situation where the terrain lying between the embankments is strongly damp. The third example is a plot of land which, despite its particularly unfavourable location – surrounded on three sides by embankments – has not been damp due to the unusually high permeability of the ground. The second group of changes consists of various modifications of surface runoff conditions. Some embankments – made of impermeable materials – increase surface runoff by blocking the infiltration of rainwater. Other embankments redirect or block surface runoff, causing the formation of landlocked area. In addition, an analysis of one reported case has revealed the effects of backfilling a large gorge, which had significantly increased the surface catchment area, which in turn resulted in a significant increase in surface runoff. The case of building embankments on a river floodplain was also discussed. The article shows that similar nature of changes in topography may cause different hydrological effects depending on the permeability and retention capacity of the ground.

Keywords: hydrologic conditions; changes in hydrologic conditions; embankment; impact of embankments

Abstrakt: W artykule omówione zostały charakterystyczne przykłady oddziaływania nasypów gruntowych i gruntowo-gruzowych na warunki wodne otoczenia. Pokazane przypadki ilustrują dwie najczęstsze grupy zmian warunków hydrologicznych związane z powstawaniem nasypów. Jedną grupę stanowią zmiany polegające na podniesieniu zwierciadła wód podziemnych pod nasypem, co zazwyczaj prowadzi do silnego zawilgocenia bezpośredniego otoczenia nasypu. W tej grupie omówiono trzy przypadki. Pierwszy to typowy wpływ dużego nasypu, który spowodował znaczące zawilgocenie gruntu w otoczeniu. Drugi przykład to sytuacja, gdy silnemu zawilgoceniu ulega działka leżąca pomiędzy nasypami. Przykład trzeci to działka, która pomimo szczególnie niekorzystnego położenia – otoczenie z trzech stron przez nasypy – nie uległa zawilgoceniu ze względu na wyjątkowo wysoką przepuszczalność podłoża gruntowo-skalnego. Na drugą grupę zmian składają się różne modyfikacje warunków spływu powierzchniowego. Niektóre nasypy – utworzone z nieprzepuszczalnych materiałów – zwiększają spływ powierzchniowy poprzez blokowanie infiltracji wód opadowych. Inne nasypy przekierowują spływ powierzchniowy lub go blokują, powodując powstawanie zagłębień bezodpływowych. Ponadto analiza jednego z przypadków pokazuje skutki zasypania dużego wąwozu, przez co znacząco zwiększyła się powierzchnia zlewni, a to z kolei spowodowało znaczący wzrost spływu powierzchniowego. Omówiono też przypadek zabudowy rzecznej terasy zalewowej nasypami. W artykule pokazano, że podobny charakter zmian w topografii może powodować odmienne skutki hydrologiczne w zależności od przepuszczalności i zdolności retencyjnych podłoża.

Słowa kluczowe: warunki hydrologiczne; zmiany warunków hydrologicznych; nasyp; oddziaływanie nasypów gruntowych

WSTĘP

Tworzenie nasypów gruntowych i gruntowo-gruzowych wywołuje szereg zmian w środowisku wodno-gruntowym (Gruchot, Resiuła 2011; Małecki, Szymańska-Pulikowska, Satanowski 2012; Gunn i in. 2015; Jermołowicz 2015; Pilecka, Manterys 2017; Batog, Stilger-Szydło 2018). Poza szeroko opisywanymi w literaturze skutkami takich zmian w postaci zmian stateczności podłoża i osuwania gruntów nasypowych (Bardel 2012; Kaczmarczyk, Olek, Stanisław, Woźniak, Pilecki 2014; Pilecka, Białek, Manterys 2016), powstawaniu nasypów często towarzyszą także zmiany warunków wodnych w otoczeniu (określane jako zmiany stosunków wodnych czy zmiany stanu wody na gruncie). Wprowadzanie zmian warunków wodnych – jeśli oddziałują one szkodliwie na obszary sąsiednie – jest niedozwolone w myśl Prawa wodnego (art. 234 ustawy z dnia 20 lipca 2017 r. – Prawo wodne, Dz.U. 2017, poz. 1566). W opublikowanej niedawno pracy B. Rzonca (2020) omówił i pogrupował zmiany warunków wodnych będące skutkiem tworzenia nasypów gruntowych lub gruntowo-gruzowych oraz innych przekształceń powierzchni terenu. W pracy tej skupiono się na teoretycznym omówieniu mechanizmów oddziaływania takich zmian oraz ich interpretacji w świetle Prawa wodnego. Wyróżniono najczęstsze skutki tworzenia nasypów (Rzonca 2020), jakimi są:

1. Wzmożona infiltracja wód opadowych i podniesienie zwierciadła płytkich wód podziemnych pod nasypem.

2. Zmiany spływu wód opadowych po powierzchni terenu związane z utworzeniem nasypu, czyli zmiany spływu powierzchniowego, które zachodzą poprzez:

- a) zwiększenie odpływu powierzchniowego,
- b) zmianę formy spływu powierzchniowego,
- c) zmianę kierunku spływu wód opadowych lub jego blokowanie przez nasyp.

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie rzeczywistych przypadków lokalnych zmian warunków hydrologicznych powodowanych przez utworzenie nasypów gruntowych lub gruntowo-gruzowych – jako *case study*. Przypadki te zostały omówione i zaklasyfikowane w nawiązaniu do powyższego podziału. W tym sensie artykuł jest rozszerzeniem pracy B. Rzoncy (2020), ale jednocześnie stanowi całkowicie odrębną i samodzielnie funkcjonującą pracę. Opisane przypadki pochodzą z postępowań administracyjnych prowadzonych o zmianę warunków wodnych, w których autorzy sporządzali opinie (jako biegli). Zostały one wybrane jako najbardziej czytelne i typowe przykłady.

Trzeba podkreślić, że problematyka poruszona w niniejszym opracowaniu jest generalnie słabo reprezentowana w literaturze naukowej, zarówno polskiej, jak i angielskojęzycznej. Temat zmian w środowisku wodno-gruntowym zachodzących pod wpływem tworzenia nasypów jest poruszany głównie w pracach dotyczących stateczności nasypów i osuwisk, powstających w obrębie nasypów i w podłożu (Kaczmarczyk i in. 2014; Pilecka i in. 2016; Batog, Stilger-Szydło 2018). Szczegółowe badania warunków hydrologicznych w obrębie nasypów są nieliczne i skupiają się na nasypach eksperymentalnych (Cui, Gao, Ferber 2010; Yoshioka, Takakura, Tomohiro, Sakai 2015) lub długofalowych badaniach uwilgotnienia nasypu metodą tomografii elektrooporowej (Jackson i in. 2002; Gunn i in. 2015). Problematyka zmian warunków wodnych powodowanych przez tworzenie nasypów gruntowych (lub gruntowo-gruzowych) jest rzadko podejmowana w literaturze międzynarodowej być może dlatego, że w zdecydowanej większości krajów prawo nie zezwala na tworzenie takich nasypów i na ingerowanie w warunki wodne terenów sąsiednich. W efekcie zmiany takie nie występują. W Polsce też jest to zabronione, ale – mówiąc wprost – nielegalne tworzenie nasypów, często nawet poważnie zakłócających stosunki wodne otoczenia, jest powszechną praktyką. Wartościową analizę strony formalno-prawnej zagadnień omówionych w niniejszej pracy przedstawiła ostatnio E. Klat-Górska (2018).

ANALIZA W WARUNKACH BRAKU DANYCH ILOŚCIOWYCH

Wszystkie opisane w niniejszej pracy przypadki były analizowane podczas sporządzania specjalistycznych opinii hydrologicznych w ramach postępowań administracyjnych. Postępowania te prowadzone były w sprawie zmiany warunków wodnych szkodliwych dla terenów sąsiadujących. Opisane tutaj przypadki nie były objęte długotrwałym, kompleksowym programem badań hydrologicznych przeprowadzanych w celach naukowych. Zastosowanie uproszczonej procedury badawczej, a zwłaszcza niemożność oparcia się na wynikach systematycznych obserwacji i cyklicznych pomiarów powodują, że wnioski z analizy poszczególnych przypadków są jakościowe, a nie ilościowe. Nie oznacza to jednak anegdotycznego czy popularnonaukowego charakteru niniejszego artykułu. Jego walorem – oprócz przedstawienia rzeczywistych przykładów zmian warunków hydrologicznych – jest pokazanie realiów analizy prowadzonej w warunkach ograniczonego dostępu do informacji.

Analiza przedstawionych przypadków była prowadzona przy braku danych pomiarowych. Przede wszystkim nie istniały dane obserwacyjne dokumentujące warunki hydrologiczne przed zmianą (inwestycją). Zdecydowana większość opisanych nasypów powstała nielegalnie, ale nawet legalna realizacja takich inwestycji nie wymaga prowadzenia wcześniejszych systematycznych obserwacji hydrologicznych czy hydrogeologicznych.

Merytoryczne opinie w postępowaniach administracyjnych (i sądowych) sporządza się zazwyczaj na podstawie jednorazowych oględzin połączonych z rozbudowanym wywiadem oraz wykonanych niezbędnych pomiarów terenowych. Z zasady następuje to na etapie, gdy dany nasyp już powstał, a najczęściej wtedy, kiedy skutki jego powstania są już odczuwalne dla otoczenia. Dopiero wówczas zostaje wszczęte postępowanie i zleca się opracowanie opinii. Badania terenowe prowadzone przez autorów w przypadkach omówionych w niniejszej pracy ograniczały się zatem do jednorazowych oględzin i pomiarów przeprowadzanych już po powstaniu badanego nasypu. Oczywiście, poczynając od tego momentu, można byłoby – w celach naukowych – prowadzić systematyczne obserwacje hydrologiczne, ale i tak bez możliwości porównania ich ze stanem sprzed powstania danego nasypu.

Dla wydania opinii w postępowaniu wystarczające było także jakościowe określenie przepuszczalności podłoża oraz materiału budującego nasypy. W opisywanych przypadkach nie wykonywano badań gruntów ani w żaden inny sposób nie ustalano wartości współczynnika przepuszczalności czy współczynnika filtracji. Zazwyczaj materiał (budujący podłoże lub nasyp) oceniano na podstawie map geologicznych i glebowych oraz organoleptycznej oceny terenowej i określano

go jako „wysoko przepuszczalny dla wody” (np. piaski, żwiry), „średnio przepuszczalny” (np. pyły) lub „słabo przepuszczalny” (np. gliny ciężkie, ility).

Opieranie się na uproszczonej procedurze badawczej i na danych jakościowych powoduje zazwyczaj, że wnioskowanie też jest „jakościowe” (a nie „ilościowe”). Można więc np. stwierdzić, że teren (czy budynek) uległ zawilgoceniu oraz że wpłynęło na to utworzenie wysokiego i rozległego nasypu w jego najbliższym sąsiedztwie, ale nie da się w tych warunkach podać wartości liczbowej (np. w procentach) określającej, jaka część szkody wynika z utworzenia tego nasypu. Takie „jakościowe” wnioski są jednak wystarczające i w pełni wiarygodne oraz przydatne dla określonych celów (np. administracyjnych czy sądowych).

METODY

Analiza każdego z opisanych w niniejszej pracy przypadków rozpoczęła się od wykorzystania ogólnodostępnego materiału kartograficznego. Podstawowe znaczenie miały dane dokumentujące ukształtowanie powierzchni terenu, użytkowanie terenu, pokrywę glebową, budowę geologiczną oraz warunki hydrologiczne i hydrogeologiczne. Najważniejsza była oczywiście rzeźba powierzchni terenu (w różnych skalach) oraz przepuszczalność podłoża gruntowego. Na bazie tych materiałów określano położenie badanego obszaru względem elementów rzeźby terenu (dno doliny, zbocze, stok, wierzchowina) oraz inne warunki mające konsekwencje dla obiegu wody.

Szczególnie ważnym etapem pracy było określenie kierunków spływu wód po powierzchni terenu oraz – na tej podstawie – granic i powierzchni obszaru spływu wód. Zakładano przy tym, że wyznaczone kierunki są tożsame z kierunkami spływu wód podskórnych i – najczęściej także – płytkich wód podziemnych, co zwiększało wagę tej analizy. Wykonuje się ją zazwyczaj na mapie topograficznej, ale w przedstawionych przypadkach zastosowano numeryczny model terenu (NMT) o wysokiej rozdzielczości, wygenerowany z danych pochodzących z lotniczego skaningu laserowego LiDAR i udostępniony przez państwowy zasób geodezyjny i kartograficzny Głównego Urzędu Geodezji i Kartografii (GUGiK). Po wyeliminowaniu punktów reprezentujących warstwę roślinności oraz zabudowę model odtwarza rzeczywistą rzeźbę terenu (poziom gruntu). Wykorzystany w pracy model rastrowy ma rozdzielczość przestrzenną 1 m i dokładność wysokościową 10 lub 15 cm. Tak utworzony NMT jest obecnie najdokładniejszym zobrazowaniem rzeczywistej rzeźby terenu dostępnym dla całej Polski, której terytorium zostało zeskanowane w latach 2011–2015, a niektóre obszary jeszcze dodatkowo w latach późniejszych (Wężyk 2015; *Dane państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego* 2021). W zależności od czasu wykonania

takiego skanowania NMT może obejmować okres sprzed lub po wybudowaniu badanego nasypu. W niektórych przypadkach, gdy powierzchnia terenu została zeskanowana dwukrotnie, pozyskano dane z okresu przed i po wybudowaniu nasypu. Możliwe wtedy było tworzenie map różnicowych (pomiędzy nowszym i starszym modelem terenu), umożliwiających określenie miąższości i objętości powstałych form (nasypów). Obecnie jest możliwe zlecenie wykonania skanowania laserowego (naziemnego lub lotniczego) ukierunkowanego na rozwiązanie konkretnego problemu i na konkretny obiekt. W większości przypadków ogólnodostępny NMT jest jednak wystarczający do analiz hydrologicznych, wykonywanych nawet w bardzo szczegółowej skali, czego przykłady są zamieszczone w niniejszej pracy. Wszystkie analizy oparte na NMT przedstawione w artykule wykonano z użyciem oprogramowania ArcGIS.

W każdym przypadku przeprowadzana była szczegółowa terenowa weryfikacja materiałów kartograficznych i danych przestrzennych. W terenie określany był typ krajobrazu i rzeźby oraz położenie badanego terenu w relacji do głównych i lokalnych elementów rzeźby terenu. W miarę możliwości określano położenie zwierciadła płytkich wód podziemnych w stosunku do powierzchni terenu.

Oceniane było występowanie i zasięg przestrzenny skutków zmian warunków wodnych, takich jak powstawanie podmokłości, zalewanie (w tym ślady erozji wodnej), zawilgocenie budynków, zniszczenie lub zmiany roślinności. Pomocne w takich ustaleniach były – w niektórych przypadkach – filmy lub zdjęcia zgromadzone przez właścicieli działek, którzy dokumentowali zmiany warunków wodnych. Podczas oględzin zwracano uwagę na nasyp (bądź nasypy), którego wpływ był przedmiotem analizy. Oceniana była jego wielkość, położenie względem form rzeźby terenu oraz materiał, z jakiego został utworzony, a zwłaszcza przepuszczalność tego materiału. Sprawdzano, czy na skarpach nasypu oraz w jego otoczeniu występują ślady erozji liniowej, np. w postaci bruzd erozyjnych. Ważne było też sprawdzenie i odnotowanie, czy w terenie znajdują się elementy blokujące lub przekierowujące spływ wody po powierzchni terenu, szczególnie takie, które nie są widoczne na NMT: murki, ogrodzenia czy rowy – nawet całkiem niewielkie.

Podczas badań terenowych często wykonywane były pomiary niwelacyjne niwelatorem optycznym, z nominalnym błędem wynoszącym ± 1 mm. Umożliwiały one precyzyjne określenie różnic wysokości, np. spadku (nachylenia) powierzchni terenu. W jednym z omówionych przypadków pomiar niwelacyjny wykorzystano dodatkowo do oszacowania kubatury nasypu (ryc. 1). Ponieważ w tym wypadku zachodziła konieczność porównania wyników pomiarów niwelacyjnych z NMT, pomiary te wykonano w odniesieniu do wysokości wybranej, niezmięnionej powierzchni, którą była lokalna droga o nieremontowanej od dawna

asfaltowej nawierzchni. Dzięki temu można było dowiązać profil wysokościowy powierzchni nasypu, pochodzący z pomiarów niwelacyjnych, do pierwotnej powierzchni terenu zinwentaryzowanej metodą LiDAR i odtworzonej na NMT.

Na etapie przygotowywania niniejszego artykułu odrębnym problemem była ochrona tajemnicy służbowej i prywatności stron postępowania, z których zaczerpnięto opisane przykłady. Stąd przykłady te są opisywane tak, aby nie była możliwa identyfikacja miejscowości i opisywanych obiektów, a nawet – w miarę możliwości – regionu. Zachowano natomiast w opisach wszystkie informacje istotne z punktu widzenia lokalnych warunków hydrologicznych i ich zmian.

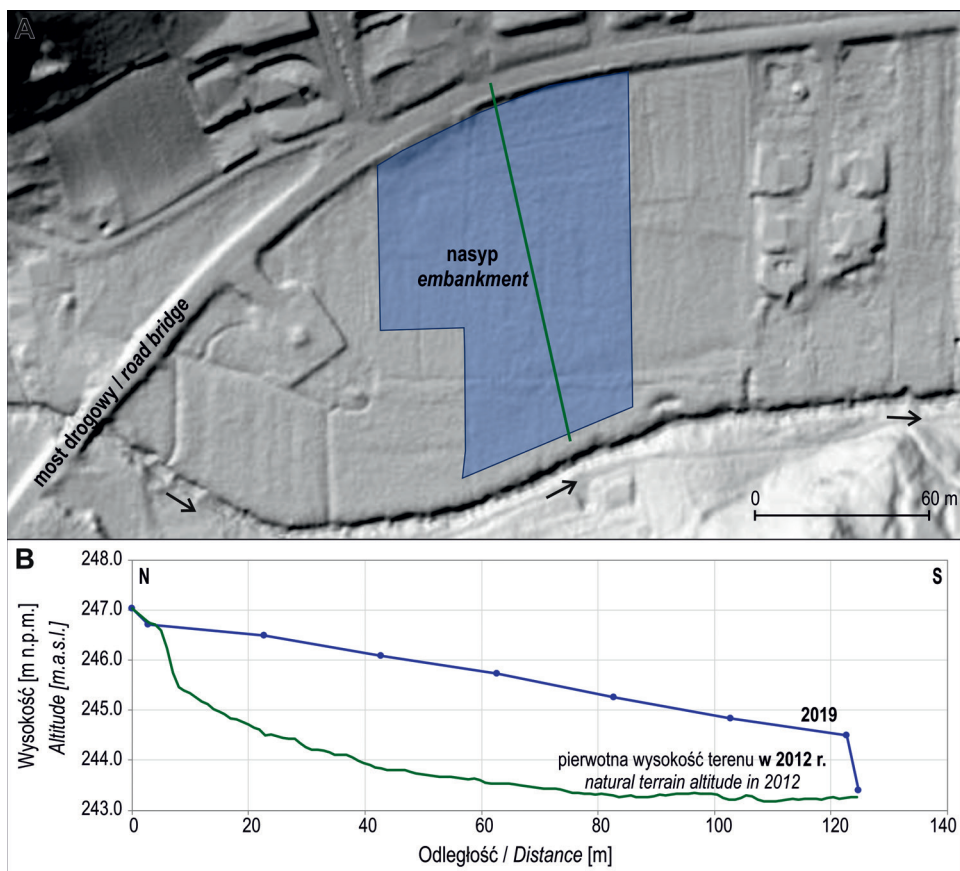
PODNIESIENIE ZWIERCIADŁA PŁYTKICH WÓD PODZIEMNYCH

Przypadek 1. Zawilgocenie otoczenia dużego nasypu

W pracy B. Rzoncy (2020) wyróżnione zostało oddziaływanie określone jako „wzmożona infiltracja wód opadowych i podniesienie zwierciadła płytkich wód podziemnych pod nasypem”. Skutkuje ono wzrostem zawilgocenia terenu przyległego do nasypu, co wynika z tego, że pod nasypem i w bezpośrednim jego sąsiedztwie stopniowo podnosi się poziom wód podziemnych, czasem aż do wysokości pierwotnego poziomu terenu. Towarzyszy temu powstawanie podmokłości, a nawet stagnowanie wody na powierzchni terenu.

Dobrym przykładem takiego oddziaływania jest wpływ dużego nasypu (ryc. 1) o długości ponad 120 m, średniej miąższości około 185 cm i powierzchni około 8420 m² (kubaturę oceniono na 15–16 tys. m³). Został on nielegalnie utworzony na zalewowym dnie doliny z gruzu, odpadów (jak np. opony) i różnych gruntów, z przewagą średnio i dobrze przepuszczalnych dla wody (gliny i piaski). Nasyp kończył się stromą skarpą zaledwie kilka metrów od koryta cieką (ryc. 1A). Nie został jednak uznany za obiekt stwarzający zagrożenie powodziowe, gdyż kilkadziesiąt metrów wyżej dolinę (i koryto cieką) przecinała droga biegnąca po wysokim nasypie (ryc. 1). Światło mostu znajdującego się w ciągu tej drogi było znacznie mniejsze niż światło doliny na wysokości nasypu, zatem to most ewentualnie stwarzał zagrożenie powodziowe, a nie leżący poniżej niego (w biegu cieką) nasyp. Nasyp został utworzony na gruntach o średniej i słabej przepuszczalności (pyły, gliny).

W otoczeniu nasypu już po roku od jego utworzenia pojawiło się silne zawilgocenie gruntu, które było obserwowane nawet w okresie głębokiej suszy wiosną 2020 r. Grunt na powierzchni terenu był wówczas przesycony wodą; stagnująca woda była widoczna w zagłębieniach. Doszło też do rozwoju roślinności hydrofilnej, której nie obserwowano jeszcze wiosną 2019 r. podczas



Ryc. 1. A. Zasięg nasypu na tle modelu cieniowanego z 2012 r., obrazującego pierwotną powierzchnię terenu; B. Porównanie profili topograficznych terenu przed (NMT 2012, dokładność wysokościowa 0,1 m) i po utworzeniu nasypu (pomiarów niwelacyjnych, 2019)

Fig. 1. A. The sketch of the studied embankment on the background of a hillshade map obtained in 2012 and representing natural terrain surface; B. The comparison between the topographic profiles obtained before (DEM 2012, vertical accuracy 0.1 m) and after the embankment was constructed (leveling measurements, 2019)

wcześniejszych oględzin (odwołania strony postępowania wymusiły w tej sprawie dwukrotne wykonanie oględzin), a także do uschnięcia kilku drzew, co jest typową sytuacją na podtopionych gruntach i co można przypisać obumieraniu i gniciu korzeni zatopionych całkowicie w wodzie. Zasięg obserwowanych zmian wynosił 20–30 m od skarp nasypu. Zmiany nie były widoczne jedynie na obszarze powyżej nasypu, czyli w obszarze leżącym już na zboczu doliny.

W wyniku oddziaływania nasypu otaczający teren w krótkim czasie uległ wyraźnemu zabagnieniu. Było to wynikiem zwiększonej infiltracji wód opadowych z powierzchni terenu w podłoże nasypu. Infiltracja zwiększyła się kosztem

splywu powierzchniowego. W ślad za tym doszło do podniesienia się zwierciadła wód podziemnych – pod nasypem i w jego otoczeniu. Z jednej strony zmiany takie mogą być postrzegane jako pozytywne, bo ograniczony został spływ powierzchniowy wód opadowych¹ (zjawisko traktowane jako uciążliwe lub nawet szkodliwe), ale z drugiej strony są to zmiany niekorzystne, gdyż doszło do silnego zawilgocenia gruntu w otoczeniu nasypu. Zmiany te mają jednak zasięg lokalny.

Opisane oddziaływanie nasypu jest obserwowane przede wszystkim na terenach o płaskiej, niemal poziomej powierzchni i płytko zalegającym zwierciadle wód podziemnych. Na stokach, zwłaszcza bardziej stromych, oraz na innych obszarach, gdzie zwierciadło płytkich wód podziemnych zalega głębiej, takie oddziaływanie nasypu najczęściej pozostaje niezauważone.

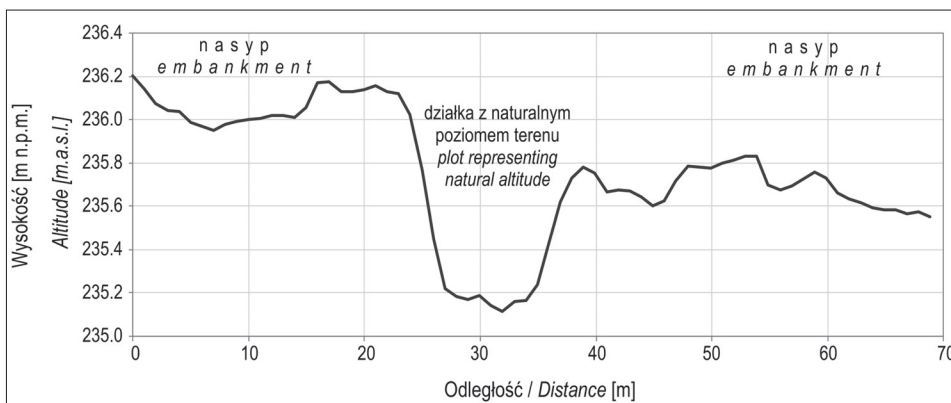
Przypadek 2. Zawilgocenie terenu otoczonego nasypami

Podniesienie zwierciadła płytkich wód podziemnych szczególnie mocno zaznacza się na obszarach położonych pomiędzy nasypami. Takie obszary są narażone na nakładanie się niekorzystnego oddziaływania – podniesienie zwierciadła wód podziemnych następuje w otoczeniu każdego z otaczających nasypów. Dochodzi więc do szczególnie silnego zawilgocenia gruntu w strefie pomiędzy nasypami. Dodatkowym, występującym niezależnie skutkiem jest to, że obszar otoczony nasypami przeważnie odbiera zwiększoną ilość wód opadowych spływających po powierzchni terenu. Jednak to nie spływ powierzchniowy jest główną przyczyną zawilgocenia takich obszarów, tylko podniesiony poziom płytkich wód podziemnych.

Omawiany przykład pochodzi z płaskiego dna doliny rzeki średniej wielkości, ze strefy przy granicy dna doliny i łagodnie wznoszącego się nad nią stoku. Podłożem był osadzony przez rzekę muł (frakcja pyłowa) z grubszym materiałem aluwialnym, a więc materiał o średniej i – prawdopodobnie – zróżnicowanej przestrzennie przepuszczalności. Omawiane działki były naturalnie dosyć wilgotne (na mapie topograficznej zaznaczono sygnaturę „wilgotne łąki”), a w dodatku narażone na okresowe zalewanie wodami powodziowymi. Było to zatem wilgotne i płaskie dno doliny rzecznej w strefie znajdującej się pod wpływem stałego napływu płytkich wód podziemnych (oraz wód podskórnych, czyli hipodermicznych) od strony leżących wyżej zboczy. Aby uzyskać tereny budowlane, suche i leżące możliwie jak najwyżej w stosunku do wód powodziowych, podniesiono powierzchnię dwóch działek – jednej o około 50 cm,

¹ Korzyść jest przede wszystkim taka, że zwiększa się retencja wód (w nasypie i jego podłożu) kosztem szybkiego odpływu powierzchniowego. Jest to jednak korzyść w skali szerszej (zlewni, dorzecza), rzadko doceniana w skali lokalnej, np. przez właściciela zawilgoconego terenu.

a drugiej o około 100 cm. Powstały dwa płaskie, niewysokie, ale rozległe nasypy (ryc. 2). W wyniku tego warunki hydrologiczne na działce leżącej pomiędzy nasypami – mającej szerokość około 20 m – wyraźnie się pogorszyły. Działka ta stopniowo stała się terenem podmokłym, gdzie obserwowano sukcesję roślinności hydrofilnej. Spływ powierzchniowy z otaczających nasypów miał tu tylko marginalne znaczenie, a zmiana była wynikiem wyraźnego podniesienia się poziomu płytkich wód podziemnych. Warto przy tym zauważyć, że silne zawilgocenie działki było efektem niewielkiego przekształcenia lokalnego środowiska (bo utworzone nasypy nie były wysokie).



Ryc. 2. Profil topograficzny terenu – sytuacja działki położonej pomiędzy dwoma nasypami (NMT 2011, dokładność wysokościowa 0,1 m)

Fig. 2. The topographic profile of the study area – the plot surrounded by the embankments (DEM 2011, vertical accuracy 0.1 m)

Można dodać, że właściciel zawilgoconej działki, broniąc się przed opisanymi wyżej skutkami, utworzył także na niej nasyp (podnosząc całą powierzchnię działki). Powierzchnia działki została podniesiona w przybliżeniu do wysokości nadsypanych wcześniej działek sąsiednich. W efekcie na starszych nasypach (zabudowanych już domami) zauważono wyraźny wzrost zawilgocenia gruntu. W pewnym stopniu doszło więc do odtworzenia sytuacji pierwotnej – płaskiego, wilgotnego obszaru, zasilanego spływem podpowierzchniowym od strony wyżej leżących stoków. Funkcjonował ten sam schemat, ale już nieco wyżej, na nasypach, a nie na gruntach rodzimych.

Trzeba też zwrócić uwagę, że w opisywanym przypadku nadsypanie tej szczególnie mocno poszkodowanej działki (leżącej pośrodku) było możliwe, gdyż była ona niezabudowana. Jeśliby na takiej – otoczonej nasypami – działce stał wcześniej budynek, to podniesienie jej powierzchni przez stworzenie kolejnego nasypu byłoby dla tego budynku szczególnie niekorzystne. Niestety, w obszarach starej zabudowy, która jest obecnie zagęszczana nowymi inwestycjami,

dość często spotyka się sytuacje, gdy otoczona nasypami zostaje działka, na której już znajdują się budynki. Skutkuje to zazwyczaj ich silnym zawilgoceniem.

Do niekorzystnej zmiany stosunków wodnych doszło w wyniku utworzenia na terenach sąsiednich dwóch niewysokich, ale rozległych nasypów. Wywołało to tak wyraźny skutek głównie dlatego, że już w stanie naturalnym zwierciadło wód podziemnych występowało na tym obszarze bardzo płytko pod powierzchnią terenu.

Przypadek 3. Brak szkodliwego wpływu nasypów

Nie zawsze działka położona pomiędzy dwoma nasypami ulega zawilgoceniu. Dostyc nietypowy przykład pochodzi ze strefy gęstej zabudowy podmiejskiej na płaskim terenie. W podłożu, niemal na powierzchni terenu, zalega warstwa otoczków i grubych żwirów o znacznej miąższości – jest to obszar rozległego stożka napływowego. Analizowany był przypadek wąskiej działki, o szerokości około 15 m, na której znajdował się stary, niezamieszkały dom. Działka została z dwóch stron otoczona nasypami – wzdłuż długich boków, analogicznie jak w analizowanym powyżej Przypadku 2. Nasypy miały wysokość około 120 cm powyżej poziomu omawianej działki. W jednym z tych nasypów zainstalowano studnie chłonne, co zawsze dodatkowo zwiększa wpływ nasypu na podniesienie zwierciadła wód podziemnych w jego otoczeniu. Z trzeciej strony (wąskim bokiem) badana działka przylegała do wysokiego na około 1 m nasypu drogowego. Właściciel działki – otoczonej z trzech stron nasypami (!) – zgłaszał silne zawilgocenie i zalewanie jego posesji wraz z budynkiem mieszkalnym. Przypadek wydawał się typowy, bo położenie działki było w oczywisty sposób niekorzystne. Bliższe oględziny jednak wykazały, że budynek nosił wprawdzie wyraźne ślady zalań, ale jednocześnie wcale nie wykazywał oznak zawilgocenia. Dom ten nie miał wykonanej izolacji i drenażu fundamentów oraz był niezamieszkały, co zawsze sprzyja podniesionej wilgotności budynków. Pomimo to nie dało się stwierdzić jego zawilgocenia. Na działce brak też było roślinności hydrofilnej. W studni szybowej położonej obok domu zwierciadło wody znajdowało się na głębokości 2,5 m pod poziomem terenu. Trudno w tej sytuacji było mówić o nienaturalnym podniesieniu zwierciadła wód podziemnych w stopniu szkodliwie oddziałującym na powierzchnię terenu czy budynek.

Opisane poważne zmiany ukształtowania terenu w typowym przypadku powinny zaowocować wyraźnym lokalnym podniesieniem zwierciadła wód podziemnych oraz wręcz skrajnym zawilgoceniem badanej działki i budynku mieszkalnego. W omawianej sytuacji nie spowodowały one jednak tego efektu. Bardzo wysoka, rzadko spotykana przepuszczalność podłoża – płytko zalegających otoczków i żwirów – przeciwdziałała lokalnemu podniesieniu poziomu

wód podziemnych pod nasypami i w ich otoczeniu. Naturalne podłoże spełniało tutaj funkcję wysokowydajnego drenażu.

Dodatkowo stwierdzono, że działka i dom były w przeszłości zalewane wodami spływającymi po powierzchni terenu (czego ślady były widoczne), ale jedynie od strony nasypu drogowego. Wykazano, że był to obfity, skoncentrowany spływ wody z pasa drogowego o znacznej długości. Natomiast niemal zupełnie spływ nie występował od strony stromych skarp nasypów biegnących wzdłuż dłuższych boków poszkodowanej działki.

Warto też zauważyć, że w tak silnie przekształconym środowisku wiele procesów zachodzi nienaturalnie. Wody spływające z ulicy koncentrowały się na jednej działce, bo na innych znajdowały się nasypy, na które wody z ulicy nie mogły spływać. W efekcie zalewanie tej działki wodami z pasa drogowego (nasypu drogowego) było silnie odczuwalne i niewątpliwie szkodliwe.

ZMIANY SPŁYWU POWIERZCHNIOWEGO

Przypadek 4. Nasyp uszczelniający

„Zmiany spływu wód opadowych po powierzchni terenu związane z utworzeniem nasypu” (Rzonca 2020) to kategoria obejmująca kilka niezależnych mechanizmów oddziaływania. Stosunkowo rzadko spotyka się wpływ nasypów polegający na „zwiększeniu odpływu powierzchniowego” (Rzonca 2020). Typowe jest raczej zmniejszanie odpływu powierzchniowego przez zwiększanie infiltracji w podłoże nasypu (skutki omówiono powyżej). Natomiast zwiększenie odpływu powierzchniowego ma miejsce wtedy, gdy nasyp ogranicza infiltrację wód w podłoże. Powoduje to przekształcenie w spływ powierzchniowy większej części opadu, niż miałyby to miejsce w warunkach naturalnych. Nasyp wpływa wtedy na obieg wody tak, jak każda uszczelniona powierzchnia (np. plac czy dach budynku). W taki sposób oddziałują nasypy utworzone ze szczególnie słabo przepuszczalnych materiałów albo przykryte w całości nieprzepuszczalnymi powierzchniami.

Przykładem takiego oddziaływania jest duży nasyp, mający powierzchnię około 1,15 ha. Utworzono go w terenie pagórkowatym, nadbudowując stok. Trzeba przy tym zauważyć, że ani cechy podłoża skalnego, ani nawet pierwotna rzeźba terenu nie mają znaczenia, jeśli chodzi o efekt zwiększania odpływu powierzchniowego przez nasypy (ograniczenie infiltracji zachodzi bowiem pod wpływem uszczelnienia powierzchni). Opisowany nasyp cechował się niemal poziomą powierzchnią i miał wysokość do 4 m. Został utworzony ze szczególnie słabo przepuszczalnego gruntu o silnej dominacji frakcji ilastej. Z wywiadu

wynikało, że był on silnie zagęszczany już podczas tworzenia nasypu. Dodatkowo zmniejszyło to wodochłonność i przepuszczalność nasypu (Wysokiński 2009).

Wody opadowe podczas bardziej intensywnych epizodów opadowych wykazywały wyraźną tendencję do koncentracji w kilka strug o znacznej sile erozyjnej. Na występowanie spływu powierzchniowego wskazywała obecność rozcięć erozyjnych (bruzd erozyjnych) utworzonych na górnej powierzchni nasypu i kontynuujących się na jego skarpie bocznej (ryc. 3A). U wylotu bruzd, na przedpolu nasypu, znajdowały się wyraźne stożki napływowe utworzone z materiału budującego nasyp, świadczące o transporcie tego materiału przez wodę, a następnie o jego sedymencie. Powstała też zerwa ziemna – część materiału skarpy nasypu osunęła się na sąsiednią działkę (ryc. 3B).



Ryc. 3. Ślady skoncentrowanego spływu powierzchniowego z powierzchni nasypu: A. Rozcięcie erozyjne na skarpi nasypu (fot. K. Mostowik); B. Rozcięcie erozyjne oraz zerwa ziemna w skarpi nasypu (fot. K. Mostowik)

Fig. 3. The results of the concentrated flow running from the surface of the embankment: A. An erosional channel on the embankment side slope (photo by K. Mostowik); B. An erosional channel and a landslide visible on the embankment side slope (photo by K. Mostowik)

Trzeba przy tym zauważyć, że przed utworzeniem omawianego nasypu wody opadowe spływały w tym miejscu po stokach w formie rozproszonej. Jak ustalono na podstawie NMT oraz obserwacji terenowych na działkach sąsiednich, w tej części stoku nie istniały żadne formy terenu świadczące o występowaniu skoncentrowanego spływu powierzchniowego i powodowanej nim erozji liniowej.

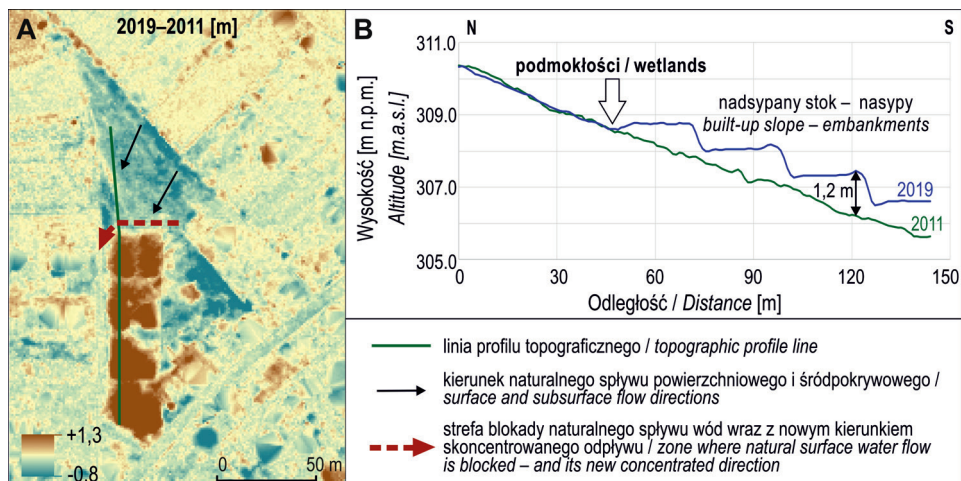
Opisany nasyp wywołał dwie poważne zmiany dotyczące spływu powierzchniowego. Doszło tam bowiem, po pierwsze, do „zwiększenia odpływu powierzchniowego” na skutek częściowego zablokowania infiltracji wód opadowych pod nasypem, który wykonano z materiału szczególnie słabo przepuszczalnego dla

wody. Po powstaniu nasypu wzrósł udział opadów przekształcany w spływ powierzchniowy. Po drugie, doszło tam także do „zmiany formy spływu powierzchniowego”. Naturalny, rozproszony spływ powierzchniowy wód opadowych został zmieniony w skoncentrowany spływ powierzchniowy o znacznej sile erozyjnej i transportowej.

Przypadek 5. Blokowanie spływu powierzchniowego na stoku

Nasypy często blokują spływ powierzchniowy lub zmieniają jego kierunek. W efekcie dochodzi do lokalnego podtopienia terenu (najczęściej okresowego) lub do zalewania wodami opadowymi (albo do zwiększenia zalewania) obszaru, który w warunkach naturalnych nie był zalewany. Stosunkowo często towarzyszy temu całkiem odrębne oddziaływanie – zmiana formy spływu powierzchniowego. Naturalny rozproszony spływ powierzchniowy zostaje przekształcony w spływ skoncentrowany (linijny), szczególnie szkodliwy i uciążliwy z powodu wysokiej energii erozyjnej i transportowej. Przedstawiono przykład sytuacji, w której doszło do „zmiany kierunku spływu wód opadowych lub jego blokowania przez nasyp” (wystąpiły oba oddziaływania: blokowanie i zmiana kierunku) przy jednoczesnej „zmianie formy spływu powierzchniowego” (Rzonca 2020).

W dolnej części nieznacznie nachylonego (około 3%) stoku powstały domy na niewielkich nasypach ziemnych, nadbudowujących pierwotną powierzchnię terenu (ryc. 4). Na powierzchni terenu występowały tam szczególnie słabo



Ryc. 4. A. Model różnicowy pomiędzy NMT 2019 a NMT 2011 (dokładność wysokościowa 0,15 m); B. Porównanie profili topograficznych terenu przed (NMT 2011) i po wybudowaniu nasypu (NMT 2019)

Fig. 4. A. 2019 vs. 2011 DEM of Difference (vertical accuracy 0.15 m); B. The comparison of the topographic profiles obtained before (DEM 2011) and after the embankment was constructed (DEM 2019)

przepuszczalne dla wody gliny ciężkie (oraz wykształcone na nich gleby), przez co znaczna część opadów była przekształcana w spływ powierzchniowy.

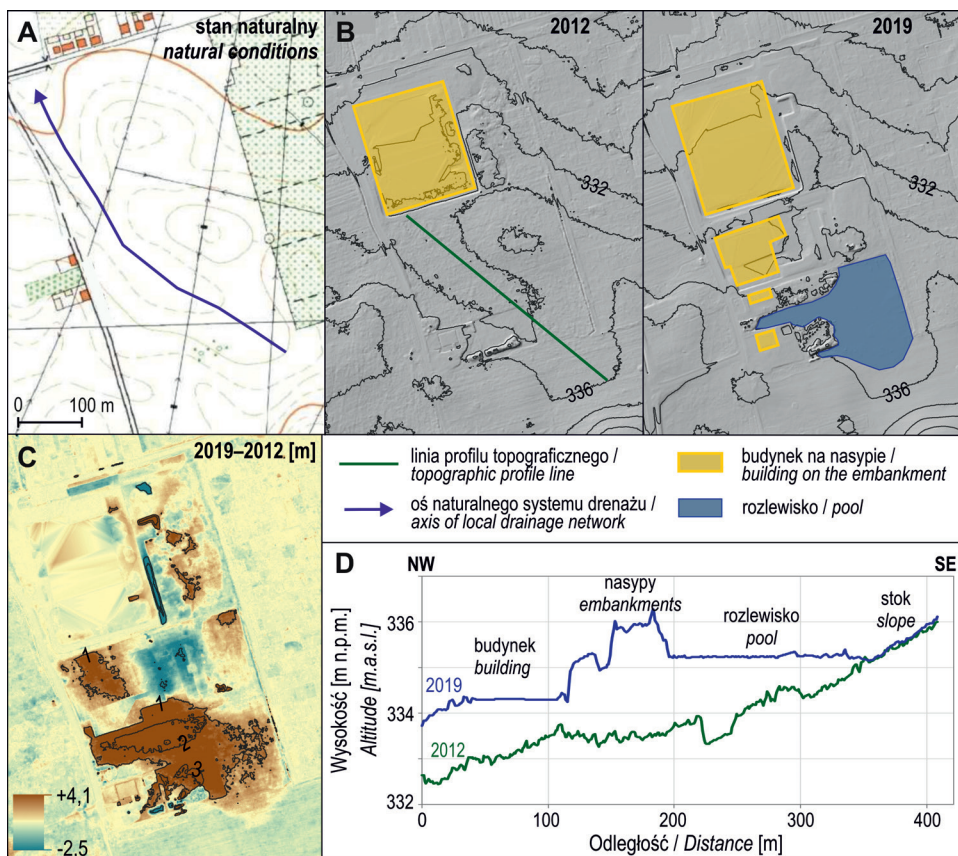
Ogłędziny terenu zostały przeprowadzone po dłuższym okresie bezopadowym, a w ich trakcie wystąpił słaby opad frontowy (w ciągu kilku godzin poprzedzających ogłędziny na najbliższych stacjach opadowych IMGW odnotowano sumy opadu 0,5 oraz 2,5 mm). W części stoku sąsiadującej od północy z nowo powstałym nasypem stwierdzono liczne, choć niewielkie podmokłości świadczące o braku możliwości wsiąkania wody w grunt oraz o braku możliwości odpływu powierzchniowego (ryc. 4B). Zaobserwowano przy tym wyraźną różnicę w nasyceniu gruntu wodą pomiędzy mniej wilgotną, wyżej położoną częścią stoku a bardziej wilgotną częścią położoną niżej, tuż powyżej nasypów. Nasyp blokował możliwość spływania wód opadowych po powierzchni terenu i powodował ich gromadzenie się w strefie przyległej do niego (ryc. 4A). Jednocześnie z relacji świadków wynikało, że podczas bardziej intensywnych i wydajnych opadów wody gromadzące się w sąsiedztwie nasypu odpływały skoncentrowanym strumieniem w kierunku ukośnym do linii spadku stoku (bo tam były blokowane przez nasyp). Wody te przedostawały się na pobliską ulicę, a za jej pośrednictwem – na okoliczne posesje, gdzie powodowały znaczne szkody.

Powierzchnia obszaru zasilania spływem powierzchniowym (zlewnia powyżej nasypu) została określona na zaledwie 3200 m². Jednocześnie skutki były wyraźne i szkodliwe dla pasa terenu do kilku metrów powyżej nasypu oraz dla obszarów otaczających, na które przekierowany został spływ powierzchniowy.

Interesujące jest to, że niezbyt wielkie przekształcenie powierzchni (niewielkie nasypy) na nieznacznie nachylnym stoku o umiarkowanej powierzchni zasilania spływem powierzchniowym wywołało wyraźne zmiany hydrologiczne o znacznej uciążliwości dla otoczenia. Kluczowym czynnikiem była w tym przypadku szczególnie niska przepuszczalność podłoża gruntowego.

Przypadek 6. Zablockowanie odpływu doliną

„Zmianę kierunku spływu wód opadowych lub jego blokowanie przez nasyp” (Rzonca 2020) można pokazać na następującym, spektakularnym przykładzie. W terenie pagórkowatym, gdzie w podłożu występowały słabo przepuszczalne dla wody gliny ciężkie, powstało kilka wielkoobszarowych komercyjnych inwestycji (ryc. 5). Wszystkie powstały na nowo utworzonych nasypach, które całkowicie wypełniły płytką formę dolinną. Odpływ wód opadowych tą doliną został całkowicie zablockowany. W efekcie, w ciągu kilku lat, na sąsiadujących z inwestycjami nieużytkowanych gruntach gminnych powstało rozlewisko o powierzchni dochodzącej maksymalnie do 1,9 ha (ryc. 5 i 6).



Ryc. 5. A. Pierwotna topografia terenu z wyraźną formą dolinną – osią lokalnego systemu drenażu; B. Topografia terenu po powstaniu rozległych nasypów – modele cieniowane z 2012 i 2019 r. na podstawie NMT (dokładność wysokościowa 0,1 m); C. Model różnicowy pomiędzy NMT 2019 a NMT 2012; D. Porównanie profili topograficznych terenu przed (NMT 2012) i po (NMT 2019) wybudowaniu nasypów całkowicie blokujących odpływ wody. Wysokość bezwzględna na obszarze rozlewiska odnosi się do chwilowej wysokości lustra wody (w momencie skanowania)

Fig. 5. A. Natural topography with clearly visible valley form – the axis of local drainage network; B. Topography of the area after major embankments were built – hillshade maps based on DEM obtained in 2012 and 2019 (vertical accuracy 0.1 m); C. 2019 vs. 2012 DEM of Difference; D. The comparison of the topographic profiles across the area before (DEM 2012) and after (DEM 2019) the construction of embankments, which completely blocked the water flow. The altitude in the pool area refers to the instantaneous water table height (at the time of scanning)

Stopniowo podnosząca się woda w rozlewisku zaczęła – w okresach wilgotnych – przelewać się przez drogę biegnącą wzdłuż jednego z brzegów. Droga biegła tutaj po niskim nasypie drogowym tworzącym *de facto* groblę. Przelewające się wody zalewały skoncentrowanym strumieniem tereny leżące dalej na wschód, co prowadziło do poważnych szkód na znajdujących się na tym obszarze posesjach. Oddziaływanie to miało charakter długookresowy, co



Ryc. 6. Rozlewisko powstałe samoczynnie w wyniku zablokowania przez nasyp odpływu lokalną doliną, Przypadek 6 (fot. J. Łodziński)

Fig. 6. A pool that was spontaneously created as a result of blocking the water flow by the embankment in the local valley, Case no. 6 (photo by J. Łodziński)

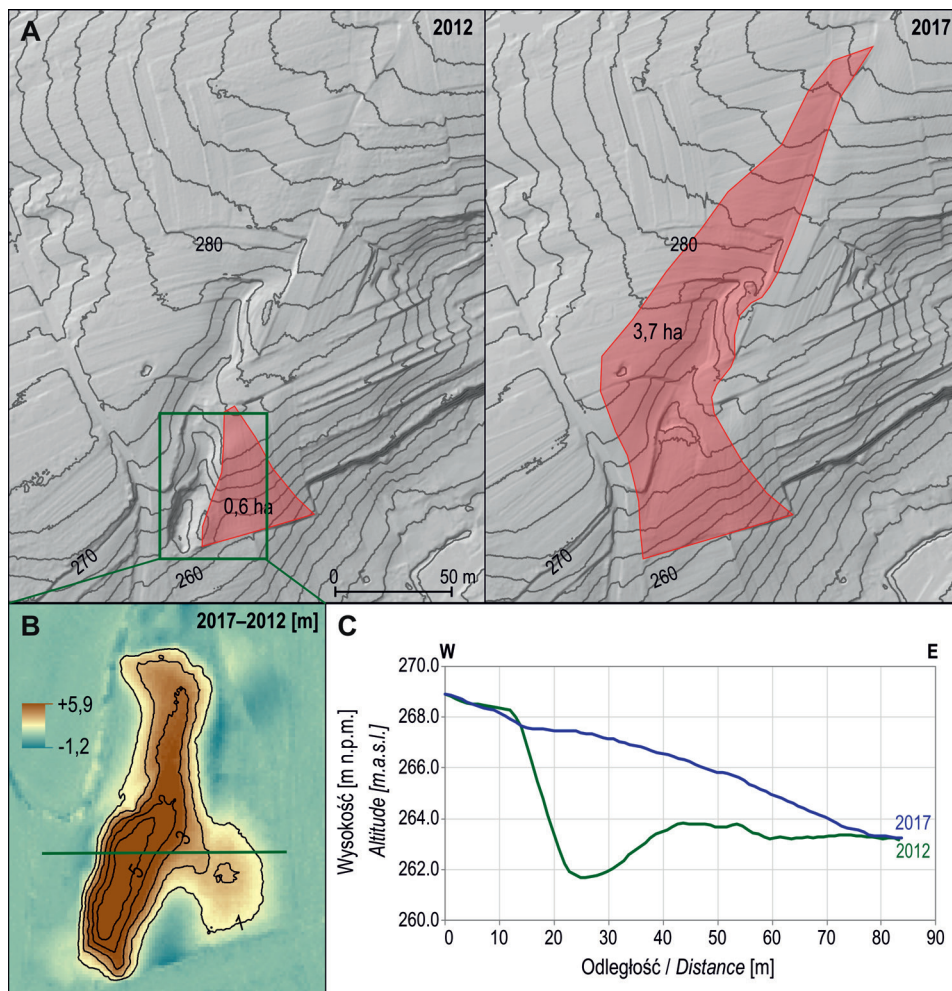
czyniło je szczególnie uciążliwym. Dopiero zainstalowanie urządzenia regulującego poziom wody w rozlewisku i odbierającego jej nadwyżki pozwoliło rozwiązać ten problem i zapobiec dalszym szkodom. Rozlewisko postanowiono zachować, gdyż zostało uznane za cenne przyrodniczo i warte ochrony jako obiekt podnoszący bioróżnorodność regionu. Rozwiązanie to było możliwe do wprowadzenia dlatego, że rozlewisko powstało na nieużytkach należących do gminy.

Znacząca skala przekształceń lokalnego środowiska wynikała ze stosunkowo niewielkiej, jak się wydawało, zmiany, która polegała na ulokowaniu nasypu w płytkim, wilgotnym zagłębieniu terenu. Zagłębienie to było w rzeczywistości lokalną doliną stanowiącą oś drenażu terenów otaczających, co przełożyło się na naprawdę spektakularne efekty w otoczeniu.

Przypadek 7. Powiększenie zlewni topograficznej

Kolejny przykład dotyczy zmiany, którą trzeba zaklasyfikować jako „zmianę kierunku spływu wód opadowych lub jego blokowanie przez nasyp” (Rzonca 2020). Jej istotą było powiększenie obszaru zlewni topograficznej.

Sytuacja ta miała miejsce w terenie wyżynnym, pagórkowatym, o dość stromych stokach, gdzie w podłożu występowały słabo przepuszczalne grunty, głównie gliny ciężkie. Zmiana polegała na zasypaniu głębokiego wąwozu (ryc. 7). Na wysokości górnej krawędzi jego szerokość dochodziła do 25 m, a głębokość – do 6 m (licząc od wyższego brzegu, a od niższego – 4 m). W latach 90. XX w.



Ryc. 7. A. Zasięg zlewni topograficznej badanego obszaru w okresie przed (2012) i po (2017) zasypaniu wąwozu na tle cieniowanych modeli (dokładność wysokościowa 0,1 m); B. Model różnicowy pomiędzy NMT 2017 a NMT 2012; C. Porównanie profili topograficznych terenu przed (NMT 2012) i po (NMT 2017) zasypaniu wąwozu i podniesieniu powierzchni działki

Fig. 7. A. The topographic catchment area of the studied plot in the period before (2012) and after (2017) backfilling the gorge on the background of hillshade maps (vertical accuracy 0.1 m); B. 2017 vs. 2012 DEM of Difference; C. The comparison of the topographic profiles across the area before (DEM 2012) and after (DEM 2017) backfilling the gorge

zasypana została dolna część wąwozu; na tym obszarze dokonano wyrównania powierzchni stoku, który przekształcono w pole orne. Po tym zabiegu dawny wąwóz kończył się ślepo, a spływające jego dnem wody stagnowały na granicy zasypanego odcinka, stopniowo wsiąkając i parując. Ten stan trwał przez ponad 20 lat i nie był przyczyną żadnych szkód ani uciążliwości dla otoczenia. Kilka lat temu zasypano jednak także górny odcinek tego wąwozu przez zdeponowanie w nim około 10 tys. m³ gruntu i gruzu. Także tutaj wyrównano powierzchnię stoku. W górnej części wąwóz nie biegł w linii spadku stoku, tylko lekko ukośnie do tej linii². Wskutek takiego przebiegu wąwozu jego zasypanie spowodowało ponad sześciokrotne zwiększenie powierzchni zlewni topograficznej (ryc. 7) zasilającej spływem powierzchniowym teren rolniczy leżący poniżej górnego odcinka wąwozu (z 0,6 ha na 3,7 ha).

Właściciele leżącego niżej terenu rolniczego, zalewanego wodami ze znacząco powiększonej zlewni, zgłosili radykalne zwiększenie (po zasypaniu górnej części wąwozu) spływu powierzchniowego, w tym także spływu skoncentrowanego (powodującego erozję liniową), trafiającego na ich posesję. W terenie widoczne były – w wielu miejscach – świeże bruzdy erozyjne oraz znaczne ilości drobnoziarnistych osadów zdeponowanych przez wodę. Spływająca woda osadzała również kamienie i gruz (o dość znacznych rozmiarach – średnica około 20 cm), pochodzące prawdopodobnie z materiału, którym zasypano wąwóz. Z wywiadu przeprowadzonego z właścicielami terenu rolniczego wynikało, że tak obfite zalewanie ich posesji oraz erozja i depozycja materiału nie miały miejsca przed zasypaniem górnej części wąwozu. Za prawdziwością tych stwierdzeń przemawiał brak w terenie (oraz na numerycznym modelu terenu) starych form świadczących o wieloletnim funkcjonowaniu nasilonej erozji i akumulacji, a zwłaszcza form świadczących o erozji liniowej. Najważniejsze było jednak samo znaczne zwiększenie powierzchni zlewni zasilającej ten obszar spływem powierzchniowym. Przy stromych stokach i mało przepuszczalnych gruntach spowodowało to znaczną intensyfikację spływu powierzchniowego i erozji na terenie leżącym poniżej zasypanego wąwozu.

Przypadek 8. Blokowanie wód powodziowych

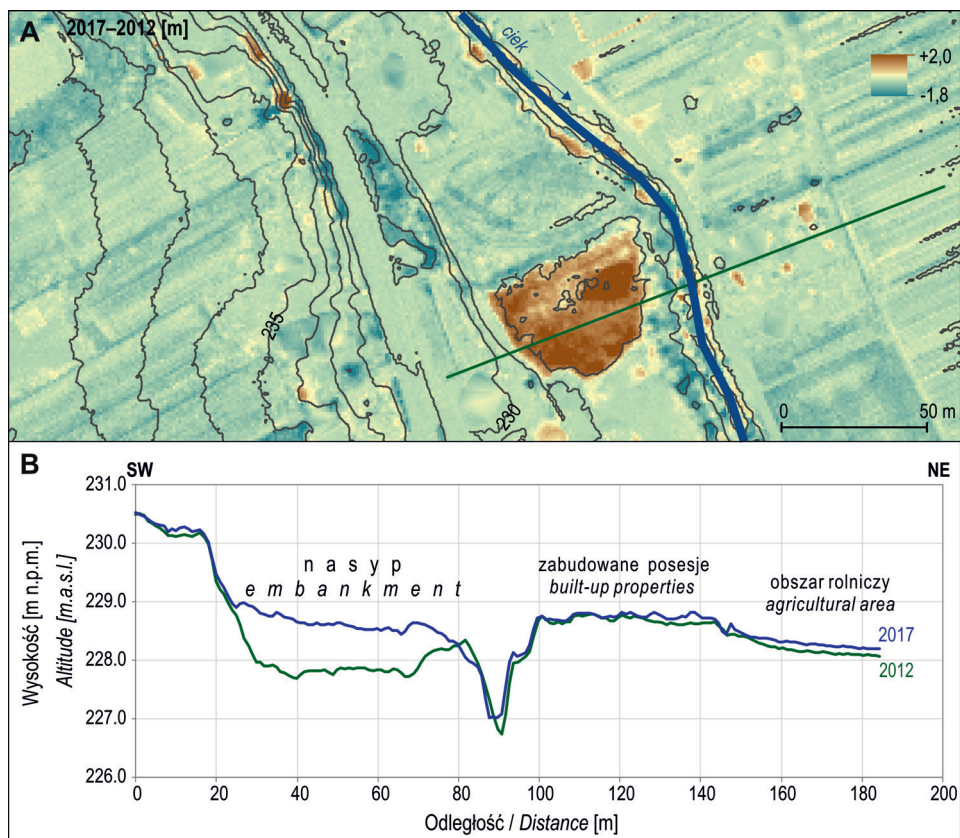
Szczególnie niebezpieczna sytuacja wynikająca ze „zmiany kierunku spływu wód opadowych lub jego blokowania przez nasyp” (Rzonca 2020) ma miejsce wtedy, gdy nasyp zajmuje część zalewowego dna doliny.

² Przymuszczalnie był to holweg, czyli wąwóz będący skutkiem przekształcenia przez erozję dawnej drogi gruntowej, co wyjaśniałoby jego przebieg ukośnie do linii spadku stoku.

W terenach pagórkowatych, pogórskich i górskich naturalne funkcjonowanie den dolin polega na tym, że podczas wezbrań wody cieką zalewają równinę zalewową. Wody płyną po równinie zalewowej w przybliżeniu równolegle do osi koryta cieką. Obserwując takie doliny, warto zwrócić uwagę, że zabudowa (zwłaszcza starsza) ulokowana jest najczęściej powyżej dna doliny – w dolnej strefie zboczy, powyżej poziomu wód powodziowych.

Opisany przypadek pochodzi z obszaru pogórskiego (ryc. 8). Koryto cieką biegnie niesymetrycznie w dolinie; zachodnia równina zalewowa była o wiele węższa, powyżej niej znajdowała się droga (być może na starym nasypie), a dalej – dość stromy stok. W latach 70. lub 80. XX w. wzdłuż wschodniego brzegu cieką powstał rząd domów jednorodzinnych. Powierzchnia terenu, na którym powstały te domy, jest położona o około 40 cm wyżej niż poziom leżąca dalej od cieką szerokiej równiny zalewowej, obecnie zmeliorowanej i użytkowanej jako pola orne (ryc. 8). Nie jest jasne, dlaczego poziom tych posesji przy samym cieką jest wyższy niż generalny poziom równiny; być może znajdują się tam stare nasypy lub geneza tego podwyższenia powierzchni jest inna – naturalna lub seminaturalna (np. jest to pozostałość wału przykorytowego). Z punktu widzenia hydraulicznego funkcjonowania dna doliny ważne jest to, że to podniesienie poziomu terenu (na którym powstały domy) odcina koryto cieką od równiny zalewowej położonej dalej na wschód. W ten sposób zawęża się łożysko dostępne dla wód wezbraniowych, ograniczając je do o wiele węższej równiny zachodniej. Tylko podczas największych powodzi woda mogłaby się przelać przez posesje położone na wschodnim brzegu i zalać równinę zalewową położoną dalej na wschód. Byłoby to oczywiście związane z dużymi stratami na obszarze tych posesji. Z informacji uzyskanych z wywiadu jednak wynika, że nigdy – przez kilkadziesiąt lat istnienia tam domów – nie doszło do takiego zdarzenia.

Pierwszy dostępny NMT dla tego obszaru przedstawia morfologię terenu w 2012 r. (ryc. 8). Na omawianym odcinku doliny poziom równiny zalewowej po zachodniej stronie cieką był nawet o 1 m niższy niż poziom posesji po stronie wschodniej. Lokalna sytuacja hydrologiczna zmieniła się, kiedy w zachodniej części dna doliny powstał rozległy nasyp (o kubaturze około 1400 m³), całkowicie zabudowujący dno doliny pomiędzy korytem cieką a drogą i stokiem. Widać go wyraźnie na profilu wykonanym na podstawie NMT z 2017 r. (ryc. 8). Zablockowanie przez ten nasyp ostatniej części równiny zalewowej, dostępnej jeszcze dla wód wezbraniowych, spowodowało, że od tego momentu całość tych wód musiała się już mieścić w korycie cieką. Powstanie nasypu na zachodnim brzegu cieką bezpośrednio uderzyło w bezpieczeństwo posesji na brzegu wschodnim. Powstały nasyp „spycha” bowiem strumień wód wezbraniowych (ciek ma dużą zlewnię i często stwarza zagrożenie powodziowe) i wymusza radykalnie



Ryc. 8. A. Model różnicowy pomiędzy NMT 2017 a NMT 2012 (dokładność wysokościowa 0,1 m); B. Porównanie profili topograficznych terenu przed (2012) i po wybudowaniu nasypu w zachodniej części równiny zalewowej (2017)

Fig. 8. A. 2017 vs. 2012 DEM of Difference (vertical accuracy 0.1 m); B. The comparison of the topographic profiles across the area before (2012) and after the embankment was constructed in the western part of the flood plains (2017)

większe – w porównaniu z okresem wcześniejszym – oddziaływanie tych wód na wschodni brzeg ciek, a zwłaszcza na rząd domów leżących na tym obszarze.

Taka sytuacja jest spotykana stosunkowo często. Płaskie dna dolin, zazwyczaj dotychczas niezabudowane z powodu zagrożenia powodziowego oraz niekorzystnych warunków gruntowo-wodnych, są obecnie traktowane jako atrakcyjne obszary inwestycyjne. W celu uzyskania suchego terenu, położonego powyżej poziomu wód powodziowych, często tworzy się tam nasypy, nierzadko wysokie i rozległe (i często nielegalne). Nasypy te z zasady zwiększają zagrożenie powodziowe dla otoczenia – jak choćby w opisanym przypadku – przez „spychanie” strumienia wód powodziowych na drugą stronę ciek, na przeciwległą część równiny zalewowej, gdzie w wyniku koncentracji strumienia zagrożenie rośnie.

Analizując zjawisko w skali zlewni, trzeba zwrócić uwagę na istotne zmniejszenie retencji dolinnej wskutek takich inwestycji. W analizowanym przypadku nasyp utworzony na zaledwie jednej działce zmniejszył tę retencję o ponad 1000 m³.

ZAKOŃCZENIE

W pracy zaprezentowano przykłady zmian warunków hydrologicznych, będących skutkami utworzenia nasypów gruntowych i gruntowo-gruzowych. Rozpatrując przytoczone przypadki i porównując je z innymi sytuacjami, należy przede wszystkim pamiętać, że sama analiza zmian morfologii terenu (np. utworzenie nasypu) nie przesądza jednoznacznie o zaistnieniu zmiany warunków hydrologicznych szkodliwej dla terenów sąsiednich. Szczególnie istotne jest uwzględnienie w analizie przepuszczalności podłoża, a także istnienia nawet niewielkich, lokalnych barier dla spływu wody. Z prawnego punktu widzenia bardzo istotne jest rzeczywiste występowanie szkód, aby można było prowadzić postępowanie z art. 234 ustawy z dnia 20 lipca 2017 r. – Prawo wodne (Dz.U. 2017, poz. 1566).

Ocena zmian warunków hydrologicznych powodowanych przez powstanie nasypów może być wykonywana w sposób uproszczony, „jakościowy”, bez przeprowadzania szczegółowych badań oraz wielosezonowego monitoringu wód powierzchniowych i podziemnych. Przedstawiony w niniejszej pracy – przy omawianiu kolejnych przypadków – sposób rozumowania pozwala na prawidłowe wnioskowanie o zmianie stosunków wodnych w zakresie potrzebnym np. do wydania specjalistycznej opinii hydrologicznej. Wnioskowanie to opiera się na ocenie środowiska geograficznego badanego obszaru, wykonanej ze szczególnym uwzględnieniem cech rzeźby, podłoża i wielkości zlewni, a także na analizie morfologii powierzchni terenu wykonywanej w oparciu o wysokorozdzielcze modele terenu. Najistotniejsze są ustalenia dokonane podczas oględzin terenowych, obejmujących dokumentację szkód związanych ze zmianą stosunków wodnych (np. powstałych form erozyjnych), pomiary niwelacyjne oraz kartowanie barier dla spływu powierzchniowego. Wnioskowanie wspomagane jest również analizą porównawczą materiałów archiwalnych. Trzeba podkreślić, że w większości przypadków udaje się wypracować jednoznaczne i zarazem wiarygodne wnioski na temat tego, czy doszło do zmiany warunków hydrologicznych, a jeśli tak, to jakie były przyczyny oraz skutki tej zmiany. To stwierdzenie oparte jest na fakcie, że wiele analizowanych przypadków autorzy mieli okazję obserwować przez dłuższy czas, np. przy kolejnych etapach toczących się wieloletnich postępowań administracyjnych i sądowych. Pozwoliło to na weryfikację wcześniejszych wniosków – czasem poprzez dalszą obserwację coraz bardziej pogłębiających

się skutków zachodzących procesów, a czasem poprzez ocenę skuteczności podjętych działań naprawczych.

PODZIĘKOWANIA

Autorzy serdecznie dziękują dwóm anonimowym Recenzentom, którzy wnieśli istotny wkład w podniesienie poziomu niniejszej pracy.

BIBLIOGRAFIA

Literatura

- Bardel T. 2012. O antropogenicznych przyczynach powstania osuwiska na zboczu byłej kopalni łoż „Kantoria” w Tarnowie. *Górnictwo i Geologia* 7(2), 35–47.
- Batog A., Stilger-Szydło E. 2018. Stability of road earth structures in the complex and complicated ground conditions. *Studia Geotechnica et Mechanica* 40(4), 300–312. <https://doi.org/10.2478/sgem-2018-0028>
- Cui Y.J., Gao Y., Ferber V. 2010. Simulating the water content and temperature changes in an experimental embankment using meteorological data. *Engineering Geology* 141(3–4), 456–471. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2010.06.006>
- Gruchoń A., Resiuła E. 2011. Wpływ zagęszczenia i nawodnienia na wytrzymałość na ścinanie mieszaniny popiołowo-żużlowej i stateczność wykonanego z niej nasypu. *Górnictwo i Geoinżynieria* 2, 257–264.
- Gunn D.A., Chambers J.E., Uhlemann S., Wilkinson P.B., Meldrum P.I., ..., Glendinning S. 2015. Moisture monitoring in clay embankments using electrical resistivity tomography. *Construction and Building Materials* 92, 82–94. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.06.007>
- Jackson P.D., Northmore K.J., Meldrum P.I., Gunn D.A., Hallam J.R., ..., Ogutu G. 2002. Non-invasive moisture monitoring within an earth embankment – a precursor to failure. *NDT & E International* 35, 107–115. [https://doi.org/10.1016/S0963-8695\(01\)00030-5](https://doi.org/10.1016/S0963-8695(01)00030-5)
- Jermołowicz P. 2015. Problematyka stateczności skarp głębokich wykopów i wysokich nasypów. *Magazyn Autostrady* 4, 38–41.
- Kaczmarczyk R., Olek B., Stanisław J., Woźniak H., Pilecki Z. 2014. Wpływ gruntów nasypowych na rozwój i powstanie osuwiska. *Przegląd Geologiczny* 10(2), 594–600.
- Klat-Górska E. 2018. Administracyjnoprawne oraz cywilnoprawne konsekwencje niedozwolonej zmiany stanu wód na sąsiedniej nieruchomości gruntowej. *Studia i Prace WNEiZ US* 54(1), 9–20. <https://doi.org/10.18276/sip.2018.54/1-01>
- Małecki Z.J., Szymańska-Pulikowska A., Satanowski L. 2012. Stateczność nasypu drogowego w ul. Łódzkiej w pobliżu skrzyżowania z ul. Łęgową w Kaliszu. *Zeszyty Naukowe: Inżynieria Lądowa i Wodna w Kształtowaniu Środowiska* 7, 23–37.
- Pilecka E., Białek M., Manterys T. 2016. The influence of geotechnical conditions on the instability of road embankments and methods of protecting them. *Czasopismo Techniczne* 3-B, 107–122.
- Pilecka E., Manterys T., 2017. Wpływ nawodnienia gruntu na stateczność nasypu drogowego na osuwisku. *Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe* 12, 376–380.
- Rzonca B. 2020. Wpływ lokalnych zmian ukształtowania powierzchni terenu na warunki wodne otoczenia, wraz z interpretacją według Prawa wodnego. *Przegląd Geologiczny* 68(3), 178–186.
- Wężyk P. 2015. *Podręcznik dla uczestników szkoleń z wykorzystania produktów LiDAR*. Warszawa: ISOK, Główny Urząd Geodezji i Kartografii.

- Wysokiński L. 2009. *Zasady budowy składowisk odpadów. Instrukcje, wytyczne, poradniki ITB 444/2009*. Warszawa: Instytut Techniki Budowlanej.
- Yoshioka M., Takakura S., Tomohiro I., Sakai N. 2015. Temporal changes of soil temperature with soil water content in an embankment slope during controlled artificial rainfall experiments. *Journal of Applied Geophysics 114*, 134–145. <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2015.01.009>

Netografia

Dane państwowego zasobu geodezyjnego i kartograficznego 2021. Pobrane z: www.opendata.geoportal.gov.pl/NumDanWys/NMT

Akty prawne

Ustawa z dnia 20 lipca 2017 r. – Prawo wodne (Dz.U. 2017, poz. 1566).