

Dendrochronologiczny zapis osiadania terenu wywołanego przez górnictwo podziemne (Wyżyna Śląska)

Monika Franek, Małgorzata Wistuba, Ireneusz Malik

Abstrakt. Podziemna eksploatacja węgla kamiennego jest na Wyżynie Śląskiej prowadzona od połowy XVIII wieku. Często skutkuje to powstawaniem antropogenicznych form rzeźby terenu m.in. niecek z osiadania i zapadlisk. Badano dwa obniżenia z osiadania porośnięte lasem mieszanym z sosną zwyczajną (*Pinus sylvestris*) i dębem szypułkowym (*Quercus robur*). Stwierdzono, że 97,7% drzew porastających stanowisko badawcze ma pnie pochylone ku centrum niecek z osiadania. Zmiany nachylenia terenu oraz zmiany wilgotności siedliska związane z osiadaniem mogą oddziaływać na przyrost radialny drzew, jednak dotąd w badaniach osiadania terenu związanego z górnictwem nie stosowano metod dendrochronologicznych. U opróbowanych 18 sosen stwierdzono występowanie zwiększonej liczby drzew wykształcających dekoncentryczność i drewno reakcyjne w okresach intensywnej eksploatacji węgla kamiennego w regionie (lata 20. oraz 60.-80. XX wieku). Podobna zależność jest trudniejsza do uchwycenia w przypadku redukcji przyrostów rocznych.

Słowa kluczowe: osiadanie terenu, górnictwo podziemne, drewno reakcyjne, wzrost dekoncentryczny, redukcja przyrostu

Abstract. **Dendrochronological record of terrain subsidence caused by underground mining (Silesian Upland).** Underground exploitation of coal has been conducted on Silesian Upland since the middle of the 18th century. It often causes the development of human-induced relief features, e.g. subsidence depressions and sinkholes. We have studied two subsidence depressions covered with mixed forest with Scots pine (*Pinus sylvestris*) and Pedunculate oak (*Quercus robur*). We found that 97.7% of trees growing on the studied site have stems tilted towards the centre of depressions. Changes of terrain slope and changes of habitat moisture conditions can influence radial growth of trees, however dendrochronological methods have not been used yet in studies on mining-related ground subsidence. Among 18 sampled pines we found increased number of eccentricity events and reaction wood events in periods of heavy exploitation of coal in the region (1920s and 1960s-1980s). Similar relation is less clear in case of tree-ring reductions.

Keywords: terrain subsidence, sub-surface mining, reaction wood, growth eccentricity, tree-ring reduction

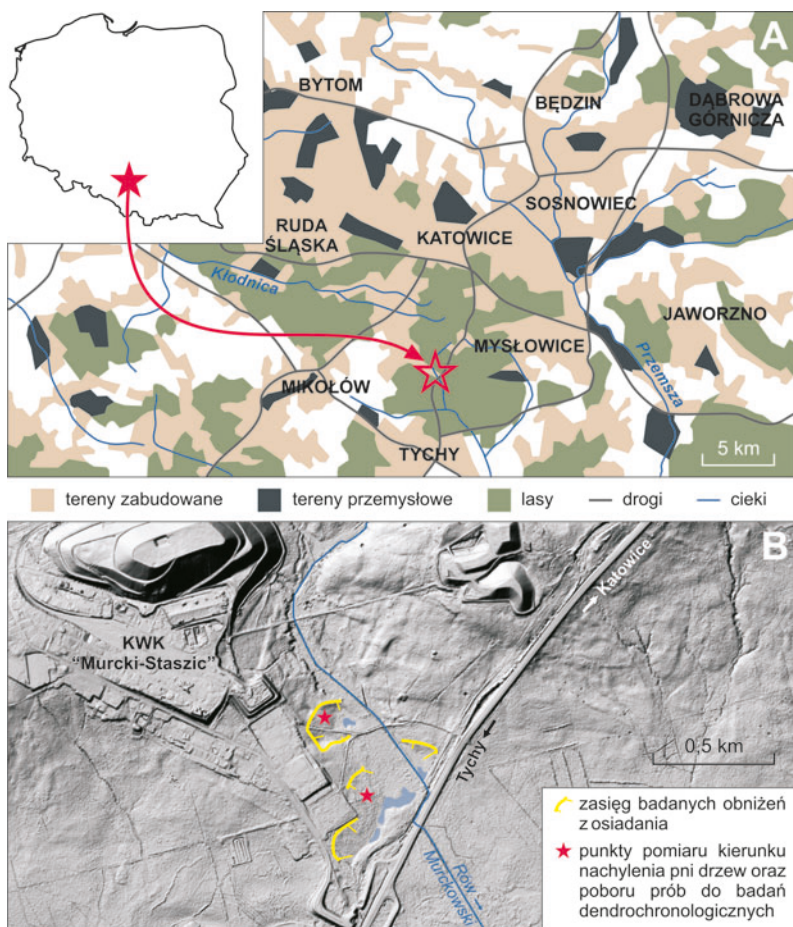
Wstęp

Górnictwo podziemne powoduje powstawanie różnych antropogenicznych form rzeźby terenu. Wśród nich można wyróżnić formy powstałe wskutek deformacji ciągłych – osiadania, które jest charakterystyczne dla obszarów głębokiej eksploatacji. Ten rodzaj deformacji skał podłoża powoduje łagodne i powolne obniżanie powierzchni terenu. Odmienny typ deformacji, zapadanie, obserwowany jest na obszarach, gdzie eksploatacja jest płytka (zwykle mniej niż 80-100 m). Zapadanie się podziemnych pustek poeksploatacyjnych powoduje przerwanie ciągłości warstw skalnych i nieciągłe zaburzenia rzeźby terenu (Dulias 2013). Mogą mieć one postać zapadliśk, szczelin, spękań, progów i uskoków terenowych (Gabzdyl i Gorol 2008).

Pogórniczne osiadanie terenu stanowi istotny problem w wielu miejscach na świecie. Na Wyżynie Śląskiej zjawisko to obejmuje swoim zasięgiem obszar około 1000 km² (Machowski 2010). Właśnie powszechne występowanie osiadania było jedną z przyczyn podjęcia przez autorów niniejszych badań. Osiadanie wywołane górnictwem jest także jednym z ważniejszych problemów geologicznych w Chinach. Przykładem może być miasto Feng Cheng w prowincji Jiangxi, gdzie osiadanie na terenach pogórnicznych osiągnęło katastrofalną skalę, niszcząc infrastrukturę, hamując rozwój miasta oraz zagrażając bezpieczeństwu mieszkańców (Zhu i in. 2014). Akcin i in. (2010) opisują osiadanie w najsłynniejszym tureckim regionie górniczym – Zonguldak. Gwałtowne zapadanie terenu wystąpiło tam w przeszłości w wielu miejscach. Ciągłe i intensywne osiadanie występuje także w Wielkiej Brytanii, w Okręgu Przemysłowym Środkowego Cheshire, gdzie przemysł jest oparty na wydobywaniu surowców chemicznych i soli (Wallwork 1956). Osiadanie występowało tam już od połowy XVIII wieku do lat 30. XX wieku. Przyniosło one skutki w postaci podtopień, ograniczenia rozwoju osadnictwa oraz zniszczenia infrastruktury obszarów już zamieszkałych. W konsekwencji, w okresie 1851-1901 roku populacja mieszkańców Northwich – jednego z miast tego obszaru, spadła z 1377 do 564 osób (Wallwork 1956).

Do licznych metod używanych dotąd do analizy osiadania terenu należą między innymi: sieci neuronowe (Pawluś 2007), satelitarna interferometria radarowa InSAR/DInSAR (Yue i in. 2011, Przyłucka i Graniczny 2015) oraz analiza numerycznych modeli terenu opartych o dane lotniczego skaningu laserowego LiDAR (Konagai i in. 2013). Jak dotąd, w badaniach osiadania terenu wywołanego górnictwem podziemnym nie stosowano metod dendrochronologicznych. Są one jednak powszechnym narzędziem w geomorfologii, stosowanym do badań m.in. osuwania (np. Stefanini 2004, Saez i in. 2012, Wistuba i in. 2013), erozji (Gärtner i in. 2001, Malik 2005), akumulacji (Strunk 1997, Rzepecka i in. 2012) i spływów gruzowych (Malik i in. 2013, Schraml i in. 2013). Antropogeniczne zmiany rzeźby terenu mogą oddziaływać na wzrost drzew w sposób podobny do naturalnych procesów geomorfologicznych. Osiadanie i zapadanie mogą powodować pochylanie pni drzew, a przez to wykształcanie drewna reakcyjnego i dekoncentryczności przyrostów rocznych. Mogą one także powodować zmiany warunków wodnych w glebie (niecki z osiadania często są zalewane przez wody gruntowe), a te z kolei mogą powodować powstawanie redukcji przyrostów u drzew (Malik 2008).

Celem badań było określenie, w jaki sposób zmiany rzeźby terenu postępujące na skutek osiadania związanego z górnictwem węgla kamiennego zapisują się w przyrostach rocznych i anatomii drewna drzew.



Ryc. 1. A – położenie obszaru badań na Wyżynie Śląskiej. B – badane niecki z osiadania wraz z lokalizacją opróbowanych drzew (numeryczny model terenu uzyskany w oparciu o dane LiDAR, źródło danych: Centralny Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej)

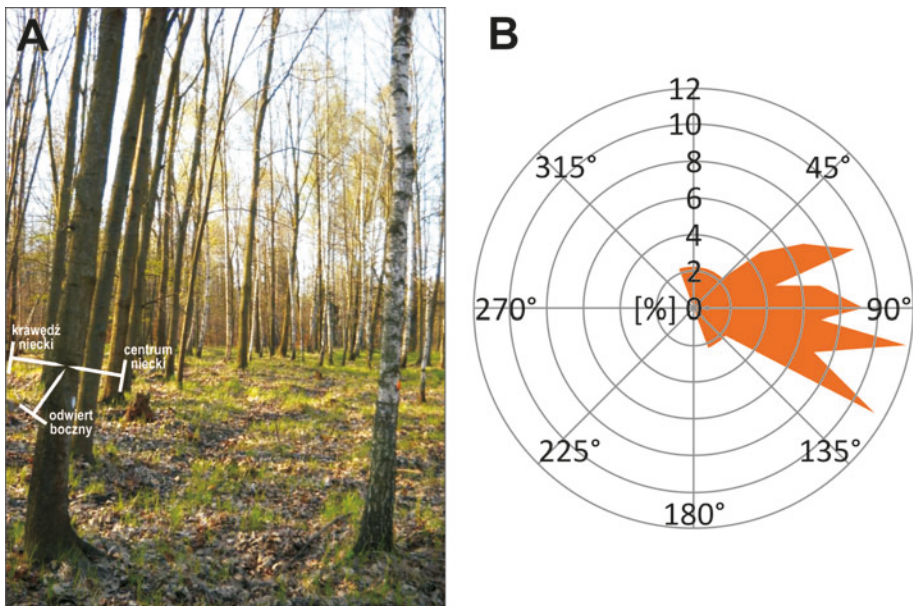
Fig. 1. A – location of the study area in the Silesian Upland. B – subsidence depressions with the location of sampled trees (digital terrain model based on data from air scanning LiDAR, source: Centralny Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej)

Teren badań

Badane stanowisko leży na Wyżynie Śląskiej (Kondracki 2009), w obrębie Leśnego Pasa Ochronnego Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego, na południowych obrzeżach Katowic. Na wschód i północ od stanowiska badawczego znajdują się oddziały Kopalni Węgla Kamiennego „Murcki-Staszic” (Ryc. 1). Jest to najstarsza kopalnia węgla kamiennego na Wyżynie

Śląskiej, która od połowy XVIII wieku prowadzi eksploatację głębinową węglonośnych skał karbońskich (Tkocz 2008), obecnie na poziomach 416 m i 600 m (Profil Ruch Boże Dary 2015). Stanowisko badawcze obejmuje dwa obniżenia antropogeniczne w dnie doliny rzecznej Rowu Murckowskiego (Ryc. 1B) (dorzecze Wisły) (Czarnecka i in. 2005), powstałe na skutek osiadania terenu związanego z górnictwem. Oba zagłębienia są częściowo zalane przez wody gruntowe. Średnia roczna temperatura powietrza w badanym obszarze wynosi 8°C, średnia dla stycznia: -2°C, a dla lipca 16°C (Kruczała 2000). Średnia roczna suma opadów atmosferycznych dla wielolecia 1971-2000 wyniosła około 700 mm (Lorenc 2005).

Powierzchnię badanego terenu porasta gospodarz las sosnowo-dębowy z domieszką brzozy i buka (Ryc. 2A). Drzewostan jest z reguły kilkudziesięcioletni, drzewa starsze są nieliczne. Stwierdzono także występowanie młodszych nasadzeń i podrostu. Zauważalny jest zły stan zdrowotny niektórych osobników i występowanie posuszu. Wyraźnie widoczne jest także pochylenie drzew w stronę centrum badanych niecek z osiadania (Ryc. 2A). Drzewa są pochylone do środka niecki z osiadania, co wskazuje, że dominującym czynnikiem w ich pochyleniu był właśnie rozwój niecki. Poza krawędziami niecki, drzewa nie wykazują jednego wspólnego kierunku pochylenia. Jednoznacznie wskazuje to na lokalny charakter zjawiska zaburzającego przyrosty badanych drzew oraz ograniczenie jego występowania do badanych niecek z osiadania.



Ryc. 2. A – Drzewa opróbowane na stanowisku badawczym pochylone w kierunku centrum niecki z osiadania. Zaznaczono sposób poboru prób do badań dendrochronologicznych. B – kierunek pochylenia drzew na stanowisku badawczym

Fig. 2. A – sampled trees on the study site tilted towards the centre of subsidence depression. Directions of dendrochronological sampling are marked. B – measurement results of the azimuth of tree tilting for studied site

Material i metody

Używając kompasu geologicznego pomierzono azymut pochylenia pni 43 drzew porastających powierzchnie badanych niecek z osiadania. Odwierty do badań dendrochronologicznych pobierano z wysokości pierśnicy, za pomocą świdra Presslera. Z każdego drzewa odwiercano trzy próby: dwie po przeciwnych stronach pnia, w osi zgodnej z pochyleniem terenu od krawędzi zewnętrznej niecki z osiadania do jej centrum oraz jedną w osi poprzecznej (Ryc. 2A). Opróbowano 18 sosen zwyczajnych (*Pinus sylvestris*). Rdzenie wklejono w drewniane podstawki i wyszlifowano. Przyrosty roczne pomierzono przy pomocy przyrostomierza RINNTECH LinTab 6 z oprogramowaniem TSAPWin Professional 4.65 (dokładność pomiaru: 0,01 mm). Następnie porównano szerokości przyrostów rocznych po odstokowej i dostokowej stronie pnia poszczególnych drzew. Na ich podstawie, przy użyciu poniższych wzorów (Wistuba i in. 2013) obliczono indeks procentowy dekoncentryczności przyrostów rocznych (Ryc. 3):

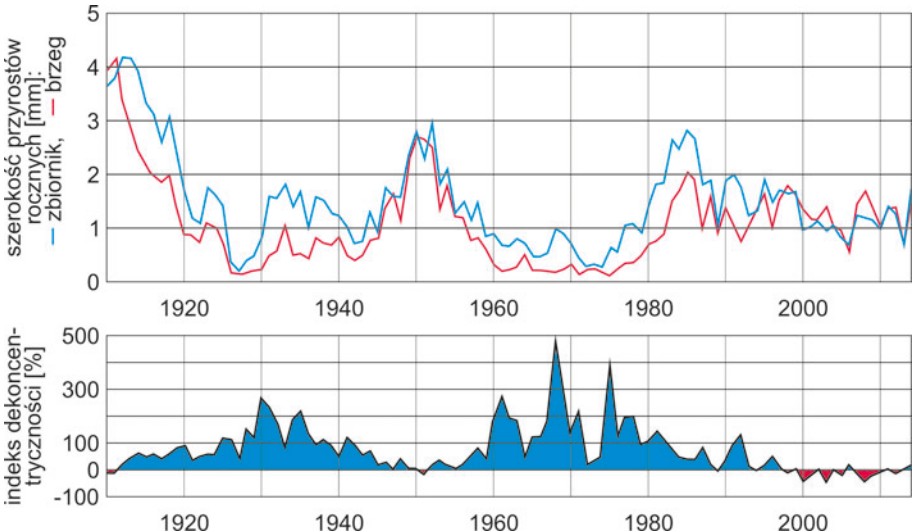
$$Ex \text{ [mm]} = Ux - Dx;$$

gdy $Ex \text{ [mm]} > 0$: dekoncentryczność dostokowa; $Eix \text{ [%]} = (Ex / Dx) \times 100\% > 0$;

gdy $Ex \text{ [mm]} = 0$: brak dekoncentryczności; $Eix \text{ [%]} = Ex \text{ [mm]} = 0$;

gdy $Ex \text{ [mm]} < 0$: dekoncentryczność odstokowa; $Eix \text{ [%]} = (Ex / Ux) \times 100\% < 0$;

gdzie: U – szerokość przyrostu rocznego po dostokowej stronie pnia [mm]; D – szerokość przyrostu rocznego po odstokowej stronie pnia [mm]; E – dekoncentryczność przyrostu rocznego [mm]; Ei – indeks dekoncentryczności przyrostu rocznego [%]; x – rok (przyrost roczny).



Ryc. 3. Szerokości przyrostów rocznych oraz indeks dekoncentryczności przyrostów obliczony dla jednego z opróbowanych osobników

Fig. 3. Tree-ring widths and eccentricity index calculated for one of sampled specimens

Na podstawie pomiarów szerokości przyrostów w osi poprzecznej do nachylenia terenu obliczono redukcje przyrostów rocznych w badanych próbach stosując metodę opisaną przez Schweingrubera i in. (1985). Redukcje podzielono na klasy według ich nasilenia: średnie (30-50%), silne (51-70%) oraz bardzo silne (>70%). W świetle odbitym, pod binokulem analizowano także anatomię poszczególnych przyrostów rocznych w pobranych próbach. W ten sposób wydatowane zostało drewno kompresyjne.

Wyniki i dyskusja

Deformacje pni badanych drzew pod wpływem osiadania terenu

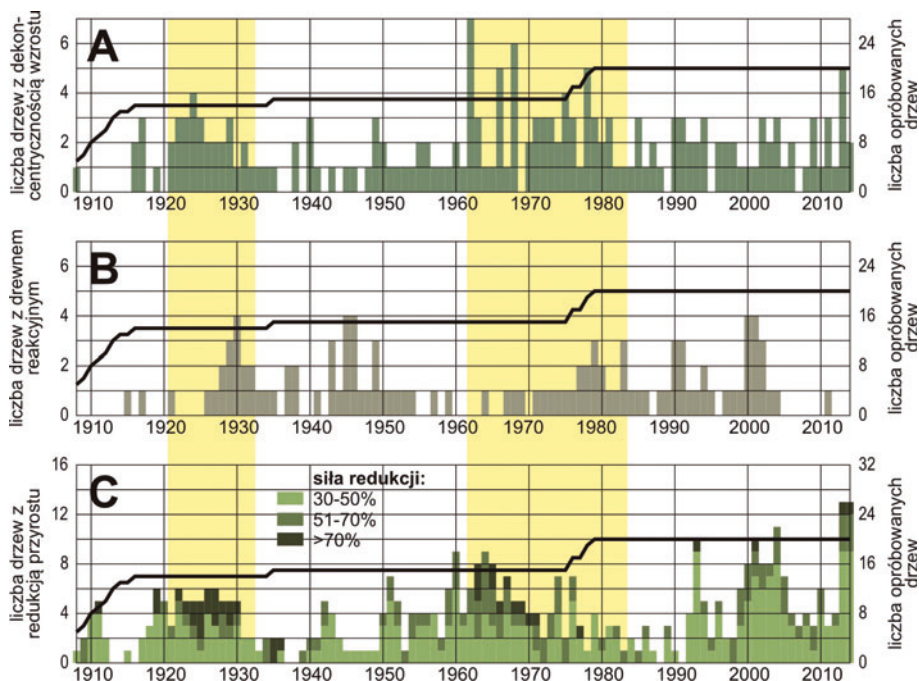
Drzewa porastające zachodnie części badanych obniżeń z osiadania wykazują wyraźne pochylenie (Ryc. 2A). Większość spośród pomierzonych osobników jest pochylona w przedziale kierunków N-SE. 97,7% pomierzonych osobników wykazuje azymut pochylenia w przedziale 0-180° (Ryc. 2B). Dominują drzewa o azymucie pochylenia 100° i 120° (po 11,6%). Kierunek pochylenia pni drzew jest zgodny z kierunkiem nachylenia powierzchni niecki z osiadania i zgodny z kierunkiem, w którym postępuje obniżanie terenu na skutek zapadania pustek górniczych (Ryc. 1, 2).

Występowanie dekoncentryczności wzrostu oraz drewna reakcyjnego

Śród obliczonych dla opróbowanych drzew wartości indeksu dekoncentryczności wybrano najsilniejsze sygnały (o wartościach indeksu dekoncentryczności powyżej 50% lub poniżej -50%, w zależności od kierunku wykształcania dekoncentryczności). Najstarszy spośród tak wyznaczonych sygnałów dekoncentryczności odnotowano w roku 1908 (Ryc. 4). Najwięcej (35%) drzew wskazało jednocześnie dekoncentryczność w 1961 roku (Ryc. 4). Liczne sygnały dekoncentryczności odnotowano także w latach 1967 (30% opróbowanych drzew) oraz 1965, 1979 i 2013 (25%). Żadne z opróbowanych drzew nie zareagowało natomiast w latach: 1909-1916, 1919, 1921, 1937, 1938, 1940, 1942, 1944, 1947, 1970, 1990, 1996 oraz 2008. Aż 90% badanych drzew wykazało dekoncentryczność przyrostów choć jeden raz w ciągu swojego wzrostu.

Najstarszy sygnał występowania drewna reakcyjnego u badanych drzew wydatowano w 1915 roku (Ryc. 4). Drewno reakcyjne wystąpiło u 70% badanych osobników. W 46,4% prób, w których zaobserwowano drewno reakcyjne, wystąpiło ono jedynie po jednej stronie pnia – stronie zwróconej ku centrum niecek z osiadania. W 28,6% przypadków drewno reakcyjne wystąpiło jedynie od strony przeciwnej. Natomiast w 25% przypadków drewno reakcyjne odnotowano po obu stronach pnia. Najwięcej drzew wykształciło jednocześnie drewno reakcyjne w latach 1930, 1945-1946 oraz 2000-2001 (po 20% opróbowanych osobników). Natomiast żadne drzewo nie wykształciło tej cechy diagnostycznej w latach 1908-1914, 1916, 1918-1920, 1922-1925, 1936, 1939, 1940, 1942, 1955-1956, 1958, 1960-1963, 1965-1966, 1970, 1987, 1996 oraz 2005-2014 (Ryc. 4).

Analizując wyniki datowania dekoncentryczności przyrostu oraz drewna reakcyjnego stwierdzono, że w badanym przedziale czasowym (1908-2014) wystąpiły dwa okresy o zwiększonej liczebności (Ryc. 4B) drzew wykształcających dekoncentryczność i drewno reakcyjne: 1921-1932 oraz 1962-1983 (Ryc. 4).



Ryc. 4. Dekoncentryczność wzrostu (A), drewno reakcyjne (B) oraz redukcje przyrostów rocznych (C) wydatowane w drzewach porastających badane niecki z osiadania

Fig. 4. Eccentric growth (A), reaction wood (B), and ring reductions (C) dated in trees growing in studied subsidence depressions

Występowanie redukcji przyrostów rocznych

Najstarszy sygnał redukcji przyrostów rocznych u badanych drzew wydatowano na rok 1908 (Ryc. 4). U każdego z opróbowanych drzew stwierdzono występowanie redukcji przyrostów rocznych. Najwięcej drzew wykazało równoczesną redukcję przyrostów o nasileniu >30% w latach 2013-2014 (65% opróbowanych osobników). W roku 1964 najwięcej drzew (25%) wykazało jednocześnie redukcję przyrostów o nasileniu 51-70%. Redukcje przyrostów o nasileniu >70% jednocześnie wykształciło maksymalnie 20% badanych drzew w 1926 roku. Żadne drzewo nie wykazało redukcji przyrostów rocznych w latach 1904-1907, 1913-1914, 1916, 1937-1938, 1988 i 1991. Analizując wyniki datowania redukcji przyrostów rocznych stwierdzono, że ich nasilenie występowało szczególnie w 3 okresach: 1919-1930, 1950-1976 oraz 1992-2014.

Potencjał metod dendrochronologicznych w rekonstrukcji przebiegu osiadania terenu na terenach górniczych

W kontekście osiadania terenu obecność dekoncentryczności przyrostów i występowanie drewna reakcyjnego można interpretować, jako sygnał pochylania się pnia drzewa pod wpływem nierównomiernego obniżania się powierzchni terenu, bardziej intensywnego w centrum

niecki z osiadania niż na jej obrzeżach. Analiza dendrochronologiczna pozwoliła wyznaczyć dwa okresy o dużej ilości sygnałów mogących oznaczać pochylanie pni drzew pod wpływem intensywnych deformacji powierzchni terenu: 1921-1932 oraz 1962-1983.

Pierwszy wymieniony okres związany jest z eksploatacją węgla kamiennego w 20-lecie międzywojennym, od końca I wojny światowej do Wielkiego Kryzysu na przełomie lat 20. i 30. XX wieku, kiedy wydobywanie węgla kamiennego w Górnośląskim Okręgu Przemysłowym znacznie spadło. Także według Dulias (2013) pierwsze niecki z osiadania w Górnośląskim Okręgu Przemysłowym powstawały prawdopodobnie już na początku XX wieku, na skutek zwiększania wydobywania węgla oraz pogłębienia eksploatacji. Drugi okres nasilonej reakcji drzew na odkształcenia powierzchni terenu odpowiada czasowi najbardziej intensywnej eksploatacji węgla kamiennego w latach 60.-80. XX wieku, kiedy także skala osiadania terenu była największa w historii regionu (Dulias 2013). Uzyskane wyniki badań wskazują, że zarówno dekoncentryczność wzrostu jak i drewno reakcyjne (kompresyjne drewno u sosny pospolitej) mogą stanowić dobry wskaźnik czasu występowania odkształceń (zmian nachylenia) powierzchni terenu w skutek osiadania związanego z górnictwem podziemnym.

Interpretacja występowania redukcji przyrostów rocznych u drzew opróbowanych w obrębie badanych nieck z osiadania jest trudniejsza. Redukcje nie są bezpośrednio powodowane przez zmiany rzeźby na osiadającym terenie. Mogą być natomiast związane ze zmianami poziomu wód gruntowych w osiadających obszarach, które często są nawet zalewane przez wody gruntowe (Perez-Valdivia i Sauchyn 2011). Znaczna zmiana wilgotności siedliska porastanego przez drzewa może skutkować pogorszeniem warunków ich wzrostu i redukcją wytwarzanych przyrostów rocznych. Redukcje mogą mieć jednak także inne podłoże, szczególnie na terenach silnie uprzemysłowionych, takich jak Górnośląski Okręg Przemysłowy. Według Danek (2007) oraz Malika i in. (2012) sosny zwyczajne rosnące w sąsiedztwie Górnośląskiego Okręgu Przemysłowego wykształcały w latach 60.-80. XX wieku silne redukcje przyrostów w wyniku przemysłowego zanieczyszczenia powietrza, głównie związkami siarki pochodzącymi ze spalania węgla kamiennego.

Wyniki uzyskane dla drzew opróbowanych w nieckach z osiadania na południowym obrzeżu Katowic nie prezentują jednak przebiegu redukcji typowego dla drzew rosnących na Wyżynie Śląskiej pod wpływem przemysłowego zanieczyszczenia powietrza (np. Malik i in. 2012). Oprócz typowo pojawiających się redukcji w latach 1919-1930 oraz 1950-1976, które mogły powstać na skutek szkodliwych emisji zanieczyszczeń u badanych drzew stwierdzono także występowanie redukcji po roku 1992, czego nie obserwowano u drzew rosnących w otoczeniu GOPu, na terenach niepodlegających osiadanemu (Malik i in. 2012). Po transformacji ustrojowej i gospodarczej w 1989 roku zanieczyszczenie powietrza w terenie badań radykalnie zmniejszyło się w związku z likwidacją części zakładów przemysłowych oraz wprowadzeniem norm emisji zanieczyszczeń, a szerokość przyrostów rocznych sosen zwiększyła się. W związku z tym wydaje się, że jednym z czynników, który mógł wywołać redukcję przyrostów badanych drzew od początku lat 90. XX było osiadanie gruntu pod wpływem podziemnej eksploatacji węgla kamiennego. Interpretację tę może potwierdzać nakładanie się w czasie występowania redukcji i drewna reakcyjnego (2000-2002) oraz redukcji i dekoncentryczności wzrostu (2004, 2010-2014) (Ryc. 4).

Analiza dendrochronologiczna, a w szczególności analiza cech anatomicznych bezpośrednio związanych z pochylaniem pni na skutek zmian rzeźby terenu (drewno reakcyjne i dekoncentryczność przyrostu), wydaje się mieć istotny potencjał w rekonstrukcji przebiegu pogórni-

czego osiadania gruntu. Zjawisko to jest istotnym problemem, który tylko na Wyżynie Śląskiej dotyczy obszaru około 1000 km² (Machowski 2010). Osiadanie stanowi zagrożenie dla ludzi oraz jest przyczyną szkód materialnych, w tym zniszczeń budynków i infrastruktury (Rzętała 2008). Jednocześnie informacje o przebiegu tego procesu w przeszłości są bardzo ograniczone i często nieprecyzyjne. Metody nowoczesne: analiza numerycznych modeli terenu z danych LiDAR czy satelitarna interferometria radarowa (np. Przyłucka i Graniczny 2015, Konagai i in. 2013) są dostępne jedynie dla ostatnich lat. Dla okresu po II wojnie światowej istnieje możliwość analizy porównawczej, które jednak wykonywane były w różnej skali i z różną dokładnością. Natomiast dla okresu sprzed II wojny światowej brak jest danych. Luki te może uzupełnić metoda dendrochronologiczna.

Wnioski

- W oparciu o analizę dekoncentryczności przyrostów rocznych oraz występowania drewna kompresyjnego u sosen zwyczajnych stwierdzono, że intensywne osiadanie terenu na stanowisku badawczym miało miejsce w latach: 1921-1932 oraz 1962-1983.
- Sygnały zmian nachylenia pni drzew wydatowane w latach 20. XX wieku odpowiadają rozwojowi przemysłu wydobywczego w obszarze badań w okresie od końca I wojny światowej do Wielkiego Kryzysu. Sygnały wydatowane w latach 60.-80. XX wieku odpowiadają okresowi najbardziej intensywnej w historii regionu eksploatacji węgla kamiennego.
- Dekoncentryczność wzrostu oraz drewno kompresyjne są dobrymi wskaźnikami zmian rzeźby terenu związanych z pogórnym osiadaniem. Redukcje przyrostów, ze względu na ich możliwą różnorodną genezę (w tym potencjalny związek z przemysłowym zanieczyszczeniem powietrza), nie stanowią samodzielnie cechy diagnostycznej dla występowania osiadania terenu.

Podziękowania

Badania zrealizowano w ramach projektu OPUS 2011/01/B/ST10/00548 finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki. Podczas przygotowywania publikacji do druku jedna z autorek – Małgorzata Wistuba – była stypendystką wspartą finansowaniem Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej (FNP) w ramach stypendium START na lata 2015-2016

Literatura

- Akcin H., Kutoglu H. S., Kemaldere H., Deguchi T., Koksai E. 2010. Monitoring subsidence effects in the urban area of Zonguldak Hardcoal Basin of Turkey by InSAR-GIS integration. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 10: 1807-1814.
- Czarnecka H. (red.) 2005. Atlas podziału hydrograficznego Polski 1: 200 000. IMGW, Warszawa.
- Danek M. 2007. The influence of industry on Scots pine stands in the south-eastern part of the Silesia–Kraków Upland (Poland) on the basis of dendrochronological analysis. *Water, Air, & Soil Pollution*, 185(1–4): 265-277.
- Dulias R. 2013. Denudacja antropogeniczna na obszarach górniczych na przykładzie Górnos Śląskiego Zagłębia Węglowego. Uniwersytet Śląski, Katowice.
- Gabzdyl W., Gorol M. 2008. Geologia i bogactwa mineralne Górnego Śląska i obszarów przyległych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice.

- Gärtner H., Schweingruber F. H., Dikau R. 2001. Determination of erosion rates by analyzing structural changes in the growth pattern of exposed roots. *Dendrochronologia*, 19: 81-91.
http://www.khw.pl/firma/profil_ruch_boze_dary.html.
- Konagai K., Kiyota T., Suyama S., Asakura T., Shibuya K., Eto C. 2013. Maps of soil subsidence for Tokyo bay shore areas liquefied in the March 11th, 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 53: 240-253.
- Kondracki J. (red.) 2009. *Geografia regionalna Polski*. PWN, Warszawa.
- Kruczała A. (red.) 2000. *Atlas klimatu województwa śląskiego*. IMGW, Katowice.
- Lorenc H. (red.) 2005. *Atlas klimatu Polski*. IMGW, Warszawa.
- Machowski R. 2010. *Przemiany geosystemów zbiorników wodnych powstałych w nieckach osiadania na Wyżynie Katowickiej*. Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Katowice.
- Malik I. 2005. Przykłady datowania erozji za pomocą analizy struktury drewna w odsłoniętych korzeniach drzew. W: Kotarba A., Krzemiń K., Świąchowicz J. (red.). *Współczesna ewolucja rzeźby Polski - VII Zjazd Geomorfologów Polskich*. Stowarzyszenie Geomorfologów Polskich, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN, Instytut Geografii Akademii Pedagogicznej w Krakowie, Kraków: 285-291.
- Malik I. 2008. Dendrochronologiczny zapis współczesnych procesów rzeźbotwórczych kształtujących stoki i doliny rzeczne wybranych stref krajobrazowych Europy Środkowej. Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Katowice.
- Malik I., Danek M., Marchwińska-Wyrwał E., Danek T., Wistuba M., Krąpiec M., Woskowicz-Ślęzak B. 2012. Czasowe relacje pomiędzy redukcjami przyrostów rocznych sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris* L.) oraz śmiertelnością niemowląt pod wpływem zanieczyszczeń atmosferycznych – przykład z województwa śląskiego. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, Warszawa, 54: 248-260.
- Malik I., Tie Y., Owczarek P., Wistuba M., Pilorz W., Woskowicz-Ślęzak B. 2013. Human-planted alder trees as a protection against debris flows (a dendrochronological study from the Moxi Basin, Southwestern China). *Geochronometria*, Gliwice, 3 (30): 208-216.
- Pawluś D. 2007. Prognozowanie osiadań powierzchni terenu przy użyciu sieci neuronowych. *Górnictwo i Geoinżynieria*, 3 (31): 329-335.
- Perez-Valdivia C., Sauchyn D. 2011. Tree-ring reconstruction of groundwater levels in Alberta, Canada: Long term hydroclimatic variability. *Original Research Article. Dendrochronologia*, 29 (1): 41-47.
- Przyłucka M., Graniczny M. 2015. Kompleksowe wykorzystanie przetworzeń DInSAR i PSInSAR w badaniu pionowych przemieszczeń terenu w wybranych rejonach GOP. *Przegląd Górniczy*, Katowice, 3 (1108): 80-88.
- Rzepecka A., Czajka B., Mikuś P., Kaczka R. J., Wyźga B. 2012. Rozwój kępy o złożonej strukturze w zwirowanej rzece górskiej. Wyniki analiz dendrochronologicznych i kartograficznych. *Studia i Materiały CEPL* 30: 105-110.
- Rzetała M. 2008. Funkcjonowanie zbiorników wodnych oraz przebieg procesów limnicznych w warunkach zróżnicowanej antropopresji na przykładzie regionu górnośląskiego. Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Katowice.
- Saez J. L., Corona C., Stoffel M., Schoeneich P., Berger F. 2012. Probability maps of landslide reactivation derived from tree-ring records: Pra Bellon landslide, southern French Alps. *Geomorphology*, 138(1): 189-202.
- Schraml K., Kogelnig-Mayer B., Scheidl C., Stoffel M., Kaitna R. 2013. Magnitude-frequency relations of debris flows based on dendrogeomorphic data and semi-empirical relationships. *Geomorphology*, 201: 80-85.
- Schweingruber F. H., Albrecht H., Beck M., Hessel J., Joos K., Keller D. 1985. Diagnosis and distribution of conifer decay in the Swiss Rhone Valley, a dendrological study. *Eidgenössische Anstalt für das Fortliche Versuchswesen*, 270: 189-192.
- Stefanini M. C. 2004. Spatio-temporal analysis of a complex landslide in the Northern Apennines (Italy) by means of dendrochronology. *Geomorphology*, 63: 191-202.
- Strunk H. 1997. Dating of geomorphological processes using dendrogeomorphological methods. *Catena*, 31(1-2): 137-151.

- Tkocz M. 2008. Województwo śląskie. Zarys geograficzno-ekonomiczny. Wydział Nauk o Ziemi Uniwersytetu Śląskiego, Sosnowiec.
- Wallwork K. L. 1956. Subsidence in the Mid-Cheshire Industrial Area. *The Geographical Journal*, London, 1(122): 40-53.
- Wistuba M., Malik I., Gärtner H., Kojs P., Owczarek P. 2013. Application of eccentric growth of trees as a tool for landslide analyses: The example of *Picea abies* Karst. in the Carpathian and Sudeten Mountains (Central Europe). *Catena*, 111: 41-55.
- Yue H., Liu G., Perski Z., Guo H. 2011. Satellite radar reveals land subsidence over coal mines. <http://spie.org/newsroom/technical-articles-archive/3898-satellite-radar-reveals-land-subsidence-over-coal-mines>.
- Zhu Y., Ding X., Li Z., Luo Y. 2014. Monitoring of Surface Subsidence of the Mining Area Based on SBAS. *Journal of Computers*, 5(9): 1177-1184.

Monika Franek*, Małgorzata Wistuba, Ireneusz Malik

Uniwersytet Śląski w Katowicach, Katedra Rekonstrukcji Środowiska Geograficznego

*m.franek@onet.eu