



Procesy sufozyjne na terenie Pienińskiego Parku Narodowego na przykładzie zapadliska w Lemborgu*

WPROWADZENIE

Do głównych procesów geomorfologicznych powodujących istotne zmiany rzeźby terenu, zwłaszcza w obrębie stoków na obszarach górzystych i wyżynnych, zaliczane są procesy denudacyjne. Jednym z procesów denudacyjnych jest sufozja.

Sufozja polega na wytworzeniu ciągłego kanału w profilu gruntowym przewodzącego stale lub okresowo wodę lub zawieszinę gruntowo-wodną. Część wody infiltruje w grunt i oddziałuje na niego w sposób fizyczny i chemiczny.

Chemiczne oddziaływanie wody może wspomagać sufozję np. poprzez proces rozpuszczania. Jest to szczególnie istotne w obszarach geologicznych zbudowanych ze skał podatnych na denudację chemiczną, gdzie występują wapnienie, gipsy i dolomity oraz w gruntach, w których spoiwem cementującym lub składnikiem podstawowym szkieletu gruntowego są minerały rozpuszczone w wodzie.

Celem badań było określenie zasięgu i uwarunkowań powstania formy sufozycznej zaobserwowanej na terenie Pienińskiego Parku Narodowego w maju 2019 roku.

LOKALIZACJA, OPIS ZAPADLISKA

Analizowana forma sufozyczna powstała w miejscowości Sromowce Wyżne (Lemborg). Teren badań jest użytkiem zielonym o ekspozycji południowo-zachodniej i spadku około 8-10°. Na znacznej części stoku pokrywają go gliny, gliny z rumoszem skalnym.

Zapadlisko powstało po kilkunastu opadach, na skutek osiadania terenu spowodowanego zapadnięciem się kanału sufozycznego.

Poniżej zapadliska występowały niewielkie obniżenia terenu wskazujące na dodatkowe osiadania terenu spowodowane sufozją.

W dniu zapadliska widoczny był przepływ wody, a na głębokości 1,0 - 1,2 m stwierdzono wylot kanału sufozycznego o średnicy 0,4-0,6 m.

W odległości około 120 m powyżej zapadliska znajdowało się poidło dla zwierząt pasterskich zasilane stałym dopływem z rowu, z którego woda rozlewała się na powierzchni terenu i wsiąkała w profil gruntowy.

Analiza powierzchni terenu badań wskazuje, że zarówno powyżej jak i poniżej koryta, występuje quasi-liniowe obniżenie terenu, które wskazują na obecność kanału sufozycznego.

Poniżej zapadliska, w odległości około 66 m znajdowała się młaka, w której stwierdzono wypływ wody. Ustalono, że wypływ ten jest wylotem kanału sufozycznego, którego początek znajduje się w zapadlisku. Szerokość zapadliska w najszerszym miejscu wynosiła 1,75 m, a głębokość wahała się od 0,8 m w górnej części do 1,2 m u wylotu kanału sufozycznego.

WYNIKI BADAŃ I OBLICZEŃ

Pod względem geotechnicznym uziarnienie gruntów odpowiadało ilom pylastym do głębokości około 0,85 m, a poniżej pyłom grubym ilastym. Zauważano, że wraz ze wzrostem głębokości zwiększała się gęstość objętościowa, a zmniejszała wilgotność co spowodowane było zmniejszeniem się porowatości gruntu.

Generalnie stwierdzono, że właściwości fizyczne gruntów na głębokości wylotu kanału sufozycznego nie predysponują bezpośrednio do powstania tego zjawiska.

Wyniki obliczeń numerycznych wykazały istotne zmiany stanu naprężenia i warunków przepływu wody (gradientu hydraulicznego). Na skutek opadu deszczu o wysokości 49,4 mm doszło do nasycenia gruntu, a także zauważalny był gwałtowny przyrost gradientu hydraulicznego tuż przy powierzchni terenu, w miejscu, gdzie zaobserwowano wypływ wody z kanału sufozycznego.

Należy jednak zwrócić uwagę, że na początku kwietnia wstąpiły dwa dni, w których wartość gradientu hydraulicznego znacząco wzrosła, nawet powyżej wartości 1,0, która uznawana jest za krytyczną z inżynierskiego punktu widzenia. Należy podkreślić, że gradienty te wstąpiły w wężach potężnych w strefie aeracji.

Wartości gradientu hydraulicznego dla węzła obliczeniowego w przekroju I wynosiły około 0,4 i były większe od wartości krytycznych gradientów w podłożu budowli ziemnych z piasków drobnych i średnich. W okresie od końca kwietnia do początku czerwca 2019 roku wyróżniono kilka dni, w których opad był bliski lub przekraczał 30 mm. W okresie tym praktycznie cały profil gruntowy był nasycony, a wartości gradientów hydraulicznych były stałe.

Rozpatrując stan graniczny HYD można stwierdzić, że nie został on przekroczony w żadnym analizowanym węzle obliczeniowym.

Największe wartości ilorazu ciśnienia porowego i naprężenia całkowitego uzyskano dla węzłów znajdujących się w przekroju III, a więc w miejscu, gdzie powstało zapadlisko sufozyczne.

Wpływ na powstanie sufozji ma również prędkość przepływu wody w gruncie, która zależy od współczynnika filtracji oraz gradientu hydraulicznego. Krytyczne wartości prędkości przepływu wody w gruncie dla glin piaszczystych są rzędu $10^{-5} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, a dla pyłów $10^{-6} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Wyniki badań wykazały, że wartości współczynnika infiltracji wynosiły około $10^{-4} \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Biorąc pod uwagę wartość gradientu hydraulicznego równą 0,1 oraz wartość współczynnika filtracji uzyskana prędkość przepływu wody będzie większa niż jej krytyczna wartość dla pyłów.

W przypadku naprężeń całkowitych zauważalne było, że ich wartości w poszczególnych węzłach zmieniały się w nieznaczny sposób, co było związane z niewielką zmianą zawartości wody w porach gruntu.

LOKALIZACJA TERENU BADAŃ

Mapa lokalizacji terenu badań w Pienińskim Parku Narodowym, z zaznaczeniem miejscowości Sromowce Wyżne i miejsc, gdzie prowadzono badania (obiekt badań).

Mapa szczegółowa terenu badań, z zaznaczeniem lasu, rowu odwadniającego, kanału sufozycznego, młaki, drogi, przystanku autobusowego i Dunajca.

Mapa przekroju II-II, z zaznaczeniem profilu wylotu wody, profilu sufozji i profilu kanału sufozycznego.

Mapa przekroju III-III, z zaznaczeniem kanału sufozycznego i jego wylotu.

Mapa przekroju I-I, z zaznaczeniem kanału sufozycznego i jego wylotu.

Mapa przekroju II-II, z zaznaczeniem kanału sufozycznego i jego wylotu.

Mapa przekroju III-III, z zaznaczeniem kanału sufozycznego i jego wylotu.

Mapa przekroju I-I, z zaznaczeniem kanału sufozycznego i jego wylotu.

Mapa przekroju II-II, z zaznaczeniem kanału sufozycznego i jego wylotu.

Mapa przekroju III-III, z zaznaczeniem kanału sufozycznego i jego wylotu.

Mapa przekroju I-I, z zaznaczeniem kanału sufozycznego i jego wylotu.

Mapa przekroju II-II, z zaznaczeniem kanału sufozycznego i jego wylotu.

Mapa przekroju III-III, z zaznaczeniem kanału sufozycznego i jego wylotu.

Mapa przekroju I-I, z zaznaczeniem kanału sufozycznego i jego wylotu.

Mapa przekroju II-II, z zaznaczeniem kanału sufozycznego i jego wylotu.

Mapa przekroju III-III, z zaznaczeniem kanału sufozycznego i jego wylotu.

Mapa przekroju I-I, z zaznaczeniem kanału sufozycznego i jego wylotu.

Mapa przekroju II-II, z zaznaczeniem kanału sufozycznego i jego wylotu.

Mapa przekroju III-III, z zaznaczeniem kanału sufozycznego i jego wylotu.

Mapa przekroju I-I, z zaznaczeniem kanału sufozycznego i jego wylotu.

Mapa przekroju II-II, z zaznaczeniem kanału sufozycznego i jego wylotu.

Mapa przekroju III-III, z zaznaczeniem kanału sufozycznego i jego wylotu.

Mapa przekroju I-I, z zaznaczeniem kanału sufozycznego i jego wylotu.

Mapa przekroju II-II, z zaznaczeniem kanału sufozycznego i jego wylotu.

Mapa przekroju III-III, z zaznaczeniem kanału sufozycznego i jego wylotu.

Mapa przekroju I-I, z zaznaczeniem kanału sufozycznego i jego wylotu.

Mapa przekroju II-II, z zaznaczeniem kanału sufozycznego i jego wylotu.

Mapa przekroju III-III, z zaznaczeniem kanału sufozycznego i jego wylotu.

Mapa przekroju I-I, z zaznaczeniem kanału sufozycznego i jego wylotu.

Mapa przekroju II-II, z zaznaczeniem kanału sufozycznego i jego wylotu.

Mapa przekroju III-III, z zaznaczeniem kanału sufozycznego i jego wylotu.

Mapa przekroju I-I, z zaznaczeniem kanału sufozycznego i jego wylotu.

Mapa przekroju II-II, z zaznaczeniem kanału sufozycznego i jego wylotu.

Mapa przekroju III-III, z zaznaczeniem kanału sufozycznego i jego wylotu.

Mapa przekroju I-I, z zaznaczeniem kanału sufozycznego i jego wylotu.

Mapa przekroju II-II, z zaznaczeniem kanału sufozycznego i jego wylotu.

Mapa przekroju III-III, z zaznaczeniem kanału sufozycznego i jego wylotu.

Mapa przekroju I-I, z zaznaczeniem kanału sufozycznego i jego wylotu.

Mapa przekroju II-II, z zaznaczeniem kanału sufozycznego i jego wylotu.

Mapa przekroju III-III, z zaznaczeniem kanału sufozycznego i jego wylotu.

Mapa przekroju I-I, z zaznaczeniem kanału sufozycznego i jego wylotu.

Mapa przekroju II-II, z zaznaczeniem kanału sufozycznego i jego wylotu.

Mapa przekroju III-III, z zaznaczeniem kanału sufozycznego i jego wylotu.

Mapa przekroju I-I, z zaznaczeniem kanału sufozycznego i jego wylotu.

Mapa przekroju II-II, z zaznaczeniem kanału sufozycznego i jego wylotu.

Mapa przekroju III-III, z zaznaczeniem kanału sufozycznego i jego wylotu.

Mapa przekroju I-I, z zaznaczeniem kanału sufozycznego i jego wylotu.

Mapa przekroju II-II, z zaznaczeniem kanału sufozycznego i jego wylotu.

Mapa przekroju III-III, z zaznaczeniem kanału sufozycznego i jego wylotu.

Mapa przekroju I-I, z zaznaczeniem kanału sufozycznego i jego wylotu.

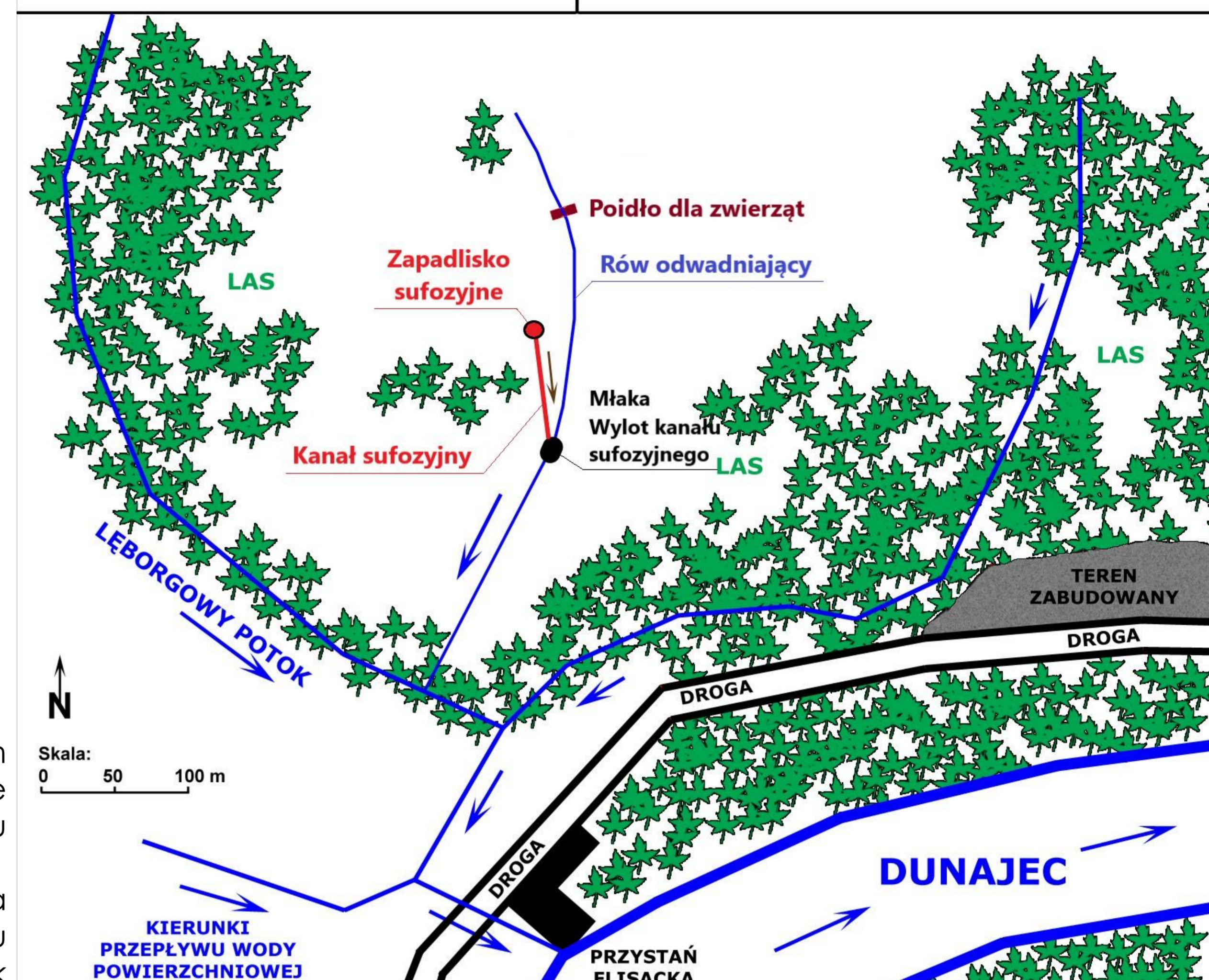
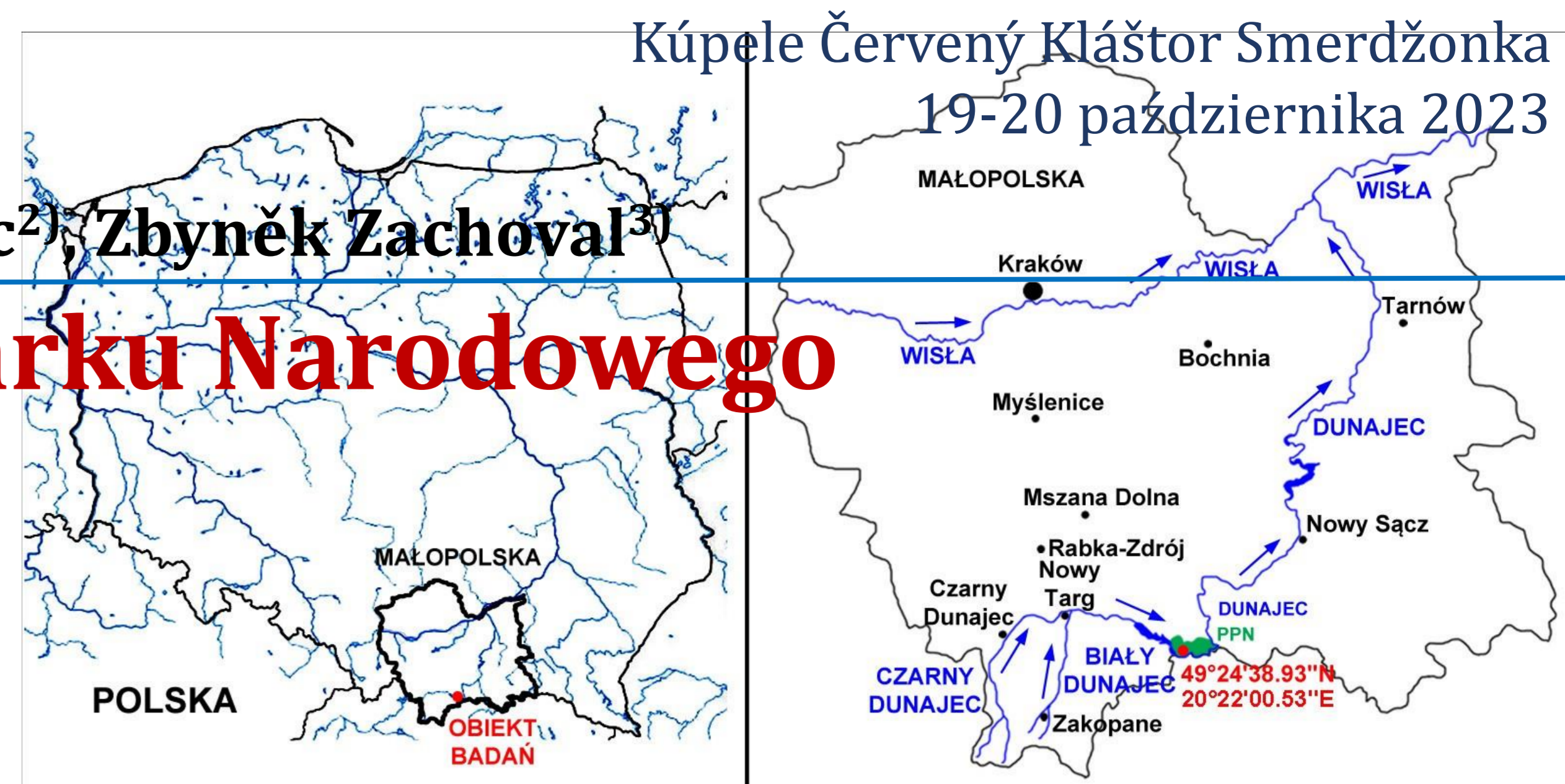
Mapa przekroju II-II, z zaznaczeniem kanału sufozycznego i jego wylotu.

Mapa przekroju III-III, z zaznaczeniem kanału sufozycznego i jego wylotu.

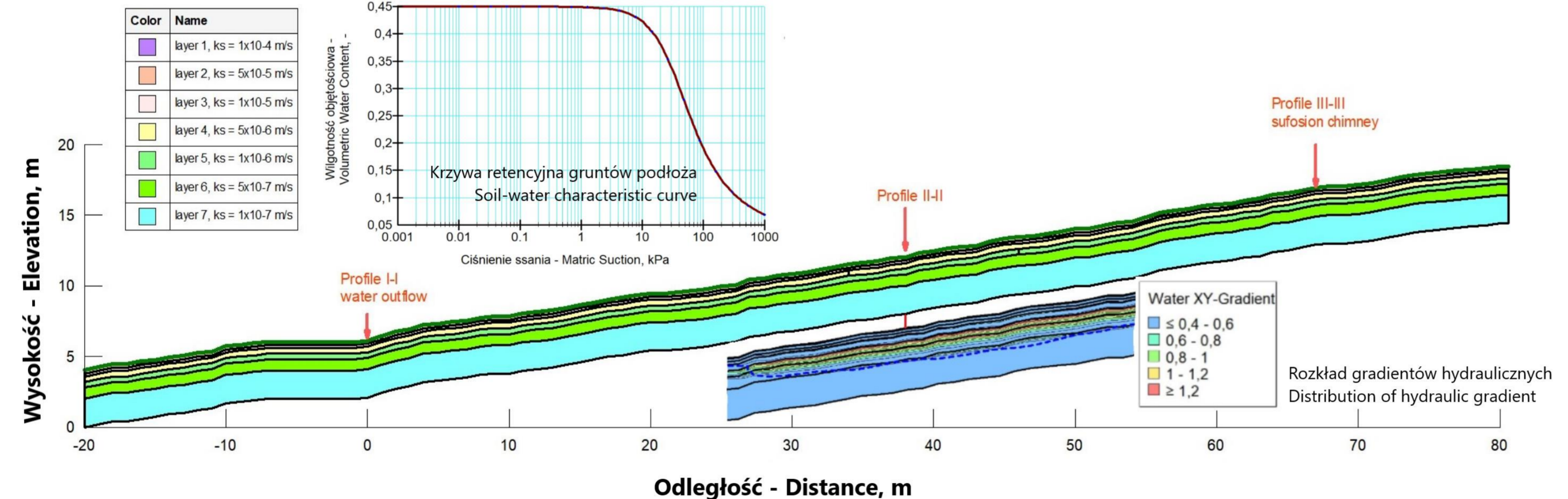
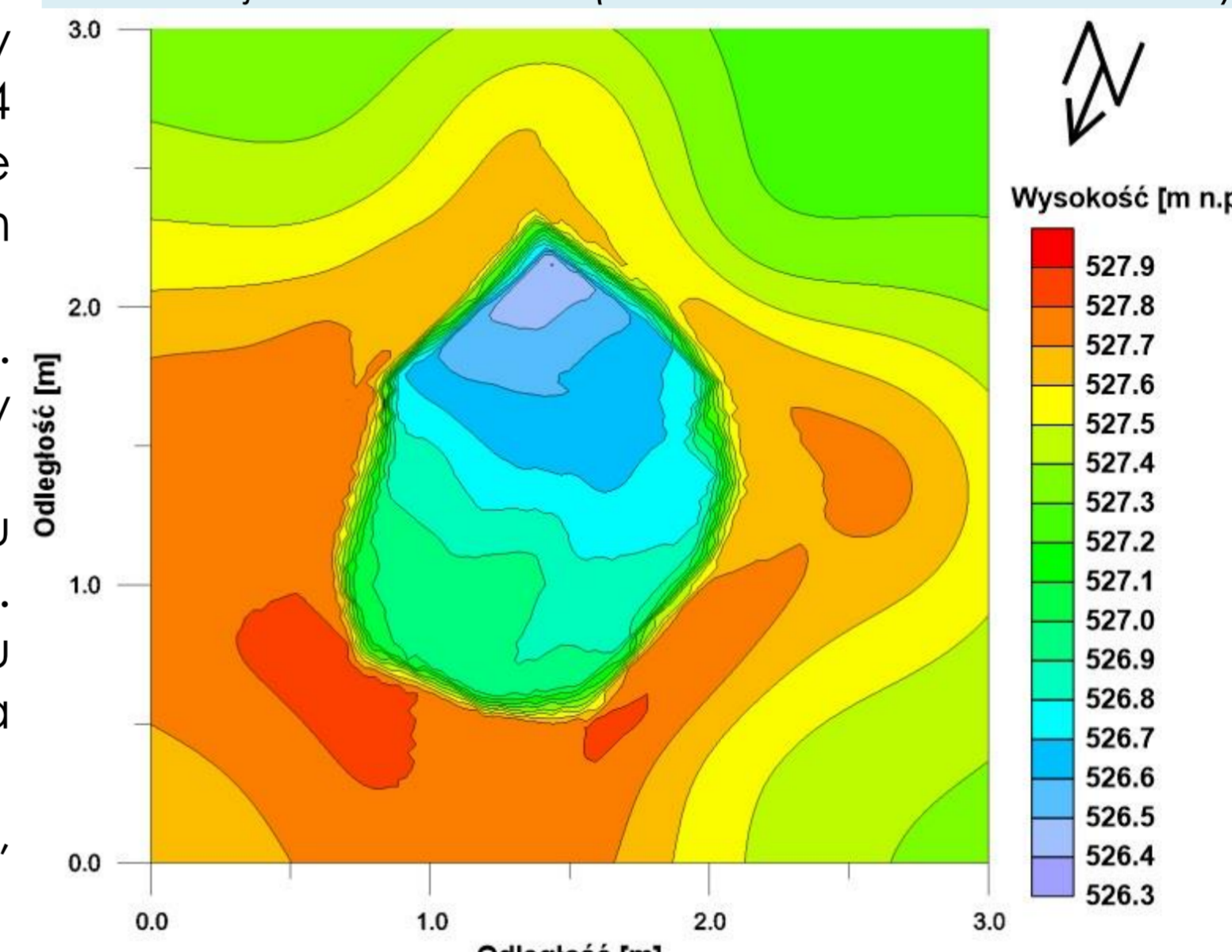
Mapa przekroju I-I, z zaznaczeniem kanału sufozycznego i jego wylotu.

Mapa przekroju II-II, z zaznaczeniem kanału sufozycznego i jego wylotu.

Mapa przekroju III-III, z zaznaczeniem kanału sufozycznego i jego wylotu.

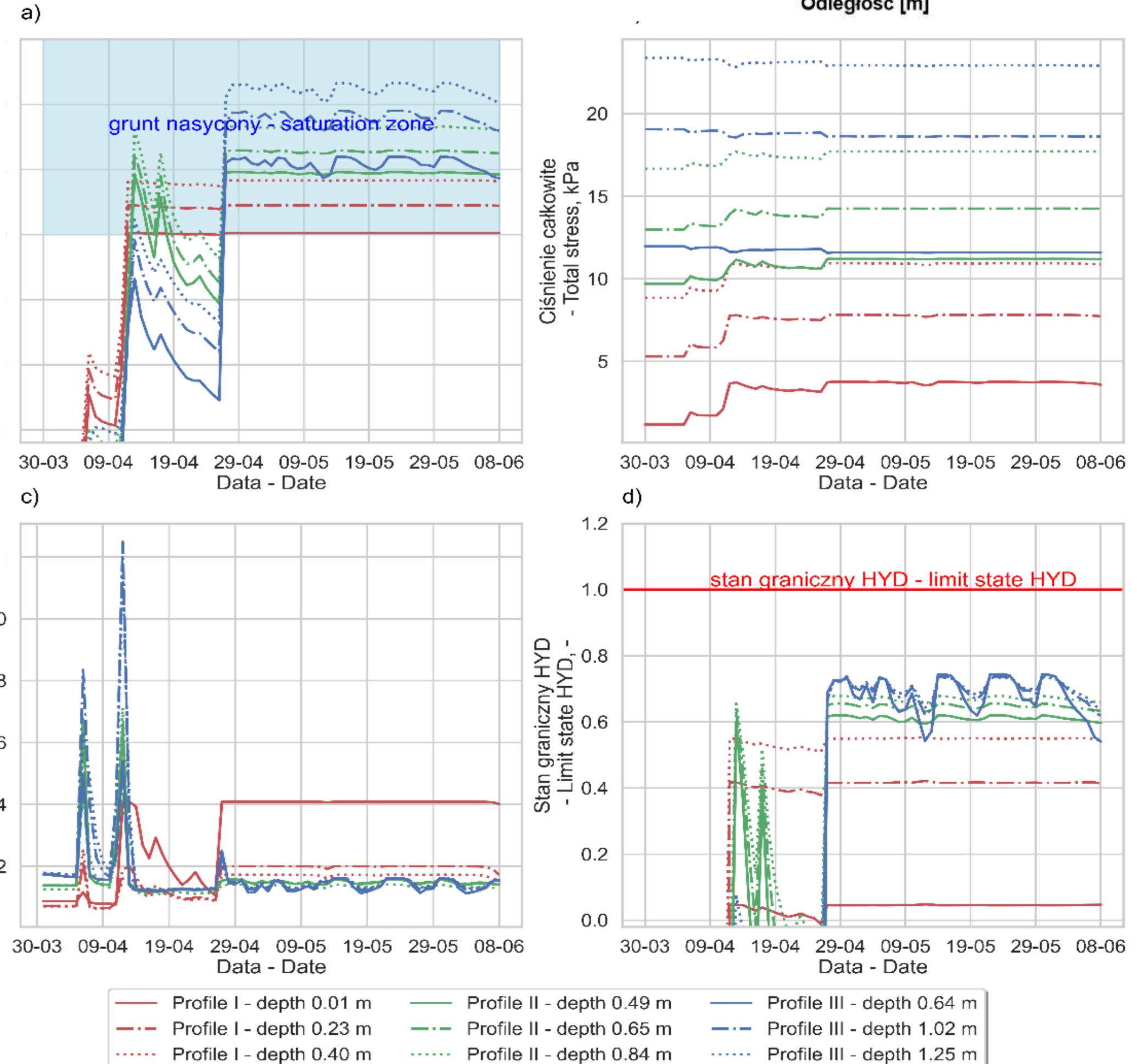


Lokalizacja terenu badań (Location of the research area)



Dyskretyzacja przekroju obliczeniowego wraz z krzywą retencyjną gruntów oraz rozkładem gradientów hydraulicznych w przekroju II-II
(Discretization of the slope cross-section with the soil retention curve and the distribution of hydraulic gradients in cross-section II-II)

Wyniki obliczeń ciśnienia porowego (a), naprężenia całkowitego (b), gradientu hydraulicznego (c) oraz stanu granicznego HYD (d)
(Results of calculations of pore water pressure (a), total stress (b), hydraulic gradient (c) and limit state HYD (d))



PODSUMOWANIE

Zaobserwowana forma sufozyczna wskazuje, że na stoku występuje ciągły kilkudziesięciometrowej długości kanał sufozyczny wytworzony w utworach średniospoistych, ilasto-pylastych. Należy spodziewać się, że w okresach zwiększonego przepływu śródglebowego, w czasie długotrwałych lub intensywnych opadów będzie dochodzić do nasilania się zjawisk sufozycznych i tworzenia się podobnych, form morfologicznych na stoku.

Wyniki obliczeń numerycznych nie potwierdziły jednoznacznie, że w sąsiedztwie analizowanego zapadliska i kanału sufozycznego istnieją warunki sprzyjające tworzeniu deformacji hydraulicznych. Jednak w trakcie zwiększonego przepływu filtracyjnego przez grunt wytwarzają się wysokie wartości gradientu hydraulicznego co przy dużej porowatości gruntu, związanej m.in. z obecnością mikroorganizmów w gruncie, sprzyja wynoszeniu cząstek gruntu.

Procesowi sufozji na analizowanym zbocz sprzyja obecność drewnianego koryta powyżej powstałego zapadliska sufozycznego, z którego woda infiltruje w podłoże gruntowe, co sprzyja zwiększeniu intensywności przepływu śródglebowego w analizowanej części zbocza.

LITERATURA

Awai, R., Nakagawa, H., Fujita, M., Kawaike, K., Baba, Y., Zhang, H. (2011). Study on piping failure of natural dam. Annuals of Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., 54 B, 539-547.
Bernatek, A. (2014). Rola sufozji w rozwoju rzeźby – stan i perspektywy badań. Przegląd Geograficzny, 86(1), 53-76.
Bernatek-Jakiel, A., Kacprzak, A., Stolarczyk, M. (2016). Impact of soil characteristics on piping activity in a mountainous area under a temperate climate (Bieszczady Mts., Eastern Carpathians). Catena, 141, 117-129. DOI: 10.1016/j.catena.2016.03.001
Zolnierczyk, A. (1956). Zjawiska sufozji w gruntach. Gospodarka Wodna, 12, 530-533.
PN-EN ISO 14688:2018-05. Rozpoznanie i badania geotechniczne. Oznaczenie i klasyfikowanie gruntów. Część 2: Zasady klasyfikowania. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa, Polska.
Verachert, E., Maefens, W., Van Den Eeckhout, M., Poesen, J., Deckers, J. (2011b). Soil loss rates due to piping erosion. Earth Surface Processes and Landforms, 36, 1715-1725. DOI: 10.1002/esp.2186.