

Agnieszka Pająk-Komorowska

Osiadanie zapadowe lessów Wzgórz Trzebnickich i Płaskowyżu Głubczyckiego

Collapsing losses of Wzgórze Trzebnickie and Płaskowyż Głubczycki

Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki badań wskaźnika osiadania zapadowego i_{mp} lessów Wzgórz Trzebnickich i Płaskowyżu Głubczyckiego na tle ich właściwości fizycznych, składu mineralnego oraz analizy mikrostrukturalnej. W wyniku przeprowadzonych kompleksowych badań właściwości geologiczno-inżynierskich lessów ustalono, iż osiadaniu zapadowemu ulegają lessy młodsze (LM) charakteryzujące się niewielką zawartością procentową minerałów ilastych, niską hydrofilnością i przede wszystkim mikrostrukturą szkieletową z ilastymi połączeniami pomiędzy ziarnami i agregatami.

Słowa kluczowe: less, osiadanie zapadowe, mikrostruktura szkieletowa

Abstract: This paper describes result of research index of collapsing losses of Wzgórze Trzebnickie and Płaskowyż Głubczycki on the background of their physical properties, clay minerals composition and microstructure analysis. As a result of carried over composite research engineering-geological properties of loess settled, that collapsing, expressed in terms i_{mp} , occurs in younger loess (LM); characteristic for them low percent contents clay minerals, low hydrophilicity and first of all skeletal microstructure with clay connectors and irony – siliceous contacts between grains and aggregate.

Key words: less, collapsing, skeletal microstructure

Lessy znajdujące się w strefie aeracji są szczególnie podatne na zmiany deformacyjne wynikające z ich zmiennej wilgotności. W warunkach nagłego nasycenia wodą następuje gwałtowna redukcja ich objętości, która określana jest terminem „osiadanie zapadowe”.

Wiedza umożliwiająca określenie predyspozycji lessu do poddawania się deformacjom objętościowym z pewnością pozwoli na skuteczną ochronę przed ewentualnymi katastrofami budowlanymi wynikającymi z tych specyficznych właściwości.

Dla pełniejszego wyjaśnienia mechanizmu osiadania zapadowego wykonano badania właściwości fizycznych, składu mineralnego oraz analizę mikrostrukturalną. Do badań wytypowano próbki lessów młodszych (LM) z obszaru Wzgórz Trzebnickich i Płaskowyżu Głubczyckiego (ryc. 1).

Badane lessy młodsze datowane są na zlodowacenie północnopolskie – stadiu Wisły (Meister, 1935; za: Szponar, 1993). Akumulowane były w środowisku perylgacjalnym: chłodnym i suchym. Ze względu na wyżynną i urozmaiconą rzeźbę terenu były osadzane głównie w facji zboczowej. Przeszkody orograficzne spowodowały, że w tzw. zaciszach wiatrowych gromadził się pył niesiony na niewielkich wysokościach, na których odczuwalne były zaburzenia aerodynamiczne powodowane przez daną przeszkodę (Różycki, 1972). Po zakończeniu procesu sedimentacji lessy te podlegały kongliflukcji i procesom splukiwania. Omawiane lessy należą do mało węglanowych, co może świadczyć o wilgotnym klimacie i powolnej akumulacji (Burczyński, 1978).

Lessy Wzgórz Trzebnickich charakteryzują się bardzo jasną barwą i niską wilgotnością. Są lekko smugowane. W części spągowej spotyka się warstwowanie



Ryc. 1. Rozmieszczenie lessów w Polsce (Maruszczak, 1991): A – Wyżyna Lubelska, B – Wyżyna Kielecko-Sandomierska, C – Wyżyna Krakowsko-Częstochowska, D – Karpaty i przedgórze, E – Sudety i Przedgórze Sudeckie (Grabowska-Olszewska, 1998)

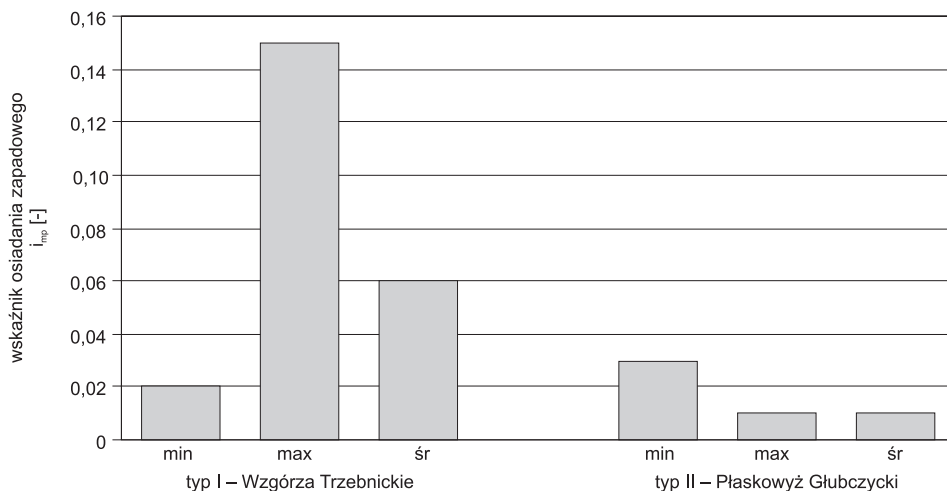
Fig. 1. Distribution of loesses in Poland (Matuszczak, 1991): A – Lublin Upland, B – Kielce-Sandomierz Upland, C – Kraków-Częstochowa Upland, D – Carpathian Foreland Zone, E – Sudetic Foreland Zone (Grabowska-Olszewska, 1998)

podkreślane obecnością cienkich soczewek i warstewek ostrokrawędzistych i słabo obtoczonych piasków pylastych. Bardzo często występują nagromadzenia węglanu wapnia w postaci naskorupień lub kukielek węglanowych oraz wytrącenia żelaza, które tworzą delikatne smugi bądź mają wyraźnie koncentryczną budowę.

Lessy Płaskowyżu Głubczyckiego mają zabarwienie znacznie ciemniejsze i są bardziej wilgotne. Jest to wynik większego udziału frakcji iłowej w składzie granulometrycznym. Charakteryzują się jeszcze mniejszą zawartością węglanów niż lessy Wzgórz Trzebnickich. Oznaczałoby to, że im bardziej na południowy zachód, tym bardziej wilgotny klimat i powolne tempo sedymentacji. Powszechnie występują natomiast nagromadzenia związków żelazisto-manganowych, których powstanie może wiązać się z wodami gruntowymi współczesnymi i starszymi (Jersak, 1972). Lessy Płaskowyżu Głubczyckiego na ogół są osadami zredeponowanymi. Wielu badaczy ten typ lessu zalicza do tzw. glin lessopodobnych.

Bardziej ilasty charakter lessów Płaskowyżu Głubczyckiego potwierdziły badania składu granulometrycznego (ryc. 2). Ze względu na zróżnicowaną litologię badane lessy pogrupowano na typy i podtypy litologiczne:

- typ I – lessy Wzgórz Trzebnickich:
 - podtyp Ia – pyły, pyły piaszczyste i piaski gliniaste¹ (fi: 8–10% i f π : 22–73%),
 - podtyp Ib – gliny, gliny zwięzłe, gliny pylaste i gliny pylaste zwięzłe (fi: 12–24% i f π : 33–67%),
- typ II – lessy Płaskowyżu Głubczyckiego:
 - podtyp IIa – gliny i gliny pylaste (fi: 11–20% i f π : 54–69%),
 - podtyp IIb – gliny zwięzłe, gliny pylaste zwięzłe i gliny piaszczyste zwięzłe (fi: 21–28%, f π : 32–69%).



Ryc. 2. Wartości wskaźnika osiadania zapadowego lessów typu I i II

Fig. 2. Collapsing coefficient value for loesses type I and II

¹ Rodzaje lessu na podstawie trójkąta Fereta.

Właściwości fizyczne. Lessy typu I mają niższe wartości wilgotności, gęstości objętościowej i granic konsystencji oraz wyższą porowatość w porównaniu z typem II. Osady ze Wzgórz Trzebnickich charakteryzują się niższą hydrofilnością, co z pewnością wynika z ich niewielkiej spoistości. Natomiast średnio spoiste lessy Płaskowyżu Głubczyckiego intensywniej wiążą wodę, są bardziej plastyczne i nie będą łatwo ulegały procesowi osiadania zapadowego.

Skład mineralny. Badanie wykonano metodą derywatograficzną. Zawartość minerałów ilastych lessów typu I nie przekracza na ogół 10%. Wyjątek stanowią próbki pobrane z warstw lessu zglinionego – w nich udział minerałów ilastych wynosi maksymalnie 17%. W próbkach tych dominuje beidellit (12–15%), natomiast kaolinit pełni rolę podrzędną (3–5%). Oprócz powszechnie występującego getytu (0,6–3%) w śladowych ilościach występuje syderyt (0,1–0,2%). W pozostałych, mniej ilastych próbkach minerałem dominującym jest illit (5,3–9,1%), a podrzędnym beidellit (do 1%). Kaolinit występuje w śladowych ilościach. Oprócz getytu i syderytu w kilku próbkach zarejestrowano kalcyt (3,6–8,1%). Zawartość minerałów ilastych w lessach typu II jest znacznie większa i zróżnicowana: waha się od 15 do 28%. Minerałem głównym jest illit (18–24%) z współwystępującym beidellitem (3–5%) oraz kaolinitem (do 1,5%). Oprócz getytu (3–4%) nie zarejestrowano innych minerałów.

Osiadanie zapadowe. Pierwsze monografie, których autorzy na podstawie badań laboratoryjnych ocenili wielkość osiadania zapadowego, ukazały się w latach 60. (Grabowska-Olszewska, 1963; Kolasa, 1963; Malinowski, 1964). Wzrost zainteresowania zdolnością lessów do deformacji objętościowych wynikał z występowania awarii obiektów budowlanych posadowionych na lessach m.in. w Sandomierzu, Jarosławiu i Kłodzku.

Wielu naukowców na całym świecie podejmowało próby wyjaśnienia mechanizmów determinujących proces osiadania zapadowego. Wiązano go przede wszystkim z niestabilną strukturą, ale za istotne uznawano również: pozycję stratygraficzną (problem osiadania wiąże się bowiem tylko z lessami młodszymi LM), genezę, litologię, stopień nasycenia wodą w stanie naturalnym. W badaniach wykazano, iż niestabilność struktury powoduje utratę spójności (następuje przerwanie wiązań strukturalnych) i kilkakrotne zmniejszenie wartości kąta oporu na ścinanie (Malinowski, 1971).

Miarą intensywności zjawiska jest wskaźnik osiadania zapadowego i_{mp} (PN-88/B-04481) oznaczany w warunkach jednoosiowego (edometrycznego) odkształcenia i obliczany wg wzoru:

$$i_{mp} = \frac{h' - h''}{h_o} [-]$$

gdzie:

h' – wysokość próbki nienaruszonej w mm po stabilizacji odkształceń przy naświetleniu całkowitym σ_{zt} , odpowiadającym ciężarowi gruntu i budowli przed nasyceniem wodą (200 kPa),

h'' – wysokość tej próbki w mm przy tym samym naprężeniu (200 kPa), ale po całkowitym nasyceniu wodą,

h_0 – wysokość próbki w mm po stabilizacji odkształceń przy naprężeniu pierwotnym σ_{z1} odpowiadającym ciężarowi gruntu na rozpatrywanej głębokości.

W zależności od wartości, jaką wykazują, lessy sklasyfikowano jako:

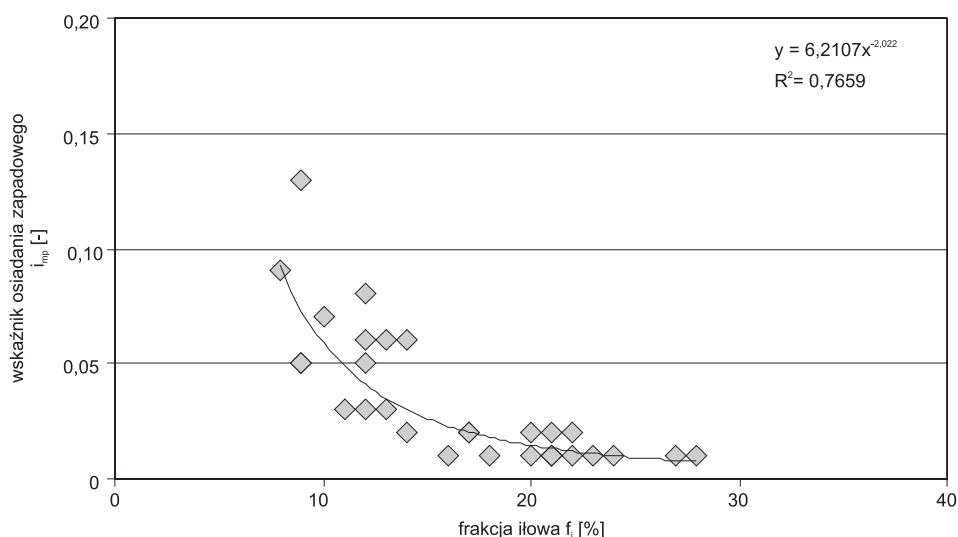
- **zapadowe:** o $i_{mp} > 0,02$ [-]; o strukturze nietrwalej, wrażliwej na działanie wody;
- **niezapadowe:** o $i_{mp} \leq 0,02$ [-]; o strukturze trwałej, niewrażliwej na działanie wody.

Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, iż osiadaniu ulegają przede wszystkim lessy młodsze typu I (ryc. 2). Średnia wartość ($i_{mp\ \acute{s}r} = 0,06$) jest kilka razy wyższa niż dla lessów typu II ($i_{mp\ \acute{s}r} = 0,01$). Najwyższe wartości wskaźnika osiadania zapadowego uzyskano dla próbki podtypu Ib – $i_{mp} = 0,15$, najniższe dla IIa i IIb – $i_{mp} = 0,01$.

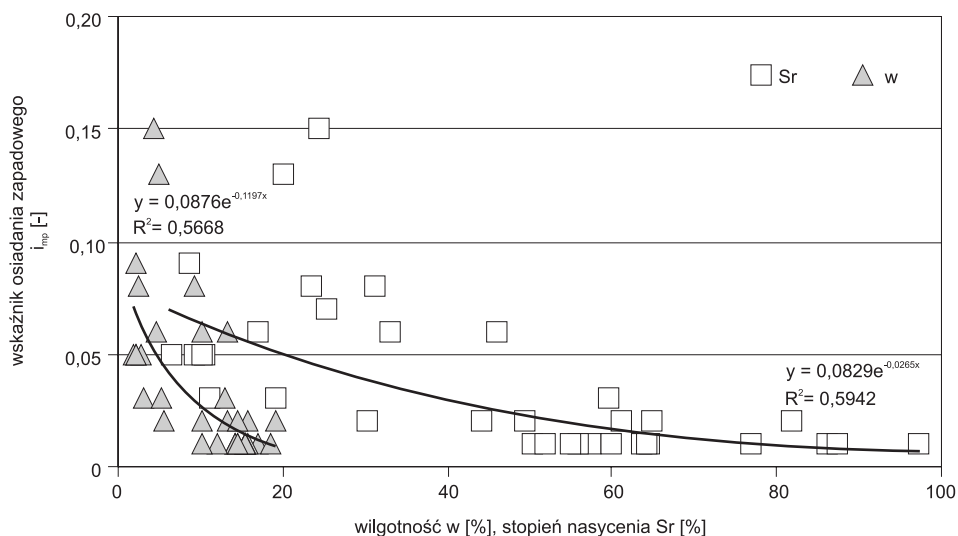
Z analizy wartości wskaźnika osiadania zapadowego i parametrów fizycznych wynika następująca tendencja: im niższa zawartość frakcji ilowej, im niższa wilgotność i stopień nasycenia, tym wyższa wartość wskaźnika osiadania zapadowego i_{mp} (ryc. 3, 4).

Nie stwierdzono natomiast istnienia zależności pomiędzy osiadaniem zapadowym a porowatością. Jej brak potwierdzają badania wykonane w porozymetrze rtęciowym i opisane przez Grabowską-Olszewską (1998).

Lessy Wzgórz Trzebnickich, charakteryzujące się niewielką zawartością minerałów ilastych i niższą wartością stopnia nasycenia, są gruntami zapadowymi. Bardziej spoiste lessy Płaskowyżu Głubczyckiego można uznać za stabilne.



Ryc. 3. Zależność wskaźnika osiadania zapadowego i_{mp} od zawartości frakcji ilowej f_i
Fig. 3. Relationship between coefficient of collapsibility i_{mp} and clay fraction f_i



Ryc. 4. Zależność wskaźnika osiadania zapadowego i_{mp} od wilgotności w i stopnia nasycenia Sr
 Fig. 4. Relationship between coefficient of collapsibility i_{mp} and water content w and degree of saturation Sr

Z wykonanych badań wynika, iż zarówno pozycja stratygraficzna, litologia, jak i skład mineralny wpływa na wielkość osiadania zapadowego. Najważniejsze jednak wyjaśnienie przyczyn osiadania zapadowego przyniosły badania mikrostrukturalne w skaningowym mikroskopie elektronowym SEM, pozwalające określić m.in. rodzaj mikrostruktury i połączeń międzyziarnowych i międzyagregatowych.

Badania wykonano na próbkach w stanie naturalnym i po oznaczeniu wartości wskaźnika osiadania zapadowego w edometrach na próbkach osiadających i nie osiadających zapadowo. Stwierdzono, iż wszystkie charakteryzują się mikrostrukturą szkieletową, która ze względu na niewielką gęstość, z jaką są ułożone wszystkie elementy strukturalne oraz niską wytrzymałość mostków ilastych na kontaktach ziaren pylistych i piaszczystych, jest szczególnie wrażliwa na obciążenie przy pełnym nasyceniu (Grabowska-Olszewska, 1982; Derbyshire, 1983).

Z analizy mikrostrukturalnej wynika, iż próbki osiadające po badaniu i_{mp} charakteryzują się znacznie obniżoną wartością porowatości, niższą ilością porów, redukcją całkowitego pola powierzchni i obwodu oraz wzrostem średniej średnicy porów. W próbkach nie osiadających zapadowo stwierdzono podobne zmiany, ale redukcja wartości była niewielka.

W celu identyfikacji rodzaju połączeń (ilaste, żelazisto-krzemionkowe, cementacyjne) wykonano dodatkowo analizę składu chemicznego za pomocą Energy Dispersive Spektrometry (EDS). Otrzymany skład chemiczny (tab. 1) został porównany z teoretycznym składem chemicznym poszczególnych minerałów, w tym minerałów ilastych.

Połączenia w lessach Wzgórz Trzebnickich – typ I – charakteryzują się wysoką zawartością krzemionki (40–60%) i niewielką ilością tlenku żelaza, co wskazuje na

Tabela 1. Uśredniony skład połączeń międzyagregatowych próbki typu I i typu II
 Table 1. Average chemical composition connectors between aggregate in loesses type I and type II

Tlenki	Udział związków chemicznych [%]	
	Typ I	Typ II
SiO ₂	57,70	56,06
TiO ₂	7,96	1,00
Al ₂ O ₃	15,86	11,67
FeO	9,07	25,28
MnO	0,00	0,00
MgO	1,56	1,45
CaO	5,21	2,25
Na ₂ O	0,43	0,00
K ₂ O	2,21	3,28

obecność głównie połączeń ilastych. Połączenia w lessach Płaskowyżu Głubczyckiego – typ II – wykazują wysoką zawartość krzemionki i tlenku żelaza, co świadczy o występowaniu przede wszystkim połączeń żelazisto-krzemionkowych.

Na podstawie wykonanych analiz udało się potwierdzić, iż zapadowość lessów jest głównie zależna od rodzaju połączeń, jakie występują w mikrostrukturze szkieletowej. Połączenia ilaste typu mostek lub podpora są odpowiedzialne za załamanie struktury, jakie następuje przy jednoczesnym nasyceniu i obciążeniu osadu.

Na podstawie wykonanych badań można stwierdzić, iż:

- lessy Wzgórz Trzebnickich związane z północną strefą lessową, do której należą lessy środkowej Polski (Różycki, 1976), charakteryzują się niską zawartością frakcji iłowej, niższym udziałem minerałów ilastych, co wpływa na ich niewielką wilgotność, zwartą konsystencję oraz niską hydrofilność; z reguły osiągają one wartości wskaźnika osiadania zapadowego $i_{mp} > 0,02$, co wskazuje na ich nietrwałą strukturę względem działania wody;
- lessy Płaskowyżu Głubczyckiego związane ze strefą południową stanowiącą obrzeżenie pasm górskich (Różycki, 1976) charakteryzują się podwyższoną zawartością frakcji iłowej, wyższym udziałem minerałów ilastych, stosunkowo wysoką wilgotnością, półzwartą lub twaroplastyczną konsystencją i wyższą hydrofilnością; wykazują wartości wskaźnika osiadania zapadowego $i_{mp} \leq 0,02$, co wskazuje na ich trwałą strukturę;
- w lessach ulegających osiadaniu zapadowemu występowały połączenia ilaste między ziarnami i agregatami, a w nie osiadających zapadowo połączenia mają charakter żelazisto-krzemionkowy;
- na podstawie ilościowej analizy mikrostrukturalnej stwierdzono, że próbki po osiadaniu zapadowym charakteryzują się mniejszą porowatością i ilością porów oraz wzrostem średniej średnicy porów.

Literatura

- Buraczyński J., 1978. Litologia i stratygrafia lessów Niziny Środkowej Renu. Rozprawa habilitacyjna. Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin.
- Derbyshire E., 1983. Origin and characteristics of some Chinese loess at two locations in China. W: Brookfield M.E, Ahlbrandt T.S. (ed.), *Eolian Sediments and Processes*, Elsevier, s. 69–90.
- Grabowska-Olszewska B., 1963. Własności fizyczno-mechaniczne utworów lessowych pół. i pół.-wsch. części świętokrzyskiej strefy lessowej na tle ich litologii i stratygrafii oraz warunków występowania. *Biuletyn Geol.* 3: 68–183.
- Grabowska-Olszewska B., 1982. Mikrostructural sensitivity of loesses. *Bull. Acad. Pol. Sc. Ser. Sc. Terre* 3 (3): 181–188.
- Grabowska-Olszewska B., 1998. Metody bezpośredniego badania zmian deformacyjnych gruntów. Osiedlenie zapadowe. W: *Geologia stosowana. Właściwości gruntów nienasyconych*. PWN, Warszawa, s. 71–83.
- Jersak J., 1972. Charakter gleb kopalnych w lessach i ich znaczenie paleogeograficzne i stratygraficzne. Materiały z krajowego sympozjum: „Litologia i stratygrafia lessów w Polsce”, Lublin, s. 21–36.
- Kolasa M., 1963. Geotechniczne własności lessów okolicy Krakowa. *Wyd. Geol.*, Warszawa.
- Malinowski J., 1964. Budowa geologiczna i właściwości geotechniczne lessów Roztocza i Kotliny Zamojskiej między Szczepczyszynem i Turobinem. *Pr. Inst. Geol.* 41.
- Malinowski J., 1971. Badania geologiczno-inżynierskie lessów. *Wyd. Geol.*, Warszawa.
- Maruszczak H., 1991. Podstawowe profile lessów w Polsce. Uniwersytet M. Curie-Skłodowskiej, Lublin.
- PN-88/B-04481– Grunty budowlane, badania próbek.
- Różycki S.Z., 1972. Zagadnienia warunków powstawania lessów. Materiały z krajowego sympozjum: „Litologia i stratygrafia lessów w Polsce”, Lublin, s. 77–92.
- Różycki S.Z., 1976. Zagadnienia warunków powstawania lessów. W: *Z badań czwartorzędu w Polsce* 18, *Biuletyn* 297. *Wyd. Geol.*, Warszawa.
- Szponar A., 1993. Wzgórza Trzebnickie: charakterystyka fizyczno-geograficzna. W: Kida J., Jary Z. (red.), *Lessy Płaskowyżu Głubczyckiego i Wzgórz Trzebnickich. Przewodnik II Seminarium Lessowego, Wrocław-Jakubowice 21–23 X 1993*.