

Wpływ lokalnych zmian ukształtowania powierzchni terenu na warunki wodne otoczenia, wraz z interpretacją wg Prawa wodnego

Bartłomiej Rzonca¹



The effect of local changes in relief on hydrologic conditions in the surrounding area, with an interpretation based on the Water Law. Prz. Geol., 68: 178–186.

Abstract. Typical changes in surface relief resulting from earthworks include the construction of earthen and debris-type embankments and the excavation of hillslope sides. The paper places in groups and discusses local changes in the hydrologic conditions associated with these types of changes in relief and provides an interpretation of these changes in agreement with current Polish Water Law. The expected and frequent effect of earthen embankments is a rise in the groundwater level under the embankment, which may lead to the formation of a wetland in its immediate vicinity and higher groundwater levels across larger areas on the hillslope above. Some embankments redirect surface runoff from surrounding areas or block it, thus creating outflow-free depressions. Other embankments help form surface runoff that flows down from the surface of the embankment. Some embankments are secured with solid walls that yield a variety of unique hydrodynamic effects. In many cases, the levelling of terrain for construction purposes is accompanied by the undercutting of hillslopes, the effects of which are also noted in the paper. Yet another issue is the susceptibility of embankments to gravity-driven mass movements, especially mudslides and landslides. The excessive weight of an embankment may also cause landslides in the embankment's base formations.

Keywords: changes in hydrologic conditions, embankment, earthen embankment, excavation, hillslope undercut

W Polsce wzrasta presja na zabudowę nowych terenów. Obecnie zabudowa – mieszkaniowa i przemysłowa – powstaje często w miejscach o bardzo niekorzystnych warunkach terenowych, które niegdyś uznawano za nienadające się do celów budowlanych. Dzieje się tak zwłaszcza w miastach i na ich przedmieściach. Jednym z powszechnie stosowanych środków poprawiających warunki zabudowy działek jest podnoszenie i wyrównywanie (poziomowanie) ich powierzchni przez tworzenie nasypów o różnej miąższości – czasami wielu metrów. Budowa nasypów jest więc często stosowanym sposobem poprawiania ukształtowania terenu (zamiast działki nachylonej otrzymuje się poziomą powierzchnię nasypu), warunków hydrogeologicznych (zamiast działki podmokłej uzyskuje się suchą powierzchnię nasypu), czy nawet zmniejszającym zagrożenie powodziowe (nasypy powstają także na obszarach równin zalewowych w dolinach rzek). Efekt wyrównania powierzchni działki jest też nierzadko uzyskiwany poprzez wykonanie wykopu podcinającego stok.

Utworzenie nasypu gruntowego (lub gruntowo-gruzowego) czy wykopu podcinającego stok jest zazwyczaj silną ingerencją w lokalne środowisko, prowadzącą do wieloaspektowych przekształceń otoczenia. Powstanie nasypu lub podcięcia stoku niemal zawsze wywołuje obawy o możliwość zakłócenia (zmiany) warunków wodnych na terenach sąsiednich. Dlatego w licznych postępowaniach administracyjnych oraz sądowych (cywilnych, a czasem także karnych) prowadzonych w sprawach o zmianę warunków

wodnych *podejrzany* jest właśnie nasyp lub duży wykop podcinający stok. W związku z powstawaniem takich obiektów i ich wpływem na otoczenie prowadzone są postępowania administracyjne oparte na zapisach Prawa wodnego, a konkretnie art. 234 Ustawy z dnia 20 lipca 2017 r. Prawo wodne (Ustawa, 2017)². Warto dosłownie przytoczyć trzy pierwsze ustępy (z pięciu) tego artykułu:

1. Właściciel gruntu, o ile przepisy ustawy nie stanowią inaczej, nie może:

1) zmieniać kierunku i natężenia odpływu znajdujących się na jego gruncie wód opadowych lub roztopowych ani kierunku odpływu wód ze źródeł – ze szkodą dla gruntów sąsiednich;

2) odprowadzać wód oraz wprowadzać ścieków na grunty sąsiednie.

2. Na właścicielu gruntu ciąży obowiązek usunięcia przeszkód oraz zmian w odpływie wody, powstałych na jego gruncie wskutek przypadku lub działania osób trzecich, ze szkodą dla gruntów sąsiednich.

3. Jeżeli spowodowane przez właściciela gruntu zmiany stanu wody na gruncie szkodliwie wpływają na grunty sąsiednie, wójt, burmistrz lub prezydent miasta, z urzędu lub na wniosek, w drodze decyzji, nakazuje właścicielowi gruntu przywrócenie stanu poprzedniego lub wykonanie urządzeń zapobiegających szkodom, ustalając termin wykonania tych czynności³.

¹ Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Jagielloński, ul. Gronostajowa 7, 30-387 Kraków; b.rzonca@uj.edu.pl

² Obecnie, czyli w 2020 r., i jeszcze przez następne lata, wiele postępowania administracyjnych będzie się toczyło nadal na podstawie poprzedniego Prawa wodnego, czyli Ustawy z dnia 18 lipca 2001 r. Prawo wodne (Dz.U. z 2001 r. nr 115 poz. 1229, z późn. zm.), gdzie kwestie związane ze zmianą warunków wodnych regulował art. 29. Na podstawie Prawa wodnego z 2001 r. toczą się wszystkie postępowania wszczęte przed 01.01.2018 r., a zatem przed wejściem w życie ustawy z 2017 r.

³ Co do merytorycznych kwestii związanych ze zmianami warunków wodnych art. 29 Prawa wodnego z 2001 r. nieznacznie tylko różnił się od art. 234 Prawa wodnego z 2017 r.; nieco większe różnice są w kwestiach proceduralnych.

Sformułowanie *zmiany stanu wody na gruncie* (ust. 3) należy rozumieć jako szerokie określenie zmian warunków wodnych (czy stosunków wodnych). Z wyżej przytoczonych przepisów wynika, że aby wydać odpowiednią decyzję administracyjną trzeba rozstrzygnąć, czy zmiana dokonana na danym obszarze stanowi zmianę warunków wodnych, i to zmianę szkodliwie wpływającą na grunty sąsiednie. Stąd problematyka hydrologicznego wpływu nasypów gruntowych i gruntowo-gruzowych oraz wykopów podcinających stoki coraz częściej, w miarę zabudowywania nowych terenów (i wzrostu konfliktogenności takich działań), pojawia się w postępowaniach administracyjnych.

Celem niniejszego artykułu jest pogrupowanie i omówienie typowych zmian warunków wodnych wywołanych lokalnymi zmianami ukształtowania powierzchni terenu, głównie tworzeniem nasypów gruntowych i gruntowo-gruzowych oraz wykonywaniem podcięć stoków.

Tekst powstał jako odpowiedź na zapotrzebowanie na teoretyczne opracowanie tych zagadnień. Autor od 2008 r. jest biegłym sądowym w zakresie hydrologii, hydrogeologii i zmian stosunków wodnych przy Sądzie Okręgowym w Krakowie.

WZMOŻONA INFILTRACJA WÓD OPADOWYCH I PODNIESIENIE ZWIERCIADŁA PŁYTKICH WÓD PODZIEMNYCH POD NASYPEM

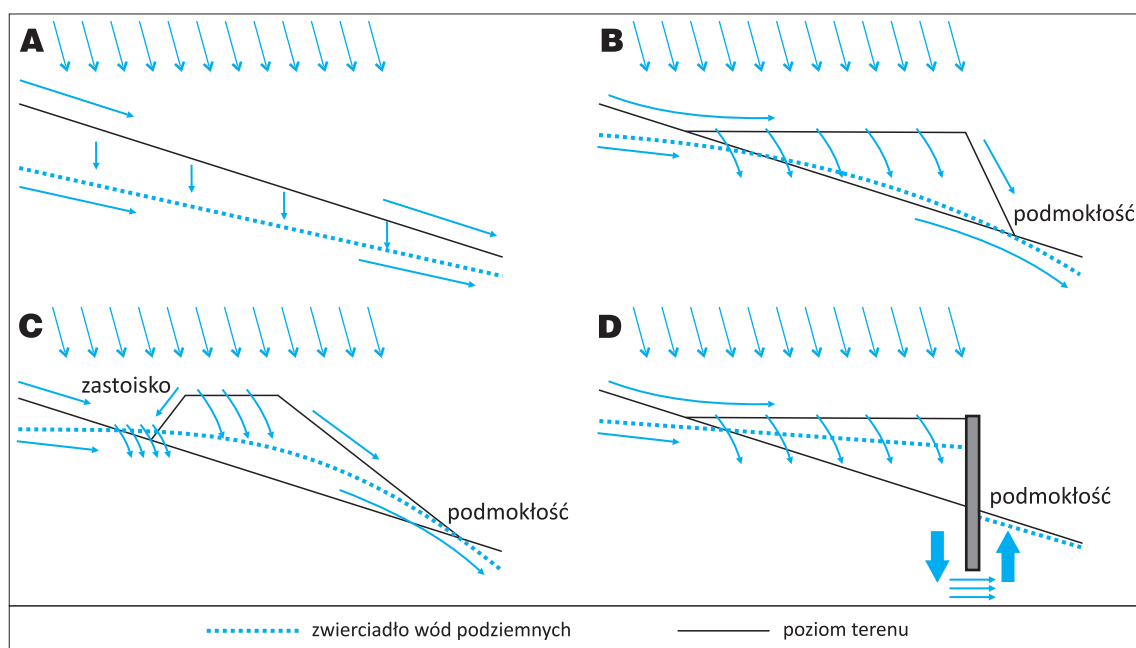
Przyczyny

Utworzenie nasypu gruntowego lub gruntowo-gruzowego przeważnie wywołuje w otoczeniu zmianę układu hydrodynamicznego. Najczęściej występujący mechanizm jest stosunkowo prosty. Typowe nasypy cechują się szczególnie wysoką porowatością. Budujące je materiały (grunty) są zazwyczaj znacznie słabiej zagęszczone niż grunty naturalne. Nasypy utworzone z wykorzystaniem gruzu

zawierają także dodatkowe przestrzenie, mające znaczne rozmiary i dużą łączną objętość, do których łatwo dostaje się woda. Tak więc niemal wszystkie nasypy cechują się wysoką porowatością oraz wysokimi wartościami parametrów od niej zależnych: przepuszczalności, wodochłonności i odsączalności grawitacyjnej. Woda łatwo infiltruje w powierzchnię typowego nasypu – znacznie łatwiej niż w naturalną powierzchnię terenu.

O zwiększonej infiltracji wód opadowych w bryłę nasypu decyduje także drugi niezależny czynnik. Najczęstszym i najważniejszym celem tworzenia nasypów (choć nie jedynym) jest zmniejszenie nachylenia powierzchni terenu, co w wielu wypadkach jest potrzebne np. dla posadowienia zaplanowanych budowli. Górna powierzchnia zdecydowanej większości nasypów jest więc pozioma lub niemal pozioma. W efekcie wody opadowe mają silną tendencję do infiltrowania w bryłę nasypu (nie mogąc spływać po poziomej powierzchni, mogą tylko infiltrować lub wyparować). Co więcej, nasypy są często zalewane wodami spływającymi z wyżej położonych części stoku. Wody te przed utworzeniem nasypu spływały po powierzchni terenu w kierunku terenów leżących niżej, natomiast po jego utworzeniu dostają się na poziomą górną powierzchnię nasypu i także w większości w niego infiltrują (ryc. 1A, B).

Istnieje jeszcze jedna, rzadziej występująca, przyczyna zwiększonej infiltracji wód opadowych w nasypy. W Polsce w strefach najsilniej zagęszczonej zabudowy, a więc na obszarach podmiejskich, zazwyczaj nie funkcjonuje kanalizacja deszczowa (burzowa). Właściciele poszczególnych działek stają przed administracyjnie narzuconym zadaniem zagospodarowania wód opadowych na własnych działkach, gdyż wód tych w wielu wypadkach po prostu nie ma gdzie odprowadzać. Wcześniej obszary te były zazwyczaj użytkowane rolniczo i nic nie ograniczało ani infiltracji wód opadowych czy roztopowych, ani ich spływania w dół stoków (co jest procesem naturalnym). Jeżeli dochodziło do



Ryc. 1. Zmiany hydrologiczne i hydrogeologiczne powodowane przez nasypy gruntowe i gruntowo-gruzowe. **A** – hydrologiczna sytuacja na stoku przed utworzeniem nasypu (warunki naturalne); **B** – po powstaniu typowego nasypu; **C** – po powstaniu nasypu ograniczonego od góry skarpią blokującą odpływ wód opadowych z terenów położonych wyżej; **D** – po powstaniu nasypu ograniczonego od dołu murem oporowym

uformowania się spływu powierzchniowego, to odnotowywano głównie straty w uprawach, na ogół niewielkie. Obecnie dawne pola dzieli się na małe działki budowlane, w znacznej części pokryte powierzchniami nieprzepuszczalnymi (budynki, podjazdy, placówki itp.). W tych warunkach każdy spływ wody opadowej w dół stoku, czyli zjawisko naturalne, jest traktowany w kategoriach katastrofy (a czasem rzeczywiście ma katastrofalny przebieg) oraz prowadzi do zarzutów, że *sąsiad mnie zalewa swoimi wodami*. Mieszkańcy takich terenów miewają naprawdę ogromne problemy z pozbywaniem się wód opadowych i są zmuszeni, przynajmniej częściowo, rozsącać je w gruncie. Jednocześnie są to właśnie obszary szczególnie częstego stosowania nasypów, bo w wielu wypadkach *dogęszczanie* zabudowy polega na zabudowie działek trudnych do zabudowy, np. wymagających korekty ukształtowania. Dlatego pokusa pozbywania się wód opadowych przez ich wpuszczanie (rozsącać) w chłonna, porowaty nasyp jest bardzo duża. Stosowane bywa nawet odprowadzanie wód z rynien bezpośrednio do gruntu (nasypu) tuż obok budynków. Rozwiązanie to stosują zwłaszcza deweloperzy budujący osiedla domów jednorodzinnych czy zabudowy szeregowej; jeśli budynek jest posadowiony na nasypie o wysokiej wodochłonności, to na nabywcach taka praktyka nie sprawia wrażenia niewłaściwej (bo przecież woda *znika*). Z kolei utwardzone powierzchnie górne nasypów, w postaci brukowanych placów czy podjazdów, bywają *odwadniane* w ten sposób, że wody opadowe swobodnie spływają poza krawędź powierzchni utwardzonej i infiltrują w grunt (nasyp). Dlatego wiele zabudowanych lub pokrytych nieprzepuszczalnymi powierzchniami nasypów jest także poddanych wpływowi nadmiernej, wręcz wymuszonej, infiltracji wód opadowych.

Skutki

Wysoka wodochłonność, przepuszczalność i odsączalność grawitacyjna materiału budującego nasyp, wraz ze wzmoczoną infiltracją wód opadowych w bryłę nasypu, powodują, że znaczne ilości wód opadowych, gromadzonych w obrębie nasypu, uwalniają się z niego stopniowo pod wpływem siły grawitacji i – także stopniowo – w zdecydowanej większości wsiąkają w naturalne podłoże pod nasypem. Bardzo istotne jest to, że efekt oddziaływania wód opadowych zgromadzonych w nasypie na jego naturalne podłoże występuje przez długi czas (tygodnie lub nawet miesiące po opadach). Ta sama woda opadowa w warunkach naturalnych (gdyby nie utworzono nasypu) spłynęłaby po powierzchni terenu bezpośrednio po wystąpieniu opadów i – w zdecydowanej większości – nie infiltrowałaby (ryc. 1A). Jedyne w przypadku występowania na powierzchni terenu wysoko przepuszczalnych gruntów lub na terenie o poziomej powierzchni infiltracja w warunkach naturalnych jest znaczna, ale wtedy jest dość równomiernie rozłożona na dużym obszarze. Wpływ takiej infiltracji jest zupełnie inny niż wpływ infiltracji wymuszonej przez nasyp i skupionej na małym obszarze.

Pomimo wysokiej przepuszczalności i odsączalności grawitacyjnej nasypów proces ich odsączania i nasycania podłoża zawartymi w nich wodami jest znacząco rozłożony w czasie, gdyż sam grunt rodzimy (podłoże nasypu) zazwyczaj wolno chłonie wodę. Woda zawarta w nasypie, łatwa do odsączenia, wywiera ciśnienie, które stopniowo wtłacza wodę w podłoże nasypu. W efekcie odsączanie wody z nasypu trwa tak długo, że (najczęściej) jeszcze zanim wody pochodzące z konkretnego epizodu opadowego przenikną do podłoża, to w nasypie pojawiają się już wody z następnych opadów. Przeważnie wymuszone nasycanie podłoża nasypu wodami w nim zawartymi trwa niemal bez przerwy.

Skutkiem opisanych wyżej procesów jest znaczący wzrost infiltracji wód opadowych w podłoże w porównaniu z sytuacją sprzed utworzenia nasypu. Bezpośrednim zaś efektem wzrostu infiltracji jest lokalne podniesienie zwierciadła płytkich wód podziemnych. Zachodzi ono w podłożu nasypu, pod jego bryłą (a nawet w jej obrębie) i – zazwyczaj – także w jego szerszym otoczeniu (ryc. 1B). Wzrost poziomu zwierciadła wód podziemnych występuje pod zdecydowaną większością nasypów, co autor wielokrotnie obserwował w praktyce.

Należy podkreślić, że opisane procesy hydrologiczne zachodzą powoli, a więc ich skutki ujawniają się dopiero po pewnym czasie od utworzenia nasypu; czas reakcji najczęściej wynosi powyżej roku, a bywa, że znacznie dłużej.

Podniesienie poziomu zwierciadła płytkich wód podziemnych powoduje szereg następnych skutków, najdalszy przestrzenny zasięg mają te na obszarze powyżej nasypu⁴. Tam zmiany hydrodynamiczne mogą być obserwowane nawet w odległości kilkuset metrów od nasypu (ryc. 1B). Są one wywołane zjawiskiem podparcia hydraulicznego (nieprawidłowo zwanego czasem *cofką*). Lokalne podniesienie zwierciadła wód podziemnych pod powstałym nasypem powoduje zmniejszenie gradientu ciśnienia (spadku hydraulicznego) na obszarze leżącym powyżej, a czasem nawet chwilowe jego odwrócenie i zmianę kierunku filtracji. Redukcja spadku hydraulicznego ma najczęściej charakter stały i daje się zauważyć po ustaleniu się nowych warunków hydrodynamicznych (nowej równowagi hydrodynamicznej). Z prawa Darcy'ego wprost wynika, że zmniejszenie gradientu ciśnienia powoduje obniżenie prędkości rzeczywistej filtracji. Wody podziemne migrują wolniej i wolniej odpływają, a więc może powstawać ich lokalna nadwyżka. W efekcie dochodzi do stopniowego podpiętrzania wód podziemnych na znacznym obszarze powyżej nasypu.

W praktyce może to wyglądać tak, że na łagodnie nachylonym i przeciętnie zawodnionym stoku powstaje nasyp, który wcale nie zaburza spływu wód opadowych po powierzchni terenu, gdyż są one np. przechwytywane i odprowadzane. Pozornie zatem nasyp ten nie wpływa na warunki wodne otoczenia. Jednakże okazuje się, że powyżej nasypu, po pewnym czasie od jego powstania, pojawiają się objawy podniesienia się poziomu zwierciadła wód podziemnych: powstają podmokłości (lub nawet zale-

⁴ W całej pracy określenia *powyżej* i *poniżej* są używane w znaczeniu położenia względem kierunku ruchu wód podziemnych. Jednak ponieważ dotyczy to płytkich wód podziemnych (które najczęściej migrują w kierunku najbliższej doliny), to zazwyczaj oznacza to także położenie *powyżej na stoku* i *poniżej na stoku*.

wiska), zawilgoceniu ulegają budynki. Podpiętrzenie wód podziemnych jest w tym przypadku właśnie skutkiem podparcia hydraulicznego przez podniesione pod nasypem zwierciadło płytkich wód podziemnych – przez wody infiltrujące w bryłę nasypu i w jego podłoże.

Do silnego i trwałego zawilgocenia terenu, ale o ograniczonym zasięgu przestrzennym (rzędu od kilku do kilkudziesięciu metrów od nasypu), dochodzi często także poniżej nowopowstałego nasypu (ryc. 1B), zwłaszcza na stokach o niewielkim nachyleniu. Takie zawilgocenie jest bezpośrednio powodowane przez podpiętrzone pod nasypem wody podziemne. Ponieważ w rejonie skarpy nasypu podpiętrzone zwierciadło wód podziemnych znajduje się szczególnie blisko powierzchni terenu, to objawy zawilgocenia są zazwyczaj bardzo wyraźne, aż do wysączenia się wód na powierzchnię terenu u podnóża skarpy.

Wzdłuż bocznych skarp nasypu może także dojść do zawilgocenia podłoża wskutek podniesienia zwierciadła wód podziemnych, jednak zasięg przestrzenny takiego oddziaływania jest ograniczony (kilka, kilkanaście, a rzadziej kilkadziesiąt metrów).

ZMIANY SPŁYWU WÓD OPADOWYCH PO POWIERZCHNI TERENU ZWIĄZANE Z UTWORZENIEM NASYPU

Uwagi wstępne

Inny rodzaj problemów jest związany z wodami opadowymi spływającymi po powierzchni nasypu gruntowego lub gruntowo-gruzowego na tereny otaczające. Nie są to sytuacje typowe, ponieważ, jak wcześniej wspomniano, górna powierzchnia większości nasypów jest niemal pozioma, a utwory je budujące są przeważnie silnie wodochłonne. Zazwyczaj zachodzi więc intensywna infiltracja w głąb bryły nasypu i spływ powierzchniowy z jego górnej powierzchni nie występuje. Zdarzają się jednak odstępstwa od takiej typowej sytuacji: nasyp może być np. utworzony z materiału trudno przepuszczalnego dla wody albo jego górna powierzchnia może być szczelnie przykryta nieprzepuszczalną powłoką (np. brukiem). Wtedy do rozwiązania pozostaje problem wód opadowych odprowadzanych z powierzchni nasypu. Dodatkowo nasypy ograniczające infiltrację opadów mogą powodować lokalne obniżenie zwierciadła płytkich wód podziemnych.

O zmianach warunków wodnych w odniesieniu do spływu powierzchniowego wód opadowych można mówić, jeśli: (1) dochodzi do zwiększenia ilości wody odprowadzanej tą drogą, (2) zmienia się mechanizm (forma) spływu powierzchniowego lub (3) zmienia się kierunek spływu wód.

Zwiększenie odpływu powierzchniowego

Powstanie nasypu nie zwiększa oczywiście ilości opadów i wód opadowych na danym obszarze. Jeśli jednak nasyp blokuje infiltrację w podłoże, np. wskutek szczelnego przykrycia jego górnej powierzchni materiałem nieprze-

puszczalnym, to ilość wód opadowych odprowadzanych w formie spływu powierzchniowego z nasypu może ulec zwiększeniu kosztem infiltracji. W takim przypadku sumaryczny odpływ wody w formie spływu powierzchniowego z obszaru zajętego przez nasyp jest większy niż z tego samego obszaru przed powstaniem nasypu. Stanowi to niewątpliwą zmianę warunków wodnych.

Stwierdzenie takiej zmiany warunków wodnych w przypadkach nasypów przykrytych uszczelnionymi nawierzchniami czy budynkami wymaga jednak dokładnego sprawdzenia szczegółów gospodarki wodami opadowymi. Jeśli wody opadowe są zbierane z tych uszczelnionych powierzchni (bruku, dachów itp.) i efektywnie odprowadzane, to nie występuje spływ powierzchniowy z nasypu, a zatem nie zmienia on warunków wodnych otoczenia w zakresie zwiększenia spływu powierzchniowego⁵. Zarazem nie wzrasta też infiltracja pod nasypem (tylko znacząco maleje), czyli omówiony wyżej najczęstszy mechanizm zmian warunków wodnych także nie zachodzi.

O zmianie warunków wodnych omawianego typu można zatem mówić, jeśli dochodzi do zalewania obszarów sąsiednich wodami opadowymi z uszczelnionego (lub niewodochłonnego) nasypu. Zmianą jest bowiem zalewanie obszarów sąsiednich wodami opadowymi z każdego uszczelnionego obszaru (np. placu pokrytego brukiem).

Należy jeszcze wspomnieć, że często pojawia się problem, czy spływanie wód opadowych po stromych skarpach nasypu na obszar otaczający można uznać za zmianę warunków wodnych. Jeżeli spływ ten nie jest zasilany z górnej powierzchni nasypu i jeśli ma on formę spływu rozproszonego (brak jest rozcięć erozyjnych), to nie stanowi to zmiany warunków wodnych. Powierzchnia bocznych skarp nasypu jest najczęściej na tyle mała, że nie generują one poważnego spływu powierzchniowego. Należy pamiętać, że rozproszony spływ powierzchniowy z niewielkich powierzchni jest zjawiskiem naturalnym (ryc. 2).

Nasypy, które ograniczają infiltrację wód opadowych w podłoże i poprzez to zwiększają ilość wód spływających po powierzchni terenu, jednocześnie powodują zmniejszenie zasilania wód podziemnych. Na płaskich terenach lub w przypadku rozległych nasypów może to prowadzić do obniżenia poziomu zwierciadła płytkich wód podziemnych pod nasypem oraz w jego otoczeniu, co prowadzi do osuszenia terenu. Stanowi to zmianę warunków wodnych, potencjalnie szkodliwą. Jest ona jednak w praktyce rzadko obserwowana.

Zmiana formy spływu powierzchniowego

Najczęstsza i najbardziej szkodliwa zmiana mechanizmu (a zatem formy) spływu powierzchniowego polega na tym, że rozproszony, naturalny spływ wód opadowych, dość równomiernie rozłożony na znacznej szerokości stoku, zostaje przekształcony w spływ skoncentrowany – wąski strumień mający znaczną dynamikę i siłę erozyjną. Niekiedy do właśnie takiej zmiany dochodzi wskutek powstania nasypu. Stanowi to zmianę warunków wodnych potencjalnie szkodliwą dla terenów sąsiednich.

⁵ Jeśli jednak te wody są w formie skoncentrowanej odprowadzane na tereny sąsiednie, to ich zrzut może stanowić zmianę warunków wodnych szkodliwą dla tych terenów.



Ryc. 2. Wał przeciwpowodziowy w Krakowie. Skarpa nasypu, która nie jest zalewana wodami od góry. Wody opadowe spływające po skarpie jej nie erodują – nie są widoczne jakiegokolwiek bruzdy erozyjne, pomimo że nasyp jest stary (kilkadziesiąt lat). Fot. B. Rzonca

Z koncentracją strumienia spływu powierzchniowego niemal zawsze wiąże się problem erozji. Erozja skoncentrowanego strumienia wód opadowych, zazwyczaj prowadząca do powstawania i rozwoju bruzd erozyjnych (lub – dużo rzadziej – podziemnych kanałów sufozyjnych), jest najbardziej typowym negatywnym oddziaływaniem spływu powierzchniowego. Samo istnienie rozcięć erozyjnych (bruzd erozyjnych) jest dobrym *wskaźnikiem diagnostycznym*, ponieważ potwierdzają one występowanie skoncentrowanego spływu powierzchniowego (ryc. 3). Z kolei brak takich rozcięć świadczy o naturalnym rozproszonym spływie wód opadowych po powierzchni terenu (nie dotyczy to miejsc z utwardzonym podłożem, gdzie erozja nie zachodzi). Można spotkać się z zastrzeżeniem, że w pewnych sytuacjach skoncentrowany spływ powierzchniowy występuje w naturalnych warunkach i nie jest skutkiem zmiany warunków wodnych. Jest to prawda, ale tam, gdzie spływ taki występuje naturalnie, czyli od dłuższego czasu, bruzdy erozyjne dawno już przekształciły się w V-kształtne doliny, a co najmniej w głębokie wąwozy. Bruzdy erozyjne zawsze świadczą o bardzo niedawnej zmianie charakteru spływu powierzchniowego. Bruzdy o głębokości ok. 1 m bywają efektem jednorazowego wystąpienia skoncentrowanego spływu powierzchniowego podczas gwałtowniejszego epizodu opadowego (ryc. 3).

Erozji wodnej towarzyszy transport i osadzanie wymywanego materiału gruntowego czy skalnego. Materiał wymyty np. ze skarpy nasypu rozcinanej przez skoncentrowany

strumień wód opadowych jest często deponowany na terenie otaczającym ten nasyp. Osadzanie materiału niesionego przez wodę zawsze jest poprzedzone erozją wodną. Jeśli erozja jest skutkiem zmiany warunków wodnych, to osadzanie też jest skutkiem tej zmiany. Samo osadzanie wymytego wcześniej materiału jest niemal zawsze oddziaływaniem wysoce uciążliwym i szkodliwym.

Zmiana kierunku spływu wód opadowych lub jego blokowanie przez nasyp

Powstanie nasypu powoduje zmianę morfologii powierzchni terenu i dlatego często prowadzi do zmiany kierunków powierzchniowego spływu wód opadowych z terenów otaczających. Może to skutkować przekierowywaniem wód opadowych spływających z terenów otaczających nasyp na obszary, które wcześniej nie były zalewane, co samo w sobie musi być uznane za zmianę warunków wodnych. Dodatkowo, niekiedy dochodzi do blokowania naturalnych dróg powierzchniowego spływu wód opadowych, co prowadzi do powstawania stref bezodpływowych, gdzie tworzą się podmokłości lub zalewiska (ryc. 1C). Takie strefy są miejscami szczególnie wzmożonej infiltracji wód opadowych. W efekcie zwierciadło płytkich wód podziemnych w ich otoczeniu ulega podpiętrzeniu, co powoduje skutki omówione powyżej.

W niektórych przypadkach powstanie nasypu powoduje zmianę kierunku spływu wód opadowych z obszaru zajętego przez ten nasyp. Jest to także zmiana warunków



Ryc. 3A–D. Bruzdy erozyjne – skutki wystąpienia spływu powierzchniowego w formie skoncentrowanej. Wszystkie prezentowane bruzdy są świeże, powstałe w ciągu kilku miesięcy, a w praktyce w czasie jednego lub dwóch opadów nawalnych. Wielkość bruzd zależy od podłoża, nachylenia terenu i wielkości przepływu. Fot. B. Rzonca

wodnych, niezależna od wymienionego wyżej przekierowania przez nasyp spływu wód opadowych z terenów sąsiednich.

Odmienne problemy są powodowane przez tworzenie nasypów w dnach dolin. Wody wezbraniowe wylewają z koryta rzecznego na dno doliny, czyli na równinę zalewową (zwaną także czasem *zalewowym dnem doliny*). W pewnym sensie całe płaskie dno doliny staje się podczas większych wezbrań epizodycznym (chwilowym) korytem

cieku (Migoń, 2006, str. 202–203). Utworzenie nasypu na obszarze naturalnej równiny zalewowej poprawia możliwość zagospodarowania danej działki, zwłaszcza jeśli górna powierzchnia nasypu znajduje się powyżej poziomu wód wezbraniowych (powodziowych). Dlatego z punktu widzenia właściciela gruntu leżącego na dnie doliny (i niestety tylko jego) utworzenie takiego nasypu wydaje się bardzo korzystne⁶. Problem w tym, że budowa nawet

⁶ Tworzenie nasypów na równinach zalewowych w dolinach rzek to wcale nie są rzadkie przypadki; procedury administracyjne nie chronią wystarczająco skutecznie obszarów zalewowych przed zabudową.

niewielkiego nasypu na równinie zalewowej wywołuje zazwyczaj bardzo negatywne skutki dla otoczenia, gdyż nasyp stanowi wtedy przeszkodę silnie podpiętrzającą wody wezbraniowe. Do znacznego podpiętrzenia dochodzi przede wszystkim powyżej nasypu oraz obok niego, w zawężonym przez nasyp odcinku doliny. Ryzyko powodziowe w tych rejonach znacząco rośnie wskutek obecności nasypu, stanowiącego realną przeszkodę w odpływie wód wezbraniowych. Zagrożone mogą być także obiekty powstałe na nasypie, którego boczne skarpy są silnie erodowane przez wody wezbraniowe.

NASYP Z MUREM OPOROWYM

Lity mur oporowy, będący obudową nasypu gruntowego lub gruntowo-gruzowego, blokuje swobodne przesączanie się wód zawartych w bryle tego nasypu i powoduje ich podpiętrzenie, co prowadzi z kolei do powstania znacznej różnicy ciśnień powyżej i poniżej muru (czyli w nasypie i na jego przedpolu) (ryc. 1D). Na zasadzie mechanizmu wyrównywania ciśnień hydrostatycznych (*zasada naczyń połączonych*) woda dąży do wyrównania poziomu po obu stronach muru i w efekcie w wymuszony sposób migruje pod murem (jeśli tylko jest to możliwe), nasycając grunt na terenach położonych poniżej (ryc. 1D). Proces ten jest przesunięty w czasie, to znaczy bezpośrednio po powstaniu muru i nasypu praktycznie nie zachodzi. Początkowo lity mur oporowy stanowi bowiem względnie skuteczną zapórę, a woda stopniowo spiętrza się w obrębie nasypu. Gromadzeniu się znacznych ilości wody w bryle nasypu (powyżej muru) towarzyszy wzrost ciśnienia hydrostatycznego w bryle nasypu. Dopiero po pewnym czasie wskutek rosnącej różnicy ciśnień po obu stronach muru oporowego dochodzi w końcu do stopniowego uruchomienia migracji wód pod murem (lub przez mur); często ma to miejsce dopiero po roku lub nawet kilku latach od powstania muru i nasypu (ryc. 1D).

Teoretycznie jest możliwe, aby lity mur oporowy stanowił skuteczną tamę przed migracją wód zgromadzonych w bryle nasypu, ale musiałby być idealnie wodoszczelny i szczelnie posadowiony na nieprzepuszczalnym podłożu (na przykład zagłębiony w ilach). W praktyce jest to trudne do spełnienia, zwłaszcza utrzymanie szczelności muru przez dłuższy czas (np. kilkanaście lub kilkadziesiąt lat). Woda pod znacznym ciśnieniem hydrostatycznym wykorzystuje nawet najmniejszą nieszczelność, żeby się przez nią przesączać i poszerzać dostępną szczelinę bądź kanał (np. w gruncie uruchomiony zostanie proces sufozji). Ponadto, jeśli założyciel szczelność muru (zapory), to woda gromadząca się w nasypie nie zniknie, lecz musi zostać zdrenowana. W przeciwnym razie jej poziom będzie się podnosił, doprowadzając do bardzo silnego zawiłgocenia zarówno samego nasypu, jak i wszystkich zlokalizowanych na nim obiektów. W skrajnym przypadku nasyp ograniczony nieprzepuszczalnym murem oporowym szczelnie posadowionym na nieprzepuszczalnym podłożu może się zamienić w *basen* wypełniony gruntem całkowicie nasyconym wodą.

Hydrodynamiczne skutki utworzenia nasypu ograniczonego litym murem oporowym są poważne (ryc. 1D). W typowym przypadku polegają na wzmożonym nasycaniu podłoża wodą opadową zretencjonowaną w nasypie. Skutkuje to silnym zawiłgoceniem terenu leżącego poniżej muru oporowego i wyraźnym podniesieniem zwierciadła wód podziemnych wskutek stałego dodatkowego zasilania

gruntu wodą. Skutki są więc takie same jak w przypadku powstania nasypu, który nie jest ograniczony murem oporowym, ale są one zwielokrotnione (choć odsunięte w czasie).

Silne podpiętrzenie wód w obrębie nasypu ograniczonego murem oporowym jest czynnikiem wywołującym także znaczące podparcie hydrauliczne. Ujawnia się to w postaci generalnego podniesienia poziomu wód podziemnych na obszarach powyżej nasypu, które często podlegają silnemu zawiłgoceniu w związku ze spowolnieniem odpływu podziemnego.

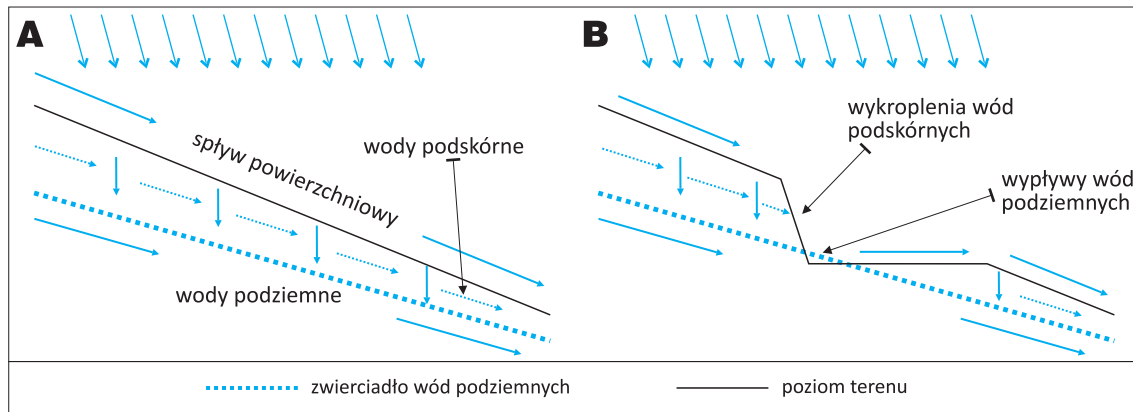
Negatywnym hydrologicznym i hydrogeologicznym skutkiem powstania muru oporowego można przeciwdziałać poprzez utworzenie drenażu, który przejmowałby wodę wysączającą się z nasypu – na poziomie posadowienia muru oporowego. Drenaż odbierający wodę powyżej poziomu posadowienia muru zazwyczaj nie spełnia tej roli, gdyż odbiera wodę tylko ze strefy leżącej powyżej niego, a ta zgromadzona w niższej części nasypu nadal oddziałuje na otoczenie. Jednak przede wszystkim należy bezwzględnie unikać tworzenia litych murów oporowych. W praktyce budowlanej stosuje się wykonanie regularnie rozmieszczonych otworów w podziemnej części muru, aby umożliwić przepływ wody i uniknąć opisanego powyżej *efektu tamy* (Kobiak, 1973; Bowles, 1977; Starosolski, 2007; Pisarczyk, 2015, 2019). Praktyka sądowa i administracyjna pokazuje jednak, że wiele murów oporowych jest budowane tak, iż wywołują opisanego powyżej szkodliwe oddziaływania.

HYDROLOGICZNE SKUTKI PODCINANIA STOKÓW

W wielu przypadkach, zwłaszcza na bardziej stromych stokach, wyrównywanie terenów pod zabudowę polega nie tylko na tworzeniu nasypów gruntowych lub gruntowo-gruzowych, ale towarzyszy temu także podcinanie stoków.

Podcięcie stoku staje się automatycznie preferencyjną strefą drenażu wszystkich wód przemieszczających się w dół stoku (ryc. 4A, B). Miejsce to jest zalewane wodami spływu powierzchniowego, ale wykonanie podcięcia stoku nie wpływa na ilość tych wód, więc nie można automatycznie uznawać tego faktu za zmianę warunków wodnych (czasem natomiast formę i miejsce zrzutu tych wód już tak). Istotną zmianę warunków wodnych stanowi natomiast to, że praktycznie każde podcięcie stoku drenuje wody spływu podpowierzchniowego (spływ śródpokrywowy, czyli hipodermiczny, podskórny). Są to wody opadowe migrujące w dół stoku nie po powierzchni terenu, ale płytko w obrębie pokryw zwietrzelinowych (głównie w profilu glebowym). Wody te nie infiltrują aż do poziomu zwierciadła wód podziemnych i nie są do nich zaliczane (ryc. 4A). W normalnych warunkach, gdy powierzchnia stoku nie jest przecięta zagłębieniami terenu – naturalnymi (wąwóz, dolina) lub sztucznymi (np. droga gruntowa w holwegu) – to wody te migrują w gruncie aż do najbliższego cieku drenującego dany stok. Praktycznie każde sztuczne podcięcie stoku, wykonane w jakimkolwiek celu, powoduje wypływ przynajmniej części tych wód na powierzchnię terenu (ryc. 4B), przez co zazwyczaj wzrasta ilość wód, które trzeba odprowadzać z danego obszaru. Sytuacja taka stanowi zmianę warunków wodnych.

Niektóre podcięcia stoku naruszają strefę poniżej naturalnego poziomu zwierciadła wód podziemnych, czyli dochodzą do strefy saturacji (ryc. 4B). Wówczas ma miejsce wypływ wód podziemnych, a ilość wód w wykopie

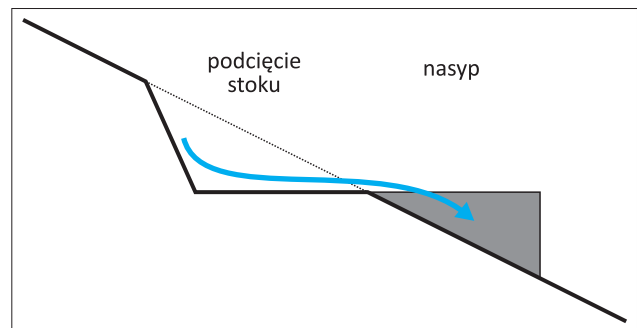


Ryc. 4. Zmiany hydrologiczne i hydrogeologiczne powodowane przez wykonanie podcięcia stoku. **A** – hydrologiczna sytuacja na stoku przed utworzeniem podcięcia (warunki naturalne); występuje spływ powierzchniowy, spływ podpowierzchniowy w glebie i pokrywach zwietrzelinowych oraz podziemny w strefie saturacji, czyli poniżej poziomu zwierciadła wód podziemnych; **B** – mechanizm zwiększonego wypływu wód na powierzchnię terenu po wykonaniu podcięcia (wkopu) i uformowaniu stromej skarpy

znacząco wzrasta; do odprowadzenia bądź zagospodarowania pozostają już nie tylko wody spływu podpowierzchniowego, ale też wody podziemne.

W niektórych glebach może występować – na pewnej głębokości – poziom trudno przepuszczalny dla wody. W glebach pływowych, rozpowszechnionych np. na Pogórzcu Karpackim, jest to poziom fragipan (*fragic*) (Szymański i in., 2011, 2012), a w glebach bielcowych – poziom orszynowy (Kaczorek i in., 2004; Lipiec i in., 2018). Z kolei w glebach obszarów tropikalnych wilgotnych poziomem takim jest duripan, czyli *duric* (Hollingsworth, Fitzpatrick, 1993). Skład chemiczny oraz procesy prowadzące do powstania tych poziomów są zupełnie różne, ale z hydrogeologicznego punktu widzenia skutki ich występowania są bardzo podobne. Wody infiltrujące z powierzchni terenu natrafiają na tę trudno przepuszczalną warstwę i tworzą lokalne poziomy zawieszony (Needelman i in., 2004; Rockefeller i in., 2004; Gburek i in., 2006; McDaniel i in., 2008) kosztem wód podziemnych, których zasilenie przez głębszą infiltrację jest w takim przypadku utrudnione. W warunkach nachylenia powierzchni terenu formuje się intensywny spływ podpowierzchniowy. Natomiast wody, które znajdują się poniżej tego trudno przepuszczalnego poziomu glebowego, na nachylonym stoku mogą występować w warunkach naporowych (ciśnieniowych); wtedy rolę warstwy napinającej odgrywa właśnie ten trudno przepuszczalny poziom. W obu przypadkach wykonanie podcięcia stoku będzie powodowało szczególnie obfity wypływ wody na powierzchnię terenu.

W wielu wypadkach efekt wyrównania powierzchni działki może być uzyskiwany w drodze jednoczesnego wykonania podcięcia stoku oraz budowy nasypu gruntowego lub gruntowo-gruzowego. Często w takiej sytuacji wody drenowane przez podcięcie stoku są *użytkowane* poprzez ich wprowadzanie w bryłę nasypu (ryc. 5). Dodatkowo nasyp może być obficie zasilany wodami opadowymi z obszaru powyżej danej działki (spływ powierzchniowy) oraz z całego obszaru działki – z podcięcia stoku oraz opadem wychwytywanym bezpośrednio przez powierzchnię górną nasypu. Nasypy w takim położeniu są często szczególnie intensywnie zasilane wodami (opadowymi oraz drenowanymi przez podcięcie stoku), czego skutki opisano powyżej.



Ryc. 5. Efekt wykonania podcięcia stoku i nasypu na tej samej działce położonej na stoku

Podcięcie stoku powoduje intensywny drenaż – co najmniej wód spływu śródpokrywowego. Jeżeli podcięcie przecina zwierciadło płytkich wód podziemnych, to są one w tym podcięciu drenowane. W takim przypadku na obszarze powyżej podcięcia dochodzi przeważnie do wyraźnego obniżenia poziomu zwierciadła wód podziemnych i osuszenia terenu. Takie oddziaływanie na obszar położony powyżej podcięcia stoku niewątpliwie stanowi zmianę warunków wodnych, potencjalnie szkodliwą.

Z podcinaniem stoku są zatem związane typowe zmiany warunków wodnych: zwiększony wypływ (drenaż) wód w miejscu wykonania podcięcia oraz – wskutek tego drenażu – osuszenie terenu leżącego powyżej.

PROBLEM RUCHÓW MASOWYCH

Budowa dużych nasypów gruntowych i gruntowo-gruzowych oraz wykonywanie podcięcia stoku powoduje także szereg skutków mniej związanych z problematyką zmiany warunków wodnych.

Materiał zgromadzony w nowopowstałym nasypie może ulegać upłynnieniu i tworzyć spływy błotne lub błotno-gruzowe. W bryle nasypu mogą się rozwijać procesy osuwiskowe. Może ona też podlegać spełzywaniu. Słabo skonsolidowane, silnie wodochłonne, a zarazem najczęściej ograniczone stromymi skarpami nasypy są generalnie podatne na występowanie wszelkiego rodzaju ruchów masowych (Małecki i in., 2012; Kaczmarczyk i in., 2014; Pilecka, Szwarkowski, 2016). Może to stanowić bezpośrednie zagro-

zenie dla terenów sąsiednich – niezależnie od zagrożenia dla budynków posadowionych na tych nasypach.

Odrębny problem wynika z faktu, że nasypy gruntowe i gruntowo-gruzowe bardzo silnie obciążają podłoże. Przy niesprzyjających uwarunkowaniach (głównie budowie geologicznej) może to stanowić bezpośrednią przyczynę wystąpienia ruchów masowych w podłożu nasypu (całkowicie niezależnie od ruchów masowych w obrębie bryły nasypu). Typowym zjawiskiem są zwłaszcza osuwiska. W takich przypadkach mogą one być uruchamiane na rozległym obszarze, znacząco wykraczającym poza nasyp.

Podcinanie stoków bezpośrednio wpływa na stabilność stoków i może stać się przyczyną bezpośrednią (lub pośrednią) uruchomienia ruchów masowych, zwłaszcza osuwisk. Problematyka ta wykracza jednak poza zakres niniejszego opracowania.

PODSUMOWANIE

Artykuł grupuje i omawia zmiany warunków wodnych związane z lokalnymi przekształceniami morfologii powierzchni terenu. Podstawową i najczęściej występującą zmianą jest wyraźne podniesienie zwierciadła wód podziemnych pod utworzonym nasypem gruntowym czy gruntowo-gruzowym, co może prowadzić do powstawania podmokłości w jego sąsiedztwie oraz podpiętrzania wód podziemnych na znacznym obszarze powyżej. Niektóre nasypy przekierowują spływ powierzchniowy z terenów otaczających lub go blokują, powodując powstawanie zagłębień bezodpływowych. W artykule zostały przedstawione także problemy związane ze spływem powierzchniowym z powierzchni nasypów. Wiele nasypów zabezpiecza się litymi murami oporowymi, co powoduje specyficzne skutki hydrodynamiczne. Często tworzeniu nasypów towarzyszy podcinanie stoków, czego efekty także omówiono w pracy. Nasypy są podatne na powstawanie w nich grawitacyjnych ruchów masowych, zwłaszcza spływów błotnych oraz osuwisk. Mogą także poprzez nadmierne obciążanie podłoża powodować powstawanie osuwisk w tym podłożu.

Dziękuję Karolinie Mostowik za stałą współpracę i pomoc. Wyrazy wdzięczności kieruję także do Anny Żurek (hydrogeolog), Marcina Matogi (konstruktor budowlany) i Wojciecha Szymańskiego (gleboznawca), którzy sprawdzili pracę i wnieśli znaczący wkład w podniesienie jej poziomu. Dziękuję również Recenzentom pracy.

LITERATURA

- BOWLES J.E. 1977 – Foundation analysis and design. McGraw-Hill Book, New York.
- GBUREK W.J., NEEDELMAN B.A., SRINIVASAN M.S. 2006 – Fragipan controls on runoff generation: Hydropedological implications at landscape and watershed scales. *Geoderma*, 131: 330–344.
- HOLLINGSWORTH I.D., FITZPATRICK R.W. 1993 – Nature and origin of a duripan in a Durixeralf-Duraqualf toposequence: micromorphological aspects. *Dev. Soil Sci.*, 22: 835–844.
- KACZMARCZYK R., OLEK B., STANISZ J., WOŹNIAK H., PILECKI Z. 2014 – Wpływ gruntów nasypowych na powstanie i rozwój osuwiska. *Prz. Geol.*, 62: 591–600.
- KACZOREK D., SOMMER M., ANDRUSCHKEWITSCH I., OKTABAL., CZERWINSKI Z., STAHR K. 2004 – A comparative micromorphological and chemical study of “Raseneisenstein” (bog iron ore) and “Ortstein”. *Geoderma*, 121: 83–94.
- KOBIAK J. 1973 – Błędy w konstrukcjach żelbetowych: doświadczenia z ekspertyz. Wyd. Arkady, Warszawa.
- LIPIEC J., ŚWIEBODA R., CHODOROWSKI J., TURSki M., HAJNOS M. 2018 – Pore size distribution and stability of ortstein and overlying horizons in podzolic soils under forest. *Geoderma*, 310: 138–142.
- MAŁECKI Z.J., SZYMAŃSKA-PULIKOWSKA A., SATANOWSKI L. 2012 – Stateczność nasypu drogowego w ul. Łódzkiej w pobliżu skrzyżowania z ul. Łęgową w Kaliszu. *Zesz. Nauk. Inżyniera Lądowa i Wodna w Kształtowaniu Środowiska*, 7: 23–37.
- McDANIEL P.A., REGAN M.P., BROOKS E., BOLL J., BARNDT S., FALEN A., YOUNG S.K., HAMMEL J.E. 2008 – Linking fragipans, perched water tables, and catchment-scale hydrological processes. *Catena*, 73: 166–173.
- MIGOŃ P. 2006 – Geomorfologia. Wyd. PWN, Warszawa.
- NEEDELMAN B.A., GBUREK W.J., PETERSEN G.W., SHARPLEY A.N., KLEINMAN P.J.A. 2004 – Surface runoff along two agricultural hillslopes with contrasting soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 68: 914–923.
- PILECKA E., SZWARKOWSKI D. 2016 – Diagnostyka nasypu drogowego zlokalizowanego na czynnym osuwisku z wykorzystaniem naziemnego skaningu laserowego i numerycznego modelowania. *Bezpieczeństwo i ekologia*, 12: 382–386.
- PISARCZYK S. 2015 – Grunty nasypowe. Właściwości geotechniczne i metody ich badania. Ofic. Wyd. PW, Warszawa.
- PISARCZYK S. 2019 – Fundamentowanie dla inżynierów budownictwa wodnego. Ofic. Wyd. PW, Warszawa.
- ROCKEFELLER S.L., McDANIEL P.A., FALEN A.L. 2004 – Perched water table responses to forest clearing in northern Idaho. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 68: 168–174.
- STAROSOLSKI W. 2007 – Konstrukcje żelbetowe według PN-B-03264:2002 i Eurokodu 2. Tom 2. Wyd. PWN, Warszawa.
- SZYMAŃSKI W., SKIBA M., SKIBA S. 2011 – Fragipan horizon degradation and bleached tongues formation in Albeluvisols of the Carpathian Foothills, Poland. *Geoderma*, 167–168: 340–350.
- SZYMAŃSKI W., SKIBA M., SKIBA S. 2012 – Origin of reversible cementation and brittleness of the fragipan horizon in Albeluvisols of the Carpathian Foothills, Poland. *Catena*, 99: 66–74.
- USTAWA z dnia 20 lipca 2017 r. Prawo wodne (Dz.U. z 2017 r. poz. 1566).

Praca wpłynęła do redakcji 23.10.2019 r.
Akceptowano do druku 23.01.2020 r.