

*Uniwersytet Jagielloński*  
*Wydział Biologii i Nauk o Ziemi*  
*Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej*

Wojciech Szymański

**Poziom *fragipan* i jego rola w kształtowaniu właściwości  
gleb pływych Pogórza Karpackiego**

*Praca doktorska wykonana  
pod kierunkiem Prof. dr hab. Stefana Skiby*

Kraków 2011

*Składam serdeczne podziękowania  
Panu Prof. dr hab. Stefanowi Skibie  
za cenne uwagi i życzliwość w trakcie  
pisania pracy.*

*Dziękuję dr Michałowi Skibie  
za pomoc w analizach mineralogicznych.*

*Dziękuję Kolegom  
dr hab. Markowi Drewnikowi, dr Marcinowi Żyle,  
dr Andrzejowi Kacprzakowi oraz  
mgr Michałowi Nędzce za wszelką okazaną pomoc.*

*Bardzo serdecznie dziękuję  
mojej Żonie Magdalenie za pomoc w pracach terenowych  
oraz wsparcie podczas pisania pracy.*

## Spis treści

1. Wstęp .....	4
1.1. Definicja i występowanie poziomu <i>fragipan</i> .....	4
1.2. Poglądy na genezę i ewolucję poziomu <i>fragipan</i> .....	5
1.3. Wpływ poziomu <i>fragipan</i> na właściwości gleb .....	8
1.4. Wpływ poziomu <i>fragipan</i> na sposób krążenia wody w krajobrazie .....	9
1.5. Geneza i systematyka gleb płowych .....	9
2. Cel, zakres i metodyka badań .....	12
3. Środowisko przyrodnicze obszaru badań .....	16
3.1. Położenie geograficzne i podział fizycznogeograficzny .....	16
3.2. Budowa geologiczna .....	18
3.3. Rzeźba terenu i procesy morfogenetyczne .....	21
3.4. Warunki klimatyczne .....	22
3.5. Szata roślinna .....	23
4. Wyniki badań i dyskusja .....	25
4.1. Lokalizacja odkrywek glebowych .....	25
4.2. Morfologia badanych gleb .....	28
4.3. Uziarnienie .....	32
4.4. Zawartość węgla organicznego i materii organicznej .....	39
4.5. Właściwości chemiczne .....	44
4.5.1. Odczyn .....	44
4.5.2. Zawartość pedogenicznych form żelaza i glinu .....	45
4.6. Właściwości fizyczne .....	49
4.6.1. Gęstość fazy stałej .....	49
4.6.2. Gęstość objętościowa .....	49
4.6.3. Porowatość ogólna .....	53
4.6.4. Kapilarna pojemność wodna .....	54
4.6.5. Pojemność powietrzna .....	55
4.6.6. Odporność penetracji gleby .....	55
4.6.7. Pęcznienie i kurczenie materiału glebowego .....	56
4.6.8. Wodoodporność agregatów glebowych .....	63
4.7. Właściwości mikromorfologiczne .....	63
4.7.1. Mikrostruktura i porowatość .....	64
4.7.2. Skład mineralny i petrograficzny masy glebowej .....	68
4.7.3. Cechy mikromasy glebowej ( <i>b-fabric</i> ) .....	70
4.7.4. Materia organiczna i jej formy .....	72
4.7.5. Cechy pedogenetyczne .....	73
4.8. Skład mineralny .....	86
5. Podsumowanie .....	98
6. Wnioski .....	101
7. Bibliografia .....	102
8. Aneks .....	115
8.1. Skład granulometryczny .....	115
8.2. Opisy profili glebowych .....	118
8.3. Opisy mikromorfologiczne .....	132
9. Spis tabel .....	153
10. Spis rycin i fotografii .....	153

## 1. Wstęp

Gleby płowe są przeważającymi glebami w obszarze Pogórza Karpackiego. Geneza tych gleb związana jest z procesem *lessivazu*, a więc grawitacyjnym przemieszczeniem najdrobniejszej frakcji koloidalnej wraz z wodą opadową w głąb profilu glebowego. Rezultatem tego procesu jest formowanie zwięzłych, słabo przepuszczalnych poziomów iluwialnych. Poziomy te odznaczają się znaczną twardością w stanie suchym oraz kruchością (łamliwością) w stanie wilgotnym, co nadaje im cechy określające poziom *fragipan*, który jest szeroko opisywany i szczegółowo badany w Stanach Zjednoczonych i w Europie Zachodniej. Poziom *fragipan*, ze względu na dużą gęstość objętościową i niską przewodność hydrauliczną, stanowi poważną barierę dla infiltracji wody opadowej oraz rozwoju korzeni roślin i dlatego wzbudza duże zainteresowanie wśród gleboznawców. W Polsce, problem genezy, ewolucji i znaczenia poziomu *fragipan* nie był dotychczas poruszany, pomimo, że poziom ten pełni ważną rolę w funkcjonowaniu środowiska przyrodniczego oraz wpływa na gospodarkę człowieka. Występowanie poziomu *fragipan* w glebach Pogórza Karpackiego ma szczególne znaczenie zarówno ze względów rolniczych jak i hydrologicznych.

### 1.1. Definicja i występowanie poziomu *fragipan*

Pojęcie poziomu *fragipan* zostało wprowadzone do literatury na początku lat 40. XX w., kiedy to Winters po raz pierwszy użył tego terminu dla określenia poziomów o dużej gęstości objętościowej w lessach i osadach koluwalnych w Stanach Zjednoczonych (Lindbo i Veneman 1989). Inne źródła podają, że termin „*fragipan*” został wprowadzony do literatury naukowej przez G.D. Smitha w 1946 r. jako określenie podpowierzchniowych poziomów genetycznych gleb ograniczających infiltrację wody i penetrację korzeni roślin (Ciolkosz i in. 1995). Wcześniej, poziomy glebowe odznaczające się takimi właściwościami były różnie nazywane, m.in. *hardpans*, *silt pans*, *X-layers* bądź *indurated layers* (Franzmeier i in. 1989).

Nazwa poziomu *fragipan* wywodzi się w części z języka łacińskiego, gdzie „*fragilis*” oznacza kruchy, łamliwy, a „*frangere*” kruszyć się, łamać. Natomiast drugi człon „*pan*” pochodzi z języka angielskiego i oznacza warstwę geologiczną. W literaturze międzynarodowej, poziom *fragipan* jest definiowany jako podpowierzchniowy, naturalny poziom diagnostyczny nie posiadający żadnych laboratoryjnych kryteriów wyróżniających. Identyfikacja poziomu *fragipan* jest możliwa tylko w terenie w oparciu o szereg kryteriów morfologicznych (nierzadko subiektywnych) (Hudnall i Williams 1989; Witty i Knox

1989). Do terenowych kryteriów identyfikacyjnych należą: miąższość co najmniej 15 cm; gruba lub bardzo gruba struktura pryzmatyczna, kolumnowa lub blokowa; duża twardość w stanie suchym, a przy wilgotności zbliżonej do połowej pojemności wody łamliwość (kruchość). Poziom *fragipan* (w międzynarodowej klasyfikacji WRB – *fragic*) nie wykazuje scementowania w warunkach przemennego zwilżania i wysychania, a powietrznie suche agregaty o średnicy 5-10 cm całkowicie rozpadają się lub pękają po zanurzeniu w wodzie. Zawiera on niewielkie ilości węgla organicznego (poniżej 0,5%) oraz nie zawiera węglanów. Wykazuje on oznaki pedogenezy w postaci struktury glebowej, nacieków i wyściółek ilastych oraz kongrecji żelazisto-manganowych. W poziomie tym nie występują korzenie (IUSS Working Group WRB 2006; Soil Survey Staff 2010). W morfologii profilu glebowego poziomy *fragipan* odznacza się zazwyczaj występowaniem jasnoszarych (prawie białych) języków zaciekowych nawiązujących do pionowych szczelin. W przekroju horyzontalnym języki te łączą się ze sobą tworząc sieć w kształcie poligonów (Nikiforoff 1955; Ajmone-Marsan i in. 1994; Aide i Marshaus 2002; Szymański i Skiba 2007). Poziomy *fragipan* występują głównie w umiarkowanych szerokościach geograficznych kontynentu Ameryki Północnej i Europy (Witty i Knox 1989; Ajmone-Marsan i in. 1994). Aktualnie prowadzone są badania nad występowaniem, genezą i ewolucją poziomu *fragipan* w glebach płowych Pogórza Karpackiego w Polsce oraz Przedkarpacia i Zakarpacia na Ukrainie (Szymański i Skiba 2007; Szymański i in. 2008; Pol'chyna i in. 2008; Pankiv 2009).

## **1.2. Poglądy na genezę i ewolucję poziomu *fragipan***

Jednym z ważniejszych problemów dotyczących poziomu *fragipan* jest jego geneza, a więc ustalenie czy poziom ten jest pochodzenia geologicznego, czy powstał w wyniku procesów glebotwórczych. Istnieje kilka teorii opowiadających się za procesami geologicznymi, jednak większość badaczy uznaje poziom *fragipan* za efekt pedogenezy. W literaturze nie brakuje też poglądów pośrednich łączących geogenezę z pedogenezą. Procesem geogenicznym doprowadzającym do powstania zagęszczonego i upakowanego poziomu jest transport materiału macierzystego przez łądolód w postaci przesyconego wodą osadu oraz nacisk mas lodu powodujący kompaktację materiału. Jednoznaczne zaklasyfikowanie twardego i zwięzłego poziomu glebowego jako poziomu *fragipan* w glebach obszarów polodowcowych nie jest sprawą oczywistą i temu problemowi wiele uwagi poświęcają badacze amerykańscy (m.in. Grossman i Carlisle 1969; Boulton i Paul 1976; Lindbo i Veneman 1989, 1993; Witty i Knox 1989), a także szwedzcy (Lyford

i Troedsson 1973). Bryant (1989) zaproponował teorię hydrokonsolidacji dla wyjaśnienia genezy twardych, nieprzepuszczalnych poziomów glebowych w osadach lessowych. Według tego autora mechanizm powstawania takich poziomów związany jest z transportem luźnego materiału silnie przesyconego wodą (np. w warunkach klimatu peryglacjalnego), który w takim stanie, ma tendencję do kolapsu (osiadania zapadowego) pod własnym ciężarem, a następnie przesycha i odpręża się. W wyniku tych procesów powstaje pryzmatyczna struktura, a pojedyncze pryzmy ograniczone są pionowymi szczelinami, wzdłuż których rozwijają się języki zaciekowe. Teorię Bryanta popierają wyniki badań przeprowadzonych we Włoszech (Certini i in. 2007), a także praca Assalay'a i współpracowników (1998) w Wielkiej Brytanii. Ku teorii Bryanta skłaniają się też w pewnym stopniu Ciolkosz i współpracownicy (1995), James i współpracownicy (1995) oraz Scalenghe i współpracownicy (2004).

Drugą grupę teorii dotyczących genezy poziomu *fragipan* stanowią poglądy związane z procesami glebotwórczymi. Według wielu autorów (m.in. Knox 1957; Lindbo i Veneman 1986; Aide i Marshaus 2002) głównym procesem glebotwórczym odpowiedzialnym za wzrost gęstości poziomu podpowierzchniowego jest proces płowienia (*lessivaz*), czyli grawitacyjne przemieszczenie najdrobniejszej frakcji iłu koloidalnego wraz z wodą opadową w głąb profilu glebowego. Powoduje to wypełnianie wolnych przestrzeni (porów, kanalików i szczelin) naciekowym iłem oraz wzrost gęstości objętościowej. Harlan i in. (1977), Hallmark i Smeck (1979), Franzmeier i in. (1989) oraz Duncan i Franzmeier (1999) przypisują główną rolę w powstawaniu poziomu *fragipan* substancjom amorficznym, takim jak: wolna krzemionka i związki glinu i żelaza. Substancje te przemieszczane są wraz z wodą opadową w głąb profilu glebowego, gdzie spajają ziarna mineralne doprowadzając do powstania twardego i zagęszczonego poziomu *fragipan*. Marsan i Torrent (1989) wykazali natomiast, że poziomy *fragipan* są lepiej wykształcone, gdy zachodzi w nich akumulacja goethytu. Karathanasis zwrócił uwagę na wpływ roztworów glebowych w powstawaniu poziomu *fragipan* (Karathanasis 1987, 1989). Według tego autora, słaba przepuszczalność poziomu *fragipan* powoduje długotrwałe wzajemne oddziaływanie roztworów glebowych z fazą stałą gleby i ustalanie równowagi dynamicznej pomiędzy tymi fazami. Powstałe w ten sposób nowe fazy mineralne są przyczyną powstawania poziomu *fragipan*. Jeszcze inną koncepcję rozwoju poziomu *fragipan* zaproponowali Smeck i współpracownicy (1989). Według tych autorów poziom ten wykształca się w sąsiedztwie tzw. frontu wietrzenia. Ma to miejsce w dwóch przypadkach. Pierwszy związany jest z przemieszczeniem produktów wietrzenia (głównie wtórnych minerałów

ilastych, półtoratlenków glinu i żelaza oraz amorficznej krzemionki) do dolnych, słabiej zwietrzałych poziomów glebowych, w których wytrącają się i powodują powstanie zagęszczonego, słabo przepuszczalnego poziomu. Drugi przypadek odnosi się do sytuacji płytkiego pogrzebania silnie zwietrzalej części gleby przez niezwietrzały bądź słabo zwietrzały materiał. Przemieszczenie związków mineralnych z materiału powierzchniowego do głębszych, silnie zwietrzałych poziomów powoduje ich strącanie prowadząc do powstania zagęszczonego poziomu *fragipan*. Weisenborn i Schaetzl (2005) badając genezę i stopień wykształcenia poziomu *fragipan* w glebach wytworzonych z glin polodowcowych opracowali hipotetyczny model powstawania i ewolucji tego poziomu na podstawie połączenia dwóch teorii (hydrokonsolidacji Bryanta i frontu wietrzenia zaproponowana przez Smecka i współpracowników).

Odrebnym aspektem dotyczącym genezy poziomu *fragipan* jest okres, w którym zaczęły się tworzyć struktury *glossic* (świadczące o degradacji poziomu *fragipan*) oraz próba rozstrzygnięcia czy jest to efekt współczesnych procesów glebotwórczych, czy też pozostałość procesów wcześniejszych. Według niektórych autorów (FitzPatrick 1956; Van Vliet i Langohr 1981; Langohr i Sanders 1985; Van Vliet-Lanoë 1998) pionowe języki zaciekowe są relikdami, kopalnymi strukturami powstałymi w klimacie peryglacjalnym na skutek działalności mrozu. Następnie, po ociepleniu klimatu i wytopieniu lodu, materiał z poziomu nadległego podlegał wsypywaniu w istniejące szczeliny tworząc języki zaciekowe. Inni badacze (m.in. Carlisle 1954; Grossman i Carlisle 1969; Ciolkosz i in. 1995; Attou i Bruand 1998; Ciolkosz i Waltman 2000) uważają, że pionowe języki zaciekowe w poziomie *fragipan* powstają w wyniku współczesnych procesów pęcznienia i kurczenia materiału na skutek zmian wilgotnościowych w glebie. Procesy takie prowadzą do powstawania pionowych szczelin, które są następnie wykorzystywane przez infiltrującą wodę opadową i roztopową. Perkolująca woda wypłukuje produkty wietrzenia z materiału znajdującego się w sąsiedztwie szczelin, co w efekcie powoduje powstanie wybielonych struktur *glossic*.

W Polsce problemem genezy poziomu *fragipan* zajmowało się niewielu gleboznawców. Zagadnieniem rozwoju pionowych języków zaciekowych i nieco mniejszych zacieków „palczastych” w glebach płowych zaciekowych wykształconych z glin morenowych w Wielkopolsce zajmował się w swojej pracy doktorskiej Szałata (2006). Autor jednak stwierdził, że jednoznaczne określenie genezy poziomu *glossic* nie jest możliwe, ponieważ może on być efektem zarówno procesów geologicznych (działalność zamrozu w klimacie peryglacjalnym) jak i procesów glebotwórczych (*lessivaż*,

ferroliza). Z kolei Szymański i Skiba (2007) oraz Szymański i in. (2008) w swoich pracach zwrócili uwagę na problem genezy poziomu *fragipan* w glebach płowych Pogorza Karpackiego. Stwierdzili, że geneza tego poziomu jest związana z procesem *lessivażu*, który doprowadził do powstania iluwialnego poziomu *argillic*, a rozwój struktur zaciekowych jest najprawdopodobniej efektem procesów pęcznienia i kurczenia materiału na skutek cyklicznych zmian wilgotnościowych w glebie. Nie wykluczają oni jednak, że języki zaciekowe mogły się tworzyć pod wpływem procesów mrozowych w warunkach klimatu peryglacjalnego.

### 1.3. Wpływ poziomu *fragipan* na właściwości gleb

Ważnym zagadnieniem zarówno z punktu widzenia przyrodniczego jak również gospodarczego jest wpływ poziomu *fragipan* na właściwości fizyczne i chemiczne gleb. Ciolkosz i Waltman (2000) stwierdzili, że poziom *fragipan* wyraźnie wpływa na ukorzenie roślin, a także na stosunki wodne w glebie. Występowanie zwięzłego, twardego i słabo przepuszczalnego poziomu wyraźnie ogranicza rozwój korzeni roślin i pogarsza stosunki wodno-powietrzne w poziomach leżących powyżej tego poziomu. Doprowadza do okresowej saturacji poziomów powierzchniowych i odgórnego oglejenia, które przejawia się w morfologii profilu glebowego w postaci wybielonych poziomów stagnoglejowych. Podobnie uważają Daniels i Fritton (1994) oraz Szymański i Skiba (2007). Prace Brinkmana (1970) oraz Van Ransta i De Conincka (2002) dotyczą procesu wietrzenia minerałów ilastych w glebach przesyconych sezonowo wodą. Według tych autorów, struktura krystaliczna minerałów ilastych jest niszczone w wyniku cyklicznego utleniania i redukcji (proces ferrolizy) jaka zachodzi między innymi nad poziomem *fragipan*. Proces ferrolizy wynika z działalności mikroorganizmów glebowych rozkładających materię organiczną, które w okresie stagnowania wody na poziomie *fragipan* nie mają dostępu do tlenu i korzystają z innych utleniaczy. W ten sposób żelazo  $Fe^{3+}$  jest redukowane przez mikroorganizmy na drugi stopień utlenienia (do  $Fe^{2+}$ ) i staje się bardziej mobilne. Gdy zredukowane żelazo dostanie się do strefy zawierającej tlen ulega ponownemu utlenieniu i strąca się w postaci  $Fe(OH)_3$ . Badania Bates'a i in. (1990), Millera i in. (1993) oraz Graveela i in. (2002) wykazały znaczne zmniejszenie liczby i wielkości korzeni roślin w poziomie *fragipan* i w poziomach nadległych. Z jednej strony autorzy ci łączą te cechy ze znacznym wzrostem gęstości objętościowej, a tym samym spadkiem porowatości ogólnej w poziomie *fragipan*, z drugiej zaś strony uważają, że jest to również efekt okresowych warunków beztlenowych ograniczających prawidłowy rozwój systemu



korzeniowego. Ciolkosz i współpracownicy (1995) podali, że wartość progowa gęstości objętościowej, która ogranicza penetrację korzeni roślin wynosi około 1,60Mg/m<sup>3</sup>.

#### **1.4. Wpływ poziomu *fragipan* na sposób krążenia wody w krajobrazie**

Badania z pogranicza gleboznawstwa i hydrologii dostarczyły wielu informacji na temat wpływu poziomu *fragipan* na krążenie wody, możliwości retencyjnych gleb i pokryw stokowych, a także erozję i dostawę materiału do koryt. Wyniki badań Gburka i współpracowników (2006) dowodzą, że występowanie poziomu *fragipan* ogranicza zdolności retencyjne gleb i możliwości infiltracji wody opadowej oraz roztopowej, a tym samym zwiększa prawdopodobieństwo wystąpienia spływu powierzchniowego prowadzącego do erozji gleb. Podobne wyniki przedstawili McDaniel i in. (2008). Wcześniejsze badania McDaniela i współpracowników (2001) udowodniły, że występowanie poziomu *fragipan* wyraźnie przyspiesza powstawanie zwierciadła wody zawieszanej, które raz utworzone szybko reaguje na roztopy i opady atmosferyczne. Badania Millera i in. (1971) w obszarze występowania gleb z poziomem *fragipan* w Stanach Zjednoczonych wykazały, że około połowa opadów atmosferycznych z okresu styczeń-czerwiec odpływa w postaci spływu śródpokrywowego. Podobnie, Needelman i współpracownicy (2004) zanotowali wyraźnie większe spływy powierzchniowe w obszarach, gdzie występują gleby z poziomem *fragipan* w porównaniu z innymi obszarami. Z kolei badania Parlange i in. (1989) oraz Day'a i jego współpracowników (1998) pokazały, że poziom *fragipan* nie stanowi tak poważnej bariery dla infiltracji wody jak wcześniej uważano. Wyniki ich badań wskazują, że dość duża ilość wody (prawie 40%) infiltruje w głąb poziomu *fragipan* i zależy od stopnia jego rozwoju, a także od liczby i rozmieszczenia pionowych szczelin. Wpływem poziomu *fragipan* na charakter krążenia wody w środowisku przyrodniczym Pogórza Karpackiego w Polsce zajmowali się m.in. Firek (1977) oraz Klimek (2000, 2005) i stwierdzili, że zwarte i twarde poziomy iluwialne w glebach tego obszaru wyraźnie zmniejszają infiltrację wody w głąb profilu glebowego przez co wyraźnie zmniejszają się ich zdolności retencyjne.

#### **1.5. Geneza i systematyka gleb płowych**

Geneza gleb płowych związana jest z procesem przemieszczania najdrobniejszej frakcji koloidalnej, wodorotlenków żelaza i glinu oraz zdyspergowanej próchnicy wraz z infiltrującą wodą ze stropowych poziomów do poziomu głębszego B, w którym zachodzi ich akumulacja (Komisja V PTG 1989). Proces płowienia (*lessivazu*) może zachodzić

dopiero po wcześniejszym odwapnieniu profilu glebowego (wyługowaniu węglanów), co sprzyja peptyzacji koloidów glebowych. Główną przyczyną dyspersji frakcji koloidalnej jest zwiększenie grubości podwójnej warstwy elektrycznej, co może wynikać ze spadku ładunku jonów wymiennych, wzrostu rozmiarów uwodnionych jonów lub spadku stężenia roztworu glebowego (Saejiew i in. 2004). Ważnym warunkiem sprzyjającym translukacji koloidów glebowych jest okresowe przesychnienie gleby, które powoduje powstawanie szczelin. Przyczynia się to do łatwiejszego pionowego przemieszczania produktów wietrzenia w profilu glebowym. Przemieszczany materiał wzdłuż porów glebowych (kanaliki pokorzeniowe, tunele wydrążone przez mikroorganizmy) oraz szczelin może z czasem doprowadzić do ich częściowego bądź całkowitego wypełnienia. W rezultacie powstaje poziom wzbogacenia we frakcję ilastą (*argillic*), który odznacza się występowaniem powłoczek (otoczek) i wypełnień ilastych na ścianach agregatów i biogenicznych kanalików, które nie zawsze są widoczne w terenie (Zasoński 1983). Tak więc proces *lessivażu* składa się z trzech etapów: dyspersji koloidów glebowych w poziomach eluwalnych, ich transportu do poziomu iluwalnego oraz akumulacji w jego obrębie. Powstanie poziomu *argillic* wykazującego drobniejsze uziarnienie może być wynikiem wyłącznie procesu *lessivaż* (Soil Survey Staff 2010; Bednarek i in. 2008). Natomiast zróżnicowanie profilu glebowego pod względem składu granulometrycznego może być spowodowane również heterogenicznością skały macierzystej, a więc nałożeniem się dwóch różnych skał na siebie. Taka sytuacja ma często miejsce w obszarach polodowcowych, gdzie powierzchniowe poziomy genetyczne zostały wykształcone z luźniejszych materiałów (piaski gliniaste), przykrywających głębsze, gliniaste poziomy glebowe. Bardzo często na zróżnicowanie litologiczne, będące efektem procesów geologicznych zachodzących w klimacie peryglacjalnym, nakłada się proces glebotwórczy (*lessivaż*) utrudniający jednoznaczne określenie genezy takich gleb (Szałata 2006; Świtoniak 2006, 2008).

Gleby płowe (*lessives*) jako jednostka systematyczna uwzględniana jest w systematyce gleb Polski od połowy lat sześćdziesiątych XX wieku. Wcześniej, gleby te zaliczane były do typu gleb bielcowych i podtypu gleb pseudobielcowych (Komisja V PTG 1956). Gleby płowe w randze typu wydzielone zostały dopiero w Systematyce gleb Polski z 1989 r. Poziomem diagnostycznym dla tych gleb jest podpowierzchniowy poziom iluwalny *argillic*. Gleby płowe wytworzone są z utworów różnego pochodzenia geologicznego (glin zwałowych, pyłów, rzadziej ilów oraz piasków gliniastych). Pozbawione są węglanów oraz

wykazują najczęściej kwaśny odczyn. Zawartość materii organicznej jest niska z uwagi na szybko zachodzący proces mineralizacji (Komisja V PTG 1989).

W Systematyce gleb Polski z 2008 r. (Bednarek i in. 2008) gleby płowe zostały wyróżnione w randze rzędu gleb płożoziemnych. Poziomem diagnostycznym jest również poziom iluwialny *argillic*. W dziale gleb płożoziemnych wydzielono 3 typy: a) gleby płowe, b) gleby płowe zaciekowe i c) gleby płowe podmokłe.

W międzynarodowej systematyce WRB (World Reference Base for Soil Resources 2006) (IUSS Working Group 2006) gleby płowe występują pod nazwą *Luvisols* z diagnostycznym poziomem podpowierzchniowym *argic*. Poziom *argic* cechuje się zwiększoną zawartością frakcji koloidalnej oraz niższą porowatością i przepuszczalnością niż poziomy nadległy, a także ciemniejszym brązowym zabarwieniem. *Luviole* dzielą się na kilka podgrup (m.in.: *Gleyic Luvisol*, *Haplic Luvisol*, *Cutanic Luvisol*, *Lammellic Luvisol* oraz *Stagnic Luvisol*). Odrębną grupę stanowią *Albeluvisole*, w których występuje poziom *albic*. Poziom ten powstaje w wyniku okresowego stagnowania wody opadowej na poziomie *argic*, co w rezultacie doprowadza do wybielenia materiału glebowego. Charakterystyczną cechą *Albeluvisoli* jest występowanie jasnoszarych (prawie białych), pionowych języków zaciekowych wnikających w iluwialny poziom *argic* (tzw. językowatość *albeluvisol*) (IUSS Working Group WRB 2006).

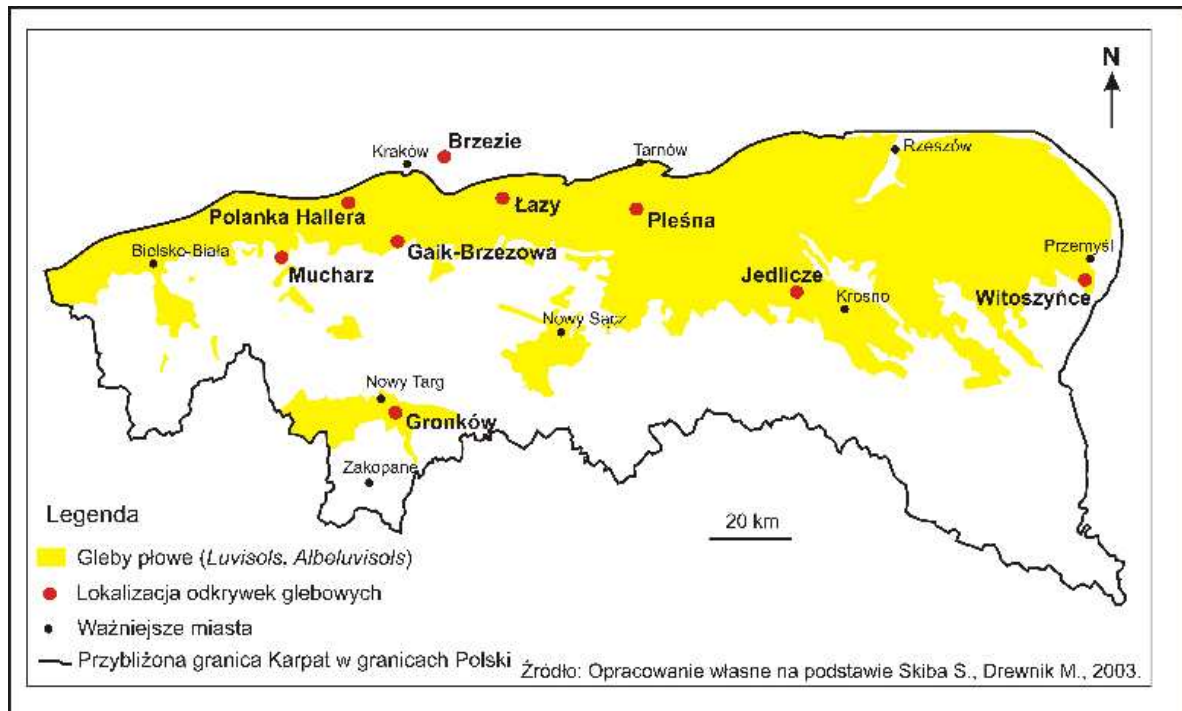
W taksonomii amerykańskiej (USDA Soil Taxonomy) (Soil Survey Staff 2010) gleby płowe znajdują się w rzędzie *Alfisols*. Diagnostycznym poziomem dla tych gleb jest podpowierzchniowy poziom *argillic*. Poziom ten musi wykazywać uziarnienie gliny piaszczystej lub drobniejszej i musi zawierać więcej iltu niż poziom nadległy. Ponadto musi posiadać wyściółki ilaste świadczące o iluwacji iltu. Rząd *Alfisols* dzieli się na podrzędy: *Aqualfs*, *Cryalfs*, *Ustalfs*, *Xeralfs* i *Udalfs*. Powyższe podrzędy dzielą się na wielkie grupy. Poziom *fragipan* jest diagnostyczny dla następujących wielkich grup: *Fragiaqualfs*, *Fragiudalfs*, *Fragixeralfs* oraz *Fraglossudalfs*.

## 2. Cel, zakres i metodyka badań

Gleby płowe Pogórza Karpackiego, jak już wspomniano, były dotychczas opracowywane pod kątem procesu płowienia (*lessivazu*) i formowania się poziomów iluwialnych, wzbogaconych we frakcję koloidalną. Geneza i znaczenie poziomu *fragipan*, opisywane w literaturze amerykańskiej i zachodnioeuropejskiej, w glebach Pogórza były dotychczas prawie nieuwzględniane.

Dlatego głównym celem pracy jest charakterystyka gleb płowych zaciekowych z poziomem *fragipan* w obszarze Pogórza Karpackiego i kotlin śródgórskich. W tym celu wykorzystano nowe techniki badań mikromorfologicznych, a szczególnie mineralogicznych. Zastosowanie jakościowej, a przede wszystkim ilościowej analizy składu mineralnego w poziomach iluwialnych i językach zaciekowych pozwoliło na szerszą charakterystykę procesu iluwiacji, formowania i ewolucji poziomu *fragipan*. Analizy te pozwoliły także na ocenę roli poziomu *fragipan* w funkcjonowaniu środowiska przyrodniczego Pogórza Karpackiego.

Badania przeprowadzono na: Pogórzu Wielickim (profile: Polanka Hallera i Gaik-Brzezowa); Podgórzu Bocheńskim (profil Brzezcie); Pogórzu Wiśnickim (profile: Łazy 1 oraz Łazy 2); Pogórzu Rożnowskim (profile: Pleśna 2, Pleśna 3 oraz Pleśna 4); Pogórzu Ciężkowickim (profile: Pleśna 1 oraz Pleśna 5) oraz Pogórzu Przemyskim (profil Witoszyńce). W celach porównawczych wykonano odkrywki glebowe w Kotlinie Jasielsko-Krośnieńskiej (profil Jedlicze), Kotlinie Nowotarskiej (profil Gronków) oraz w Beskidzie Małym (profil Mucharz) (Ryc. 1). Profile: Brzezcie i Mucharz zostały zlokalizowane w obrębie wielkopowierzchniowych odsłoneń archeologicznych umożliwiających badanie poziomu *fragipan* w przekroju horyzontalnym i dlatego wykorzystano je do badań szczegółowych, chociaż znajdują się poza obszarem Pogórza Karpackiego. Do badań wybrano zarówno gleby użytkowane rolniczo (poła orne, użytki zielone) jak i gleby leśne, aby określić ewentualny wpływ użytkowania terenu na stopień wykształcenia poziomu *fragipan* i jego właściwości. Ponadto, odkrywki glebowe zlokalizowano w różnym położeniu geomorfologicznym (na wierzchołku, na stoku oraz w dnie doliny) w celu określenia wpływu rzeźby terenu na morfologię gleb oraz wykształcenie i ewolucję poziomu *fragipan*.



Ryc. 1. Lokalizacja odkrywek glebowych na tle występowania gleb płowych w Karpatach Polskich.

Badania rozpoczęto od skompletowania i analizy map topograficznych w skali 1:10 000, glebowo-rolniczych w skali 1:25 000 i 1:5 000 oraz dokonano wyboru lokalizacji odkrywek glebowych. Następnie wykonano odkrywki w terenie, szczegółowo opisano profile glebowe według zaleceń Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego oraz pobrano próbki glebowe do analiz laboratoryjnych. Za pomocą odbiornika GPS określono położenie geograficzne oraz wysokość nad poziom morza każdej z odkrywek glebowych. Nazwy profili glebowych nadano od nazw miejscowości, w których zostały wykonane. Gdy w danej miejscowości wykopano jedną odkrywkę to do jej nazwy nie dopisywano numeru (np. profil Polanka Hallera, Jedlicze), natomiast gdy w danej miejscowości wykonano więcej niż jedną odkrywkę, to do każdej z nich został dopisany kolejny numer (np. Łazy 1, Łazy 2). Z poziomów genetycznych oraz języków zaciekowych i pryzmatycznych agregatów glebowych (pryzm) pobrano próbki glebowe, na których w laboratorium wykonano analizy właściwości fizycznych i chemicznych, a dla wybranych profili oznaczono dodatkowo skład mineralny. Ponadto, do metalowych cylindrów o pojemności 100 cm<sup>3</sup> pobrano próbki o nienaruszonej strukturze w celu oznaczenia właściwości fizycznych. Za pomocą tzw. puszek Kubienny o wymiarach 10x5x3 cm pobrano próbki o nienaruszonej strukturze, które wykorzystano do badań mikromorfologicznych.

W wybranych odkrywkach glebowych oznaczono odporność penetracji za pomocą penetrometru ręcznego firmy Eijkelkamp w 10 powtórzeniach.

W laboratorium wykonano następujące analizy:

- skład granulometryczny oznaczono metodą areometryczną Casagrande'a w modyfikacji Prószyńskiego oraz metodą sitową (na mokro)
- zawartość części szkieletowych (ziarna o średnicy >2 mm) oznaczono wagowo po przesianiu na mokro materiału przez sito
- zawartość węgla organicznego oznaczono metodą oksydometryczną Tiurina w modyfikacji Oleksynowej
- stratę żarową oznaczono w piecu muflowym wypróżając próbki w temperaturze 500°C
- odczyn oznaczono metodą potencjometryczną przy użyciu pehametru firmy Elmetron CPC-505 zarówno w wodzie destylowanej jak i w roztworze 1M KCl w proporcji 1:2,5 dla próbek mineralnych i 1:5 dla próbek organicznych
- wolne formy żelaza oznaczono w wyciągu cytrynianu sodu-kwaśnego węglanu sodu-ditioninu sodu (CBD) za pomocą atomowej spektroskopii absorpcyjnej (AAS)
- amorficzne formy żelaza oznaczono kolorymetrycznie za pomocą 1,10-fenantroliny w wyciągu szczawianowym o pH 3,0
- żelazo całkowite oznaczono kolorymetrycznie z kwasem 5-sulfosalicylowym po uprzednim stopieniu próbki kwasem fluorowodorowym i nadchlorowym
- glin całkowity oraz amorficzne formy glinu oznaczono metodą kolorymetryczną z zastosowaniem aluminonu
- właściwości fizyczne oznaczono metodą cylinderkową Kopecy'ego
- barwę oznaczono na sucho oraz na mokro wg atlasu barw Munsella
- pęcznienie materiału oznaczono metodą pęcznienia swobodnego wg El Sohby'ego i in. z 1981 r. (za Niedzielskim 1993)
- wodoodporność agregatów glebowych oznaczono metodą Andrianowa w modyfikacji Kaczynskiego
- obserwacje mikromorfologiczne przeprowadzono na polerowanych płytkach cienkich o grubości 30 µm pod mikroskopem polaryzacyjnym firmy Nikon (model: Eclipse E500POL) po uprzedniej impregnacji próbek żywicą epoksydową Araldit 2020; szlify opisano według terminologii Stoopsa (2003); wykorzystano też nomenklaturę Brewera (1964)

- dodatkowe obserwacje mikromorfologiczne i analizy składu chemicznego w mikroobszarze zostały przeprowadzone pod elektronowym mikroskopem skaningowym (SEM-EDS) firmy Hitachi S-4700 z systemem mikroanalizy Noran Vantage
- ilościowe i jakościowe oznaczenie składu mineralnego wykonano metodą dyfrakcji rentgenowskiej (XRD) przy użyciu dyfraktometru Phillips X'pert z pionowym goniometrem PW3020 z zastosowaniem promieniowania  $\text{CuK}\alpha$  o napięciu przyspieszającym 40kV i natężeniu prądu żarzenia katody 30mA; dyfraktogramy zarejestrowano na próbkach dezorientowanych wykonanych metodą *side-loading* w zakresie kątowym  $2-65^\circ 2\theta$  z prędkością  $4\text{s}/0,02^\circ$  w następujących warunkach: szczelina wyjściowa  $1^\circ$ , szczelina odbiorcza 0,2 mm, szczelina antyrozproszeniowa  $1^\circ$ , monochromator grafitowy ugiętej wiązki, maska 1 cm; przed wykonaniem preparatów dezorientowanych, do próbek (2,7g) dodano cynkitu ( $\text{ZnO}$ ) jako wzorca wewnętrznego (0,3g), a następnie zmielono na mokro (w obecności metanolu) w młynku McCrone (Środoń i in. 2001)
- ilościowe oznaczenie składu mineralnego wykonano w programie komputerowym AutoQuan/BGMN bazującym na udoskonalonej metodzie Rietvelde (Taut i in. 1998); do ilościowych kalkulacji składu mineralnego wybrano region  $15-65^\circ 2\theta$ ; dla policzenia pęczniejących minerałów ilastych zastosowano strukturalny model smektytu
- separację frakcji ilastej wykonano według procedury Jacksona (Jackson 1969), a oznaczenie składu mineralnego frakcji ilastej ( $<0,2 \mu\text{m}$ ) wykonano metodą dyfrakcji rentgenowskiej (XRD) przy użyciu wyżej wymienionego dyfraktometru o podanej wyżej konfiguracji; dyfraktogramy zarejestrowano na preparatach orientowanych, które uprzednio nasycono jonami  $\text{K}^+$  i  $\text{Mg}^{2+}$ ; preparaty nasycone jonami  $\text{K}^+$  zarejestrowano w postaci powietrznie suchej, a następnie po godzinnym wygrzaniu w temperaturze  $330^\circ\text{C}$  i  $550^\circ\text{C}$ ; preparaty nasycone jonami  $\text{Mg}^{2+}$  zarejestrowano w postaci powierzchni suchej oraz po nasyceniu gliceryną
- identyfikację minerałów ilastych dokonano w programie ClayLab (Mystkowski 1999), a modelowanie składu mineralnego frakcji ilastej przeprowadzono w programie Sybilla na dyfraktogramach uzyskanych z preparatów

orientowanych (frakcja  $<0,2 \mu\text{m}$  nasycona jonami  $\text{Mg}^{2+}$ ) zarejestrowanych w postaci powietrznie suchej, a następnie nasyconych glikolem etylenowym.

### **3. Środowisko przyrodnicze obszaru badań**

#### **3.1. Położenie geograficzne i podział fizycznogeograficzny**

Pogórze Karpackie stanowi północną, zewnętrzną część łańcucha karpackiego o przebiegu zbliżonym do równoleżnikowego i wznoszącą się na wysokość 350-600 m n.p.m. Obszar ten odznacza się wyżynnym krajobrazem ukształtowanym w wyniku głębokiego rozcięcia erozyjnego falistej powierzchni zrównania. Wysokości względne wznoszą się z zachodu na południowy-wschód i wynoszą od 50 do 300 m (German 1992). Od północy, Pogórze Karpackie sąsiaduje z Kotlinami Podkarpackimi (Kotlinką Sandomierską, Bramą Krakowską, Kotliną Oświęcimską i Kotliną Ostrawską), ku którym opada mniej lub bardziej zaznaczonym w krajobrazie progiem denudacyjnym o wysokości dochodzącej miejscami do 170 m. W kierunku południowym przechodzi stopniowo w Beskidy. W granicach Polski Pogórze Karpackie rozciąga się od doliny Olzy na zachodzie do doliny rzeki Strwiąż na wschodzie (Kondracki 1988).

Z uwagi na pewne różnice w budowie geologicznej i rzeźbie terenu, obszar Pogórza Karpackiego można podzielić na dwa makroregiony: Pogórze Zachodniobeskidzkie i Pogórze Środkowobeskidzkie (Kondracki 1988). Pogórze Zachodniobeskidzkie obejmuje: Pogórze Śląskie, Wielickie i Wiśnickie, a w obręb Pogórza Środkowobeskidzkiego wchodzi: Pogórze Rożnowskie, Ciężkowickie, Strzyżowskie, Dynowskie, Przemyskie oraz Obniżenie Gorlickie, a także Kotlina Jasielsko-Krośnieńska, Pogórze Jasielskie i Bukowskie. Poniżej przedstawiono dokładniejszą charakterystykę tylko tych mezoregionów, które zostały objęte badaniami.

Pogórze Wielickie rozciąga się między dolinami Skawy i Raby. Rozcięta erozyjnie platforma Pogórza Wielickiego ograniczona jest od Kotlin Podkarpackich na północy wyraźnym progiem denudacyjnym zbudowanym z odpornych piaskowców. Pogórze to cechuje się szerokimi, równoleżnikowymi garbami, których wysokość dochodzi do ponad 500 m n.p.m. (Kondracki 1988). Dominuje tu typ rzeźby pogórza średniego. Rozległe, spłaszczone wierzchowiny zbudowane z odpornych piaskowców cechują się dość długimi stokami (0,5-2 km), których nachylenie dochodzi do  $20^\circ$  (Starkel 1972).



Podgórze Bocheńskie stanowi zachodnią część Kotliny Sandomierskiej przylegającą od północy do Pogórza Wielickiego i Wiśnickiego. Charakteryzuje się niewysokimi i płaskimi garbami o wysokości dochodzącej do 250 m n.p.m. zbudowanymi z przełałdowanych utworów mioceńskich przykrytych utworami pyłowymi o miąższości dochodzącej do 10 m (Kondracki 1988).

Pogórze Wiśnickie stanowi przedłużenie Pogórza Wielickiego w kierunku wschodnim i leży między doliną Raby na zachodzie i doliną Dunajca na wschodzie. Rozległe, spłaszczone wierzchowiny zbudowane z piaskowców wznoszą się na wysokość 350-420 m n.p.m. Doliny rzeczne nawiązują do formacji skalnych mniej odpornych na wietrzenie i erozję (Kondracki 1988). Podobnie jak w przypadku Pogórza Wielickiego, Pogórze Wiśnickie odznacza się przewagą typu rzeźby pogórza średniego, a tylko północna część cechuje się typem rzeźby pogórza niskiego. Stoki garbów mają zazwyczaj kształt wypukłowlęsty o nachyleniach dochodzących do 25° (Klimaszewski i Starkel 1972).

Przedłużeniem Pogórza Wiśnickiego w kierunku wschodnim jest Pogórze Rożnowskie, które leży pomiędzy doliną Dunajca i doliną Białej Dunajcowej (Tarnowskiej). Jest to jedna z wyższych części Pogórza Karpackiego wznosząca się na wysokość 500-550 m n.p.m. Obszar ten jest dość gęsto porośnięty lasami z uwagi na znaczne nachylenia stoków. Garby zbudowane są z odpornych na wietrzenie gruboławicowych piaskowców, a doliny rzeczne nawiązują do warstw łupkowych.

Podobne pod względem hipsometrycznym, geomorfologicznym i geologicznym do Pogórza Rożnowskiego jest Pogórze Ciężkowickie, które rozciąga się od doliny Białej Dunajcowej do doliny Wisłoki. Od południa graniczy z Obniżeniem Gorlickim, a od północy z Kotliną Sandomierską (Kondracki 1988). Stanowi ono zwartą jednostkę z płaskimi wzniesieniami, które rozcięte są głębokimi dolinami. Stoki odznaczają się dość znacznym nachyleniem (od 15° do 35°) i przybierają wypukły bądź prosty kształt (Klimaszewski i Starkel 1972).

Pogórze Przemyskie jest najbardziej wysuniętą na wschód częścią Pogórza Karpackiego. Położone jest między doliną Sanu i Wiaru w miejscu gdzie łańcuch karpacki zakręca w kierunku południowo-wschodnim. Od południa graniczy z Beskidami Wschodnimi i odznacza się rozległymi, zrównanymi wierzchowinami wznoszącymi się na wysokość 400-450 m n.p.m. (Kondracki 1988).

Kotlina Jasielsko-Krośnieńska zwana również Dołami Jasielsko-Sanockimi stanowi rozległe obniżenie zbudowane z mało odpornych warstw krośnieńskich. Jest to obszar płaskodennych kotlin o założeniach tektonicznych, w obrębie których występują łagodne

wzniesienia o wypukło-wklęsłych lub wklęsłych stokach. Od północy graniczy z Pogórzem Dynowskim, a od południa z Beskidem Niskim. Odznacza się niewielkimi wysokościami względnymi, łagodnymi stokami o nachyleniu nie przekraczającym 10° oraz brakiem ostrych form terenu. Dominuje tu typ rzeźby pogórzy niskich (Starkel 1972; Klimaszewski i Starkel 1972).

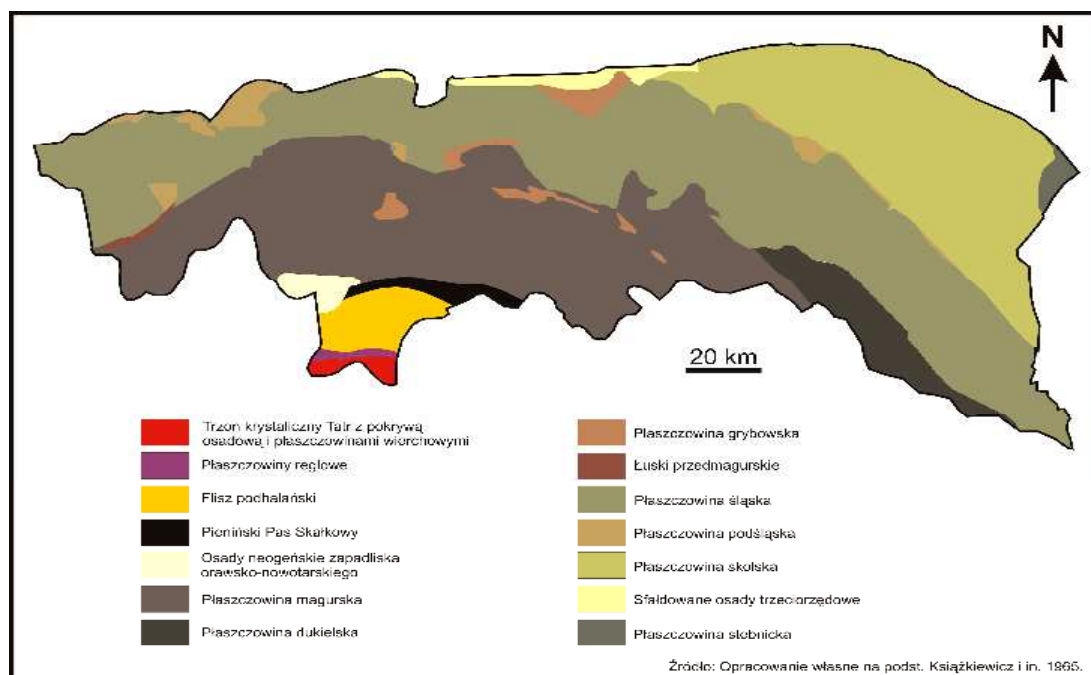
Kotlina Nowotarska jest wschodnią częścią Kotliny Orawsko-Nowotarskiej. Obszar ten stanowi wąskie obniżenie tektoniczne graniczące od południa z Pogórzem Spisko-Gubałowskim i Pienińskim Pasem Skalicowym, a od wschodu i północy z Beskidami Zachodnimi (Gorce). Przedłużeniem Kotliny Nowotarskiej w kierunku zachodnim jest rozległa Kotlina Orawska (Kondracki 1988). Dno Kotliny Nowotarskiej leży na wysokości 490-620 m n.p.m. i wyścielone jest osadami trzech różnowiekowych stożków fluwioglacjalnych. Region ten ma charakter równinny z łagodnie nachylonymi stokami (zwłaszcza w części południowej), a charakterystyczną cechą krajobrazu są odsłaniające się miejscami niewielkie, izolowane skałki wapienne należące do Pienińskiego Pasa Skalicowego (Kondracki 1988; Balon i in. 1995).

Beskid Mały jest zwartą, ale jedną z niższych części Beskidów Zachodnich wznoszącą się na wysokość około 930 m n.p.m. Region ten ma przebieg równoleżnikowy i ciągnie się na długości 30 km od Bramy Wilkowskiej na zachodzie do doliny rzeki Skawy na wschodzie. Zbudowany jest z fliszu karpackiego należącego do płaszczowiny śląskiej. Grzbiety górskie zbudowane są z odpornych na wietrzenie piaskowców godulskich, a doliny rzeczne nawiązują do mało odpornych warstw łupkowych. Wzniesienia i strome stoki porośnięte są przez lasy bukowe, a w dolinach rzecznych przeważają pola uprawne (Kondracki 1988; Balon i in. 1995).

### **3.2. Budowa geologiczna**

Pogórze Karpackie zbudowane jest ze skał fliszowych, a więc poprzekładanych wzajemnie warstw zlepieńców, piaskowców, mułowców i łupków ilastych (iłowców) należących do płaszczowiny śląskiej, podśląskiej, skolskiej i stebnickiej (Ryc. 2). Mniejsze znaczenie mają skały krzemionkowe (radiolaryty, gezy, rogowce) oraz skały węglanowe (wapienie i margle). Skały budujące flisz karpacki powstawały w basenie morskim od górnej jury do paleogenu w wyniku cementacji i diagenety luźnych osadów klastycznych pochodzących z erozji sąsiednich obszarów lądowych (Oszczypko 1995). W części północnej Pogórza Karpackiego, utwory te kontaktują się z autochtonicznymi osadami

tortońskimi zapadliska przedkarpackiego, a miejscami są z nimi przełańdowane tworząc skomplikowane struktury tektoniczne (Książkiewicz 1972).

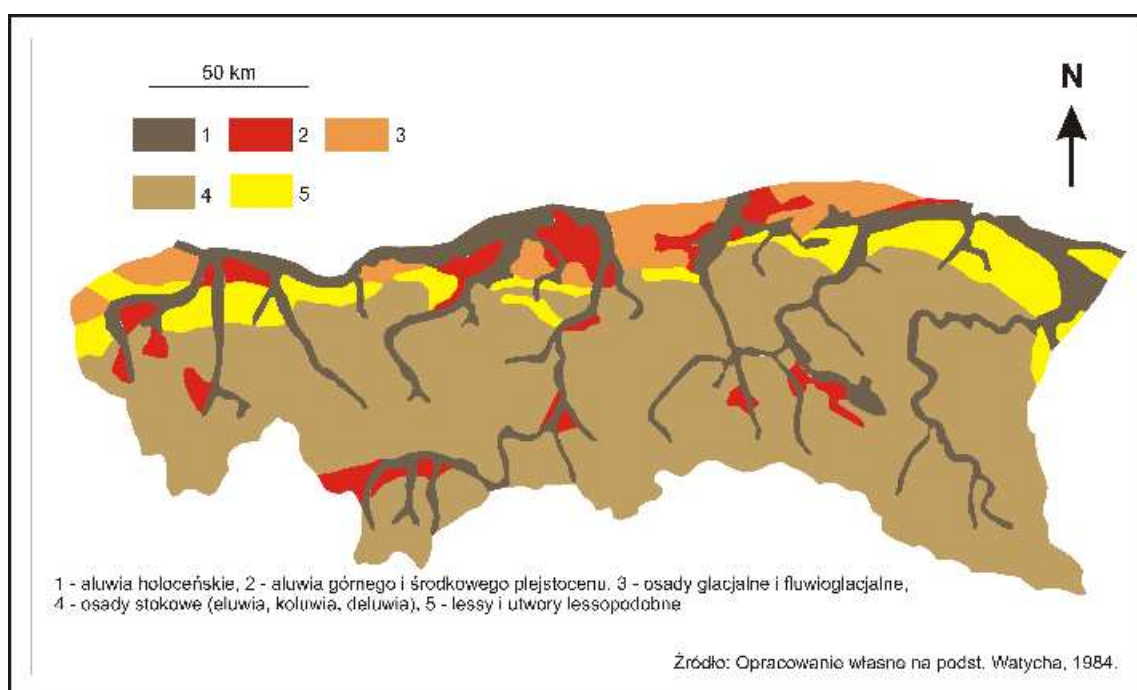


Ryc. 2. Budowa geologiczna Karpat Polskich wg Książkiewicz i in. 1965.

Na obszarze Pogórza Karpackiego i kotlin śródgórskich, skały fliszu karpackiego przykryte są utworami czwartorzędowymi, do których należą plejstocieńskie gliny zwietrzelinowe, napływowe i lessowate oraz pyłowe utwory lessopodobne i lessy (Klimaszewski 1948; Stupnicka 1960; Cegła 1963) (Ryc. 3). Najbardziej rozpowszechnionymi utworami Pogórza Karpackiego są pyłowe utwory lessopodobne odznaczające się miejscami dość dużą miąższością wynoszącą od kilku do kilkunastu metrów. Utwory te są bardzo podobne do typowych lessów z uwagi na szereg właściwości, z których najważniejszymi są: barwa (od słomkowo żółtej do brązowej), przewaga frakcji pyłowej oraz pionowa łupliwość (Cegła 1963; Maruszczak 2000). Cechami odróżniającymi te utwory jest brak, bądź niewielka zawartość węglanów oraz ich mniejsza porowatość i mniejsza podatność do osiadania pod wpływem nawodnienia (Maruszczak 2000). Geneza pyłowych utworów karpackich, mimo licznych badań, jest wciąż przedmiotem dyskusji. Tietze, Kuźniar, Tokarski, Szajnocha oraz Konior uważali, że są to utwory eoliczne i nazywali je lessami (Uziak 1962; Cegła 1963). Uziak (1962) również uważa je za osad pochodzenia eolicznego, lecz z uwagi na wyraźne różnice we właściwościach, nie zalicza ich do lessów. Podobną genezę przypisuje pyłom Pogórza Karpackiego Łoziński (1934), lecz stwierdza, że są to osady bliskiego transportu. Inni autorzy jak np. Malicki (1950), Dylik (1954), Stupnicka (1960) oraz Cegła (1960, 1963) genezę pyłów karpackich wiążą

z procesami wietrzeniowymi i uważają je za pokrywy zwietrzelinowe z domieszanym materiałem eolicznym. Tomaszewski (1963) uważa, że omawiane utwory są osadami deluwialnymi. Obecność charakterystycznych struktur soliflukcyjnych oraz warstwowanie osadów świadczą, że pyłowe utwory karpackie podlegały procesom spełzywania w warunkach klimatu peryglacjalnego, który panował w Karpatach podczas maksymalnej fazy zlodowacenia bałtyckiego (Klimaszewski 1948; Cegła 1960, 1963).

Odmianą budową geologiczną odznacza się Kotlina Nowotarska, która ulegała wginaniu w ciągu całego trzeciorzędu. W jej podłożu zalegają skały fliszowe należące do płaszczowiny magurskiej, które przykryte są grubymi seriami iłów, piasków i żwirów wieku miocenijskiego i pliocenijskiego z wyraźną przewagą iłów (Książkiewicz 1972). Na utworach tych zostały zdeponowane w plejstocenie rozległe stożki fluwioglacjalne zbudowane z materiału tatrzańkiego i fliszowego (Klimaszewski 1967). Na powierzchni występują miejscami pyłowe utwory lessopodobne o nieustalonej do końca genezie (Zasoński 1975). Specyficzną cechą utworów lessopodobnych Kotliny Nowotarskiej jest duża zawartość okruchów fliszowych oraz ich dwudzielność przejawiająca się znacznym wzrostem frakcji ilastej w poziomach spągowych (Cegła 1963). Według Cegły (1963) utwory te są pokrywą zwietrzelinową fliszu z cechami upodabniającymi je do lessu. Autor ten uważa ponadto, że osady te zostały przemodelowane w wyniku procesów soliflukcji i spłukiwania w warunkach klimatu peryglacjalnego. Z kolei inni autorzy wiążą ich genezę z sedimentacją w zastoiskach plejstocenijskich (Zasoński 1975).



Ryc. 3. Osady czwartorzędowe w Karpatach Polskich i na ich przedpolu.

### 3.3. Rzeźba terenu i procesy morfogenetyczne

Rozwój rzeźby Pogórza Karpackiego rozpoczął się w neogenie, po zakończeniu głównej fazy ruchów orogenicznych, które doprowadziły do wypiętrzenia łańcucha Karpat Zewnętrznych. Zostały wtedy utworzone elementy rzeźby fluwialno-denudacyjnej wyraźnie nawiązującej do odporności skał podłoża. Przejawia się to w obecnym układzie grzbietów i garbów, które zazwyczaj są założone na odpornych warstwach piaskowcowych. Natomiast wypreparowane doliny rzeczne nawiązują do mniej odpornych pakietów łupkowych. Ewolucja rzeźby przebiegała z równoczesnymi ruchami tektonicznymi i w różnych warunkach klimatycznych doprowadzając do wyraźnej cykliczności rozwoju rzeźby. W okresach spokoju tektonicznego i w suchych fazach klimatu dochodziło do denudacji obszaru, a w okresach wzmożonych ruchów tektonicznych i wilgotnego klimatu obszar Pogórza Karpackiego (tak jak i całych Karpat) ulegał rozcinaniu. Główne rysy rzeźby Pogórza Karpackiego były więc ukształtowane już na początku czwartorzędu (Izmańłow i in. 1995). W okresie plejstocenu doszło do wyraźnego oziębienia klimatu i nasunięcia lądolodu skandynawskiego na obszar Polski. Okres ten odznaczał się oscylacjami klimatu, które przejawiały się nasuwaniem bądź cofaniem masy lodowej. Podczas ochładzania klimatu (glacjały i stadiały) dochodziło do silnego wietrzenia fizycznego i akumulacji materiału, a w trakcie ocieplania klimatu (interglacjały i interstadiały) zachodziło intensywne wietrzenie chemiczne, rozcinanie obszaru i wynoszenie materiału poza obszar Karpat. Podczas maksymalnej fazy zlodowacenia południowopolskiego (Cracovien) lądolód wkroczył na obszar Pogórza Karpackiego, a dolinami rzecznyimi wniknął w głąb Karpat (Klimaszewski 1948, 1967). Na obszarach wolnych od lodu panował klimat peryglacjalny, w którym dochodziło do silnego wietrzenia mrozowego, a zwietrzeliny podlegały procesom soliflukcyjnym. W trakcie zlodowacenia środkowopolskiego (Varsovien I) obszar Pogórza nadal podlegał warunkom peryglacjalnym, a dopiero podczas ostatniego zlodowacenia (Varsovien II, Vistulian) łańcuch karpacki został całkowicie uwolniony od wpływu lądolodu skandynawskiego (Klimaszewski 1948). Po ociepleniu klimatu i recesji lądolodu (holocen) doszło do przemodelowania utworzonej rzeźby w klimacie peryglacjalnym w wyniku działalności rzek i procesów denudacyjnych. Współczesny rozwój rzeźby pogórskiej kształtowany jest przez warunki klimatu umiarkowanego, a także w dużym stopniu zależy od działalności człowieka (Kaszowski i Świąchowicz 1995).

Wyżyny charakter rzeźby Pogórza Karpackiego uwarunkowany jest długo zachodzącymi na tym obszarze procesami denudacyjnymi oraz pyłowymi utworami lessopodobnymi przykrywającymi zwietrzelinę fliszu karpackiego. Rozległe i wyrównane wierzchowiny pogórskich garbów przechodzą wypukło-wklęsłymi (rzadziej wypukłymi bądź wklęsłymi) stokami w płaskie, nieckowate dna dolin. Stoki użytkowane rolniczo są w dużej mierze przekształcone przez człowieka, co przejawia się licznymi terasami i krawędziami rolnymi zapobiegającymi erozji gleby. Przejście stoków w dna dolin jest łagodne, a częstym elementem rzeźby są równiny proluwialne. Różnej wielkości nieckowate doliny i niecki ablacyjne są przeważającymi wklęsłymi formami terenu, a w miejscach, gdzie pokrywa pyłów lessopodobnych jest znaczna i okresowo zachodzi skoncentrowany spływ wody występują głębokie wąwozy. Występują też wciosa oraz debrza. Za współczesne modelowanie rzeźby pogórskiej odpowiedzialne są głównie procesy osuwania, spełzywania i spłukiwania. Osuwiska związane są z fliszowym podłożem oraz ze zmianą krążenia wody i występują zazwyczaj na stokach o większym nachyleniu. Spełzywanie zachodzi głównie na obszarach pozbawionych roślinności leśnej, a spłukiwanie na gruntach ornych zwłaszcza z uprawami okopowymi (Świąchowicz 2002). Ważnymi procesami morfogenetycznymi są również deflacja, sufozja oraz erozja liniowa (Kaszowski i Świąchowicz 1995).

Kotlina Nowotarska charakteryzuje się monotonną, równinną rzeźbą urozmaiconą w części południowej plejstoceńskimi stożkami fluwioglacjalnymi usypanymi przez rzeki wypływające z topniejących lodowców górskich w Tatrach (Halicki 1930; Klimaszewski 1967). Stożki te zaznaczają się w rzeźbie jako płaskie garby o wysokościach względnych dochodzących do 30 m. Obszar ten odznacza się niewielkimi deniwelacjami terenu i łagodnie nachylonymi stokami oraz rozległymi terasami rzecznyymi, na których uformowały się liczne i rozległe kopuły torfowisk wysokich.

### **3.4. Warunki klimatyczne**

Pogórze Karpackie odznacza się klimatem umiarkowanym przejściowym od oceanicznego do kontynentalnego, który uwarunkowany jest napływem różnych mas powietrza w ciągu roku. Nad obszar Pogórza, podobnie jak nad całe Karpaty, napływają najczęściej masy powietrza z sektora zachodniego. Zazwyczaj są to wilgotne masy powietrza polarno-morskiego (Niedźwiedź 1981).

Karpaty, z uwagi na znaczne wysokości bezwzględne, odznaczają się występowaniem piętrowości klimatycznej, z którą związana jest piętrowość roślinna i krajobrazowa (Kondracki 1988). Pogórze Karpackie jest najniższym i najcieplejszym piętrem klimatyczno-roślinnym w całych Karpatach. W podziale Hessa (1965) obszar ten należy do piętra umiarkowanie ciepłego ze średnią roczną temperaturą powietrza wahającą się od 6° do 8°C. Roczna suma opadów atmosferycznych jest tu najniższa w całym łańcuchu karpackim i wynosi od 700 do 900 mm (Hess 1965; Obrębska-Starkel i in. 1995). Najchłodniejszymi miesiącami w ciągu roku są styczeń i luty, a najwyższe średnie temperatury powietrza notowane są w lipcu. Duże znaczenie dla rozkładu temperatury powietrza i opadów atmosferycznych ma rzeźba terenu i ekspozycja. Wypukłe formy terenu, eksponowane w kierunku południowym i południowo-zachodnim cechują się łagodniejszymi warunkami klimatycznymi. Natomiast wklęsłe formy terenu są miejscami stagnowania zimnych mas powietrza, co często przyczynia się do powstawania inwersji temperatury (Hess i in. 1984). Opady atmosferyczne nie są równomiernie rozłożone w ciągu roku. Najwyższe sumy opadów występują zazwyczaj w miesiącach letnich (czerwiec i lipiec), co z jednej strony jest związane z napływem wilgotnych mas powietrza z zachodu i północnego-zachodu, a z drugiej strony wynika z dużej częstotliwości występowania burz z ulewnymi deszczami.

Warunki klimatyczne Kotliny Nowotarskiej są nieco bardziej surowe w porównaniu z klimatem Pogórza Karpackiego. Z jednej strony związane jest to z większymi wysokościami bezwzględnymi (ponad 600 m n.p.m.), a z drugiej strony z częstą stagnacją zimnych mas powietrza. Średnia roczna temperatura powietrza wynosi tu 5-6°C, a roczna suma opadów waha się od 900 do 1000 mm (Niedźwiedz i Obrębska-Starkel 1991).

### **3.5. Szata roślinna**

Łańcuch Karpat, ze względu na znaczne wysokości bezwzględne, cechuje się występowaniem wyraźnej piętrowości szaty roślinnej, która uzależniona jest od warunków klimatycznych (głównie temperatura powietrza i opady), geomorfologicznych (ekspozycja i nachylenie stoku) oraz glebowych (mięszkość gleby, zasobność w składniki odżywcze oraz wilgotność). W Karpatach występuje 6 pięter roślinnych, z których piętro pogórza jest piętrem najniższym. Rozciąga się ono od brzeżnej części Karpat do wysokości 550 m n.p.m. i stanowi strefę przejściową, w której mieszą się gatunki niżowe z górskimi (Szafer 1959). Zbiorowiskiem klimaksowym, charakterystycznym dla tego piętra jest wielogatunkowy las liściasty tzw. grąd (*Tilio-Carpinetum*) należący do klasy *Querco-*

*Fagetea*. Zbiorowiska grądowe charakterystyczne dla żyznych, umiarkowanie wilgotnych siedlisk zostały jednak w dużej mierze zniszczone i przekształcone w użytki rolne. Zachowały się jedynie fragmentarycznie w miejscach mniej przydatnych człowiekowi (Towpasz i Zemanek 1995). Wzdłuż rzek, na wilgotnych terasach zalewowych występują zbiorowiska łągów wierzbowo-topolowych (*Salici-Populetum*), łągów wiązowych (*Fraxino-Ulmetum*) oraz łągów olchowo-jesionowych (niżowy *Circaeo-Alnetum* oraz podgórski *Carici remotae-Fraxinetum*) (Towpasz i Zemanek 1995). Mniej żyzne siedliska Pogórza Karpackiego porośnięte są przez acidofilne zbiorowiska boru mieszanego (*Pino-Quercetum*) należącego do klasy *Vaccinio-Piceetea*. W miejscach bardziej spiaszczonych (zwietrzliny piaskowców) występują bory sosnowe ze znacznym udziałem mchów i porostów (zespół *Leucobryo-Pinetum*) (Medwecka-Kornaś 1976). W wyższych partiach Pogórza Karpackiego (np. pasmo Brzanki i Liwocza) spotykana jest buczyna karpacka (*Dentario glandulosae-Fagetum*). Naturalna roślinność nieleśna w piętrze pogórza zajmuje niewielką powierzchnię. Zbiorowiska te są zazwyczaj związane z wilgotnymi siedliskami, gdzie zwierciadło wody gruntowej występuje na powierzchni terenu bądź znajduje się na niewielkiej głębokości. Są to zbiorowiska należące do klasy *Potametea* i *Phragmitetea*. Do rzadkości należą również torfowiska niskie (Pawłowski i Zarzycki 1972). Na siedliskach suchych i dobrze nasłonecznionych występują zbiorowiska z licznymi roślinami kserotermicznymi (związek *Cirsio-Brachypodium pinnatii* i *Berberidion*). Intensywna działalność człowieka na obszarze Pogórza Karpackiego przyczyniła się do powstania wielu wtórnych zbiorowisk roślinnych. Przykładem jest pół naturalne zbiorowisko łąkowe z klasy *Molinio-Arrhenatheretea* istniejące tylko dzięki wypasowi lub koszeniu (Dubiel 1987). Z wypasem związane są też zbiorowiska z gatunkami odpornymi na wydeptywanie (np. życica trwała, grzebienica pospolita), które nie zajmują jednak dużych powierzchni. Rzadkością są też łąki okresowo mokre należące do związku *Molinion*, a częściej spotykane są łąki wilgotne zaliczane do związku *Calthion*. Na polach uprawnych, które wyraźnie przeważają w krajobrazie Pogórza Karpackiego występują całkowicie wtórne zbiorowiska należące do rzędu *Secali-Violetalia arvensis*. Pospolita jest również roślinność ruderalna z klasy *Rudero-Secalietea*, która koncentruje się głównie w sąsiedztwie zabudowań oraz wzdłuż szlaków komunikacyjnych (Kornaś 1968).

Przeważającym zbiorowiskiem roślinnym Kotliny Nowotarskiej jest bór bagienny (*Vaccinio uliginosi-Pinetum*), który występuje na obszarach o płytko zalegającym zwierciadle wód gruntowych. Zbiorowisku temu sprzyja surowy klimat Kotliny Nowotarskiej oraz ubogie, kwaśne gleby. W miejscach takich często występują też

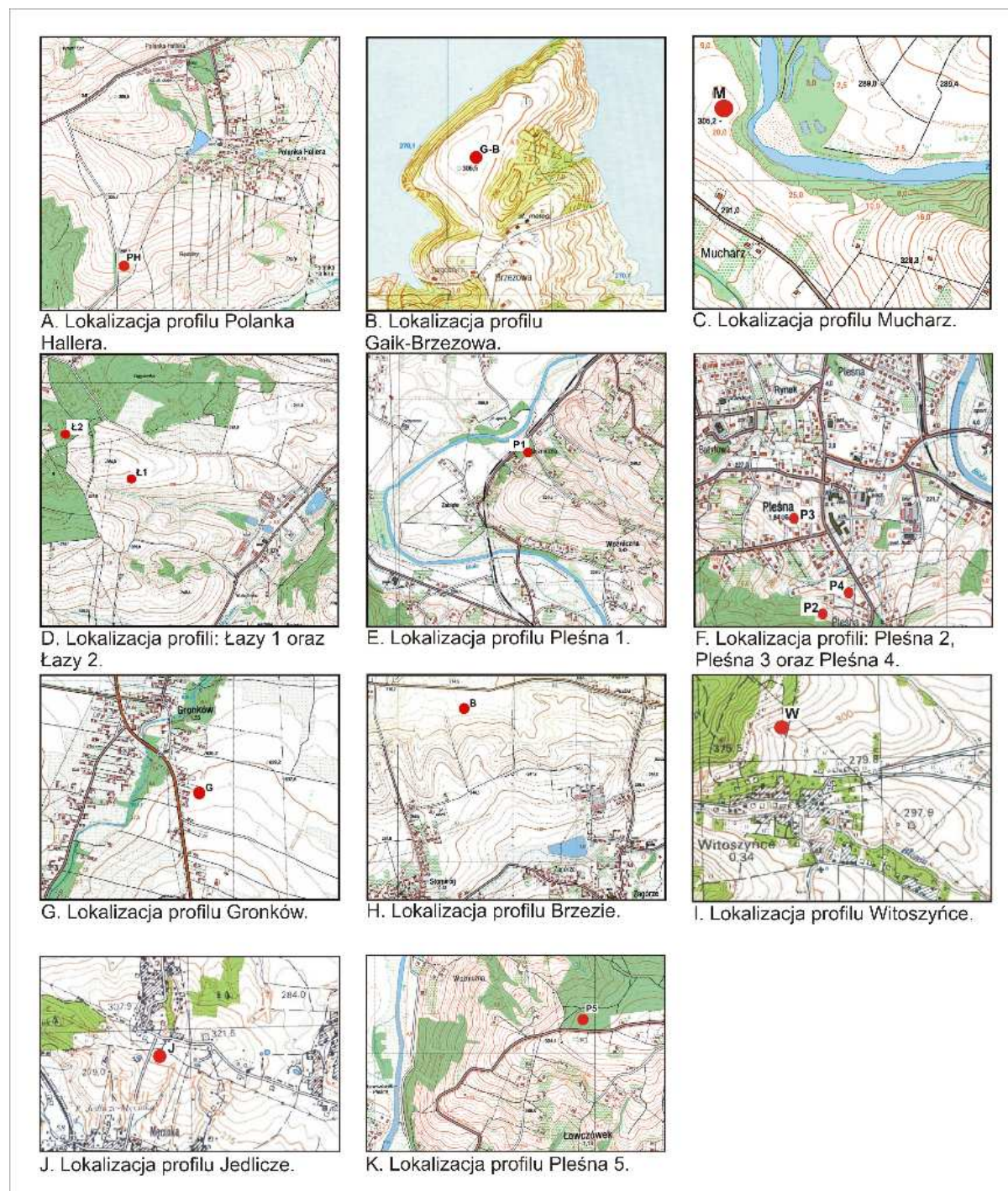


torfowiska z charakterystycznymi i rzadkimi gatunkami jak np. bagno zwyczajne (*Ledum palustre*), żurawina błotna (*Oxycoccus palustris*), rosiczka okrągłolistna (*Drosera rotundifolia*), bażyna czarna (*Empetrum nigrum*) i wiele innych (Matuszkiewicz 2007).

## **4. Wyniki badań i dyskusja**

### **4.1. Lokalizacja odkrywek glebowych**

Lokalizację profili glebowych w skali całego łańcucha karpckiego prezentuje rycina 1, a szczegółowe położenie w stosunku do rzeźby terenu przedstawiono na rycinie 4. W trakcie przeprowadzonych badań wykonano wiele odkrywek glebowych, a do szczegółowych badań wybrano 14 profili glebowych. Szczegółowe opisy tych profili załączono w aneksie na końcu pracy.



Ryc. 4. Szczegółowa lokalizacja badanych profili glebowych.

Profil Polanka Hallera (pn.-zach. część Pogórza Wielickiego) opisano na łagodnym stoku o nachyleniu od 2 do 5° i ekspozycji SE na wysokości 293 m n.p.m. (Ryc. 4A). Stok ten jest użytkowany rolniczo.

Profil Gaik-Brzezowa (pd. część Pogórza Wielickiego) zlokalizowano na łagodnym stoku o ekspozycji SE i nachyleniu 3-5° na wysokości 305 m n.p.m. (Ryc. 4B). Cały stok jest użytkowany rolniczo.

Profil w Brzeziu (pd. część Pogórza Bocheńskiego) został odsłonięty w ramach badań archeologicznych u podnóża łagodnego stoku o ekspozycji N w miejscu prawie płaskim (nachylenie 0-2°) na wysokości około 210 m n.p.m. (Ryc. 4H).

Profil Łazy 1 (pn. część Pogórza Wiśnickiego) został zlokalizowany na wysokości 255 m n.p.m., na stoku o nachyleniu od 3 do 5° i ekspozycji S (Ryc. 4D). Stok ten jest użytkowany rolniczo.

Profil Łazy 2 zlokalizowano na wysokości 250 m n.p.m., na stoku o nachyleniu 3-5° i ekspozycji NW porośniętym przez bór mieszany (*Pino-Quercetum*) (Ryc. 4D).

Profil Pleśna 1 reprezentuje gleby zachodniej części Pogórza Ciężkowickiego. Zlokalizowany został w dolnej części zbocza doliny Białej Tarnowskiej o ekspozycji W i nachyleniu 2-5°, na wysokości 225 m n.p.m. (Ryc. 4E). Zbocze to porośnięte jest w tym miejscu roślinnością leśną o składzie gatunkowym grądu (*Tilio-Carpinetum*).

Profile Pleśna 2, Pleśna 3 i Pleśna 4 reprezentują gleby wschodniej części Pogórza Rożnowskiego. Usytuowane są w dolnej części użytkowanego rolniczo stoku o nachyleniu 1-5° i ekspozycji NE (profile Pleśna 3 i 4) bądź na odcinku stoku odłogowanym z wtórną sukcesją roślinności leśnej (Pleśna 2). Profil Pleśna 2 znajduje się na wysokości 255 m n.p.m., profil Pleśna 3 na 236 m n.p.m., a profil Pleśna 4 na 240 m n.p.m. (Ryc. 4F).

Profil Pleśna 5 (zach. część Pogórza Ciężkowickiego) zlokalizowano w górnej części stoku o ekspozycji NW, na spłaszczeniu stokowym o nachyleniu od 1 do 3°, na wysokości 345 m n.p.m., w lesie grądowym (*Tilio-Carpinetum*) (Ryc. 4K).

Profil Jedlicze reprezentuje centralną część Kotliny Jasielsko-Krośnieńskiej. Zlokalizowano go na stoku użytkowanym rolniczo o nachyleniu 1-2° i ekspozycji SW. Odkrywka ta została wykonana na wysokości około 300 m n.p.m. (Ryc. 4J).

Profil Witoszyńce opisano we wschodniej części Pogórza Przemyskiego u podnóża stoku o ekspozycji SE i nachyleniu od 3 do 5°, na wysokości 302 m n.p.m. (Ryc. 4I). Teren ten jest odłogowany z wyraźnie zaznaczoną wtórną sukcesją roślinności leśnej.

Profil Gronków reprezentuje południową część Kotliny Nowotarskiej na pograniczu z Pogórzem Spisko-Gubałowskim. Zlokalizowany został na łagodnym stoku o nachyleniu od 2 do 5° i ekspozycji N, zajęтым pod użytki zielone (Ryc. 4G). Odkrywka ta znajduje się na wysokości 643 m n.p.m.

Profil w Mucharzu zlokalizowany został na wyższej terasie Skawy na wysokości około 305 m n.p.m. we wschodniej części Beskidu Małego (Ryc. 4C). Jest to teren prawie płaski o niewielkim nachyleniu ( $0-3^{\circ}$ ) i ekspozycji NW. Teren ten jest użytkowany rolniczo od neolitu (Skiba i Szymański 2009). Odkrywka została wykonana w obrębie wielkopowierzchniowego odsłonięcia archeologicznego.

#### 4.2. Morfologia badanych gleb

Większość badanych gleb wykształciła się w całości z bezwęglanowych, pyłowych utworów lessopodobnych. Wyjątek stanowi profil Gronków, którego podłożem macierzystym są utwory pyłowe (w dolnej części gliniaste) stożka fluwioglacjalnego.

Wszystkie analizowane gleby odznaczają się podobną morfologią profilu glebowego: Ol(Of)-A(Ap)-AE-Eg-Btx-Bt(g)-BC(g)-C, co wg nowej systematyki gleb Polski (2008) pozwala na zaliczenie ich do typu gleb płowych zaciekowych lub gleb płowych z cechami *glossic*. Gleby płowe zaciekowe charakteryzują się występowaniem wyraźnych pionowych języków zaciekowych w stropowej części poziomu *fragipan* (profile: Mucharz, Gaik-Brzezowa, Brzezcie, Pleśna 1, Pleśna 2, Pleśna 3, Pleśna 4, Pleśna 5, Jedlicze oraz Gronków). Profile glebowe Łazy 1, Łazy 2 oraz Witoszyńce wykazują obecność niewielkich językowatych zacieków w obrębie poziomu *fragipan* i zostały zaliczone do gleb płowych z cechami *glossic*. Stanowią one typ pośredni pomiędzy glebami płowymi a glebami płowymi zaciekowymi. Natomiast ostatni profil (Polanka Hallera) reprezentuje silnie zerodowaną glebę płową gruntowo-glejową bez poziomu *fragipan* i języków zaciekowych o budowie profilu: Ap-AB-Btg1-Btg2-BCg. Profil ten został wybrany w celach porównawczych.

Badane gleby płowe zaciekowe występują zarówno pod zbiorowiskami leśnymi jak i użytkami rolnymi. Naturalne poziomy próchniczne gleb leśnych odznaczają się ciemną (10YR 2/1) lub brunatno-czarną (10YR 3/2) barwą oraz niewielką miąższością 8-10 cm (profile: Pleśna 1 i Pleśna 5). W przypadku gleb uprawnych, miąższość poziomu orno-próchnicznego wynosi średnio 25-30 cm (profile: Gaik-Brzezowa, Brzezcie, Pleśna 3). Poziomy te odznaczają się ciemnożółto-brązową (10YR 4/3 do 5/3) bądź ciemnobrązową (10YR 3/3) barwą. Struktura tych poziomów jest najczęściej angularna lub subangularna. Pod poziomem próchnicznym występuje niekiedy poziom przejściowy (AE) odznaczający się ciemnożółto-brązową barwą (10YR 4/3 oraz 10YR 5/3 do 5/4) (profile: Brzezcie, Pleśna 1, Pleśna 2). Niżej występuje poziom eluwalny (E), który w niektórych przypadkach

(profile: Brzezie, Mucharz, Gronków, Łazy 1, Pleśna 3 oraz Jedlicze) wykazuje wyraźne oznaki odgórnego oglejenia (Eg) w postaci szarych plam (10YR 7/2) i czarnych (10YR 2/1) konkrecji żelazisto-mangnowych. Miąższość poziomu eluwialnego jest różna i waha się od 10 do 40 cm. Wyjątek stanowią profile: Gaik-Brzezowa i Pleśna 4, w których bezpośrednio pod wtórnie wytworzonym przez zabiegi agrotechniczne poziomem orno-próchnicznym (Ap) występuje poziom *fragipan* (Btx1) lub poziom *argillic* (Btg1). Poziomy eluwialne odznaczają się mniejszą zawartością frakcji iłu koloidalnego, a barwa tych poziomów jest zazwyczaj ciemnożółto-brązowa (10YR 5/3 do 5/4), a niekiedy jasnoszara (10YR 7/2 do 8/2). W glebach płowych zaciekowych, poziom eluwialny wnika jasnymi (10YR 6/2, 10YR 8/1 do 8/2, bądź 2.5Y 6/2) językowatymi zaciekami w poziom iluwialny tworząc w przekroju horyzontalnym sieć w kształcie poligonów (Fot. 1). Języki zaciekowe nawiązują do pionowych szczelin. Szerokość języków zaciekowych waha się od 0,5 do 10 cm i zmniejsza się wraz z głębokością, a ich długość dochodzi niekiedy do ponad 200 cm (Pleśna 3, Pleśna 4). Pionowe języki zaciekowe oddzielające żółto-brązowe (10YR 5/6), bądź jasnożółto-brązowe (10YR 6/8), twarde agregaty pryzmatyczne (w skrócie pryzmy glebowe) zazwyczaj kończą się w poziomie *fragipan*, a tylko w niektórych przypadkach kontynuują się w głąb profilu glebowego (profile: Mucharz, Pleśna 3 i Pleśna 4). W profilach: Mucharz, Gaik-Brzezowa, Pleśna 1, Pleśna 2, Pleśna 3 oraz Pleśna 4 białe języki zaciekowe odznaczają się występowaniem rdzawych otoczek (Fot. 2) wykazujących duże nagromadzenie związków żelaza. Rdzawe otoczki (7.5YR 5/6) cechują się ostrą granicą na kontakcie z wybieloną częścią języka i dyfuzyjnie przechodzą w pryzmy. We wszystkich poziomach *fragipan* występuje bardzo duże nagromadzenie czarnych (10YR 2/1) konkrecji (pieprzy) żelazisto-manganowych oraz niewielka ilość korzeni. Pojedyncze, drobne korzenie koncentrują się jedynie w językach zaciekowych. W poziomach *fragipan* charakterystyczne otoczki i wyściółki ilaste barwy wiśniowo-brązowej koncentrują się głównie na ścianach pryzm glebowych.



Fot. 1. Sieć spękań w kształcie poligonów. Poziom fragipan w Brzeziu.

Grubość tych nacieków dochodzi do 5 mm, a najgrubsze występują w dolnej części języków zaciekowych. Wszystkie poziomy *fragipan* cechują się grubą lub bardzo grubą strukturą pryzmatyczną, niekiedy rozpadającą się na ostrokrawędziste agregaty (wtórna struktura angularna, rzadziej płytkowa). Głębokość występowania stropu poziomu *fragipan* waha się od 30 cm w profilu Gaik-Brzezowa do 70 cm w profilach: Brzezcie, Mucharz i Pleśna 1, co uwarunkowane jest stopniem zerodowania gleby. Najczęściej jednak, strop poziomu *fragipan* występuje na głębokości 50-55 cm. Górna granica poziomu *fragipan* wyraźnie zaznacza się w morfologii profilu glebowego, a dolna ma charakter stopniowy. Miąższość poziomu *fragipan* waha się od 25 cm w profilu Brzezcie do 135 cm w profilu Pleśna 3. Cechą charakterystyczną badanych poziomów *fragipan* jest zbity układ oraz marmurkowa barwa, świadcząca o cyklicznych zmianach warunków wilgotnościowych i występowaniu procesów oksydacyjno-redukcyjnych.



Fot. 2. Język zaciekowy w poziomie fragipan w profilu Pleśna 3.

Potwierdzeniem tych procesów jest wspomniana wyżej obecność licznych konkrecji żelazisto-manganowych. Poniżej poziomu *fragipan* występuje poziom iluwialny Bt, często wykazujący oznaki oglejenia (Btg). W poziomach tych również występują nacieki i wyściółki ilaste oraz konkrecje żelazisto-manganowe, lecz nie są one tak liczne jak w poziomach *fragipan*. Konkrecje żelaziste w poziomach *argillic* mają większe rozmiary (o średnicy dochodzącej do 2,5 cm) w porównaniu z poziomami *fragipan*. Pryzmatyczna struktura nie jest tak dobrze wykształcona, a układ nieco mniej zbity niż w poziomach Btx. W niektórych przypadkach poziomy iluwialne *argillic* (Btg) odznaczają się masywną strukturą oraz brązowo-szarym zabarwieniem (10YR 6/1 do 6/3) świadczącym o procesach redukcyjnych (profile: Gaik-Brzezowa, Pleśna 3 i Pleśna 4). W przypadku gleb płowych zaciekowych nie stwierdzono poziomu podłoża macierzystego, niezmienionego przez procesy glebotwórcze. Związane jest to z dużą miąższością bezwęglanowych utworów lessopodobnych odznaczających się pierwotnie dużą porowatością, która umożliwiła głęboką iluwiację frakcji koloidalnej.

Gleby płowe z cechami *glossic* posiadają bardzo podobną budowę profilu glebowego jak opisane wyżej gleby płowe zaciekowe. Jedyna różnica pomiędzy tymi glebami polega na stopniu wykształcenia języków zaciekowych wnikających w poziom iluwialny. W tych glebach języki zaciekowe są niewielkie i osiągają długość do 10 cm. Wyjątek stanowi profil Witoszyńce, w którym oprócz pionowych języków zaciekowych występują pionowe, ukośne i horyzontalne szczeliny wypełnione materiałem ilasto-próchnicznym ciemnej barwy (10YR 2/1). Poziom przejściowy do podłoża macierzystego oraz poziom C w profilach Łazy 1 i Łazy 2 odznaczają się występowaniem drobnorytmicznej laminacji.

Profil Polanka Hallera reprezentuje zerodowaną glebę płąwą gruntowo-glejową, w której bezpośrednio pod poziomem orno-próchnicznym barwy ciemnożółto-brązowej (10YR 4/3) występuje poziom *argillic* (Btg). Poziom Ap tej gleby o miąższości około 15-20 cm wykazuje cechy wapnowania i odznacza się wtórnie wytworzoną (przez zabiegi agrotechniczne) strukturą bryłową, a miejscami koprolitową. Występujący niżej poziom AB wykształcił się w wyniku zabiegów agrotechnicznych, które doprowadziły do wymieszania poziomu Ap z poziomem iluwialnym Btg. Poziom przejściowy AB odznacza się strukturą angularną i mniejszą zawartością okruchów wapiennych. Przejście poziomu AB do Btg1 jest ostre i faliste. Niżej występują poziomy iluwialne Btg1 oraz Btg2 o łącznej miąższości 80 cm, które cechują się strukturą pryzmatyczną i wykazują wyraźne cechy oglejenia (sino-rdzawe plamy 7.5YR 5/6 oraz 10YR 6/3). W poziomach tych występują pionowe szczeliny wypełnione materiałem ilasto-próchnicznym barwy czarnej (10YR 2/1). Ponadto występują w tych poziomach konkrecje żelazisto-manganowe oraz nacieki ilaste. Poziom iluwialny Btg2 zalega na poziomie przejściowym do skały macierzystej BCg, który odznacza się masywną strukturą. Również w tym poziomie, lecz w mniejszej ilości, występują nacieki ilaste, konkrecje żelazisto-manganowe oraz wyraźne oznaki oglejenia.

### **4.3. Uziarnienie**

Skład granulometryczny analizowanych gleb jest bardzo jednolity, co wynika z podłoża macierzystego, które stanowią bezwęglanowe pyły lessopodobne. Uziarnienie wszystkich badanych poziomów genetycznych przedstawiono na rycinie 5 i 6 oraz w tabeli 1. Szczegółowe wyniki analizy składu granulometrycznego zamieszczono w tabeli 7 w aneksie na końcu pracy.



Tabela 1. Uziarnienie badanych gleb.

Poziom	Głębokość [cm]	PTG 2008			piasek bez iłu	L
		piasek	pył	ił		
Pleśna 1						
A	0-10	17,2	67,8	15,0	20,2	2,0
AE	10-30	16,9	69,9	13,2	19,5	1,7
E	30-70	17,7	69,3	13,0	20,3	1,9
Btx	70-105	15,0	67,0	18,0	18,3	1,7
Btg	105-150	13,5	67,2	19,3	16,7	2,1
C	150-300	21,2	65,8	13,0	24,4	2,4
2C	<300	32,7	54,3	13,0	37,6	2,1
Języki		16,5	68,0	15,5	19,5	1,7
Pleśna 2						
Ol	0-2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
A	2-10	12,9	70,9	16,2	15,4	1,4
AE	10-30	15,2	72,5	12,3	17,3	1,4
E	30-55	12,6	74,1	13,3	14,5	1,4
Btx1	55-80	10,9	70,8	18,3	13,3	1,6
Btx2	80-160	11,5	70,0	18,5	14,1	1,5
Języki		11,1	73,9	15,0	13,1	2,0
Pleśna 3						
Ap	0-35	13,6	72,1	14,3	15,9	1,4
Eg	35-45	12,1	72,9	15,0	14,2	1,3
Btx1	45-100	12,9	67,8	19,3	16,0	1,3
Btx2	100-180	10,2	71,8	18,0	12,4	1,4
Btg	180-245	13,2	68,8	18,0	16,1	1,7
BCg	245-285	11,0	73,0	16,0	13,1	1,4
Języki		11,1	68,9	20,0	13,9	1,6
Rdzawe otoczki języków		13,0	66,0	21,0	16,5	1,4
Pryzmy		11,0	66,0	23,0	14,3	1,4
Pleśna 4						
Ap	0-15	9,0	71,0	20,0	11,3	1,5
Btg1	15-30	9,5	66,4	24,1	12,5	1,5
Btg2	30-55	9,6	64,6	25,8	12,9	1,6
Btx1	55-85	11,5	64,5	24,0	15,1	1,6
Btx2	85-152	10,3	71,1	18,6	12,7	1,4
Btx3	152-162	10,5	71,4	18,1	12,8	1,3
Btg3	162-245	9,6	73,4	17,0	11,6	1,4
Btg4	245-270	9,0	71,5	19,5	11,2	1,2
Rdzawe otoczki języków		9,9	64,2	25,9	13,4	1,5
Języki		7,6	68,2	24,2	10,0	1,8
Pleśna 5						
Of	0-2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
A	2-10	21,0	66,5	12,5	24,0	1,5
E	10-40	13,0	74,0	13,0	14,9	1,6
Eg	40-90	13,0	74,0	13,0	14,9	1,6
Btx	90-150	9,5	66,0	24,5	12,6	1,6
Języki		14,0	79,0	7,0	15,1	1,5

L – granulometryczny wskaźnik lessowości, n.a. – nie analizowano

Tabela 1. Uziarnienie badanych gleb cd.

Poziom	Głębokość [cm]	PTG 2008			piasek bez iłu	L
		piasek	pył	ił		
Gaik-Brzezowa						
Ap	0-30	12,0	72,0	16,0	14,3	1,6
Btx1	30-90	12,0	67,0	21,0	15,2	1,8
Btx2	90-140	13,0	70,0	17,0	15,7	1,8
Btg	140-170	13,0	69,0	18,0	15,9	1,7
Pryzmy		12,0	68,0	20,0	15,0	1,7
Języki		12,0	72,0	16,0	14,3	2,1
Gronków						
A	0-10	23,5	63,0	13,5	27,2	1,4
Ag	10-35	26,0	54,5	19,5	32,3	0,7
Eg	35-55	27,5	52,3	20,2	34,5	0,6
2Btx	55-100	17,2	50,5	32,3	25,4	0,5
2Btg	100-120	18,2	49,5	32,3	26,9	0,4
Brzezcie						
Ap	0-25	14,3	71,4	14,3	16,7	1,3
AE1	25-40	9,3	75,3	15,4	11,0	1,2
AE2	40-58	9,0	75,7	15,3	10,6	1,2
Eg	58-70	16,6	73,5	9,9	18,4	1,7
Btx	70-95	10,5	67,2	22,3	13,5	1,5
Btg1	95-115	10,3	68,9	20,8	13,0	2,0
Btg2	115-180	16,1	67,6	16,3	19,2	2,1
Jedlicze						
Ap	0-15	21,0	64,0	15,0	24,7	1,5
AE	15-30	21,0	65,0	14,0	24,4	1,3
Eg	30-50	20,5	63,5	16,0	24,4	1,4
Btx	50-100	17,0	62,0	21,0	21,5	1,3
Btg	100-160	21,0	59,0	20,0	26,3	1,6
Języki		19,5	65,0	15,5	23,1	1,3
Mucharz						
Ap	0-27	23,5	63,3	13,2	27,1	1,2
Eg	27-40	24,5	61,5	14,0	28,5	1,0
Btg1	40-70	20,5	61,5	18,0	25,0	1,0
Btx1	70-117	20,3	60,7	19,0	25,1	1,1
2Btx2	117-150	32,0	49,0	19,0	39,5	0,7
2Bt1	150-170	39,5	42,0	18,5	48,5	0,6
2Bt2	170-200	37,2	43,3	19,5	46,2	0,4
3C	200-210	25,0	54,0	21,0	31,6	1,2
4C1	210-260	34,0	48,0	18,0	41,5	1,3
4C2	260-280	57,0	31,0	12,0	64,8	0,6

L – granulometryczny wskaźnik lessowości

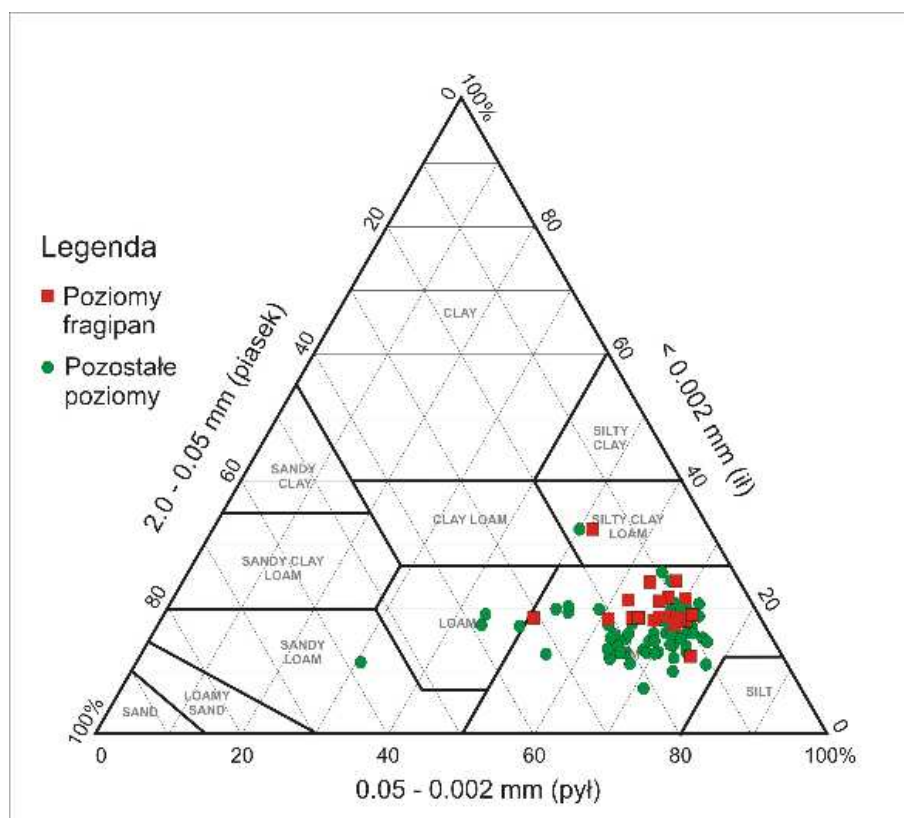
Tabela 1. Uziarnienie badanych gleb cd.

Poziom	Głębokość [cm]	PTG 2008			piasek bez iłu	L
		piasek	pył	ił		
Łazy 1						
Ap	0-35	21,0	70,5	8,5	23,0	1,8
Eg	35-50	21,0	68,0	11,0	23,6	2,2
Btx	50-70	15,0	62,5	22,5	19,4	2,0
Bt	70-90	18,0	64,5	17,5	21,8	2,4
BC	90-110	16,2	70,8	13,0	18,6	2,1
C	110-150	18,2	68,5	13,3	21,0	2,3
Języki		21,2	69,5	9,3	23,4	2,2
Pryzmy		16,5	60,5	23,0	21,4	2,3
Łazy 2						
OI	0-5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Of	5-8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
A	8-20	23,0	64,3	12,7	26,3	1,9
E	20-55	10,9	77,9	11,2	12,3	2,0
Btx1	55-65	17,7	63,0	19,3	21,9	1,8
Btx2	65-85	17,5	63,2	19,3	21,7	1,8
Bt	85-115	20,4	63,9	15,7	24,2	2,3
BC	115-135	20,7	64,3	15,0	24,4	2,4
C	135-185	21,8	64,9	13,3	25,1	2,5
Witoszyńce						
OI	0-2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
A	2-30	10,0	74,0	16,0	11,9	1,1
Eg	30-55	10,7	73,3	16,0	12,7	1,1
Btx1	55-100	8,7	69,3	22,0	11,2	1,2
Btx2	100-160	9,2	71,8	19,0	11,4	1,3
Polanka Hallera						
Ap	0-15	16,0	69,0	15,0	18,8	1,7
AB	15-30	12,0	71,0	17,0	14,5	1,7
Btg1	30-70	11,7	68,0	20,3	14,7	1,2
Btg2	70-110	9,0	72,0	19,0	11,1	1,6
BCg	110-150	9,7	70,0	20,3	12,2	1,1

L – granulometryczny wskaźnik lessowości, n.a. – nie analizowano

Wszystkie badane gleby charakteryzują się uziarnieniem sklasyfikowanym według podziału uziarnienia Polskiego Towarzystwa Gleboznawczego z 2008 r. jako pył ilasty, bądź pył gliniasty. Uziarnienie pyłu gliniastego wykazują niektóre poziomy próchniczne i eluwalne (profile: Łazy 1, Łazy 2 oraz Brzezcie), a także niekiedy pionowe języki zaciekowe (Pleśna 5). Nieco wyższa zawartość frakcji koloidalnej w poziomach próchnicznych w porównaniu z poziomami eluwalnymi w większości badanych gleb jest związana z obecnością próchnicy, która nie została usunięta przed wykonaniem analizy składu granulometrycznego. Pozostałe poziomy genetyczne, pryzmy glebowe poziomu *fragipan* oraz języki zaciekowe wykazują uziarnienie pyłu ilastego. Dominującą frakcją we wszystkich badanych glebach jest frakcja pyłu (0,05-0,002 mm), wśród której przeważa

podfrakcja pyłu grubego (0,05-0,02 mm) nad pyłem drobnym (0,02-0,002 mm). Świadczy o tym obliczony tzw. wskaźnik lessowatości, a więc stosunek pyłu grubego do pyłu drobnego, który w większości analizowanych profili glebowych wynosi ponad 1 (Tab. 1). Zbliżony skład granulometryczny oraz niewielkie różnice w obliczonej zawartości grubszych ziaren bez uwzględnienia frakcji koloidalnej wskazują, że analizowane gleby wykształciły się w całości z jednej formacji pyłu lessopodobnego.

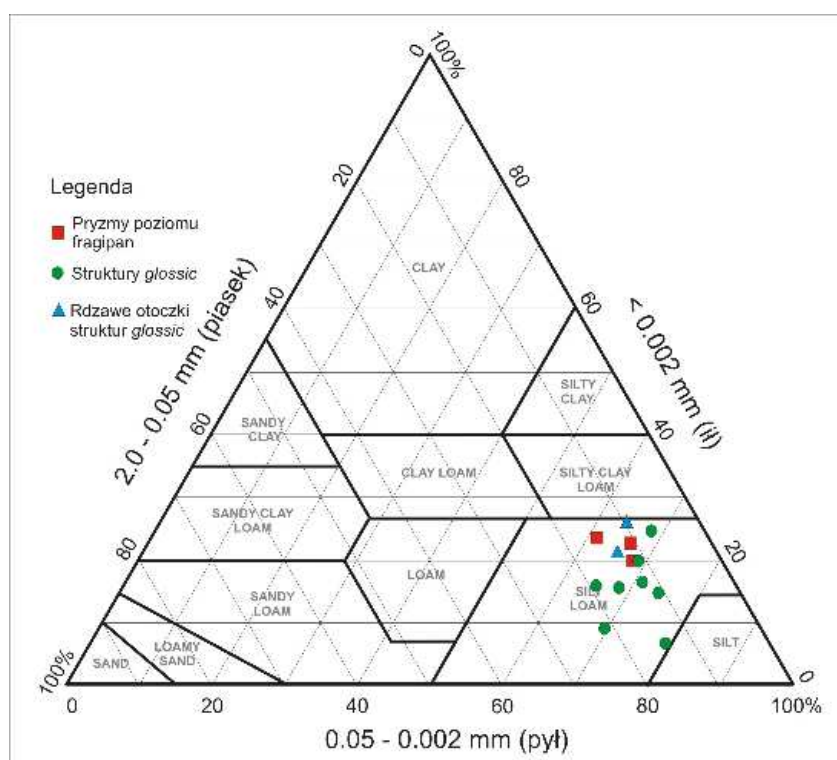


Ryc. 5. Skład granulometryczny badanych gleb.

Wyjątek stanowią profile: Gronków oraz Mucharz. Stropowe poziomy genetyczne (A, Ag oraz Eg) w profilu Gronków odznaczające się pylastym uziarnieniem (pył ilasty) podścielone są gliną pylasto-ilastą, w której rozwinęły się poziomy: *fragipan* i *argillic* (Tab. 1). Natomiast stropowe poziomy profilu Mucharz (A, Eg, Btg1, Btx1) cechują się uziarnieniem pyłu ilastego, który podścielony jest ponad 80 cm miąższości gliną zwykłą. Niżej zalega 10 cm grubości poziom o uziarnieniu pyłu ilastego (3C), który leży na materiale odznaczającym się składem granulometrycznym sklasyfikowanym jako glina zwykła (poziomy: 4C1 i 4C2) (Tab. 1).

Poziomy *fragipan* odznaczają się uziarnieniem pyłu ilastego, a zawartość najdrobniejszej frakcji iłu koloidalnego ( $< 0,002$  mm) w tych poziomach wynosi od 17,0%

do ponad 32,0%. We wszystkich profilach glebowych zawierających poziom *fragipan* (z wyjątkiem profilu Mucharz, Pleśna 1 i Pleśna 4), największa zawartość frakcji łu koloidalnego występuje w tym poziomie. Pionowe, białe języki zaciekowe (struktury *glossic*) wykazują zazwyczaj znacznie mniejszą zawartość frakcji poniżej 0,002 mm w porównaniu z pryzmami glebowymi występującymi pomiędzy nimi. Zawartość frakcji łu koloidalnego w strukturach *glossic* jest zróżnicowana i waha się od 7,0% do około 24,0%. Występujące w niektórych glebach rdzawe otoczki na granicy struktur *glossic* i pryzm glebowych (profile: Pleśna 3 i Pleśna 4) wykazują nieco większą zawartość frakcji łu koloidalnego (o około 1,0-2,0%) w porównaniu z wybielonymi językami zaciekowymi. Pryzmy glebowe wykazują wyraźnie większą zawartość frakcji koloidalnej w porównaniu z językami zaciekowymi (20,0-23,0%).



Ryc. 6. Skład granulometryczny języków zaciekowych, rdzawych otoczek oraz pryzm glebowych z badanych poziomów *fragipan*.

Poziomy próchniczne, przejściowe (AE) oraz eluwialne odznaczają się niższą zawartością frakcji koloidalnej (od 8,5% do około 20,0%) w zestawieniu z poziomami *fragipan*. Natomiast poziomy iluwialne *argillic* odznaczają się bardzo podobnym składem granulometrycznym jak poziomy *fragipan*. Zawartość najdrobniejszej frakcji łu koloidalnego w tych poziomach waha się od około 16,0% do ponad 32,0%. Nieco lżejszym (grubszym) uziarnieniem cechują się poziomy przejściowe BC oraz C. W poziomach BC

zawartość frakcji iłu wynosi od około 13,0% do około 20,0%. Podłoże macierzyste, które stwierdzono tylko w profilach: Łazy 1, Łazy 2 i Pleśna 1 (z uwagi na głęboką iluwiację iłu koloidalnego) wykazuje najniższą zawartość frakcji koloidalnej wynoszącą około 13,0%.

Przedstawione wyniki uziarnienia są podobne do wyników przedstawianych przez innych autorów zajmujących się glebami płowymi Pogórza Karpackiego (Zasoński 1975, 1993; Uziak 1962; Klimek 1995, 2000) oraz glebami zawierającymi poziom *fragipan* (Petersen i in. 1970; Lindbo i Veneman 1989; Smith i Daniels 1989; Ciolkosz i in. 1995; Imbellone i Gimenez 1998; Assalay i in. 1998). Wyraźne zróżnicowanie zawartości frakcji koloidalnej w większości analizowanych gleb płowych jest efektem zachodzącego procesu *lessivaż*, który z jednej strony uwarunkowany jest pyłowym, bezwęglanowym podłożem macierzystym, a z drugiej strony umiarkowanym klimatem z przewagą opadów nad parowaniem sprzyjającym ługowaniu (Uziak 1962; Zasoński 1974, 1983, 1990; Skiba i in. 1995; Skiba 1995; Klimek 1995, 2005; Szymański i Skiba 2007; Szymański i in. 2008). Dodatkowym czynnikiem sprzyjającym translokacji najdrobniejszej frakcji koloidalnej są okresy z wyraźnymi deficytami wilgoci (późne lato i wczesna jesień), podczas których dochodzi do głębokiego przesychnienia gleb i powstawania pionowych szczelin (Zasoński 1980, 1991).

Proces płowienia (*lessivażu*) doprowadza z czasem do wyraźnego zróżnicowania profilu glebowego na dwie części. Górna część profilu (poziomy A, AE i E) charakteryzuje się niższą zawartością koloidów glebowych, które ulegają przemieszczeniu i akumulują się w dolnej części doprowadzając do wykształcenia poziomów iluwialnych (Zasoński 1974, 1992b). Ciągła akumulacja frakcji koloidalnej w pewnej strefie profilu glebowego warunkuje powstanie słabo przepuszczalnego, zagęszczonego poziomu (*fragipan*). Zwiększona zawartość frakcji koloidalnej w poziomach iluwialnych jest wynikiem nie tylko procesu *lessivaż*, ale jest też rezultatem wietrzenia wewnątrzglebowego minerałów pierwotnych – głównie mik (Zasoński 1974).

Zróżnicowanie zawartości frakcji koloidalnej pomiędzy pionowymi językami zaciekowymi i pryzmami glebowymi w obrębie poziomu *fragipan* jest efektem głębokiego przesychnienia gleb płowych, których poziomy iluwialne zasobne w pęczniejące minerały ilaste, kurczą się i pękają. Powstałe w ten sposób pionowe szczeliny z wysychania stanowią kanały infiltracyjne dla perkolującej wody (późna jesień i wiosna), która wypłukuje produkty wietrzenia (minerały ilaste i tlenki żelaza) z materiału sąsiadującego ze szczelinami (Payton 1993). W efekcie powstają białe języki zaciekowe zubożone we

frakcję koloidalną, a strop poziomu *fragipan* ulega transformacji w poziom *glossic*. Zróżnicowana zawartość frakcji ilastej w językach zaciekowych wynika z różnej głębokości pobierania materiału (im głębiej tym więcej iltu).

W większości analizowanych gleb płowych brak jest części szkieletowych bądź jest ona znikoma (Tab. 7 w aneksie). Śladowe ilości ziaren grubszych od 2 mm (kwarc) stwierdzono jedynie w profilu Jedlicze, Gaik-Brzezowa oraz Witoszyńce. W profilu Gronków zawartość części szkieletowych jest nieco wyższa i w niektórych poziomach dochodzi do około 10,0%. W tym profilu, szkielet stanowią głównie silnie zwietrzałe okruchy piaskowców i kwarcytów oraz ziarna mineralne odporne na wietrzenie: kwarc, skalenie potasowe (ortoklaz), plagioklasy oraz muskowit. Największą zawartością części szkieletowych (piaskowce glaukonitowe) charakteryzują się poziomy spągowe (4C1 oraz 4C2) w profilu Mucharz.

Nieznaczne ilości części szkieletowych (okruchy wapienia) stwierdzono w poziomach stropowych profilu Polanka Hallera. Okruchy te są efektem nawożenia gleby, a więc są pochodzenia antropogenicznego i nie zostały uwzględnione przy ustalaniu genezy tej gleby i pochodzenia jej materiału macierzystego.

Bardzo niewielka zawartość części szkieletowych w badanych profilach gleb płowych oraz znaczne wysortowanie materiału i przewaga frakcji pyłowej (0,05-0,002 mm) dowodzi, że materiał macierzysty większości tych gleb jest pochodzenia eolicznego. Potwierdzają to również wyniki obliczonego granulometrycznego wskaźnika lessowatości przyjmującego w większości przypadków wartość typową dla lessów i wynoszącego około bądź powyżej 1,5 (Dwucet 1999).

#### **4.4. Zawartość węgla organicznego i materii organicznej**

Wszystkie badane gleby wykazują niewielką zawartość węgla organicznego i materii organicznej (Tab. 2). Jest to charakterystyczne dla gleb Pogórza Karpackiego i kotlin śródgórskich wytworzonych z pyłów lessopodobnych. Zasoby węgla organicznego we wszystkich pedonach są ograniczone zazwyczaj do powierzchniowych poziomów próchnicznych. W poziomach tych zawartość węgla organicznego wynosi zazwyczaj około 1,0%. Występujące w niektórych glebach, poziomy przejściowe AE wykazują już niewielkie ilości węgla organicznego (0,5-0,7%). Śladowe ilości węgla organicznego stwierdzono również w niektórych poziomach eluwalnych. Zawartość węgla organicznego w tych poziomach waha się od 0,0% do 0,4%. Natomiast poziomy *fragipan* i *argillic* nie

wykazują obecności węgla organicznego. Wyjątek stanowi poziom Btx1 w profilu Łazy 2, w którym stwierdzono śladową jego ilość. Pionowe języki zaciekowe nie zawierają  $C_{org}$ , a wyjątek stanowi materiał występujący w strukturach *glossic* w profilu Jedlicze, gdzie wykazano niewielką ilość tego pierwiastka (0,3%). W niektórych profilach (Polanka Hallera oraz Witoszyńce) stwierdzono obecność węgla organicznego w kanałach biogenicznych, które zostały zaobserwowane bezpośrednio pod poziomem próchnicznym (poziom Eg w profilu Witoszyńce) oraz na kontakcie poziomów Btg1 i Btg2 na głębokości 70 cm (w profilu Polanka Hallera). Zawartość węgla organicznego w takich biogenicznych strukturach jest jednak niewielka. W glebach tych stwierdzono również obecność nacieków ilasto-próchnicznych na ścianach pryzm glebowych w poziomach iluwialnych zawierających od 0,5% do 0,9% węgla organicznego.

W glebach płowych Pogórza Karpackiego i kotlin śródgórskich zaznacza się wyraźna różnica w zawartości próchnicy pomiędzy glebami leśnymi, a użytkowanymi rolniczo. Badane gleby leśne, oprócz obecności organicznych poziomów ściółki nadkładowej, charakteryzują się wyraźnie większą zawartością węgla organicznego w poziomach próchnicznych. Zawartość węgla organicznego w tych poziomach wynosi od około 1,0% do prawie 4,0%. Podobną zawartość węgla organicznego stwierdzono w poziomach próchnicznych gleb użytków zielonych (od 0,7% do 5,1%). Natomiast w poziomach próchnicznych gleb uprawnych zawartość węgla organicznego jest wyraźnie niższa i wynosi od 0,6% do 1,2%.



Tabela 2. Odczyn, zawartość węgla organicznego oraz materii organicznej w badanych glebach.

Poziom	Głębokość [cm]	pH		C <sub>org</sub> [%]	Materia org. [%]
		[H <sub>2</sub> O]	[KCl]		
Pleśna 1					
A	0-10	4,2	3,4	1,2	2,1
AE	10-30	5,1	3,8	0,5	0,8
E	30-70	5,2	4,0	0,3	0,5
Btx	70-105	4,9	3,9	0,0	0,0
Btg	105-150	5,0	3,9	0,0	0,0
C	150-300	5,3	3,9	0,0	0,0
2C	<300	8,0	7,5	0,0	0,0
Języki		5,0	4,0	0,0	0,0
Pleśna 2					
Ol	0-2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
A	2-10	5,0	4,0	0,7	1,3
AE	10-30	5,2	4,1	0,5	0,8
E	30-55	5,5	4,2	0,3	0,6
Btx1	55-80	5,6	4,1	0,0	0,0
Btx2	80-160	5,4	3,9	0,0	0,0
Języki		n.a.	n.a.	0,0	0,0
Pleśna 3					
Ap	0-35	5,1	4,0	0,8	1,4
Eg	35-45	5,6	4,4	0,4	0,6
Btx1	45-100	6,0	4,7	0,0	0,0
Btx2	100-180	5,4	4,1	0,0	0,0
Btg	180-245	5,2	4,0	0,0	0,0
BCg	245-285	5,7	4,2	0,0	0,0
Pleśna 4					
Ap	0-15	5,3	3,9	1,0	1,7
Btg1	15-30	5,6	4,0	0,0	0,0
Btg2	30-55	5,9	4,1	0,0	0,0
Btx1	55-85	5,6	3,9	0,0	0,0
Btx2	85-152	5,4	3,8	0,0	0,0
Btx3	152-162	5,7	3,9	0,0	0,0
Btg3	162-245	5,8	3,9	0,0	0,0
Btg4	245-270	6,1	4,0	0,0	0,0
Rdzawe otoczki języków		n.a.	n.a.	0,0	0,0
Języki		n.a.	n.a.	0,0	0,0
Pleśna 5					
Of	0-2	4,3	3,6	n.a.	56,0
A	2-10	4,1	3,4	3,8	6,5
E	10-40	4,2	3,7	0,4	0,7
Eg	40-90	4,3	3,7	0,0	0,0
Btx	90-150	5,2	3,7	0,0	0,0
Języki		n.a.	n.a.	0,0	0,0

n.a. – nie analizowano

Tabela 2. Odczyn, zawartość węgla organicznego oraz materii organicznej w badanych glebach cd.

Poziom	Głębokość [cm]	pH		C <sub>org</sub> [%]	Materia org. [%]
		[H <sub>2</sub> O]	[KCl]		
Gaik-Brzezowa					
Ap	0-30	6,8	5,9	0,9	1,5
Btx1	30-90	6,2	4,6	0,0	0,0
Btx2	90-140	5,4	4,0	0,0	0,0
Btg	140-170	6,0	4,3	0,0	0,0
Pryzmy		n.a.	n.a.	0,0	0,0
Języki		n.a.	n.a.	0,0	0,0
Gronków					
A	0-10	5,8	4,7	5,1	8,9
Ag	10-35	5,3	4,1	1,1	1,9
Eg	35-55	5,3	4,0	0,3	0,5
2Btx	55-100	5,2	3,7	0,0	0,0
2Btg	100-120	5,9	3,8	0,0	0,0
Brzezcie					
Ap	0-25	5,3	4,4	1,1	1,9
AE1	25-40	5,4	4,5	0,7	1,2
AE2	40-58	5,4	4,5	0,7	1,2
Eg	58-70	5,4	4,7	0,2	0,3
Btx	70-95	5,1	4,0	0,0	0,0
Btg1	95-115	5,4	4,2	0,0	0,0
Btg2	115-180	6,0	4,7	0,0	0,0
Języki		n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Jedlicze					
Ap	0-15	5,4	4,1	1,1	1,8
AE	15-30	5,5	4,1	0,7	1,2
Eg	30-50	6,0	4,6	0,4	0,6
Btx	50-100	6,5	4,8	0,0	0,0
Btg	100-160	6,8	4,9	0,0	0,0
Języki		n.a.	n.a.	0,3	0,5
Mucharz					
Ap	0-27	5,2	4,3	0,6	1,1
Eg	27-40	5,3	4,2	0,0	0,0
Btg1	40-70	6,7	6,2	0,0	0,0
Btx1	70-117	5,1	3,9	0,0	0,0
2Btx2	117-150	5,1	3,9	0,0	0,0
2Bt1	150-170	6,3	5,4	0,0	0,0
2Bt2	170-200	4,9	4,0	0,0	0,0
3C	200-210	5,2	4,0	0,0	0,0
4C1	210-260	5,1	4,0	0,0	0,0
4C2	260-280	5,3	4,2	0,0	0,0

n.a. – nie analizowano

Tabela 2. Odczyn, zawartość węgla organicznego oraz materii organicznej w badanych glebach cd.

Poziom	Głębokość [cm]	pH		C <sub>org</sub> [%]	Materia org. [%]
		[H <sub>2</sub> O]	[KCl]		
Łazy 1					
Ap	0-35	6,4	5,6	0,9	1,5
Eg	35-50	6,7	5,8	0,2	0,4
Btx	50-70	6,1	4,9	0,0	0,0
Btg	70-90	5,5	4,4	0,0	0,0
BC	90-110	5,7	4,5	0,0	0,0
C	110-150	5,6	4,3	0,0	0,0
Łazy 2					
OI	0-5	4,2	3,8	n.a.	94,2
Of	5-8	4,5	3,7	n.a.	44,0
A	8-20	3,9	3,2	3,0	5,1
E	20-55	4,2	3,8	0,4	0,7
Btx1	55-65	4,0	3,5	0,3	0,4
Btx2	65-85	4,7	3,6	0,0	0,0
Bt	85-115	5,0	3,7	0,0	0,0
BC	115-135	4,9	3,8	0,0	0,0
C	135-185	5,0	3,9	0,0	0,0
Witoszyńce					
OI	0-2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
A	2-30	5,6	4,3	0,7	1,2
Eg	30-50	6,0	4,3	0,4	0,8
Btx1	50-100	6,2	4,3	0,0	0,0
Btx2	100-160	6,7	4,6	0,0	0,0
Nacieki ilasto-próchniczne		n.a.	n.a.	0,5	0,9
Polanka Hallera					
Ap	0-15	7,8	7,3	1,2	2,1
AB	15-30	8,1	7,6	0,4	0,7
Btg1	30-70	8,1	6,6	0,0	0,0
Btg2	70-110	8,0	6,2	0,0	0,0
BCg	110-150	7,8	6,0	0,0	0,0
Bioturbacje		7,9	6,4	0,3	0,5
Nacieki ilasto-próchniczne		n.a.	n.a.	0,9	1,5

**n.a.** – nie analizowano

Uzyskane wyniki zawartości węgla organicznego i materii organicznej w badanych glebach są zbliżone do wyników przedstawionych przez innych autorów zajmujących się glebami płowymi Pogorza Karpackiego (Uziak 1962; Zasoński 1975, 1993) oraz poziomami *fragipan* (Miller i in. 1993; Rampelberg i in. 1997; Scalenghe i in. 2004; Certini i in. 2007). Niewielka zawartość węgla i materii organicznej w analizowanych glebach płowych uwarunkowana jest właściwościami samej gleby, klimatem, szatą roślinną oraz działalnością człowieka. Pyłowe uziarnienie gleb i zubożenie stropowych poziomów we frakcję koloidalną warunkują dobre napowietrzanie tych poziomów, a to sprzyja procesom mineralizacji materii organicznej. Brak węglanów oraz niewielka ilość

minerałów ilastych (w poziomach powierzchniowych) wpływa niekorzystnie na powstawanie trwałych połączeń próchniczno-mineralnych. W poziomach iluwialnych, gdzie zachodzi akumulacja minerałów ilastych i mniejszy jest dostęp tlenu występują nacieki próchniczne oraz ilasto-próchniczne. Występowanie takich nacieków ilasto-próchnicznych w niektórych poziomach iluwialnych świadczy o równoczesnym przemieszczaniu niektórych form zdyspergowanej próchnicy wraz z minerałami ilastymi i tlenkami żelaza w ramach procesu *lessivaż* (Zasoński 1974; Bednarek i in. 2008). W większości jednak próchnica ta ulega szybkiej mineralizacji (rozkładowi), a konserwuje się tylko w warunkach znacznego oglejenia. Wyraźne różnice w zawartości próchnicy pomiędzy glebami leśnymi i użytkowanymi rolniczo związane są z wynoszeniem materii organicznej wraz z plonami i mniejszą dostawą martwych szczątków roślinnych w glebach uprawnych. Zabiegi agrotechniczne mające na celu rozpulchnienie gleby dodatkowo ją napowietrzają, co przyspiesza rozkład materii organicznej. Nieco wyższa zawartość próchnicy w glebach użytków zielonych wskazuje na większą dostawę martwej materii organicznej (szczątki części nadziemnych i podziemnych traw) w ciągu roku w porównaniu z glebami gruntów ornych.

#### **4.5. Właściwości chemiczne**

##### **4.5.1. Odczyn**

Większość badanych gleb odznacza się kwaśnym bądź lekko kwaśnym odczynem w całym profilu (Tab. 2). Odczyn poziomów *fragipan* (bez względu na stopień wykształcenia języków zaciekowych) waha się od bardzo kwaśnego ( $\text{pH}[\text{H}_2\text{O}]$  poniżej 5,0) przez kwaśny ( $\text{pH}[\text{H}_2\text{O}]$  od 5,0 do 6,0) do lekko kwaśnego ( $\text{pH}[\text{H}_2\text{O}]$  6,1-6,7). Profil Polanka Hallera, w którym poziom *fragipan* nie występuje, odznacza się zasadowym odczynem w całym profilu, co jest efektem wapnowania. Podobnie jak w przypadku zawartości węgla organicznego również i właściwości chemiczne różnicują się w zależności od sposobu użytkowania gleb. Cechą charakterystyczną gleb leśnych jest wzrost odczynu wraz ze wzrostem głębokości profilu glebowego. Odwrotna sytuacja zaznacza się w glebach gruntów ornych, w których wraz ze wzrostem głębokości odczyn obniża się. W niektórych glebach uprawnych odczyn kształtuje się mniej więcej na jednakowym poziomie w całym profilu.

Właściwości chemiczne analizowanych gleb płowych są w głównej mierze odzwierciedleniem wpływu podłoża macierzystego, klimatu, szaty roślinnej oraz działalności człowieka. Wszystkie badane gleby wytworzyły się z bezwęglanowych,

pyłowych utworów lessopodobnych w klimacie umiarkowanym z przewagą opadów nad parowaniem pod roślinnością leśną. Warunki takie sprzyjają ługowaniu jonów zasadowych czego efektem jest kwaśny bądź lekko kwaśny odczyn. Obecnie największy wpływ na właściwości chemiczne gleb płowych Pogórza Karpackiego ma człowiek, który wapnuje gleby uprawne podnosząc w ten sposób ich odczyn i wzbogacając w składniki odżywcze. Przykładem takich zabiegów jest profil Polanka Hallera. Stosowanie nawozów podnosi odczyn nie tylko poziomów powierzchniowych, ale także poziomów eluwialnych oraz iluwialnych i dlatego poziomy *fragipan* w glebach leśnych wykazują wyraźnie niższy odczyn w porównaniu z poziomami Btx w glebach uprawnych. Podobne wyniki odczynu w glebach płowych Pogórza Karpackiego i kotlin śródgórskich otrzymali inni badacze (Uziak 1962; Zasoński 1975, 1990).

#### 4.5.2. Zawartość pedogenicznych form żelaza i glinu

Zawartość pedogenicznych form żelaza i glinu oznaczono w wybranych profilach glebowych (Gronków, Gaik-Brzezowa, Jedlicze, Pleśna 3, Brzezcie, Łazy 1, Witoszyńce oraz Polanka Hallera). Uzyskane wyniki wskazują, że poziomy *fragipan* odznaczają się nieznacznym wzrostem zawartości wolnych związków żelaza w porównaniu z pozostałymi poziomami genetycznymi (Tab. 3). Zawartość wolnych form żelaza ( $Fe_d$ ) waha się w tych poziomach od 0,54% do 1,33%. Wyraźnie niższa zawartość tych form żelaza występuje w materiale z wybielonych języków zaciekowych i wynosi od 0,06% do 0,43%. Natomiast rdzawe otoczki wybielonych struktur *glossic* występujące na kontakcie z pryzmatycznymi agregatami poziomów Btx wykazują kilku- bądź kilkunastokrotnie większą zawartość  $Fe_d$ . Zawartość żelaza amorficznego ( $Fe_o$ ) będącego najbardziej mobilną częścią żelaza wolnego jest nieco wyższa w poziomach stropowych (A, AE oraz E) w porównaniu z poziomami iluwialnymi (Tab. 3). Białe języki zaciekowe wykazują mniejszą zawartość tych form żelaza (od 0,04% do 0,30%) w porównaniu z poziomami Btx (od 0,20% do 0,60%) i rdzawymi otoczkami struktur *glossic* (prawie 1,30%). Amorficzne związki glinu ( $Al_o$ ) wykazują malejący trend wraz ze wzrostem głębokości, lecz różnice pomiędzy poszczególnymi poziomami genetycznymi nie są duże (Tab. 3). Poziomy powierzchniowe i eluwialne charakteryzują się nieco większą zawartością  $Al_o$  w porównaniu z poziomami iluwialnymi. Najniższymi zawartościami glinu amorficznego odznaczają się białe języki zaciekowe (od 0,07% do 0,13%) i poziomy przejściowe do podłoża macierzystego (od 0,09% do 0,11%).

Tabela 3. Zawartość różnych form żelaza i glinu w wybranych profilach glebowych.

Poziom	Głębokość [cm]	[%]									
		Fe <sub>t</sub>	Al <sub>t</sub>	Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>o</sub>	Al <sub>o</sub>	Fe <sub>d</sub> -Fe <sub>o</sub>	(Fe <sub>d</sub> -Fe <sub>o</sub> )/Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>t</sub>	Fe <sub>d</sub> /Fe <sub>t</sub>
Gronków											
A	0-10	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Ag	10-35	2,21	4,18	1,25	0,74	0,24	0,51	0,41	0,59	0,33	0,57
Eg	35-55	2,55	4,75	1,05	0,61	0,27	0,44	0,42	0,58	0,24	0,41
2Btx	55-100	2,84	6,29	1,33	0,31	0,18	1,02	0,77	0,23	0,11	0,47
2Btg	100-120	3,00	6,43	1,34	0,27	0,15	1,08	0,80	0,20	0,09	0,45
Gaik-Brzezowa											
Ap	0-30	1,80	3,80	0,60	0,41	0,15	0,20	0,32	0,68	0,23	0,34
Btx1	30-90	2,21	4,36	0,75	0,42	0,15	0,32	0,43	0,57	0,19	0,34
Btx2	90-140	1,92	4,30	0,54	0,37	0,13	0,18	0,33	0,67	0,19	0,28
Btg	140-170	1,75	4,31	0,39	0,18	0,07	0,21	0,54	0,46	0,10	0,23
Języki		1,20	4,07	0,06	0,04	0,07	0,02	0,28	0,72	0,03	0,05
Jedlicze											
Ap	0-15	1,52	3,64	0,52	0,35	0,14	0,17	0,33	0,67	0,23	0,34
AE	15-30	1,46	3,67	0,50	0,38	0,14	0,12	0,24	0,76	0,26	0,34
Eg	30-50	1,70	3,93	0,61	0,52	0,17	0,09	0,15	0,85	0,30	0,36
Btx	50-100	2,34	4,55	0,91	0,33	0,15	0,59	0,64	0,36	0,14	0,39
Btg	100-160	2,39	4,67	0,94	0,28	0,09	0,65	0,70	0,30	0,12	0,39
Języki		1,72	4,14	0,43	0,30	0,13	0,13	0,30	0,70	0,17	0,25
Pleśna 3											
Ap	0-35	1,75	3,58	0,54	0,39	0,13	0,15	0,28	0,72	0,22	0,31
Eg	35-45	1,77	3,78	0,63	0,48	0,14	0,14	0,23	0,77	0,27	0,36
Btx1	45-100	2,31	4,31	0,74	0,60	0,15	0,14	0,19	0,81	0,26	0,32
Btx2	100-180	2,29	4,47	0,74	0,40	0,11	0,34	0,46	0,54	0,17	0,32
Btg	180-245	1,92	4,28	0,45	0,29	0,11	0,16	0,36	0,64	0,15	0,23
BCg	245-285	2,16	4,47	0,66	0,35	0,11	0,31	0,47	0,53	0,16	0,31
Języki		1,56	4,46	0,13	0,09	0,11	0,04	0,31	0,69	0,06	0,08
Rdzawe otoczki języków		3,1	n.a.	1,73	1,29	n.a.	0,44	0,25	0,75	0,41	0,55
Brzezcie											
Ap	0-25	1,50	n.a.	0,53	0,37	n.a.	0,16	0,30	0,70	0,25	0,35
AE1	25-40	1,52	n.a.	0,55	0,42	n.a.	0,13	0,24	0,76	0,28	0,36
AE2	40-58	1,54	n.a.	0,52	0,43	n.a.	0,09	0,18	0,82	0,28	0,34
Eg	58-70	1,23	n.a.	0,33	0,33	n.a.	0,00	0,00	1,00	0,27	0,27
Btx	70-95	2,27	n.a.	0,79	0,38	n.a.	0,41	0,52	0,48	0,17	0,35
Btg1	95-115	2,05	n.a.	0,73	0,20	n.a.	0,53	0,73	0,27	0,10	0,35
Btg2	115-180	1,68	n.a.	0,59	0,15	n.a.	0,44	0,74	0,26	0,09	0,35
Języki		0,88	n.a.	0,24	0,20	n.a.	0,04	0,17	0,83	0,23	0,27

n.a. – nie analizowano

Tabela 3. Zawartość różnych form żelaza i glinu w wybranych profilach glebowych cd.

Poziom	Głębokość [cm]	[%]									
		Fe <sub>t</sub>	Al <sub>t</sub>	Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>o</sub>	Al <sub>o</sub>	Fe <sub>d</sub> -Fe <sub>o</sub>	(Fe <sub>d</sub> -Fe <sub>o</sub> )/Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>o</sub> /Fe <sub>t</sub>	Fe <sub>d</sub> /Fe <sub>t</sub>
Łazy 1											
Ap	0-35	1,23	2,97	0,39	0,25	0,14	0,14	0,36	0,64	0,20	0,32
Eg	35-50	1,48	3,38	0,55	0,29	0,12	0,26	0,47	0,53	0,19	0,37
Btx	50-70	2,43	4,14	1,10	0,28	0,17	0,83	0,75	0,25	0,11	0,45
Btg	70-90	1,97	3,90	0,87	0,27	0,14	0,60	0,69	0,31	0,14	0,44
BC	90-110	1,73	3,81	0,68	0,29	0,11	0,39	0,57	0,43	0,17	0,39
C	110-150	1,86	4,07	0,53	0,27	0,10	0,27	0,50	0,50	0,14	0,29
Witoszyńce											
OI	0-2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
A	2-30	1,91	3,89	0,56	0,44	0,15	0,12	0,21	0,79	0,23	0,29
Eg	30-50	2,54	4,56	0,64	0,53	0,15	0,10	0,17	0,83	0,21	0,25
Btx1	50-100	2,53	4,58	0,63	0,35	0,12	0,28	0,44	0,56	0,14	0,25
Btx2	100-160	2,28	4,52	0,55	0,20	0,09	0,35	0,63	0,37	0,09	0,24
Polanka Hallera											
Ap	0-15	1,83	3,81	0,53	0,24	0,10	0,28	0,54	0,46	0,13	0,29
AB	15-30	1,93	4,15	0,55	0,24	0,10	0,31	0,56	0,44	0,13	0,29
Btg1	30-70	2,10	4,52	0,41	0,22	0,11	0,19	0,46	0,54	0,10	0,19
Btg2	70-110	2,07	4,48	0,51	0,19	0,09	0,32	0,63	0,37	0,09	0,25
BCg	110-150	2,21	4,65	0,49	0,18	0,09	0,30	0,62	0,38	0,08	0,22

n.a. – nie analizowano

Zawartość krystalicznych tlenków żelaza jest wyższa w poziomach iluwialnych (*fragipan* i *argillic*) i w poziomach BC (od 0,14% do 1,08%) w porównaniu z poziomami eluwialnymi i próchnicznymi (od 0,00% do 0,51%). Z kolei wybielone języki zaciekowe w obrębie poziomów *fragipan* wykazują najniższą zawartość tych form żelaza (od 0,02% do 0,13%) (Tab. 3).

Poziomy stropowe badanych gleb (A, AE, E) odznaczają się niższym stopniem krystalizacji tlenków żelaza w porównaniu z poziomami iluwialnymi (Btx, Btg i BC) (Tab. 3). W poziomach próchnicznych i eluwialnych stopień krystalizacji tlenków żelaza waha się od 0,00% do 0,54%, a w poziomach iluwialnych (Btx, Btg oraz BC) wynosi od 0,19% do 0,80%. Natomiast wybielone języki zaciekowe wykazują stopień krystalizacji żelaza wahający się od 0,17% do 0,31%.

Uzyskane wyniki zawartości pedogenicznych form żelaza i glinu wskazują, że tylko związki żelaza (i to w niewielkim stopniu) ulegają przemieszczeniu w wyniku procesu *lessivaż* (Uziak 1962; Marsan i Torrent 1989; Zasoński 1990; Duncan i Franzmeier 1999). Procesem sprzyjającym przemieszczaniu związków żelaza jest odgórne oglejenie i proces ferrolizy, które prowadzą do redukcji żelaza z trzeciego stopnia utlenienia (Fe<sup>3+</sup>) na drugi (Fe<sup>2+</sup>) (Brinkman 1979; Van Ranst i De Coninck 2002). Zredukowane żelazo jest bardziej mobilne i łatwiej może się przemieszczać wraz z wodą w profilu glebowym. Jednak

niewielkie różnice w zawartości ruchliwych form żelaza pomiędzy poziomami eluwialnymi i iluwialnymi są zapewne efektem niskiej przewodności hydraulicznej poziomu *fragipan* ze względu na jego wysoką gęstość objętościową i niską porowatość. Procesy przemieszczania wolnych związków żelaza są najbardziej intensywne wzdłuż pionowych szczelin, które umożliwiają łatwą perkolację wody, a tym samym przemieszczanie produktów wietrzenia. Powtarzająca się eluwiacja związków żelaza z materiału sąsiadującego z pionowymi szczelinami doprowadza z czasem do wyraźnego jego zubożenia i wykształcenia języków zaciekowych (Ranney i in. 1975; Witty i Knox 1989; Lindbo i in. 1994, 1995; Weisenborn i Schaeztl 2005). Związki te przemieszczają się w kierunku zbitych i słabo przepuszczalnych pryzm glebowych, gdzie się akumulują doprowadzając do powstania charakterystycznej rdzawej otoczki (Payton 1993). Najwyższa zawartość krystalicznych tlenków żelaza oraz najwyższy ich stopień krystalizacji w poziomach iluwialnych (*fragipan* i *argillic*) wskazują, że w tej strefie panują lepsze warunki dla krystalizacji takich produktów w porównaniu z poziomami powierzchniowymi i eluwialnymi. Natomiast poziomy stropowe odznaczają się wyższym stosunkiem żelaza wolnego do całkowitego w porównaniu z poziomami iluwialnymi. Oznacza to, że zachodzi tu silniejsze wietrzenie minerałów i uwalnianie żelaza z sieci krystalicznych, które skupia się w postaci kongrecji żelazistych i w niewielkim stopniu ulega przemieszczeniu w głąb profilu. Wyższa zawartość amorficznych tlenków glinu w poziomach powierzchniowych jest efektem najbardziej intensywnego wietrzenia minerałów w tej strefie. Malejąca zawartość amorficznych tlenków glinu wraz ze wzrostem głębokości wskazuje, że składniki te nie podlegają przemieszczaniu w procesie płowienia bądź ulegają tylko w niewielkim stopniu.

Zawartość pedogenicznych form żelaza i glinu w badanych profilach glebowych wskazuje, że związki te nie mają dużego znaczenia w cementacji poziomów *fragipan* i nie odpowiadają za wysoką twardość tych poziomów w stanie suchym jak proponują niektórzy autorzy (m.in. Hallmark i Smeck 1979; Duncan i Franzmeier 1999). Niewielki wzrost zawartości żelaza wolnego ( $Fe_d$ ) oraz większa zawartość krystalicznych tlenków żelaza w poziomach *fragipan* może wskazywać, że jedynie te związki mogą w pewien sposób zwiększać jego twardość w stanie suchym (Marsan i Torrent 1989), ale nie są głównym składnikiem spajającym ziarna mineralne w badanych poziomach *fragipan*.



## 4.6. Właściwości fizyczne

### 4.6.1. Gęstość fazy stałej

Wszystkie badane gleby odznaczają się zbliżoną gęstością fazy stałej, która oscyluje wokół wartości  $2,65 \text{ Mg/m}^3$  (Tab. 4).

Niewielkie różnice w gęstości fazy stałej badanych gleb są efektem dużej jednorodności składu mineralnego i są zbliżone do wartości podawanych w innych opracowaniach (np. Klimek 2005). We wszystkich poziomach genetycznych badanych gleb przeważającym minerałem pierwotnym jest kwarc, którego gęstość właściwa wynosi  $2,65 \text{ Mg/m}^3$ . Nieznacznie niższa gęstość właściwa w poziomach powierzchniowych jest związana z obecnością próchnicy. Z kolei nieco wyższa zawartość związków żelaza w poziomach iluwialnych nieznacznie zwiększa gęstość fazy stałej tych poziomów.

### 5.6.2. Gęstość objętościowa

Wszystkie badane gleby wykazują wzrost gęstości objętościowej wraz ze wzrostem głębokości (Tab. 4). Najwyższymi wartościami gęstości objętościowej wahającej się od  $1,42 \text{ Mg/m}^3$  do  $1,82 \text{ Mg/m}^3$  odznaczają się poziomy iluwialne (*fragipan* i *argillic*). Poziomy przejściowe BC oraz poziomy podłoża macierzystego charakteryzują się zazwyczaj zbliżonymi lub nieco niższymi wartościami gęstości objętościowej (od  $1,40 \text{ Mg/m}^3$  do  $1,71 \text{ Mg/m}^3$ ). Najniższą gęstością objętościową wynoszącą od  $0,80 \text{ Mg/m}^3$  do  $1,55 \text{ Mg/m}^3$  odznaczają się poziomy próchniczne. W poziomach przejściowych AE oraz eluwialnych (Eg) gęstość objętościowa jest nieco wyższa i wynosi od  $1,30 \text{ Mg/m}^3$  do  $1,70 \text{ Mg/m}^3$ .

Gęstość objętościowa informuje o stopniu zwięzłości materiału glebowego, a także pośrednio o porowatości, przepuszczalności oraz zdolnościach retencyjnych gleby i dlatego była ona jednym z kryteriów diagnostycznych stosowanych w wyróżnianiu poziomu *fragipan* (Witty i Knox 1989; Ciolkosz i in. 1995). Późniejsze badania wykazały, że wysoka gęstość objętościowa nie jest charakterystyczna tylko dla poziomów *fragipan* i zrezygnowano z tej właściwości jako kryterium wyróżniającego (np. Lindbo i in. 1994). Uzyskane wartości gęstości objętościowej w badanych glebach i poziomach *fragipan* są zbliżone do wyników przedstawianych w innych pracach (Petersen i in. 1970; Ajmone-Marsan i in. 1994; Lindbo i in. 1994; Norfleet i Karathanasis 1996; Ciolkosz i Waltman 2000). Wyraźne zróżnicowanie gęstości objętościowej w badanych profilach glebowych jest rezultatem zachodzącego procesu przemieszczania najdrobniejszej frakcji koloidalnej w ramach *lessivażu*, na co zwracali uwagę m.in. Uziak (1962), Firek (1977), Zasoński

(1992b) oraz Klimek (2005). Przemieszczany il koloidalny z poziomów stropowych (A, AE i E) do poziomów iluwialnych (Btx, Btg) powoduje wypełnianie istniejących tam wolnych przestrzeni (porów, kanalików, szczelin), co w efekcie prowadzi do wzrostu gęstości objętościowej (Certini i in. 2007). Największa akumulacja frakcji koloidalnej zachodzi w stropowej części poziomu iluwialnego (*argillic*), co z czasem doprowadza do wykształcenia zbitego, upakowanego i słabo przepuszczalnego poziomu *fragipan*. Najwyższe wartości gęstości objętościowej występujące w poziomach iluwialnych *argillic* są wynikiem postępującej od góry degradacji poziomów iluwialnych, która przejawia się pionowymi szczelinami i rozwijającymi się wzdłuż nich językami zaciekowymi. Poziomy przejściowe BC w mniejszym stopniu objęte procesami glebotwórczymi (*lessivazem*) i poziomy podłoża macierzystego nie objęte pedogenezą wykazują zazwyczaj niższą średnią gęstość objętościową i dowodzą wyraźnej zależności pomiędzy płowieniem a gęstością objętościową.

Tabela 4. Właściwości fizyczne badanych gleb.

Poziom	Głębokość [cm]	D2 [Mg/m <sup>3</sup> ]	D [Mg/m <sup>3</sup> ]	Wv [%]	Pwv [%]	P [%]	Pp [%]	R [N/cm <sup>2</sup> ]
Pleśna 1								
A	0-10	1,18	2,59	30,9	45,7	53,7	8,0	91,6
AE	10-30	1,31	2,63	28,2	44,4	49,2	4,8	190,6
E	30-70	1,32	2,62	19,3	43,2	49,2	6,0	165,2
Btx	70-105	1,42	2,64	20,8	44,3	45,8	1,5	403,2
Btg	105-150	1,42	2,66	14,6	49,9	46,0	-3,9	478,2
C	150-300	1,40	2,68	17,4	46,0	47,2	1,2	251,4
2C	<300	1,43	2,69	19,1	47,1	45,6	-1,5	365,7
Pleśna 2								
Oi	0-2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
A	2-10	1,50	2,62	34,3	44,7	42,3	-2,4	n.a.
AE	10-30	1,44	2,66	35,0	43,3	45,0	1,7	n.a.
E	30-55	1,58	2,63	34,9	45,1	39,5	-5,6	n.a.
Btx1	55-80	1,65	2,65	34,8	40,7	36,5	-4,2	n.a.
Btx2	80-160	1,66	2,69	36,2	40,1	36,2	-3,9	n.a.
Pleśna 3								
Ap	0-35	1,54	2,62	31,8	41,8	40,3	-1,5	n.a.
Eg	35-45	1,57	2,65	32,8	43,2	40,1	-3,1	n.a.
Btx1	45-100	1,63	2,66	32,2	40,6	38,0	-2,6	n.a.
Btx2	100-180	1,62	2,70	33,2	39,0	37,7	-1,3	n.a.
Btg	180-245	1,61	2,67	39,1	42,5	38,8	-3,7	n.a.
Pleśna 4								
Ap	0-15	1,49	2,63	36,9	45,2	43,3	-1,9	91,4
Btg1	15-30	1,56	2,67	35,5	41,1	41,5	0,4	123,0
Btg2	30-55	1,58	2,69	37,6	41,4	41,3	0,0	222,4
Btx1	55-85	1,59	2,69	36,6	41,3	41,0	-0,3	304,2
Btx2	85-152	1,61	2,69	37,3	40,9	40,0	-0,8	223,8
Btx3	152-162	1,66	2,69	37,0	40,0	38,3	-1,7	210,6
Btg3	162-245	1,68	2,65	36,9	39,6	36,7	-2,9	192,8
Btg4	245-(270)	1,72	2,68	36,7	39,8	35,9	-3,9	187,4
Pleśna 5								
Of	0-2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
A	2-10	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	137,4
E	10-40	1,26	2,66	23,6	44,0	52,6	8,6	215,4
Eg	40-90	1,58	2,67	28,7	39,4	40,8	1,5	503,4
Btx	90-150	1,63	2,70	33,8	39,0	39,6	0,6	445,2

**D2** – gęstość objętościowa, **D** – gęstość właściwa, **Wv** – wilgotność względna w % objętościowych, **Pwv** – kapilarna pojemność wodna, **P** – porowatość ogólna, **Pp** – pojemność powietrzna, **R** – odporność penetracji, **n.a.** – nie analizowano

Tabela 4. Właściwości fizyczne badanych gleb cd.

Poziom	Głębokość [cm]	D2 [Mg/m <sup>3</sup> ]	D [Mg/m <sup>3</sup> ]	Wv [%]	Pwv [%]	P [%]	Pp [%]	R [N/cm <sup>2</sup> ]
Gaik-Brzezowa								
Ap	0-30	1,51	2,64	28,4	42,1	42,8	0,7	346,2
Btx1	30-90	1,57	2,68	35,6	40,4	41,4	1,0	340,2
Btx2	90-140	1,63	2,70	35,8	38,7	39,6	0,9	421,8
Btg	140-170	1,66	2,67	36,9	39,6	37,8	-1,8	333,6
Gronków								
A	0-10	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	116,4
Ag	10-35	1,43	2,60	24,7	44,9	45,0	0,1	349,8
Eg	35-55	1,54	2,67	24,2	40,2	42,3	2,1	493,8
2Btx	55-100	1,69	2,70	28,5	36,6	37,4	0,8	456,6
2Btg	100-120	1,82	2,70	30,9	34,4	32,6	-1,8	355,8
Brzezcie								
Ap	0-25	1,55	2,62	22,0	42,0	40,8	-1,2	n.a.
AE1	25-40	1,50	2,67	26,0	50,0	43,8	-6,2	n.a.
AE2	40-58	1,45	2,65	22,0	45,0	45,3	0,3	n.a.
Eg	58-70	1,41	2,64	17,0	46,5	46,6	0,1	n.a.
Btx	70-95	1,68	2,69	27,0	39,0	37,5	-1,5	n.a.
Btg1	95-115	1,67	2,70	33,0	40,0	38,1	-1,9	n.a.
Btg2	115-180	1,70	2,67	34,0	40,0	36,3	-3,7	n.a.
Jedlicze								
Ap	0-15	1,36	2,61	37,7	47,1	47,9	0,8	94,2
AE	15-30	1,48	2,61	40,1	43,8	43,3	-0,5	192,6
Eg	30-50	1,51	2,66	36,3	40,7	43,2	2,5	135,0
Btx	50-100	1,62	2,65	34,7	38,7	38,9	0,2	210,0
Btg	100-160	1,65	2,66	38,0	40,5	38,0	-2,5	169,8
Mucharz								
Ap	0-27	n.a.	2,61	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Eg	27-40	1,70	2,67	28,4	35,9	36,3	0,4	n.a.
Btg1	40-70	1,68	2,66	29,2	36,0	36,8	0,8	n.a.
Btx1	70-117	1,73	2,66	29,3	35,4	35,0	-0,4	n.a.
2Btx2	117-150	1,81	2,66	27,9	35,1	32,0	-3,1	n.a.
2Bt1	150-170	1,76	2,68	29,9	35,4	34,3	-1,1	n.a.
2Bt2	170-200	n.a.	2,69	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
3C	200-210	n.a.	2,68	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4C1	210-260	n.a.	2,68	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
4C2	260-280	n.a.	2,67	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.

**D2** – gęstość objętościowa, **D** – gęstość właściwa, **Wv** – wilgotność względna w % objętościowych, **Pwv** – kapilarna pojemność wodna, **P** – porowatość ogólna, **Pp** – pojemność powietrzna, **R** – odporność penetracji, **n.a.** – nie analizowano

Tabela 4. Właściwości fizyczne badanych gleb cd.

Poziom	Głębokość [cm]	D2 [Mg/m <sup>3</sup> ]	D [Mg/m <sup>3</sup> ]	Wv [%]	Pwv [%]	P [%]	Pp [%]	R [N/cm <sup>2</sup> ]
Łazy 1								
Ap	0-35	1,27	2,60	30,1	48,0	51,2	3,2	n.a.
Eg	35-50	1,53	2,69	33,5	40,2	43,1	2,9	n.a.
Btx	50-70	1,61	2,67	35,6	39,5	39,7	0,2	n.a.
Btg	70-90	1,56	2,71	36,0	41,6	42,4	0,8	n.a.
BC	90-110	1,56	2,68	34,4	40,0	41,8	1,8	n.a.
C	110-150	1,65	2,69	35,0	40,2	38,7	-1,5	n.a.
Łazy 2								
Oi	0-5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Of	5-8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
A	8-20	0,80	2,52	40,1	58,6	68,3	9,7	n.a.
E	20-55	1,30	2,64	28,6	46,5	50,8	4,3	n.a.
Btx1	55-65	1,44	2,68	30,0	39,6	46,3	6,7	n.a.
Btx2	65-85	1,60	2,66	20,0	38,2	39,8	1,6	n.a.
Bt	85-115	1,60	2,70	24,1	39,9	40,7	0,8	n.a.
BC	115-135	1,55	2,71	19,8	42,1	42,8	0,7	n.a.
C	135-185	1,57	2,68	15,8	40,8	41,4	0,6	n.a.
Witoszyńce								
Oi	0-2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
A	2-30	1,27	2,66	11,8	45,8	52,3	6,5	n.a.
Eg	30-50	1,35	2,66	11,8	47,5	49,2	1,8	n.a.
Btx1	50-100	1,65	2,71	21,3	38,1	39,1	1,1	n.a.
Btx2	100-160	1,65	2,71	25,4	38,4	39,1	0,7	n.a.
Polanka Hallera								
Ap	0-15	1,51	2,61	32,0	40,7	42,1	1,4	341,4
AB	15-30	1,67	2,64	30,5	35,9	36,7	0,8	541,8
Btg1	30-70	1,71	2,69	32,2	36,1	36,4	0,3	417,0
Btg2	70-110	1,68	2,69	36,1	38,9	37,5	-1,4	414,6
BCg	110-150	1,71	2,68	36,6	40,4	36,2	-4,2	332,4

**D2** – gęstość objętościowa, **D** – gęstość właściwa, **Wv** – wilgotność względna w % objętościowych, **Pwv** – kapilarna pojemność wodna, **P** – porowatość ogólna, **Pp** – pojemność powietrzna, **R** – odporność penetracji, **n.a.** – nie analizowano,

#### 4.6.3. Porowatość ogólna

Porowatość ogólna analizowanych gleb kształtuje się odwrotnie w porównaniu z gęstością objętościową. We wszystkich badanych profilach glebowych porowatość zmniejsza się wraz ze wzrostem głębokości, by w niektórych przypadkach wzrosnąć w poziomach przejściowych BC i podłożu macierzystym (Tab. 4). Najniższą porowatością ogólną wynoszącą od 32,0% do 46,3% charakteryzują się poziomy iluwialne (Btx i Btg). Porowatość ogólna w poziomach BC i w poziomach podłoża macierzystego jest zbliżona do porowatości poziomów Btx i Btg i wynosi od 36,2% do 47,2%. Z kolei poziomy próchniczne wykazują najwyższą porowatość ogólną wahającą się od 40,3% do 68,3%. Natomiast nieco niższą porowatością w stosunku do poziomów próchnicznych odznaczają się poziomy przejściowe AE oraz eluwialne, w których porowatość ogólna wynosi od 36,3% do 52,6%.

Podobnie jak w przypadku gęstości objętościowej, zróżnicowanie porowatości ogólnej w profilach gleb płowych wynika z procesu *lessivazu* (Ajmone-Marsan i in. 1994; Klimek 2005). Badania francuskich i belgijskich gleboznawców również wykazały, że spadek porowatości w poziomach *fragipan* jest związany ze wzrostem zawartości ilu (Lozet i Herbillon 1971; Lamotte i in. 1997a; Attou i Bruand 1998). Czynnikiem zwiększającym porowatość ogólną w poziomach stropowych jest aktywność edafonu glebowego, który drażąc różnej wielkości kanaliki zwiększa porowatość gleby. Natomiast zwiększona porowatość w przypadku gleb uprawnych wynika z różnych zabiegów agrotechnicznych (orka, bronowanie, głęboszowanie itp.). Nieznaczne różnice w porowatości ogólnej pomiędzy poziomami eluwialnymi i iluwialnymi wynikają z podatności materiałów o dominującej frakcji pyłu do osiadania zapadowego, a więc zmniejszenia swojej objętości pod wpływem uwilgotnienia (Grabowska-Olszewska 1963; Clemence i Finbarr 1980; Bryant 1989; Assalay i in. 1998; Pająk-Komorowska 2007). Z drugiej strony są też efektem masywnej struktury w poziomach eluwialnych. Dowodem na często występujące znaczne uwilgotnienie poziomów stropowych jest wybielenie materiału glebowego w poziomach eluwialnych oraz obecność licznych konkrecji żelazistych i żelazisto-manganowych (Rhoton i in. 1993; Lindbo i in. 2000). Natomiast często spotykana masywna struktura materiału glebowego w poziomach eluwialnych badanych gleb płowych jest rezultatem jego zubożenia w koloidy glebowe, które mają zdolności do koagulacji ziaren mineralnych i sprzyjają w ten sposób powstawaniu struktury glebowej.

#### 4.6.4. Kapilarna pojemność wodna

Analizowane gleby płowe wykazują dosyć znaczne zróżnicowanie kapilarnej pojemności wodnej (Tab. 4). Najniższą kapilarną pojemnością wodną wynoszącą od 34,4% do 42,5% odznaczają się poziomy iluwialne *fragipan* oraz *argillic* (wyjątek stanowią poziomy iluwialne z profilu Pleśna 1). Poziomy leżące niżej w profilu (BC oraz C) wykazują nieznacznie wyższą kapilarną pojemność wodną w porównaniu z poziomami iluwialnymi (Btx i Btg). Kapilary stanowią w tych poziomach od 40,0% do 46,0% ogólnej porowatości. Poziomy powierzchniowe, przejściowe AE, a także eluwialne wykazują wyższą kapilarną pojemność wodną w porównaniu z poziomami iluwialnymi. W poziomach próchnicznych zawartość kapilar wynosi od 40,7% do 58,6% i jest najwyższa ze wszystkich poziomów genetycznych. Poziomy AE wykazują minimalnie niższą zawartość mezoporów od 43,3% do 50,0%. Natomiast w poziomach eluwialnych kapilary stanowią od 35,9% do 47,5% ogólnej porowatości.

Kapilarna pojemność wodna jest ściśle związana z uziarnieniem, gęstością objętościową i porowatością ogólną, a także z procesami glebotwórczymi, które warunkują rozmieszczenie porów o różnej wielkości. Różnice kapilarnej pojemności wodnej w badanych profilach glebowych pomiędzy poziomami stropowymi (A, AE oraz E) i poziomami iluwialnymi (Btx, Btg) są rezultatem procesu *lessivaz*, który jest główną przyczyną zróżnicowania pierwotnej homogeniczności pyłów lessopodobnych pod względem porowatości (Klimek 2005). Przemieszczana frakcja koloidalna, jak już wcześniej zostało wspomniane, powoduje zasklepianie wolnych przestrzeni (porów, szczelin) w poziomach iluwialnych zmniejszając w ten sposób zawartość makro- i mezoporów (kapilar) i zwiększając procentowy udział mikroporów w ogólnej porowatości tych poziomów (Ajmone-Marsan i in. 1994). Poziomy eluwalne są z kolei „wzbogacane” w pory o większej średnicy (mezopory) na skutek wyflukiwania produktów wietrzenia przez infiltrującą wodę opadową bądź roztopową. Wzrost kapilarnej pojemności wodnej w poziomach przejściowych BC i w podłożu macierzystym C, gdzie wpływ procesu płowienia zaznacza się w mniejszym stopniu, potwierdza rolę *lessivazu* w kształtowaniu kapilarności gleby.

#### 4.6.5. Pojemność powietrzna

Pojemność powietrzna badanych gleb wyraźnie zmniejsza się wraz ze wzrostem głębokości (Tab. 4). Poziomy iluwalne (*fragipan* i *argillic*), poziomy przejściowe do podłoża macierzystego (BC) oraz horyzonty C wykazują zazwyczaj brak wolnych przestrzeni wypełnionych powietrzem, a tylko niektóre z nich wykazują znikomą pojemność powietrzną nie przekraczającą 2,0% (wyjątek stanowi poziom Btx1 w profilu Łazy 2). Poziomy powierzchniowe A, przejściowe AE oraz eluwalne odznaczają się bardziej zróżnicowaną pojemnością powietrzną wahającą się od 0,0% do prawie 10,0%.

Pojemność powietrzna w badanych glebach płowych jest niska i zmniejsza się wraz ze wzrostem głębokości. Jest to charakterystyczne dla większości gleb wykształconych z homogenicznego materiału macierzystego. Podobne wyniki uzyskali inni autorzy (np. Uziak 1962). Różnice pojemności powietrznej pomiędzy poziomami stropowymi (eluwalnymi) i iluwialnymi wynikają z procesu płowienia (*lessivazu*).

#### 4.6.6. Odporność penetracji gleby

Przeprowadzone badania odporności penetracji gleby w wybranych profilach glebowych wykazały wyraźne zróżnicowanie tej właściwości (Tab. 4). We wszystkich przypadkach odporność ta wzrasta stopniowo wraz z głębokością profilu do poziomu

*fragipan* bądź *argillic*, by następnie nieznacznie się zmniejszyć. Poziomy *fragipan* stanowiące stropową część poziomu iluwialnego charakteryzują się najwyższą odpornością penetracji wynoszącą od 210,0 N/cm<sup>2</sup> do 503,4 N/cm<sup>2</sup>. Poziomy *argillic* wykazują nieco niższą wartość odporności penetracji wahającą się od 123,0 N/cm<sup>2</sup> do 478,2 N/cm<sup>2</sup>. Natomiast wyraźnie niższymi wartościami odporności penetracji, a tym samym najmniej zbitym układem materiału glebowego odznaczają się poziomy eluwialne (od 135,0 N/cm<sup>2</sup> do 493,8 N/cm<sup>2</sup>), przejściowe AE (około 190,0 N/cm<sup>2</sup>) oraz próchniczne (od 91,4 N/cm<sup>2</sup> do 349,8 N/cm<sup>2</sup>).

Wysokie wartości odporności penetracji w całym profilu badanych gleb płowych świadczą o znacznej zbitości materiału glebowego, który uwarunkowany jest wspomnianą wcześniej podatnością materiałów pyłowych do osiadania zapadowego. Wzrost zwięzłości poziomów iluwialnych wynika z przemieszczenia najdrobniejszej frakcji koloidalnej, która wypełnia wolne przestrzenie w tych poziomach. Przemieszczony materiał ilasty stanowi cement spajający ziarna pyłu i piasku (Knox 1957; Lindbo i Veneman 1989). Natomiast inni autorzy uważają, że duża odporność penetracji poziomów *fragipan* wynika z koncentracji w tych poziomach substancji amorficznych, które spajają większe ziarna, a także minerały ilaste (Hallmark i Smeck 1979; Karathanasis 1987, 1989; Franzmeier i in. 1989; Norfleet i Karathanasis 1996). Najwyższe wartości odporności penetracji gleby w poziomach *fragipan* wskazują, na wyraźną koncentrację substancji spajających w tych poziomach genetycznych.

#### 4.6.7. Pęcznienie i kurczenie materiału glebowego

Badania pęcznienia i kurczenia materiału glebowego przeprowadzono w wybranych profilach glebowych. Pęcznienie swobodne (FS) jest wyraźnie zróżnicowane pomiędzy badanymi glebami jak również pomiędzy poziomami genetycznymi poszczególnych gleb (Tab. 5). Poziomy *fragipan* w badanych glebach płowych odznaczają się zazwyczaj największymi zdolnościami pęcznienia wynoszącymi od 36,0% do 55,6%. Badane poziomy *argillic* wykazują bardzo zbliżone zdolności pęcznienia do poziomów Btx (od 33,3% do 57,1%). Poziomy przejściowe BC oraz podłoże macierzyste wykazują już zdecydowanie niższe wartości pęcznienia swobodnego w porównaniu z poziomami iluwialnymi. W poziomach tych wartości FS wahają się od 23,1% do 41,4%. Najniższymi zdolnościami pęcznienia charakteryzują się natomiast poziomy próchniczne, przejściowe AE i eluwialne. W poziomach A pęcznienie swobodne wynosi od 22,2% do 48,8%,



a w poziomach eluwalnych (AE oraz E) waha się od 18,7% do 44,6%. Natomiast struktury *glossic* wykazują zróżnicowane zdolności pęcznienia (od 27,1% do 47,9%).

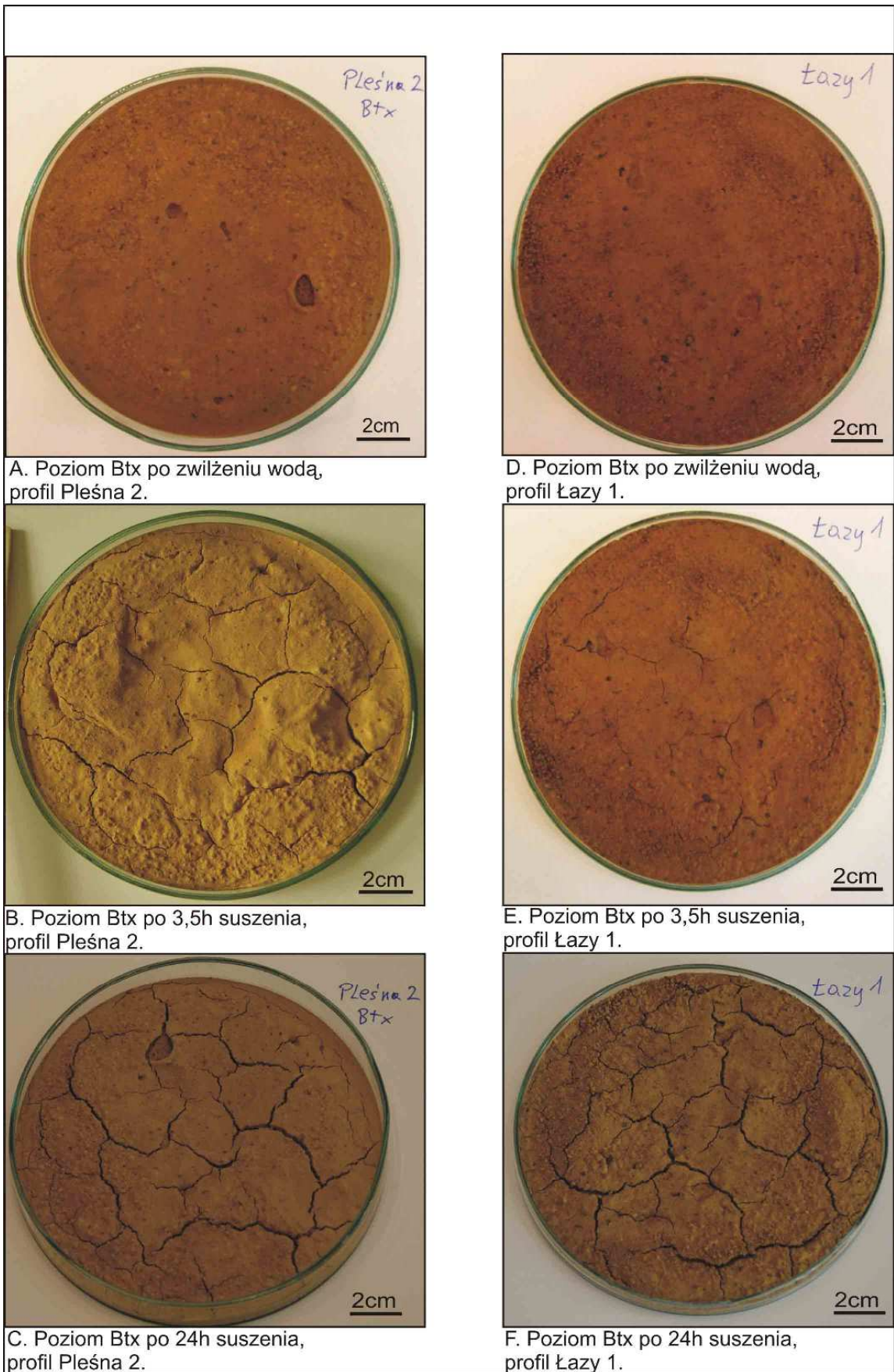
Tabela 5. Pęcznienie swobodne w wybranych profilach glebowych.					
Poziom	Głębokość [cm]	FS [%]	Poziom	Głębokość [cm]	FS [%]
Brzezcie			Pleśna 1		
Ap	0-25	37,5	A	0-10	37,5
AE1	25-40	29,6	AE	10-30	31,3
AE2	40-58	35,0	E	30-70	31,6
E	58-70	28,6	Btx	70-105	43,2
Btx	70-95	47,4	Bt	105-150	46,7
Btg1	95-115	54,9	C	150-300	23,1
Btg2	115-180	40,8	2C	<300	38,5
Łazy1			Języki		47,9
Ap	0-35	26,3	Pleśna 2		
Eg	35-50	18,7	OI	0-2	n.a.
Btx	50-70	46,7	A	2-10	37,5
Bt	70-90	40,0	AE	10-30	33,3
BC	90-110	36,7	E	30-55	31,6
C	110-150	26,7	Btx1	55-80	46,7
Języki		27,1	Btx2	80-160	46,7
Łazy 2			Języki		34,7
OI	0-5	n.a.	Pleśna 3		
Of	5-8	n.a.	Ap	0-35	40,0
A	8-20	36,8	Eg	35-45	44,6
E	20-55	39,3	Btx1	45-100	48,8
Btx1	55-65	50,0	Btx2	100-180	47,3
Btx2	65-85	53,3	Btg	180-245	33,3
Bt	85-115	57,1	BCg	245-285	33,3
BC	115-135	33,8	Języki		46,7
C	135-185	41,4	Pleśna 4		
Gaik-Brzezowa			Ap	0-15	48,8
Ap	0-30	27,9	Btg1	15-30	46,7
Btx1	30-90	45,9	Btg2	30-55	50,0
Btx2	90-140	38,0	Btx1	55-85	38,8
Btg	140-170	34,7	Btx2	85-152	55,6
Gronków			Btx3	152-162	36,0
A	0-10	n.a.	Btg3	162-245	34,7
Ag	10-35	22,2	Btg4	245-270	42,9
Eg	35-55	20,5			
2Btx	55-100	38,8			
2Btg	100-120	43,8			

**FS** - pęcznienie swobodne  
**n.a.** - nie analizowano

Procesy kurczenia i pęcznienia stanowią charakterystyczną właściwość gleb zawierających dużą ilość pęczniących minerałów ilastych (smektytów). Analiza pęcznienia wykazała wyraźną zależność zdolności pęcznienia od zawartości minerałów ilastych (frakcji iłu koloidalnego). Największe nagromadzenie pęczniących minerałów ilastych w poziomach iluwalnych (*fragipan* i *argillic*) będące efektem procesu *lessivazu*, nadaje największe zdolności pęcznienia masy glebowej w tych poziomach. Potwierdzają to

niższe zdolności pęcznienia w poziomach BC oraz podłożu macierzystym, w których proces płowienia nie zaznacza się tak wyraźnie. Poziomy eluwialne (AE, E) i próchniczne wykazują z kolei najniższe wartości pęcznienia swobodnego, ponieważ są wyraźnie zubożone we frakcję koloidalną.

Kurczliwość materiału z poziomów *fragipan* prezentuje rycina 7 i 8. Badania zdolności kurczenia zostały przeprowadzone na próbkach rozdrobnionych oraz na próbkach o nienaruszonej strukturze (pryzmach glebowych). Testy kurczliwości polegały na zwilżeniu materiału glebowego wodą, który następnie pozostawiono do wyschnięcia w temperaturze pokojowej. W rozdrobnionym materiale (przesianym przez sito 2 mm) z poziomów Btx już po kilku godzinach można było zauważyć niewielkie pęknięcia o szerokości 1-2 mm. Dalsze suszenie materiału spowodowało dalszy rozwój szczelin, który polegał na zwiększeniu ich szerokości (1-4 mm) i liczebności. Test kurczliwości zakończono po 24 godzinach i obserwowano wyraźnie rozwiniętą sieć szczelin w kształcie poligonów o średnicy 3-5 cm. Sieć taka powstała we wszystkich badanych poziomach *fragipan*. Natomiast badane pryzmy glebowe wykazały zróżnicowaną reakcję na procesy suszenia. Niektóre z nich uległy wyraźnym pęknięciom (np. pryzmy Btx z profilu Mucharz) w wyniku kurczenia minerałów ilastych (Ryc. 8A), a powstałe szczeliny zasklepiły się po ponownym zwilżeniu wodą (Ryc. 8B). Inne z kolei (np. z profilu Pleśna 2), wyraźnie pęczniały w kontakcie z wodą, lecz przy wysychaniu nie powstawały w nich szczeliny.



Ryc. 7. Kurczenie i pęknięcie materiału w wyniku wysychania z wybranych poziomów fragipan.



A. Szczelina z wysychania w pryzmie glebowej, profil Mucharz, poziom Btx1.

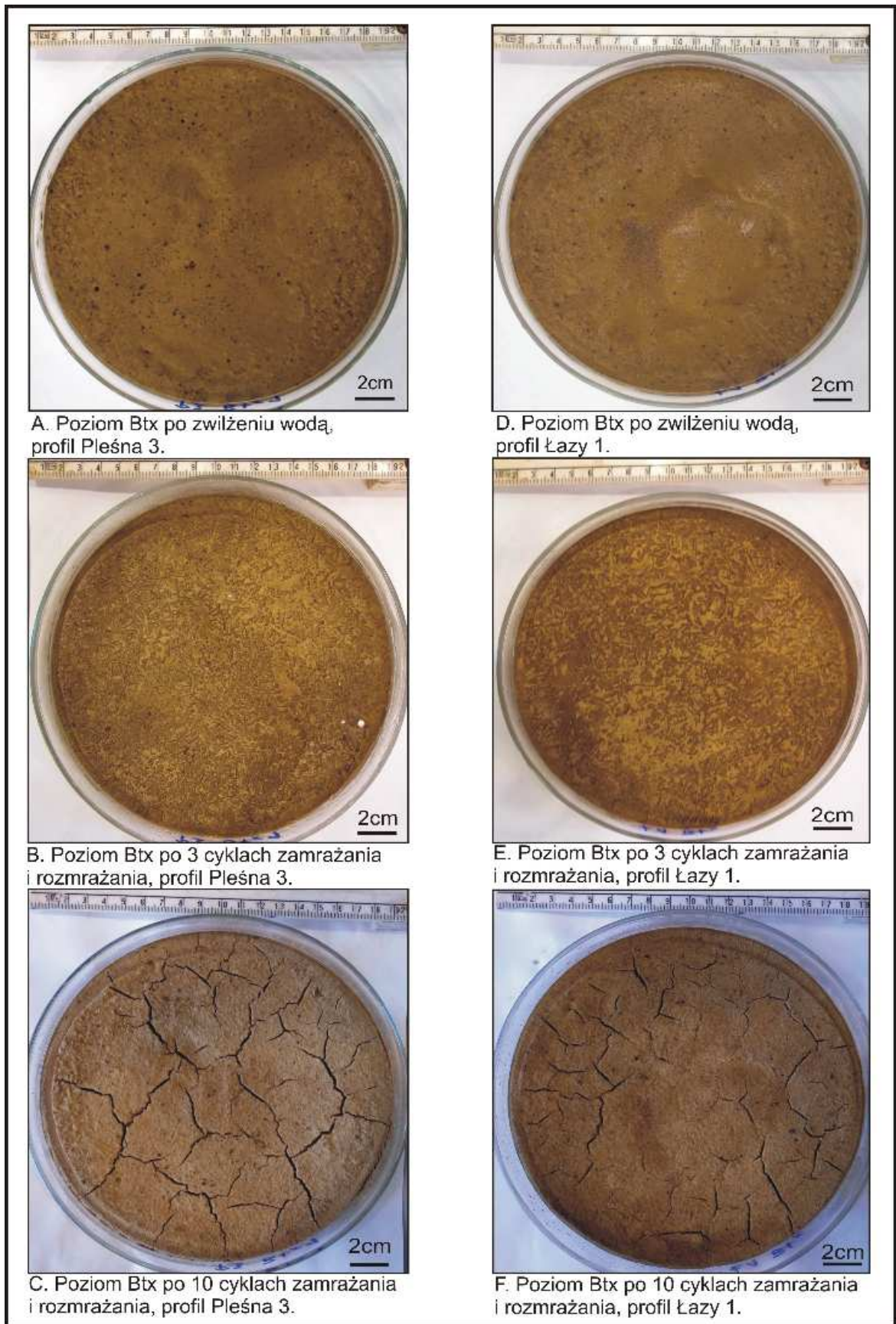


B. Zamknięta szczelina z wysychania w pryzmie glebowej po ponownym zwilżeniu wodą, profil Mucharz, poziom Btx1.

*Ryc. 8. Kurczenie i pękanie pryzmy glebowej w wyniku wysychania z poziomu Btx1 z profilu Mucharz.*

Przeprowadzono również badania kurczliwości materiału glebowego na skutek zmian termicznych (Ryc. 9). Na podobnie przygotowanych próbkach z wybranych poziomów

*fragipan*, jak w przypadku testów wilgotnościowych (materiał przesiany przez sito o oczku 2 mm i wysypany na szalkę Petriego, a następnie zwilżony wodą) przeprowadzono testy cyklicznego zamrażania i rozmrażania. Zamrażania dokonywano w zamrażarce w temperaturze  $-25^{\circ}\text{C}$ . Początkowo nie zanotowano jakichkolwiek zmian w testowanym materiale glebowym. Dopiero po 4 cyklach zamrażania i rozmrażania materiału powstała niewyraźnie zaznaczona sieć spękań o nieregularnym kształcie. Dalsze cykle doprowadziły do wykształcenia wyraźnej sieci szczelin w kształcie poligonów o średnicy dochodzącej do 5 cm. Należy jednak zaznaczyć, że w trakcie tych testów, materiał glebowy uległ znacznemu przeschnięciu w wyniku sublimacji podczas zamrażania oraz parowania podczas rozmrażania.



Ryc. 9. Kurczenie i pękanie materiału w wyniku przesuszenia podczas cyklicznego zamrażania i rozmrażania z wybranych poziomów fragipan.

Wyniki tych testów potwierdzają, że powstawanie pionowych szczelin w badanych poziomach Btx jest efektem procesów wysychania, a następnie kurczenia materiału glebowego, na co uwagę zwracali wcześniej m.in. Carlisle (1954), Grossman i Carlisle (1969), Ciolkosz i in. (1995) i Attou i Bruand (1998). Zamrażanie nie miało bezpośredniego wpływu na powstawanie szczelin, a jedynie powodowało przesychnienie materiału glebowego.

#### 4.6.8. Wodoodporność agregatów glebowych

Przeprowadzone badania wodoodporności agregatów glebowych z poziomów *fragipan* wykazały w większości przypadków szybki ich rozpad po zanurzeniu w wodzie. Odporność agregatów w tych poziomach wyniosła 5%, co oznacza, że wszystkie agregaty uległy rozpadowi już w pierwszej minucie po zanurzeniu w wodzie. Wyjątek stanowią poziomy Eg z profilu Pleśna 5 oraz Btx 2 z profilu Łazy 2, które odznaczają się nieco wyższą wodoodpornością agregatów wynoszącą 11,3%.

Wyniki tych testów wykazały, że analizowane poziomy *fragipan*, pomimo swej twardości i zbitego układu nie są poziomami silnie scementowanymi i spełniają kryterium zawarte w międzynarodowej systematyce WRB (IUSS Working Group 2006) dla poziomu *fragic* i amerykańskiej Soil Taxonomy (Soil Survey Staff 2010) dla poziomu *fragipan*. Szybki rozpad agregatów w wodzie wynika z jednej strony z pęcznienia minerałów ilastych, które po kontakcie z wodą wyraźnie zmniejszają swoją kohezję (Lamotte i in. 1997a, 1997b; Attou i Bruand 1998), a z drugiej strony jest efektem wywierania ciśnienia przez wodę, która dostaje się do mikroporów znajdujących się w obrębie agregatów. Podobne wyniki stabilności agregatów z poziomów *fragipan* przedstawili wcześniej m.in. Lindbo i in. (1995) oraz Lindbo i Rhoton (1996). Test ten potwierdził, że specyficzne właściwości badanych poziomów Btx, takie jak duża twardość i zwięzłość w stanie suchym oraz łamliwość i kruchość w stanie wilgotnym, wynikają z obecności minerałów ilastych, które w charakterystyczny sposób cementują materiał glebowy tych poziomów (Knox 1957; Lindbo i Veneman 1986). Potwierdzają to również badania mikromorfologiczne pod mikroskopem optycznym i skaningowym.

#### 4.7. Właściwości mikromorfologiczne

Badania i obserwacje mikromorfologiczne pod mikroskopem polaryzacyjnym i skaningowym zostały przeprowadzone na płytkach cienkich (tzw. szlifach). Pod mikroskopem skaningowym wykonano analizy także na agregatach glebowych po

wcześniejszym napyleniu węglem. Opisu mikromorfologicznego dokonano pod kątem: mikrostruktury i porowatości, składu mineralnego i petrograficznego masy glebowej (okruchy skalne i ziarna mineralne), cech mikromasy glebowej (*b-fabric*), form materii organicznej, cech pedogenicznych (wypełnienia ilaste, wyściółki ilaste, nodule i konkracje oraz strefy zubożenia i wzbogacenia masy glebowej) oraz złożonych cech i struktur glebowych. Szczegółowe opisy mikromorfologiczne znajdują się w aneksie na końcu pracy.

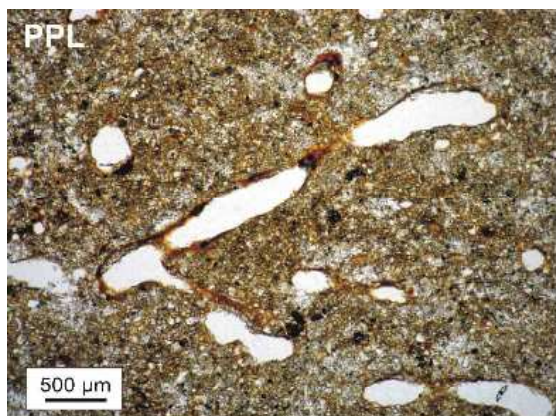
#### 4.7.1. Mikrostruktura i porowatość

Przeprowadzone obserwacje mikromorfologiczne wykazały, że poziomy eluwialne (E) badanych gleb odznaczają się zazwyczaj nieagregatową mikrostrukturą masywną, kanalikową i komorową, a miejscami koprolitową lub płytkową. Koprolity osiągają zwykle 1-1,5 mm średnicy, a grubość agregatów płytkowych waha się najczęściej między 0,5 a 1 mm. W niektórych przypadkach obserwowano również bardzo drobną mikrostrukturę granularną. Kanaliki o szerokości od 100 do 250  $\mu\text{m}$  są przeważającymi typami porów w tych poziomach. Lokalnie występują większe kanaliki o szerokości 0,5-1 mm, lecz są zdecydowanie mniej liczne. W poziomach tych obecne są również komory o średnicy dochodzącej zazwyczaj do około 1 mm. W poziomach eluwialnych z płytkową mikrostrukturą występują dodatkowo horyzontalne szczeliny o szerokości 100-200  $\mu\text{m}$ .

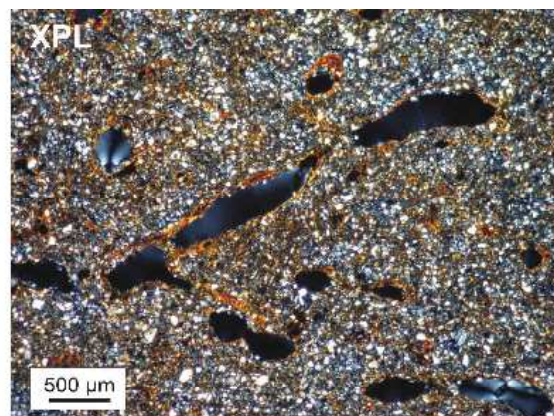
W poziomach *fragipan* dominuje nieagregatowa mikrostruktura kanalikowa, komorowa oraz masywna (Ryc. 10). Niekiedy występuje również dobrze wykształcona mikrostruktura angularna, a w profilu Gronków i Mucharz obserwowano dodatkowo dobrze wykształconą, grubą strukturę płytkową (Ryc. 11). Grubość płytek w tych poziomach dochodzi do kilku cm. Agregaty angularne są zazwyczaj dobrze bądź średnio wykształcone, a ich ścianki są najczęściej średnio dopasowane do siebie. Agregaty te osiągają rozmiary od 0,5 do ponad 5 mm. Języki zaciekowe i pryzmy glebowe odznaczają się bardzo podobną kanalikową i masywną mikrostrukturą. Przeważającymi typami porów w poziomach *fragipan* są kanaliki i komory, a także pionowe szczeliny. Kanaliki i komory osiągają rozmiary bardzo podobne do poziomów eluwialnych, z tym, że w większości są wypełnione iłem koloidalnym bądź wyścielone otoczkami ilasto-próchnicznymi lub ilasto-żelazistymi, co zmniejsza ich średnicę. Pionowe szczeliny wykazują zróżnicowaną szerokość wahającą się od 0,1 do ponad 1 mm i otoczone są wybielonym materiałem glebowym w dużej mierze pozbawionym związków żelaza i w mniejszym stopniu struktur anizotropowego iłu



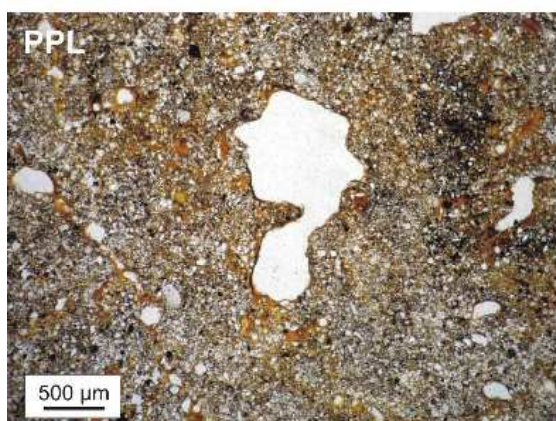
koloidalnego. W poziomach *fragipan* w profilu Gronków i Mucharz występują dodatkowo horyzontalne szczeliny między agregatami płytkowymi o szerokości 100-200  $\mu\text{m}$ .



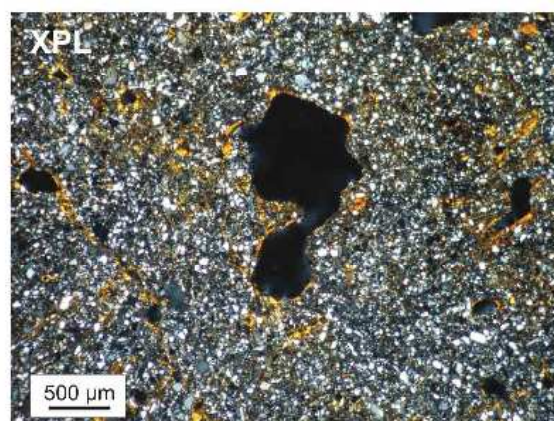
A. Mikrostruktura kanalikowa, profil Łazy 1, poziom Btg.



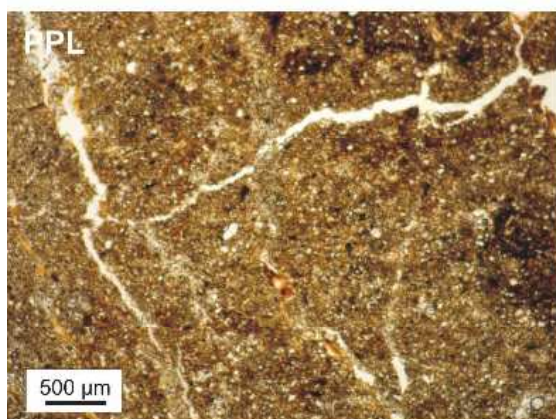
B. Mikrostruktura kanalikowa, profil Łazy 1, poziom Btg.



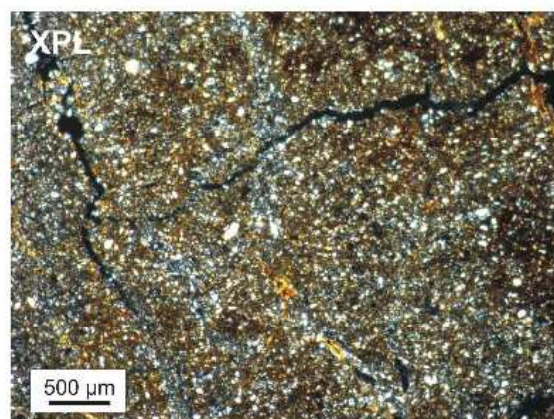
C. Mikrostruktura komorowa, profil Łazy 2, poziom Btx1.



D. Mikrostruktura komorowa, profil Łazy 2, poziom Btx1.



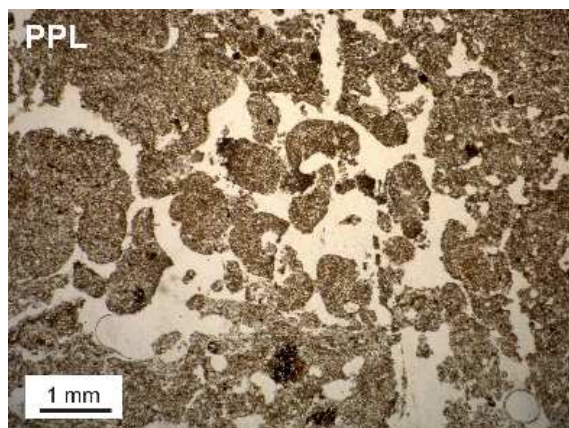
E. Mikrostruktura angularna, profil Pleśna 3, poziom Btx1.



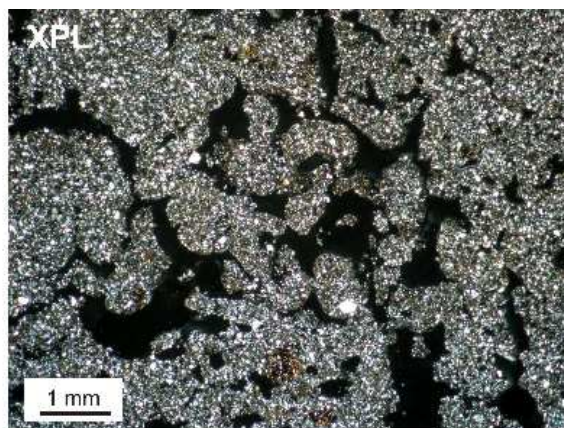
F. Mikrostruktura angularna, profil Pleśna 3, poziom Btx1.

Ryc. 10. Mikrostruktura i porowatość w badanych glebach płowych.

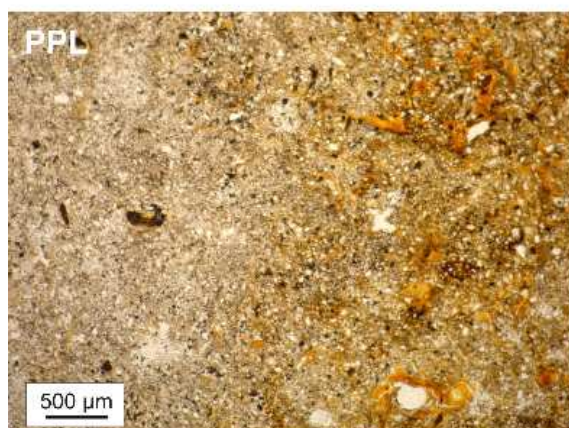
Poziomy iluwialne *argillic* odznaczają się bardzo podobną mikrostrukturą i porowatością jak opisane wyżej poziomy *fragipan*. Jediną różnicą jest mniejszy udział pionowych szczelin w ogólnej porowatości poziomów Btg. Struktura płytkowa w poziomach Btg została zaobserwowana jedynie w profilach: Gronków i Mucharz.



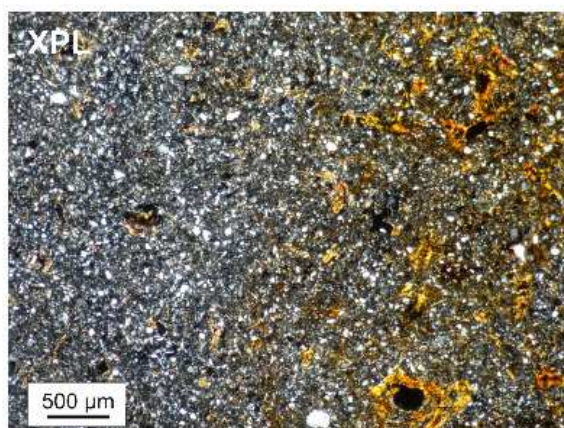
G. Mikrostruktura koprolitowa, profil Pleśna 1, poziom E.



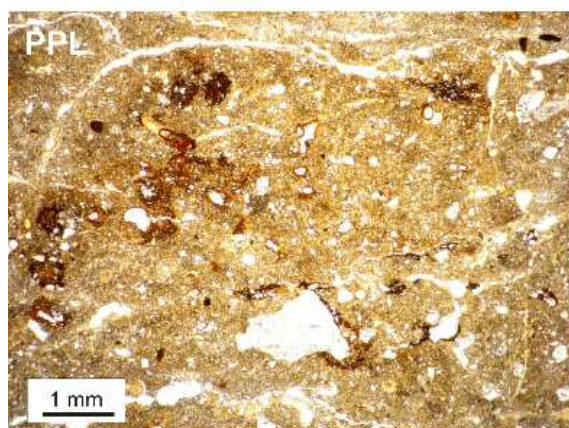
H. Mikrostruktura koprolitowa, profil Pleśna 1, poziom E.



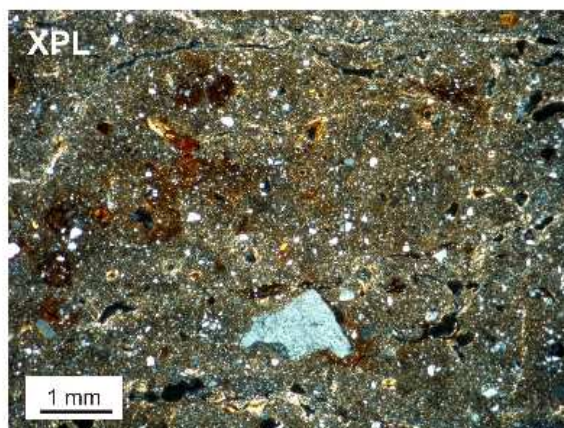
I. Mikrostruktura masywna z pojedynczymi kanalikami, profil Pleśna 2, poziom Btx2.



J. Mikrostruktura masywna z pojedynczymi kanalikami, profil Pleśna 2, poziom Btx2.



K. Mikrostruktura płytkowa (gruba), profil Gronków, poziom Btx.



L. Mikrostruktura płytkowa (gruba), profil Gronków, poziom Btx.

Ryc. 11. Porowatość i mikrostruktura w badanych glebach płowych.

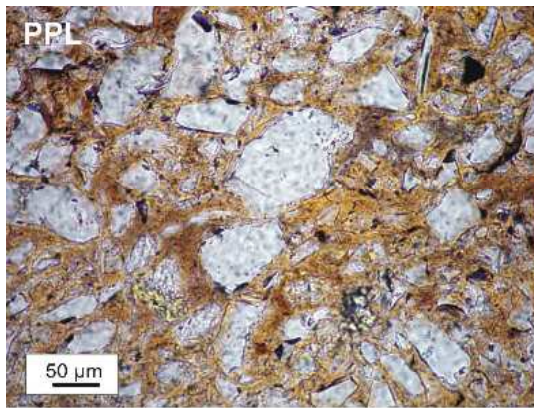
Powszechnie występująca mikrostruktura nieagregatowa (kanalikowa i komorowa) w poziomach eluwialnych wynika z niewielkiej ilości koloidów glebowych mających zdolność do zlepiania ziaren mineralnych i wykształcenia agregatów glebowych. Jedynymi agregatami w niektórych poziomach eluwialnych są koprolity powstałe w wyniku działalności edafonu glebowego (głównie dżdżownic). Poziomy iluwialne *fragipan* oraz *argillic* odznaczają się grubą strukturą pryzmatyczną, niewidoczną pod mikroskopem (za mała powierzchnia preparatu mikroskopowego w stosunku do pryzm glebowych). Wnętrze pryzm jest zazwyczaj masywne, dlatego w większości przypadków taka jest mikrostruktura poziomów iluwialnych. Masywna mikrostruktura jest rezultatem silnego przesylenia poziomów iluwialnych minerałami ilastymi oraz podatnością pyłów lessopodobnych na procesy osiadania zapadowego w stanie nadmiernego uwilgotnienia. Obserwowana w niektórych przypadkach mikrostruktura angularna jest wtórnie wykształcona w obrębie grubych pryzm glebowych i może być efektem procesów pęcznienia i kurczenia materiału glebowego bogatego w pęczniące minerały ilaste w wyniku zmian wilgotnościowych (FitzPatrick 1984). Obecność mikrostruktury płytkowej w poziomach iluwialnych w profilu Gronków i Mucharz może być rezultatem procesów mrozowych (Van Vliet i Langohr 1981; FitzPatrick 1984, 1990; Van Vliet-Lanoë 1998; Stoops 2003), jednak brak innych mikrostruktur mrozowych w tych poziomach nie potwierdza takiej genezy. W profilu Gronków, wykształconym z silnie zwiertzałego materiału budującego stożek fluwioglacjalny, mikrostruktura płytkowa może nawiązywać do warstwowania materiału, które jest efektem jego depozycji przez wody płynące z topniejących lodowców górskich w Tatrach. Podobnej genezy jest też zapewne struktura płytkowa w profilu Mucharz. Profil ten został zlokalizowany na wyższej terasie Skawy i występująca w jego obrębie mikrostruktura płytkowa jest najprawdopodobniej efektem depozycji tego materiału przez rzekę i wiatr. Według Ciolkosza i in. (1995) oraz Certiniego i in. (2007) struktura płytkowa może powstawać w glebach, które nigdy nie podlegały procesom mrozowym.

Wyraźnie dominującymi typami porów we wszystkich poziomach genetycznych analizowanych gleb są kanaliki i komory, które z jednej strony wynikają z działalności edafonu glebowego, a drugiej strony są rezultatem penetracji korzeni roślin (zwłaszcza w poziomach stropowych). Pewna część kanalików (zwłaszcza w zwięzłych poziomach iluwialnych) może być pozostałością po korzeniach roślin tundrowych żyjących w czasie depozycji materiału macierzystego, które z czasem obumarły i uległy mineralizacji. Natomiast występowanie pionowych szczelin w poziomach iluwialnych należy wiązać

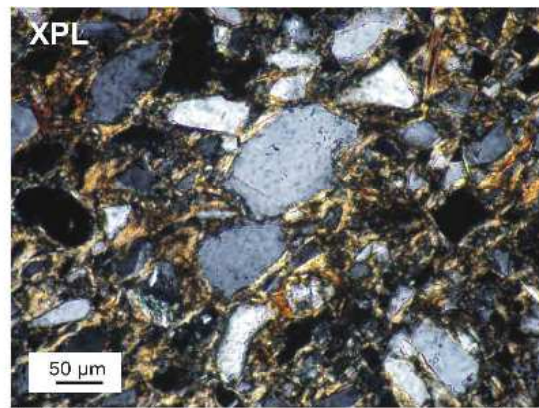
z procesami kurczenia materiału w okresach suchych w ciągu roku. Szczeliny takie występują najczęściej w stropowych częściach poziomów iluwialnych (*fragipan*), co wynika z częstszego przesychnania tej strefy poziomu iluwialnego oraz z dużej koncentracji pęczniejących minerałów ilastych w poziomach Btx. Na pękanie stropowej części poziomów iluwialnych w glebach płowych Pogórza Karpackiego i powstawanie szczelin wskazywali wcześniej Zasoński (1983, 1991), Szymański i Skiba (2007) oraz Szymański i in. (2008).

#### 4.7.2. Skład mineralny i petrograficzny masy glebowej

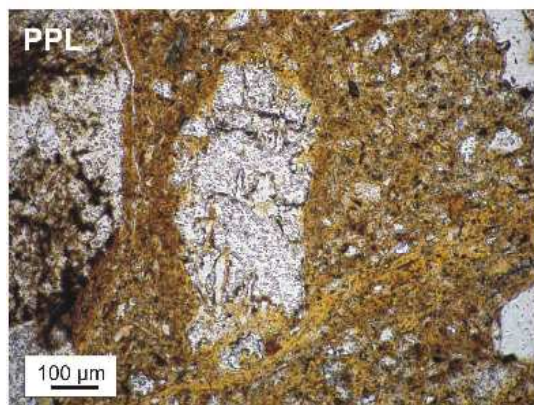
Wszystkie poziomy analizowanych gleb płowych odznaczają się bardzo podobnym składem mineralnym i petrograficznym masy glebowej (Ryc. 12). Części szkieletowe (ziarna o średnicy powyżej 2 mm) występują bardzo rzadko i były obserwowane tylko w profilu Gronków oraz pojedynczo w poziomie eluwialnym w profilu Pleśna 2. Skład petrograficzny tych okruchów nawiązuje do skał podłoża, a więc fliszu karpackiego podścielającego pyły lessopodobne. Są to w większości słabo obtoczone i w różnym stopniu zwiertzałe okruchy łupków ilastych, piaskowców, kwarcytów oraz ziarna kwarcu i plagioklazów (o średnicy 2-5 mm). Gruby materiał w sensie mikromorfologicznym (w badanych glebach ziarna o średnicy 2-0,002 mm) składa się głównie z angularnych i subangularnych ziaren kwarcu, plagioklazów, skaleni potasowych i blaszek mik. W niektórych poziomach iluwialnych (rzadziej w eluwialnych) występują silnie zwiertzałe okruchy łupków ilastych, rzadziej piaskowców i rogowców. Okruchy tych skał mają najczęściej wymiary pyłu grubego i piasku bardzo drobnego, a bardzo rzadko osiągają większe rozmiary. Jedynie w profilu Gronków okruchy te koncentrują się głównie we frakcji piasku. We wszystkich analizowanych glebach stwierdzono obecność mikroagregatów glaukonitu. W większości przypadków w masie glebowej występują minerały ciężkie (głównie cyrkon) oraz minerały nieprzezroczyste, prawdopodobnie minerały żelaziste i manganowe. Masa glebowa analizowanych gleb płowych wykazuje silne oznaki procesów wietrzenia, których dowodem jest wyraźna dominacja minerałów odpornych na te procesy. Obserwowano przemiany wietrzeniowe plagioklazów, skaleni potasowych oraz mik przejawiające się występowaniem wtórnych minerałów ilastych na obrzeżach ziaren mineralnych oraz wzdłuż płaszczyzn łupliwości (Ryc. 12, 19 i 23). W językach zaciekowych, w porównaniu z pryzmami glebowymi, zaznacza się wyraźna przewaga ziaren kwarcu nad pozostałymi fazami mineralnymi.



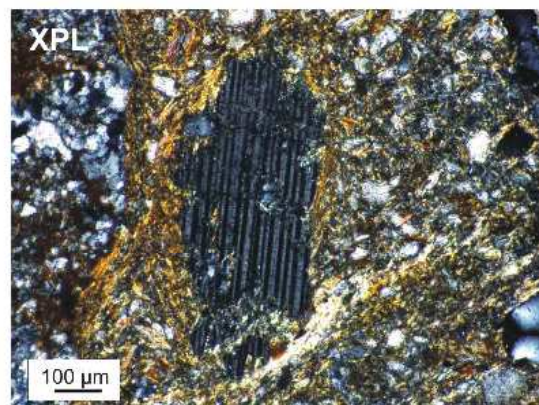
A. Angularne i subangularne ziarna kwarcu, profil Łazy 1, poziom Btx.



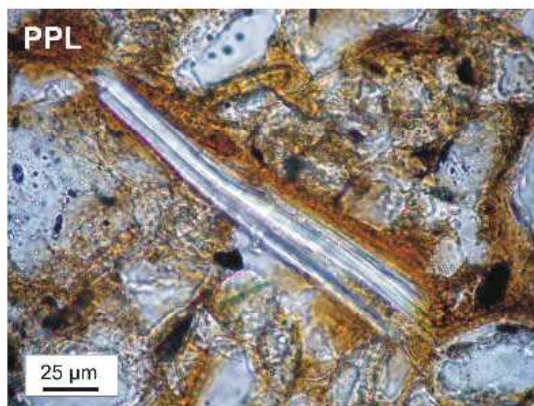
B. Angularne i subangularne ziarna kwarcu, profil Łazy 1, poziom Btx.



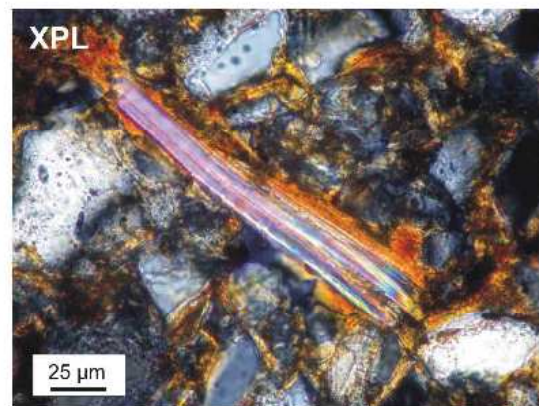
C. Zwiertzałe ziarno plagioklazu, profil Gronków, poziom Btx.



D. Zwiertzałe ziarno plagioklazu, profil Gronków, poziom Btx.



E. Zwiertzała blaszka miki, profil Łazy 2, poziom Btx2.



F. Zwiertzała blaszka miki, profil Łazy 2, poziom Btx2.

Ryc. 12. Skład mineralny i procesy wietrzenia w badanych glebach płowych.

Przewaga kwarcu, plagioklazów, skaleni potasowych i mik w badanych glebach wynika z większej odporności tych minerałów na procesy wietrzenia (Wilson 2004). Wyrażna dominacja ziaren kwarcu w materiale z języków zaciekowych wynika z jednej strony z intensywniejszych procesów wietrzenia w strukturach *glossic* niż w zwięzłych, zagęszczonych pryzmach, a z drugiej strony jest efektem wyflukiwania produktów

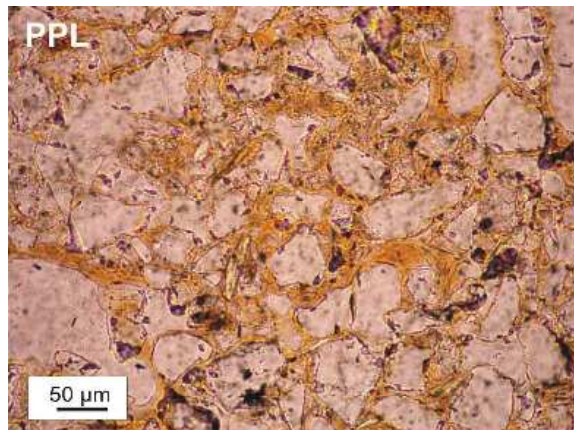
wietrzenia przez przesiąkającą wodę w głąb profilu glebowego (Miller i in. 1993; Payton 1993).

Zbliżony skład mineralny i petrograficzny we wszystkich badanych glebach świadczy, że wykształciły się one z podobnego materiału macierzystego. Źródłem materiału pyłowego, z którego wykształciły się badane gleby płowe były najprawdopodobniej zwietrzeliny fliszu karpackiego, co potwierdza podobny skład mineralny i petrograficzny badanych gleb i skał fliszowych. Na podobieństwo mineralne pyłów Pogórza Karpackiego i fliszu karpackiego zwracali uwagę m.in. Uziak (1962) i Zasoński (1983).

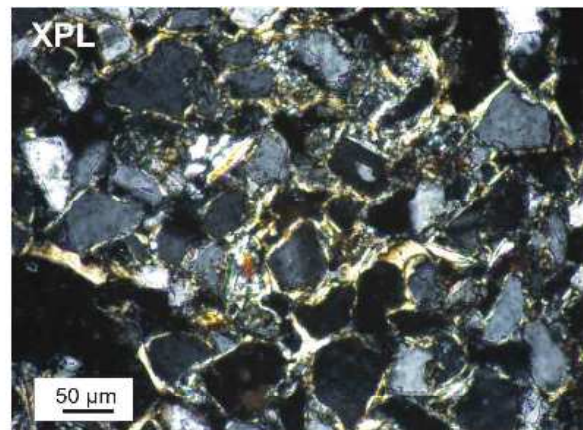
#### 4.7.3. Cechy mikromasy glebowej (*b-fabric*)

Poziomy eluwalne odznaczają się cętkowaną lub kropkowaną mikromasą glebową (*speckled b-fabric*), którą w większości stanowi brązowo-szara i brązowa mieszanina amorficznego humusu (zwłaszcza w glebach leśnych) i niewielkiej ilości iłu koloidalnego. Sporadycznie występuje też mikromasa wykazująca uporządkowanie okołozarniste (*granostriated b-fabric*) bądź okołokanalikowe (*porostriated b-fabric*). W większości jednak masa glebowa w poziomach eluwalnych składa się z materiału pyłowego.

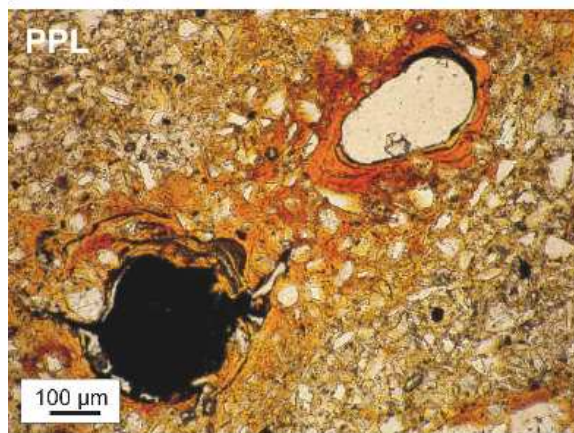
W poziomach iluwialnych *fragipan* i *argillic* wyraźnie dominuje mikromasa glebowa zorientowana wokół porów glebowych (*porostriated b-fabric*). Stanowi ją w większości żółty do pomarańczowego (czasem rdzawo-brązowy) ił koloidalny wzbogacony w związki żelaza (Ryc. 13). Miejscami mikromasa uporządkowana jest wokół ziaren mineralnych (*granostriated b-fabric*), a niekiedy tworzy równoległe zorientowane prążki (*parallel striated b-fabric*) (Ryc. 13). W poziomach tych obecna jest również cętkowana mikromasa glebowa (*speckled b-fabric*).



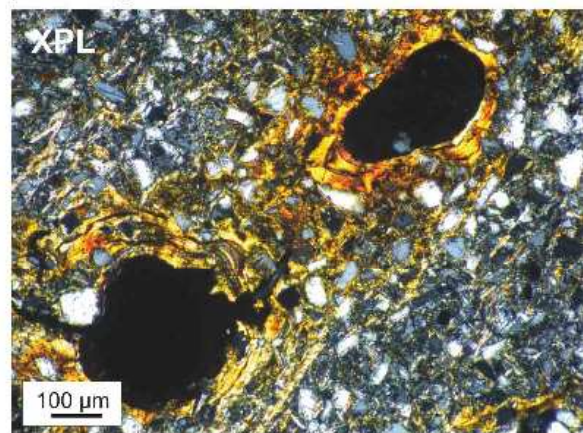
A. Uporządkowanie mikromasy glebowej okołoziańście (*granostriated b-fabric*), profil Łazy 1, poziom Btg.



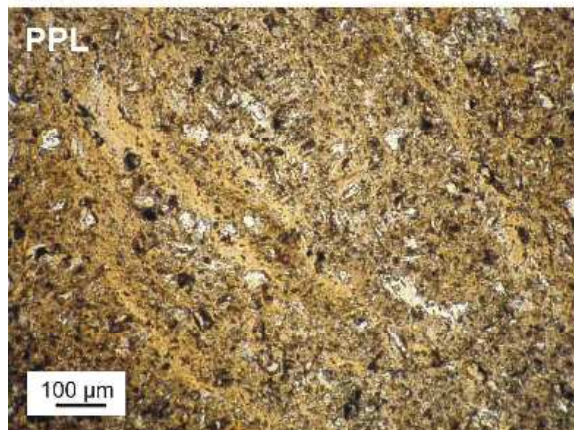
B. Uporządkowanie mikromasy glebowej okołoziańście (*granostriated b-fabric*), profil Łazy 1, poziom Btg.



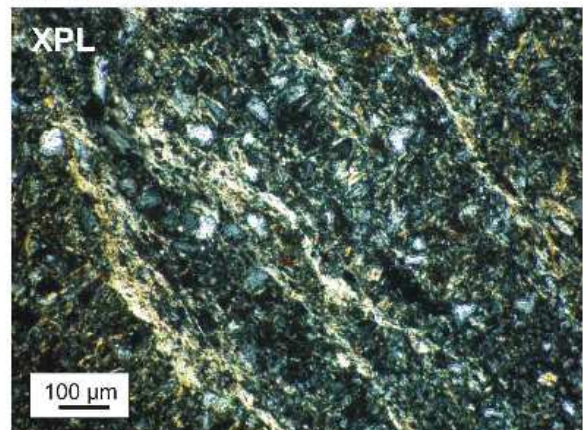
C. Uporządkowanie mikromasy glebowej okołokanalikowo (*porostriated b-fabric*), profil Pleśna 2, poziom Btx2.



D. Uporządkowanie mikromasy glebowej okołokanalikowo (*porostriated b-fabric*), profil Pleśna 2, poziom Btx2.



E. Równolegle zorientowane prążki iłu koloidalnego (*parallel striated b-fabric*), profil Gronków, poziom Btx.



F. Równolegle zorientowane prążki iłu koloidalnego (*parallel striated b-fabric*), profil Gronków, poziom Btx.

Ryc. 13. Mikromasa glebowa i jej uporządkowanie w badanych glebach płowych.

Niewielka zawartość mikromasy glebowej w poziomach eluwialnych jest wynikiem *lessivazu*, ponieważ większość najdrobniejszej frakcji koloidalnej (mikromasy glebowej)

uległa przemieszczeniu w głąb profilu glebowego. W poziomach tych obecna jest niewielka ilość amorficznego humusu (głównie w glebach leśnych), który maskuje niewielkie ilości ilu koloidalnego, a mikromasa przybiera charakter cętkowany lub plamisty. Dominacja cętkowanej mikromasy wskazuje też na obecność nieuporządkowanych, niewielkich domen ilastych w obrębie poziomów eluwialnych. Podobne wyniki obserwacji mikromorfologicznych przedstawił Zasoński (1974, 1975, 1992a), który wykazał, że w obrębie poziomów eluwialnych gleb płowych przeważa plazma (mikromasa) typu *argilasepic* (cętkowana, plamista), a tylko w dolnej części tych poziomów obecna jest plazma typu *skel-lattisepic* (okołoziańska) i *vosepic* (okołokanalikowa).

Obecność mikromasy glebowej uporządkowanej wokół porów glebowych w poziomach iluwialnych jest dowodem zachodzącego procesu przemieszczania ilu koloidalnego w badanych glebach. Na wyraźną dominację tak zorientowanej mikromasy w poziomach iluwialnych wskazywali w swoich pracach Zasoński (1974, 1975, 1991, 1992a), Lindbo i Veneman (1989, 1993), a ostatnio Szymański i Skiba (2007) oraz Szymański i in. (2008). Lokalne występowanie mikromasy zorientowanej wokół ziaren mineralnych świadczy natomiast o zachodzących równocześnie z *lessivazem*, procesach wietrzenia i powstawania minerałów ilastych. Obecność mikromasy glebowej zorientowanej wokół ziaren w poziomach iluwialnych w glebach płowych przedstawił wcześniej Zasoński (1974, 1991, 1992a).

#### 4.7.4. Materia organiczna i jej formy

Występowanie korzeni roślin w badanych glebach płowych ograniczone jest zazwyczaj do poziomów powierzchniowych (próchnicznych), przejściowych AE i eluwialnych. W poziomach tych występuje dość znaczna ilość różnej wielkości korzeni roślin, która wraz ze wzrostem głębokości wyraźnie maleje. W poziomach eluwialnych wykazujących oznaki odgórnego oglejenia, zawartość korzeni jest zdecydowanie niższa w porównaniu z poziomami nadległymi. Podobnie jak żywe części roślin, również i obumarłe szczątki znajdujące się w różnym stadium rozkładu ograniczają się zazwyczaj do poziomów stropowych. W poziomach eluwialnych analizowanych gleb płowych (głównie leśnych) występują szerniałe szczątki organiczne (niekiedy z rdzawymi brzegami), a miejscami węgle drzewne o rozmiarach ponad 2 mm. Nerozłożonych szczątków organicznych jest jednak niewiele.



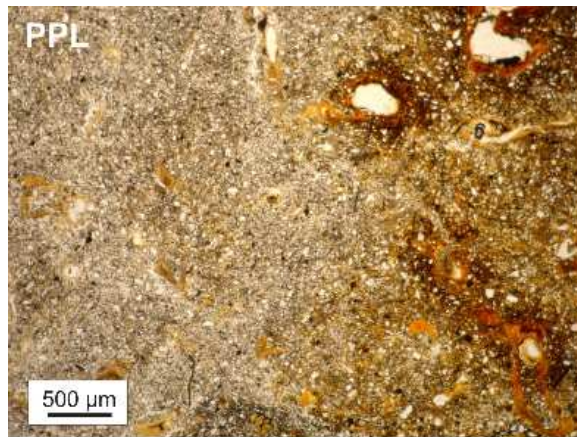
Poziomy iluwialne są zazwyczaj całkowicie pozbawione organicznych części roślinnych, a wyjątek stanowi tylko poziom *fragipan* w profilu Witoszyńce, w którego stropie obserwowano pojedyncze fragmenty drobnych korzeni.

Wyraźne ograniczenie występowania żywej i martwej materii organicznej do poziomów stropowych jest odzwierciedleniem właściwości fizycznych badanych gleb. Zdecydowanie bardziej sprzyjające warunki dla rozwoju systemu korzeniowego roślin występują w poziomach powierzchniowych, co wiąże się z ich mniejszym ubiciem oraz lepszym napowietrzeniem w porównaniu z poziomami iluwialnymi. Podobne zależności opisywali: Zasoński (1983, 1974), Bates i in. (1990), Miller i in. (1993), Klimek (2000) oraz Graveel i in. (2002).

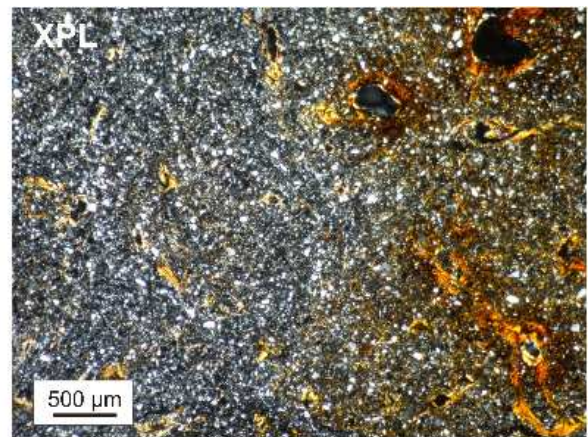
#### 4.7.5. Cechy pedogenetyczne

Charakterystycznymi cechami pedogenicznymi w poziomach eluwialnych badanych gleb są liczne i rozległe strefy zubożenia w produkty wietrzenia (wtórne minerały ilaste, związki żelaza), które zbudowane są głównie z białego pyłu kwarcowego. Strefom takim towarzyszą bardzo często różnej wielkości nodule żelaziste i żelazisto-manganowe, których średnica mierzy niekiedy ponad 2 mm. Zazwyczaj są to jednak drobne koncentracje i skupienia żelaza (typowe nodule dyfuzyjne) o rozmytych granicach i nieuporządkowanej strukturze wewnętrznej o średnicy 400-500  $\mu\text{m}$ . Występują tu również czyste nodule intruzyjne o podobnych wymiarach, które ostro odcinają się od masy glebowej. W kanalikach niektórych poziomów E (zwłaszcza w ich dolnej części) obecne są pojedyncze, niewielkie otoczki ilaste, warstwowane wypełnienia ilaste oraz ilasto-próchniczne.

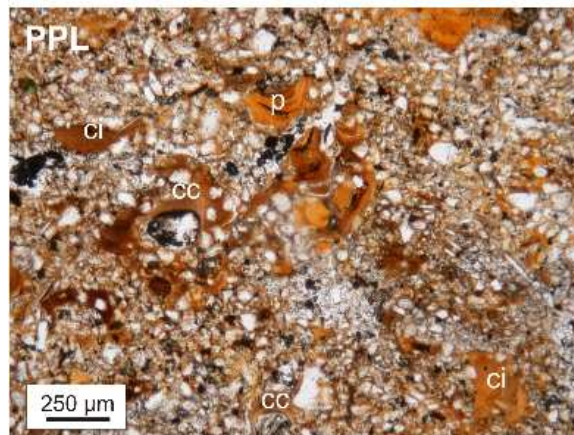
Typowymi i bardzo licznymi cechami pedogenicznymi w poziomach *fragipan* są występujące na ściankach porów glebowych wyściółki ilaste i ilasto-próchniczne, niekiedy silnie przesycone związkami żelaza (tzw. *ferriargillansy* wg Brewera (1964)) (Ryc. 14 i 15). Grubość takich wyściółek jest zróżnicowana i waha się zazwyczaj od 100 do 200  $\mu\text{m}$ . Oprócz typowych wyściółek ilastych występują również koncentracje związków żelaza i ilu koloidalnego po zewnętrznej stronie porów glebowych tworzących tzw. hypootoczki (Ryc. 16).



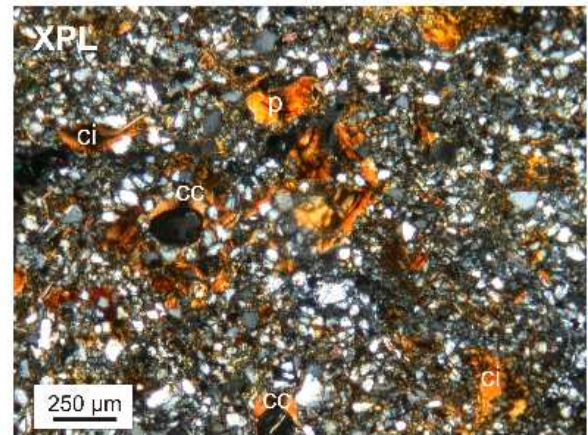
A. Nacieki i wyściółki ilaste; niektóre wzbogacone w związki żelaza (tzw. ferriargillansy), profil Pleśna 2, poziom Btx2.



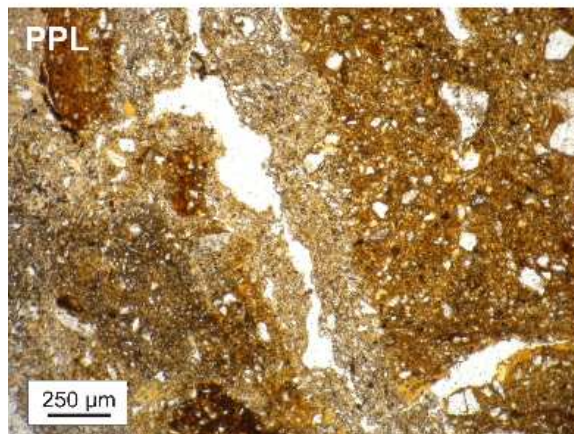
B. Nacieki i wyściółki ilaste; niektóre wzbogacone w związki żelaza (tzw. ferriargillansy), profil Pleśna 2, poziom Btx2.



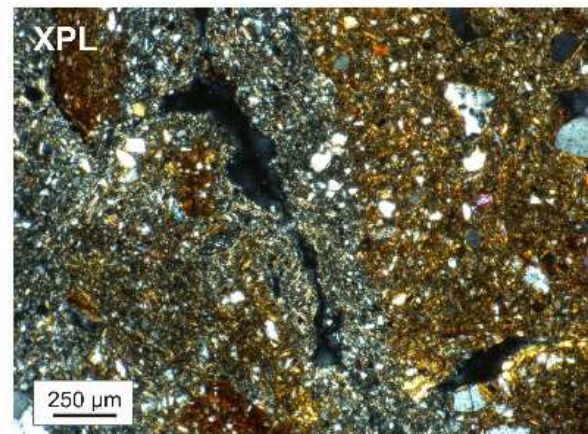
C. Wyściółki ilaste (cc), wypełnienia ilaste (ci) i papule (p), profil Brzezcie, poziom Btx.



D. Wyściółki ilaste (cc), wypełnienia ilaste (ci) i papule (p), profil Brzezcie, poziom Btx.



E. Strefa zubożenia w produkty wietrzenia (tzw. depletion zone) wzdłuż pionowej szczeliny, profil Gronków, poziom Btx.



F. Strefa zubożenia w produkty wietrzenia (tzw. depletion zone) wzdłuż pionowej szczeliny, profil Gronków, poziom Btx.

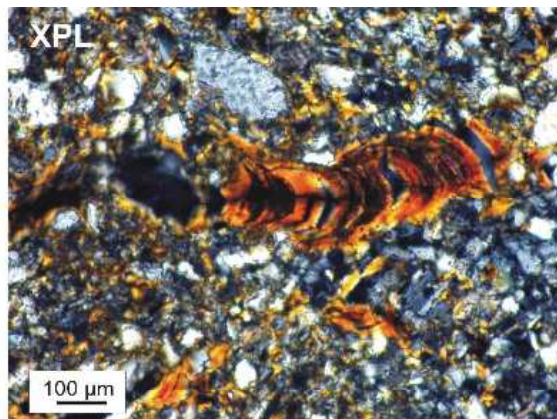
Ryc. 14. Cechy pedogenetyczne w badanych poziomach fragipan.

W niektórych przypadkach otoczki takie znajdują się w pewnej odległości od kanalików glebowych. W przestrzeniach glebowych występują bardzo licznie mikrolaminowane

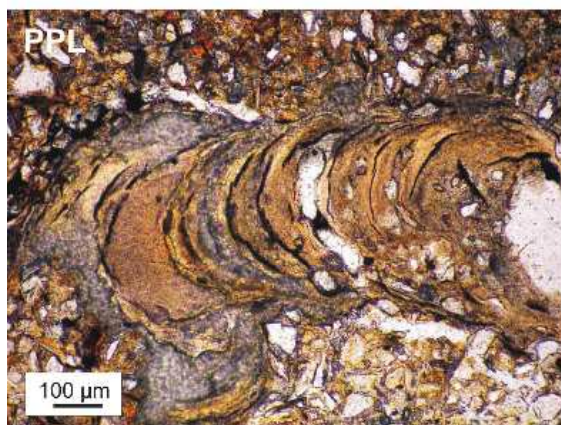
wypełnienia ilaste oraz ilasto-próchniczne, które w całości lub w większości zasklepiają wolne przestrzenie (kanaliki).



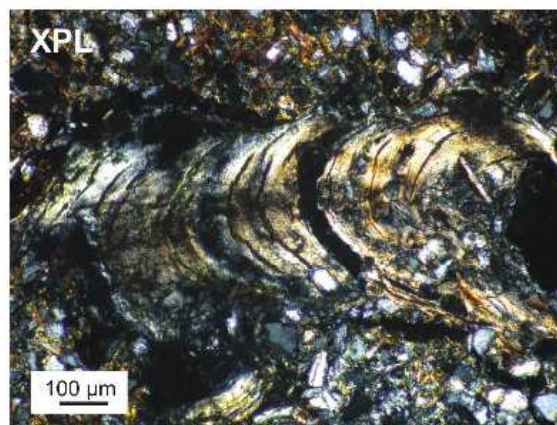
G. Mikrolaminowane wypełnienie ilaste przesycone związkami żelaza, profil Łazy 2, poziom Btx2.



H. Mikrolaminowane wypełnienie ilaste przesycone związkami żelaza, profil Łazy 2, poziom Btx2.



I. Mikrolaminowane wypełnienie ilaste o wyraźnej orientacji optycznej domen ilastych, profil Pleśna 2, poziom Btx2.



J. Mikrolaminowane wypełnienie ilaste o wyraźnej orientacji optycznej domen ilastych, profil Pleśna 2, poziom Btx2.



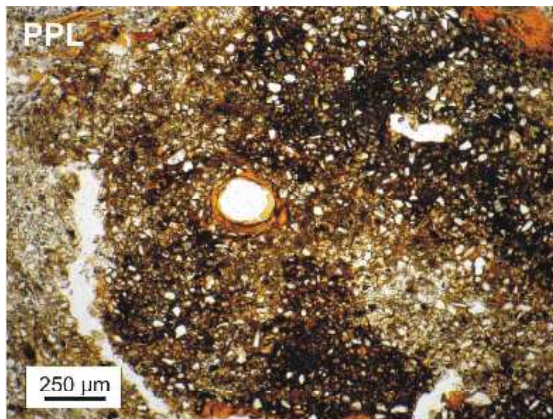
K. Mikrolaminowane wypełnienie ilaste o zróżnicowanym uziarnieniu lamin, profil Brzezie, poziom Btx.



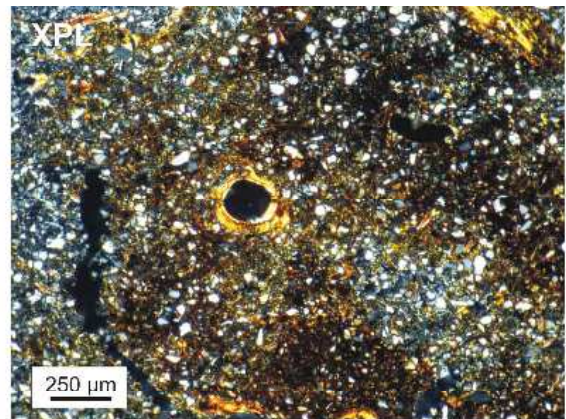
L. Mikrolaminowane wypełnienie ilaste o zróżnicowanym uziarnieniu lamin, profil Brzezie, poziom Btx.

Ryc. 15. Wypełnienia ilaste w badanych poziomach fragipan.

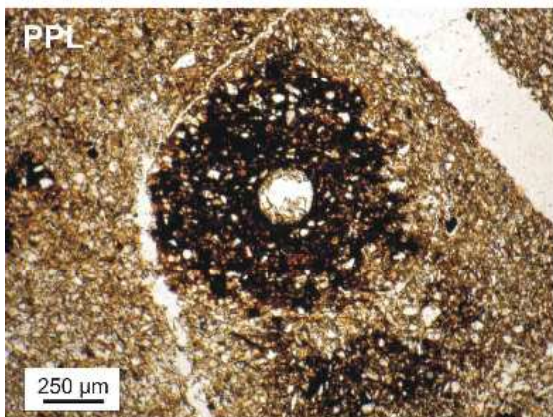
Struktury takie osiągają niekiedy duże rozmiary dochodzące do 450-500  $\mu\text{m}$  długości i 350-550  $\mu\text{m}$  szerokości. Cechą charakterystyczną wyściółek i wypełnień ilastych jest na ogół wyraźna orientacja optyczna domen ilastych (zwłaszcza w strukturach naciekowych o jednorodnym uziarnieniu drobnego iłu). Struktury naciekowe odznaczające się warstwowaniem materiału o różnym uziarnieniu (ił drobny na przemian z ilem grubym) wykazują zdecydowanie słabszą orientację optyczną iłu. W poziomach Btx występują ponadto liczne tzw. mostki ilaste zlepiające ziarna mineralne o frakcji pyłu grubego lub piasku bardzo drobnego. Jak wykazała analiza chemiczna w mikroobszarze (SEM-EDS), mostki te, podobnie jak struktury naciekowego iłu, składają się głównie z glinu, krzemu i żelaza, a niekiedy zawierają niewielkie ilości potasu, magnezu i wapnia (Ryc. 17, 18, 20-22). Wykazują więc skład chemiczny typowy dla krzemianów warstwowych (minerałów ilastych) wzbogaconych niekiedy w związki żelaza. Typową cechą pedogeniczną w poziomach *fragipan* jest obecność fragmentów iłu naciekowego tzw. papul (wg terminologii Brewera) wbudowanych w gęsto upakowaną masę glebową i nie nawiązujących do wolnych przestrzeni (porów glebowych). Występują też wyraźne strefy zubożenia w produkty wietrzenia (minerały ilaste i związki żelaza), które odznaczają się jaśniejszą, szarą bądź prawie białą barwą. Strefy takie występują najczęściej wzdłuż pionowych szczelin i osiągają szerokość dochodzącą do kilku cm. Zazwyczaj nie przekraczają jednak 1-2 cm, a makroskopowo przybierają kształt języków zaciekowych. Na kontakcie stref zubożenia z gęstymi, masywnymi pryzmami glebowymi powstają strefy wzbogacenia w ił koloidalny i związki żelaza, które przejawiają się rdzawą bądź brązowo-rdzawą barwą masy glebowej. Szerokość takiej strefy wzbogacenia nie przekracza najczęściej kilku mm. W ich obrębie bardzo często występują nodule żelaziste i inne skupienia związków żelaza o różnych rozmiarach, nieprzekraczających zazwyczaj 1 mm średnicy (Ryc. 16R i S). Podobne strefy zubożenia i wzbogacenia w produkty wietrzenia (lecz słabiej wykształcone i mniejsze) występują również w obrębie pryzmatycznych agregatów glebowych, gdzie przybierają postać nieregularnych plam i nadają im marmurkową barwę. Poziomy Btx odznaczają się również obecnością różnej wielkości nodule i koncentracji związków żelaza. Wielkość i sposób ich wykształcenia jest bardzo podobny do nodule w poziomach eluwialnych. Przeważają jednak koncentracje żelaza o rozmytych granicach i nieuporządkowanej strukturze wewnętrznej (Ryc. 16).



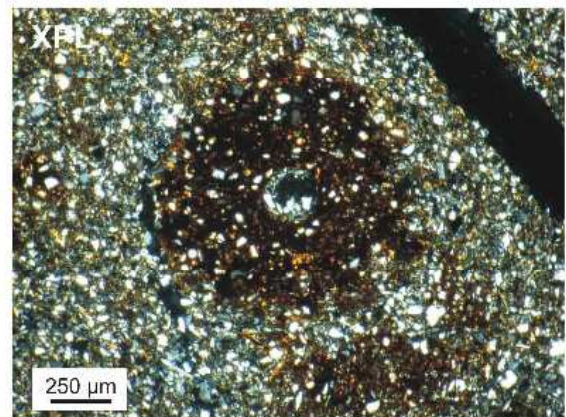
M. Konkrecja żelazista powstała *in situ* z wyściółką ilastą wokół pora, profil Pleśna 2, poziom Btx2.



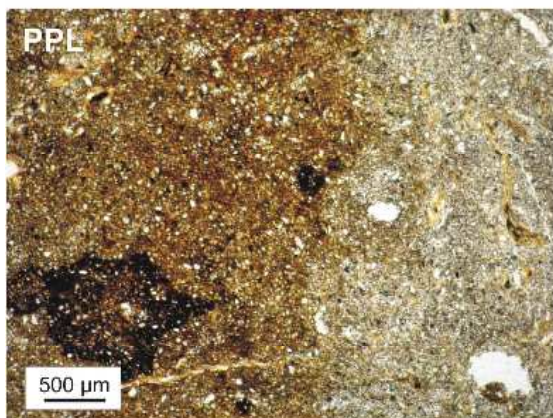
N. Konkrecja żelazista powstała *in situ* z wyściółką ilastą wokół pora, profil Pleśna 2, poziom Btx2.



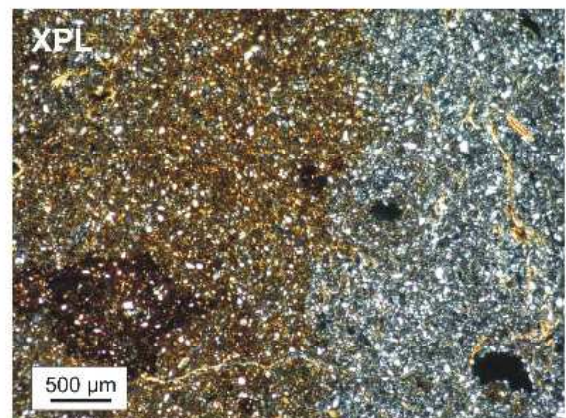
O. Hypootoczka żelazista wokół pora glebowego, profil Pleśna 3, poziom Btx1.



P. Hypootoczka żelazista wokół pora glebowego, profil Pleśna 3, poziom Btx1.



R. Rdzawa otoczka języka zaciekowego z konkrecją żelazistą oraz zubożony w produkty wietrzenia materiał języka zaciekowego, profil Pleśna 3, poziom Btx1.



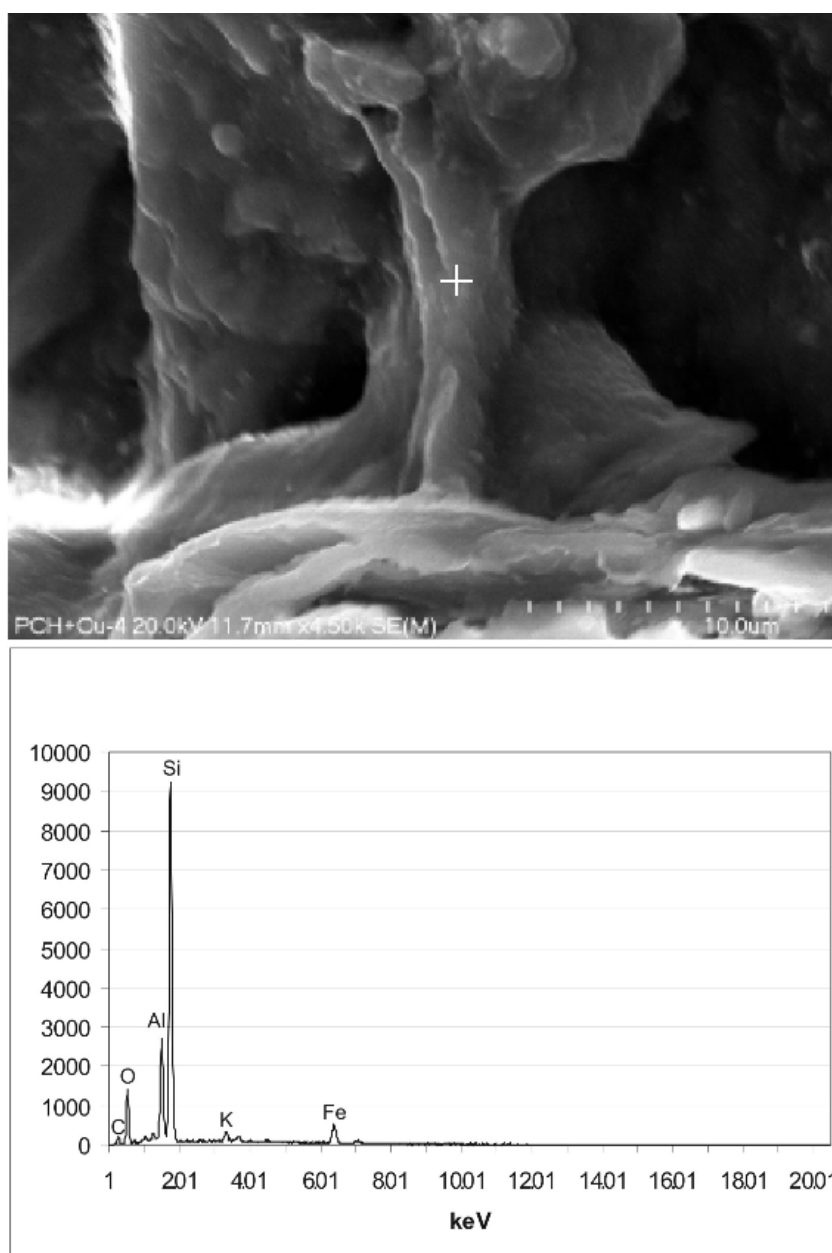
S. Rdzawa otoczka języka zaciekowego z konkrecją żelazistą oraz zubożony w produkty wietrzenia materiał języka zaciekowego, profil Pleśna 3, poziom Btx1.

Ryc. 16. Koncentracje żelaza w badanych poziomach fragipan.

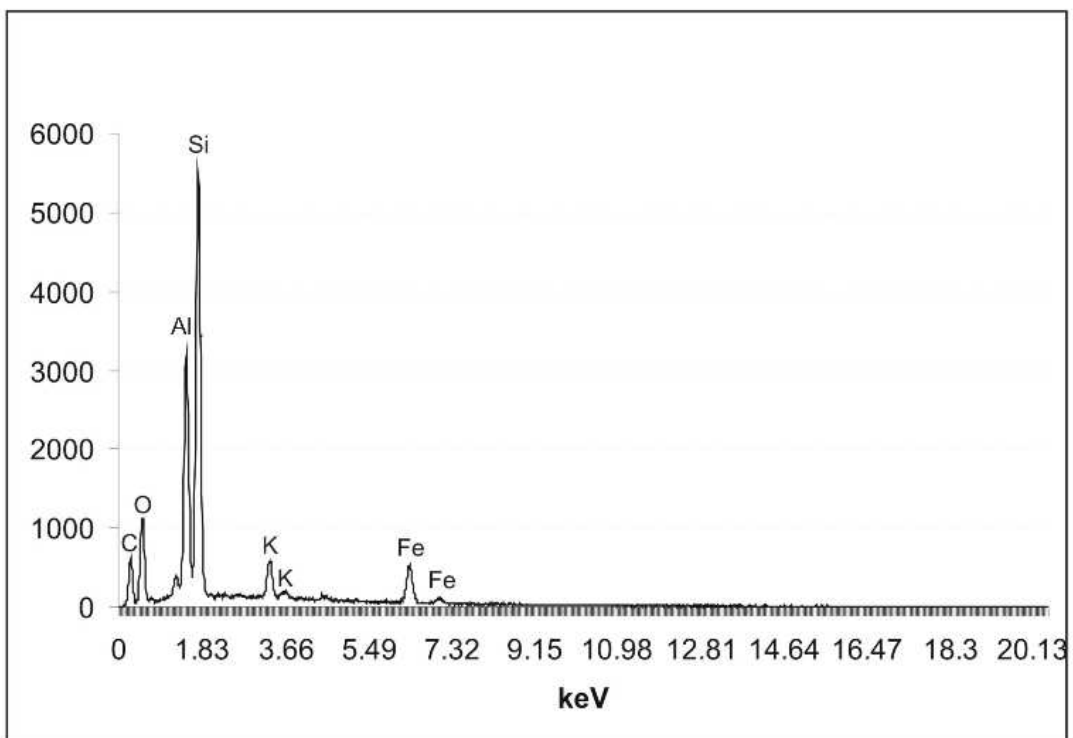
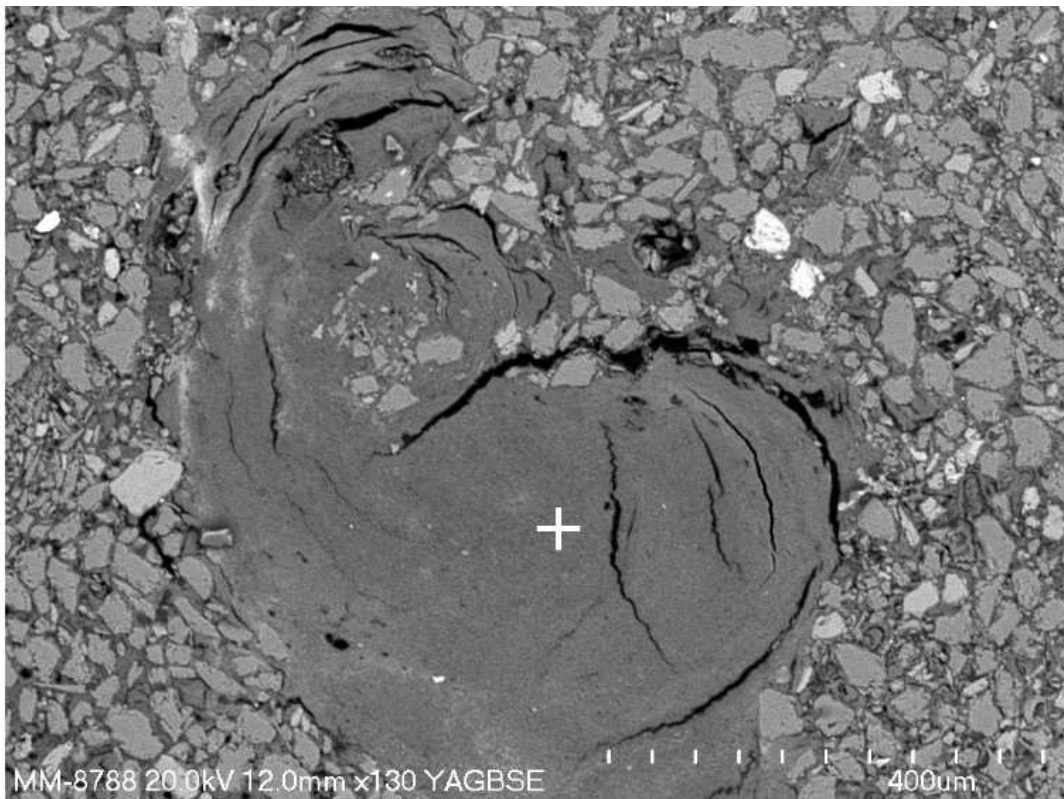
W poziomach *fragipan* bardzo często występują złożone cechy i struktury glebowe, z których najpowszechniejsze są konkrecje i inne koncentracje żelaziste w sąsiedztwie

nacieków i wypełnień ilastych, a także wyściółki ilaste w obrębie popękanych nodul żelazistych (Ryc. 16M i N).

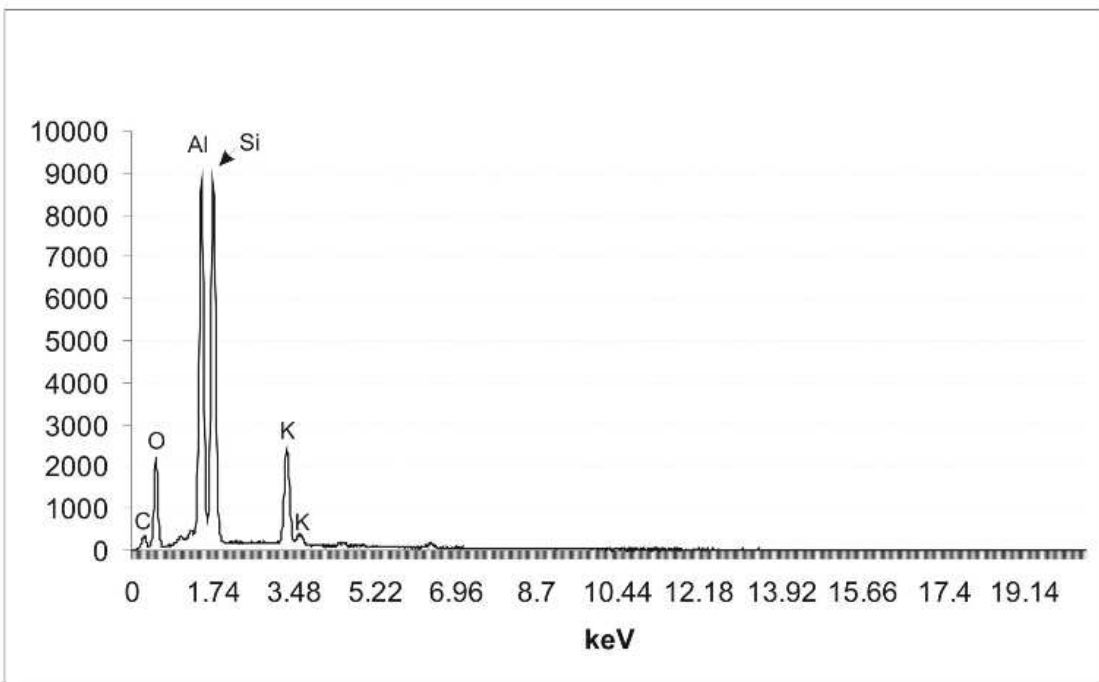
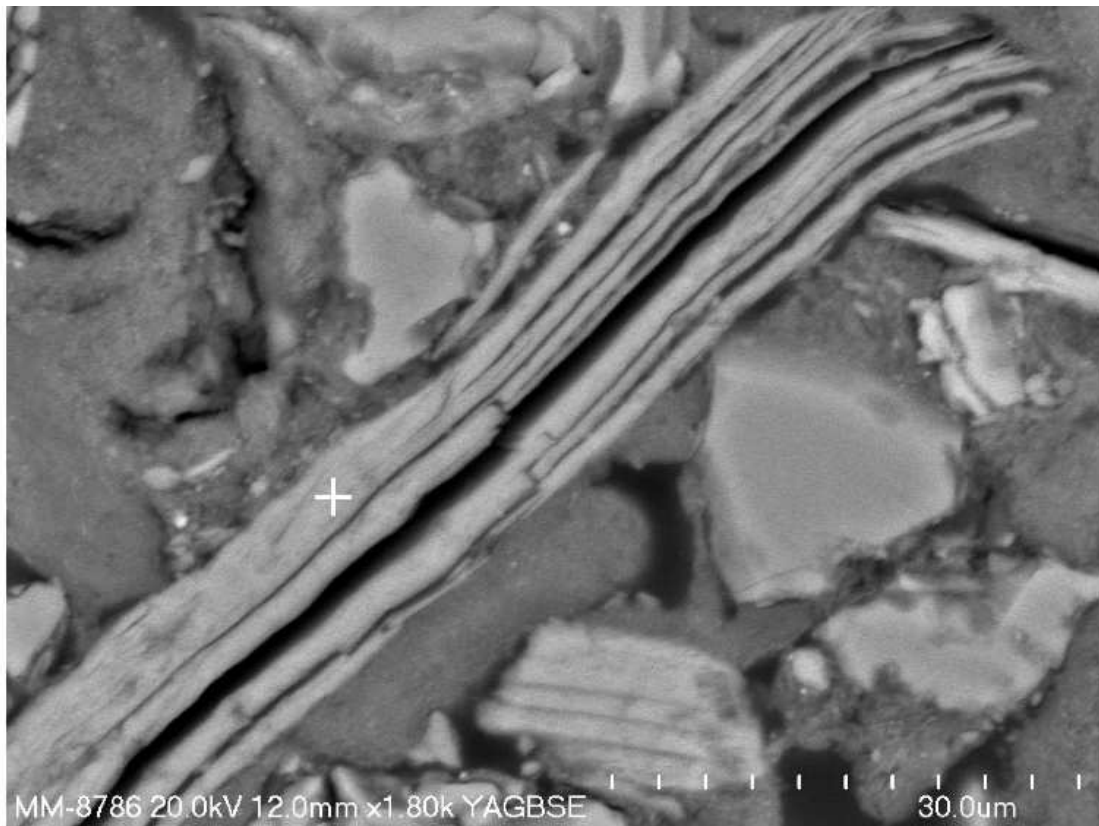
Poziomy iluwalne *argillic* charakteryzują się bardzo podobnymi cechami pedogenetycznymi jak poziomy *fragipan* z tą jednak różnicą, że struktury naciekowego iłu (wyściółki i wypełnienia ilaste) są tu mniej liczne, a nieraz słabiej wykształcone. Poza tym rzadziej obserwuje się w poziomach Btg strefy zubożenia w produkty wietrzenia przybierające makroskopowo kształt języków zaciekowych. W niektórych profilach glebowych, w poziomach *argillic* mniej liczne są papule w porównaniu z poziomami Btx.



Ryc. 17. Mostek ilasty wysycony związkami żelaza, poziom Btx, Pleśna 1 (krzyżyk oznacza miejsce wykonania analizy chemicznej).

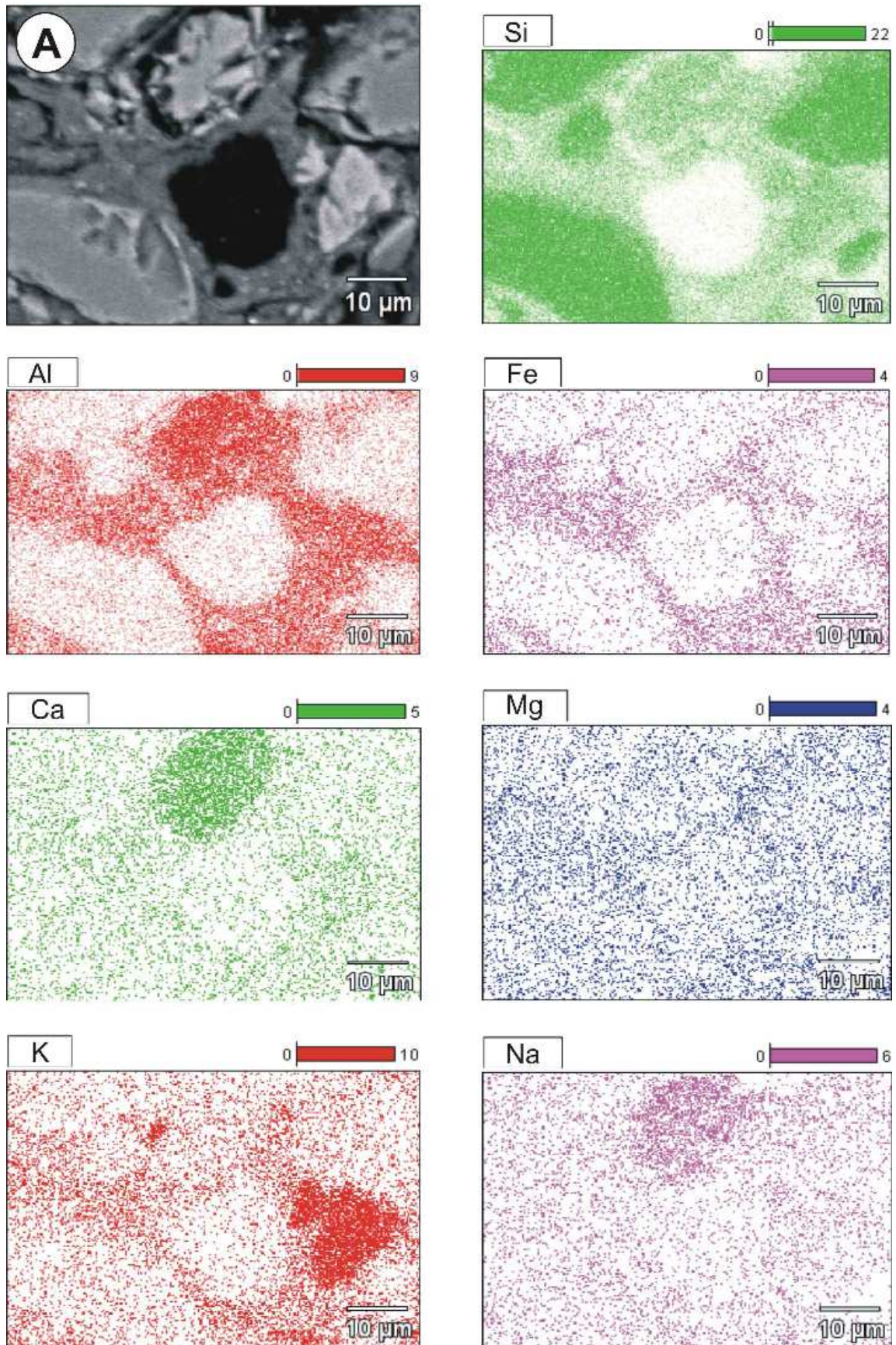


Ryc. 18. Popękane wypełnienie ilaste wysyczone związkami żelaza, poziom Btx, profil Brzezio  
(krzyżyk oznacza miejsce wykonania analizy chemicznej).

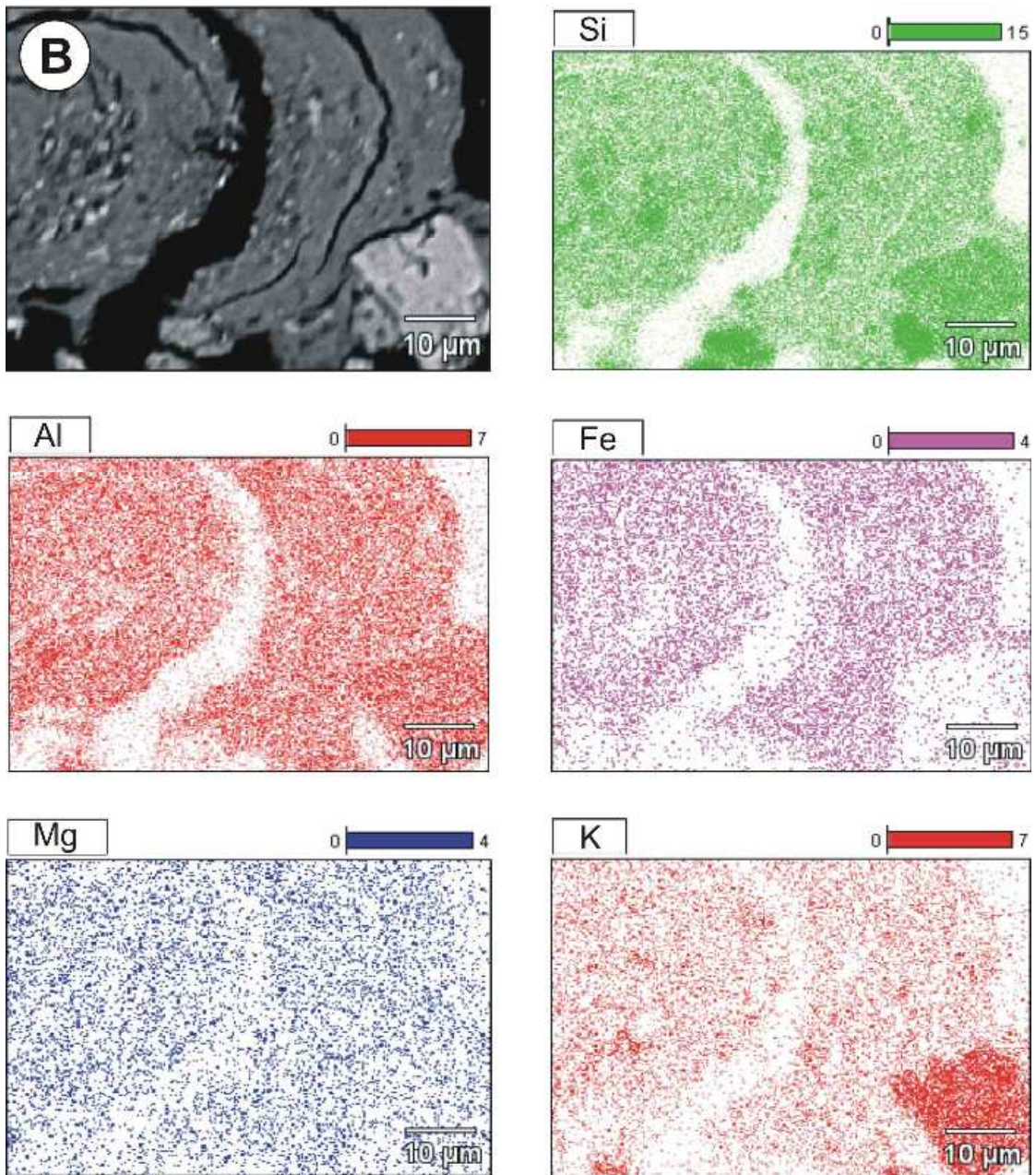


Ryc. 19. Wietrzejąca blaszka muskowitu, poziom Btx, Brzeziny (krzyżyk oznacza miejsce wykonania analizy chemicznej).

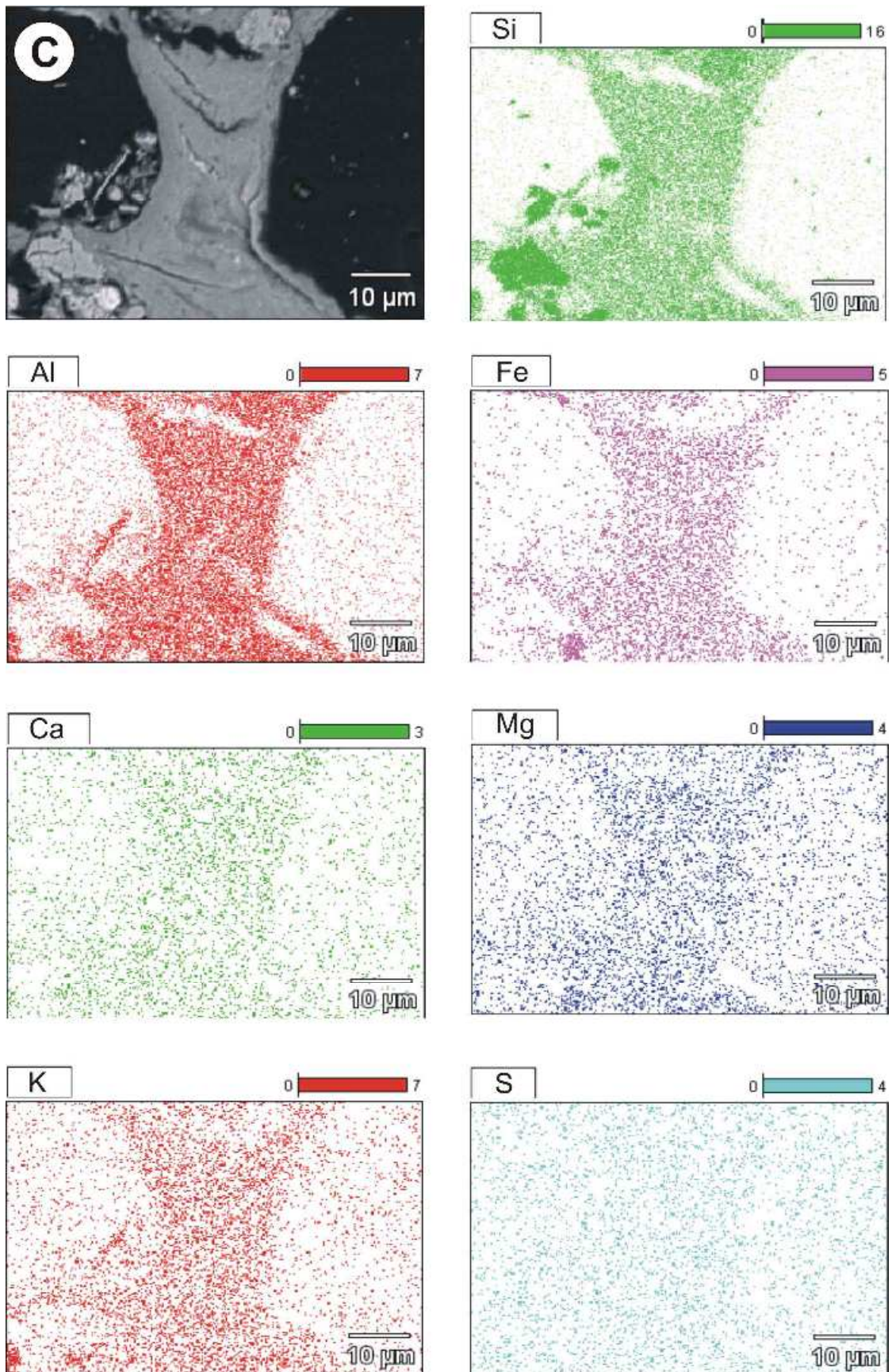




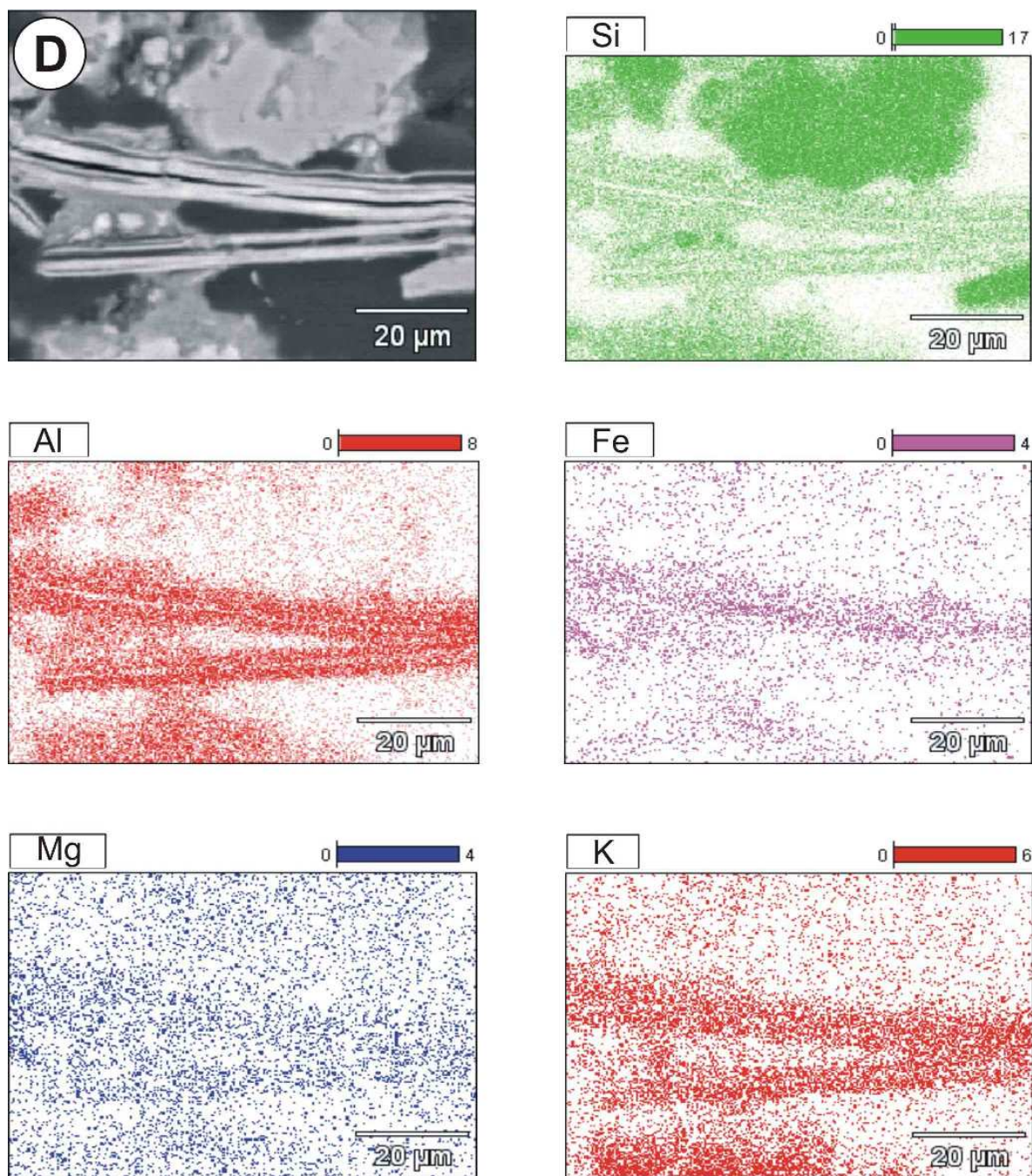
Ryc. 20. Skład chemiczny otoczki ilastej w poziomie Btx1 w profilu Pleśna 3.



Ryc. 21. Skład chemiczny rozwarstwionego nacieku ilastego w poziomie Btx1 w profilu Pleśna 3.



Ryc. 22. Skład chemiczny mostka ilastego w poziomie Btx1 w profilu Pleśna 3.



Ryc. 23. Skład chemiczny wietrzejącej blaszki muskowitu w poziomie Btx1 w profilu Pleśna 3.

Przeprowadzone badania mikromorfologiczne wykazały, że proces *lessivazu* jest dominującym procesem w badanych glebach, a poziom *fragipan* stanowi stropową część poziomu iluwialnego *argillic*. Świadczą o tym liczne nacieki i wyściółki ilaste obecne w tym poziomie. Występowanie licznych struktur naciekowego łu w glebach pyłowych Pogórza Karpackiego i kotlin śródgórskich było opisywane głównie przez Zasońskiego (1975, 1978, 1983, 1991 oraz 1992a), a także przez Szymańskiego i współpracowników

(2007 i 2008). Wypełnienia ilaste mają najczęściej postać dużych wielowarstwowych struktur i są typowe dla iluwiacji przebiegającej w warunkach glejowych (Zasoński 1983). Cechą charakterystyczną takich struktur jest zróżnicowanie granulometryczne poszczególnych warstewek (laminek), zróżnicowana orientacja optyczna domen ilastych przejawiająca się w różnym stopniu wygaszania światła oraz różna barwa (Stoops 2003). Bardzo powszechne w poziomach iluwialnych są nacieki ilaste odznaczające się rdzawo-czerwonym zabarwieniem, które wynika z obecności żelaza. Uwagę na takie ilasto-żelaziste połączenia (tzw. *ferriargillansy*) zwracali uwagę m.in. Brewer (1964), Zasoński (1983, 1992a), Lindbo i Veneman (1993), a ostatnio Weisenborn i Schaetzl (2005). Bardzo często nacieki takie tworzą otoczki wokół pojedynczych ziaren mineralnych o frakcji pyłu bądź piasku, które z czasem łączą się ze sobą tworząc mostki (Lindbo i Veneman 1989, 1993; Imbellone i Gimenez 1998; Weisenborn i Schaetzl 2005). Najprawdopodobniej to właśnie te mostki są odpowiedzialne za dużą twardość poziomów *fragipan* w stanie suchym i kruchość (łamliwość) w stanie wilgotnym. Wynika to ze specyficznych właściwości pęczniejących minerałów ilastych, które są głównym składnikiem nacieków w badanych glebach, co wykazała ilościowa analiza składu mineralnego. Pakiety tych minerałów oddalają się od siebie podczas kontaktu z wodą, a siły kohezji między nimi wyraźnie się zmniejszają. Natomiast w trakcie wysychania, ilość wody w przestrzeniach międzypakietowych zmniejsza się i pakiety zbliżają się do siebie, a siły kohezji zwiększają się, co doprowadza do wzrostu twardości materiału glebowego (Lamotte i in. 1997a i b; Attou i Bruand 1998). Występowanie licznych papul świadczy o mechanicznej deformacji materiału glebowego w wyniku pęcznienia i kurczenia materiału oraz deformacji struktur naciekowego iltu w wyniku mieszania biogenicznego materiału glebowego (Zasoński 1975, 1983; Stoops 2003; Szymański i in. 2008). Procesom pęcznienia i kurczenia sprzyja duża zawartość pęczniejących minerałów ilastych (smektytu) oraz zróżnicowane warunki termiczno-wilgotnościowe w ciągu roku. Obecność licznych konkrecji żelazistych i żelazisto-manganowych oraz marmurkowa barwa poziomów Btx potwierdzają powtarzające się okresy uwilgacania i przesychania materiału. Dodatkowym dowodem na znaczne okresowe uwilgotnienie badanych gleb są też plamy glejowe oraz liczne konkrecje żelaziste na kontakcie poziomu eluwialnego i iluwialnego. Wyraźne oznaki odgórnego oglejenia są rezultatem okresowego stagnowania wody na słabo przepuszczalnych poziomach iluwialnych, co wskazuje na formowanie zwierciadła wody zawieszanej w wilgotnych okresach w ciągu roku i występowanie warunków anaerobowych (McDaniel i in. 2001, 2008; Needelman i in. 2004; Gburek i in. 2006). Występowanie złożonych cech

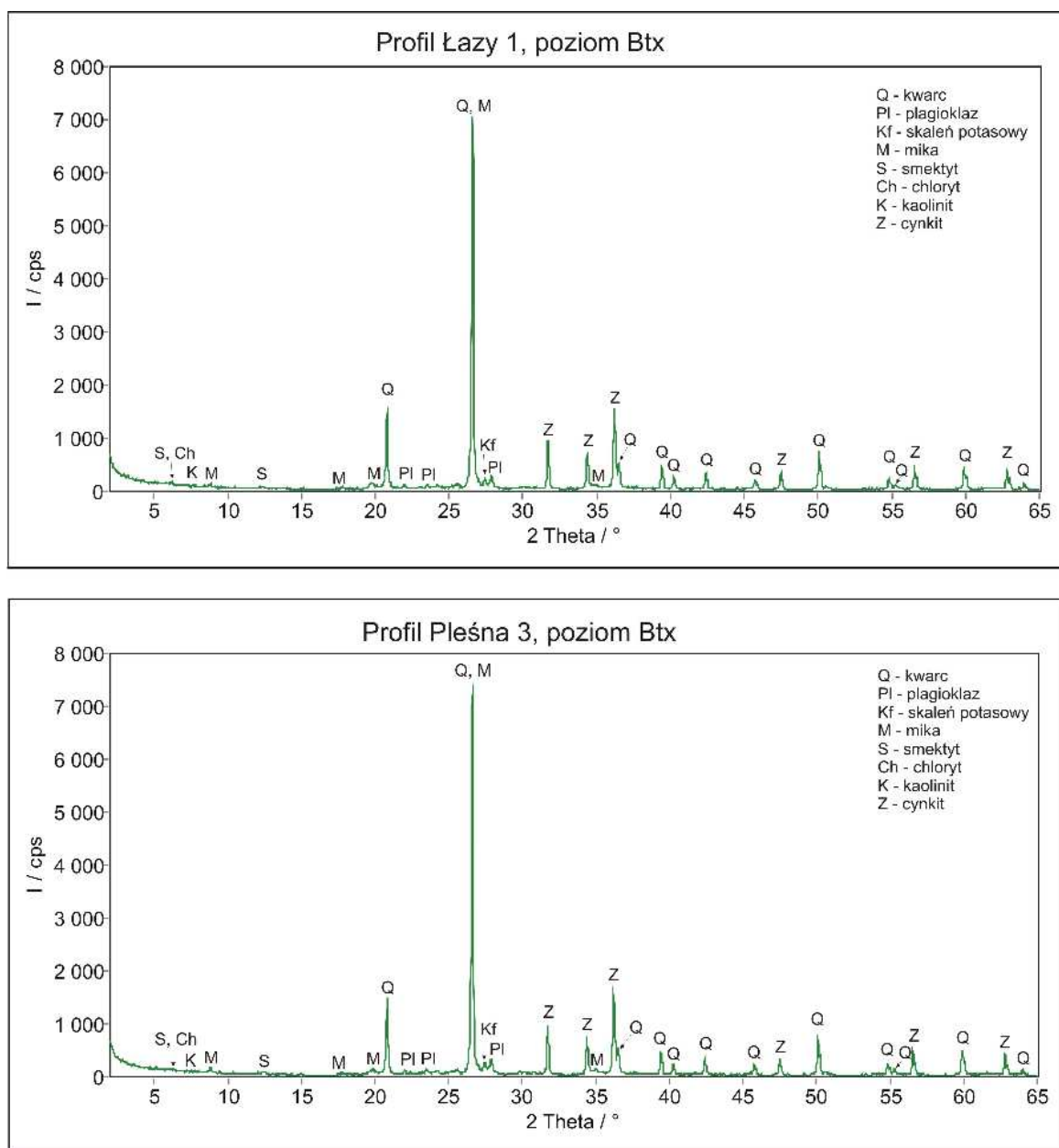
pedogenicznych (konkrecji żelaza i nacieków ilastych w różnych konfiguracjach) wskazują, że procesy *lessivazu* i odgórnego oglejenia zachodzą równocześnie w badanych glebach na co wskazywał m.in. Zasoński (1983, 1992). Rezultatem procesów kurczenia materiału z poziomu Btx w trakcie przesychniania są pionowe szczeliny, wzdłuż których powstają strefy zubożenia (eluwiacji) minerałów ilastych i związków żelaza przybierające z czasem kształt języków zaciekowych. Struktury takie nabierają cech upodabniających je do poziomów nadległych (*albeluvic*) i są dowodem na postępującą stopniowo degradację poziomu *fragipan* oraz jego stopniową transformację w poziom *glossic*.

#### 4.8. Skład mineralny

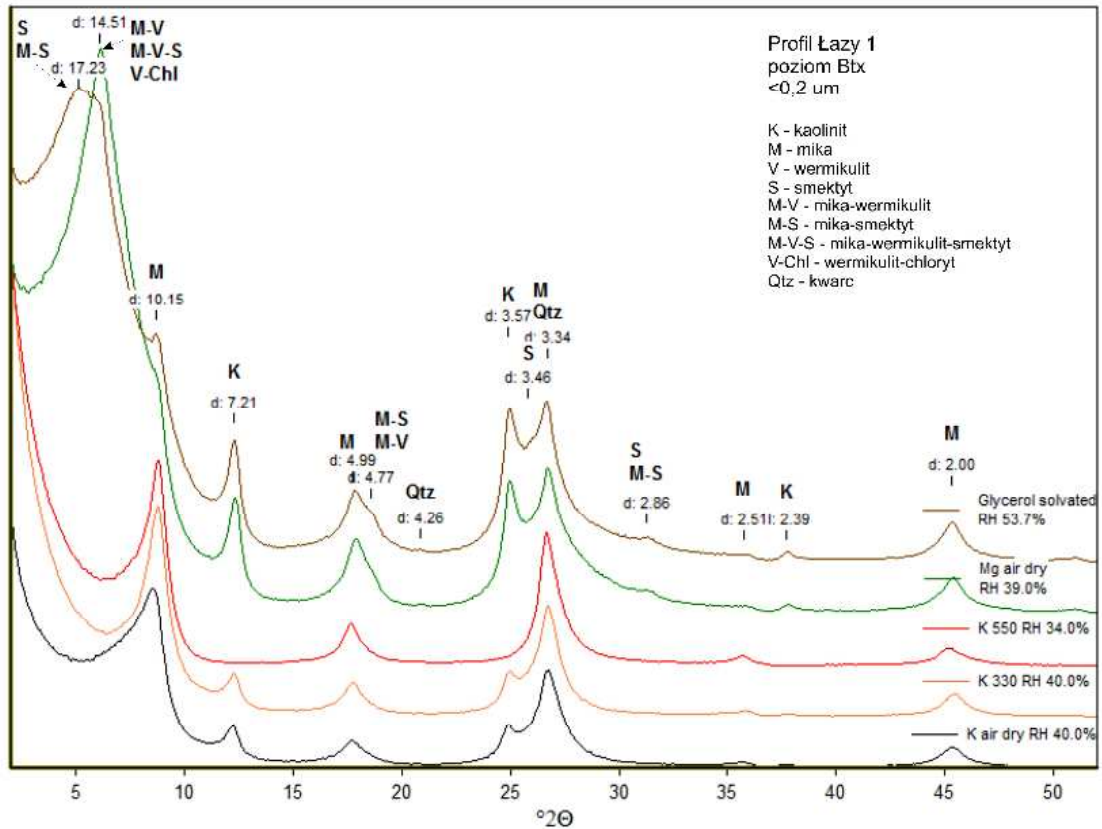
Analizę składu mineralnego przeprowadzono w wybranych profilach glebowych różniących się stopniem wykształcenia poziomu *fragipan* oraz wykazujących zróżnicowany rozwój języków zaciekowych. Pomimo różnic morfologicznych w wybranych pedonach nie stwierdzono wyraźnych różnic w składzie mineralnym. We wszystkich poziomach badanych gleb dominującymi minerałami pierwotnymi są: kwarc, skalenie potasowe, plagioklasy oraz miki (Ryc. 24). Minerały ilaste reprezentowane są przez minerały o budowie pakietów typu 1:1 (minerały z grupy kaolinitu) oraz 2:1 (miki, minerały z grupy wermikulitu oraz smektytu). Stwierdzono również obecność minerałów z grupy chlorytu. Oprócz wymienionych minerałów ilastych występują również minerały mieszanopakietowe typu: mika-smektyt, mika-wermikulit, mika-wermikulit-smektyt oraz wermikulit-chloryt (Ryc. 25-29). W niektórych poziomach glebowych oraz w pryzmach glebowych z poziomów *fragipan* występuje też tlenek żelaza – najprawdopodobniej goethyt.

Ilościowa analiza składu mineralnego wykazała wyraźne zróżnicowanie zawartości minerałów, a zwłaszcza wtórnych minerałów ilastych pomiędzy poziomami genetycznymi (Ryc. 30 i 31 oraz Tab. 8), a także pomiędzy językami zaciekowymi i pryzmami glebowymi z poziomów *fragipan* (Ryc. 32 i 33). We wszystkich poziomach glebowych wyraźnie przeważa kwarc, którego zawartość waha się od około 53,0% do ponad 75,0%. Skalenie potasowe są zdecydowanie mniej liczne, a ich zawartość waha się od około 6,0% do prawie 11,0%. Plagioklasy występują w podobnej ilości jak skalenie potasowe i stanowią od 6,4% do ponad 10,5% całej masy glebowej. Natomiast wyraźnie mniej liczne są miki dioktaedryczne (muskowit/illit, glaukonit), których zawartość wynosi od 2,9% do ponad 7,0%. Przeważającymi minerałami ilastymi w badanych glebach są minerały pęczniące o pakietach typu 2:1 (reprezentowane w tabeli 8 przez smektyt). Zawartość

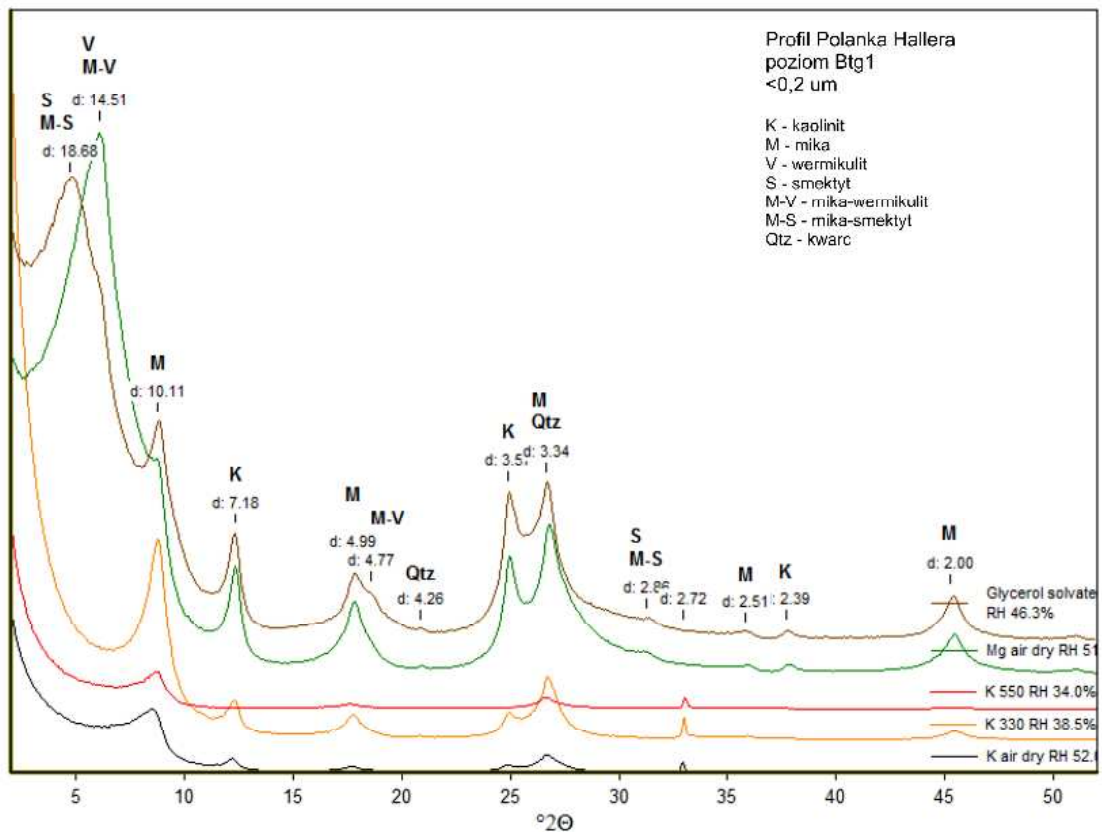
tych faz mineralnych waha się od 2,7% do 19,0%. W niewielkich ilościach występują również minerały z grupy chlorytu (od 0,6% do 2,2%) oraz kaolinitu (0,0% do 2,5%). W niektórych poziomach iluwialnych oraz przejściowych BC, a także próchnicznych występują śladowe ilości krystalicznych związków żelaza (prawdopodobnie goethytu), których zawartość waha się od 0,0 do 0,5%.



Ryc. 24. Skład mineralny wybranych poziomów fragipan wraz ze wzorcem wewnętrznym (cynkitem).

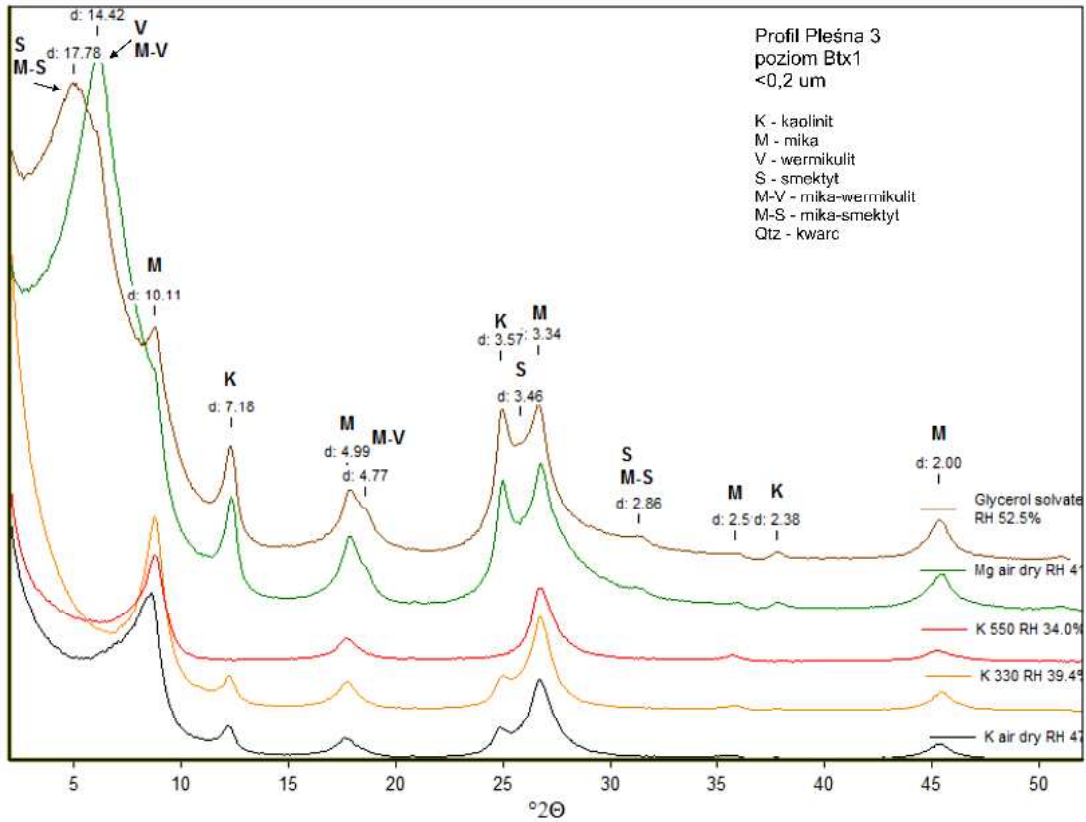


Ryc. 25. Skład mineralny frakcji ilastej (<0,2μm) z poziomu fragipan w profilu Łązy 1.

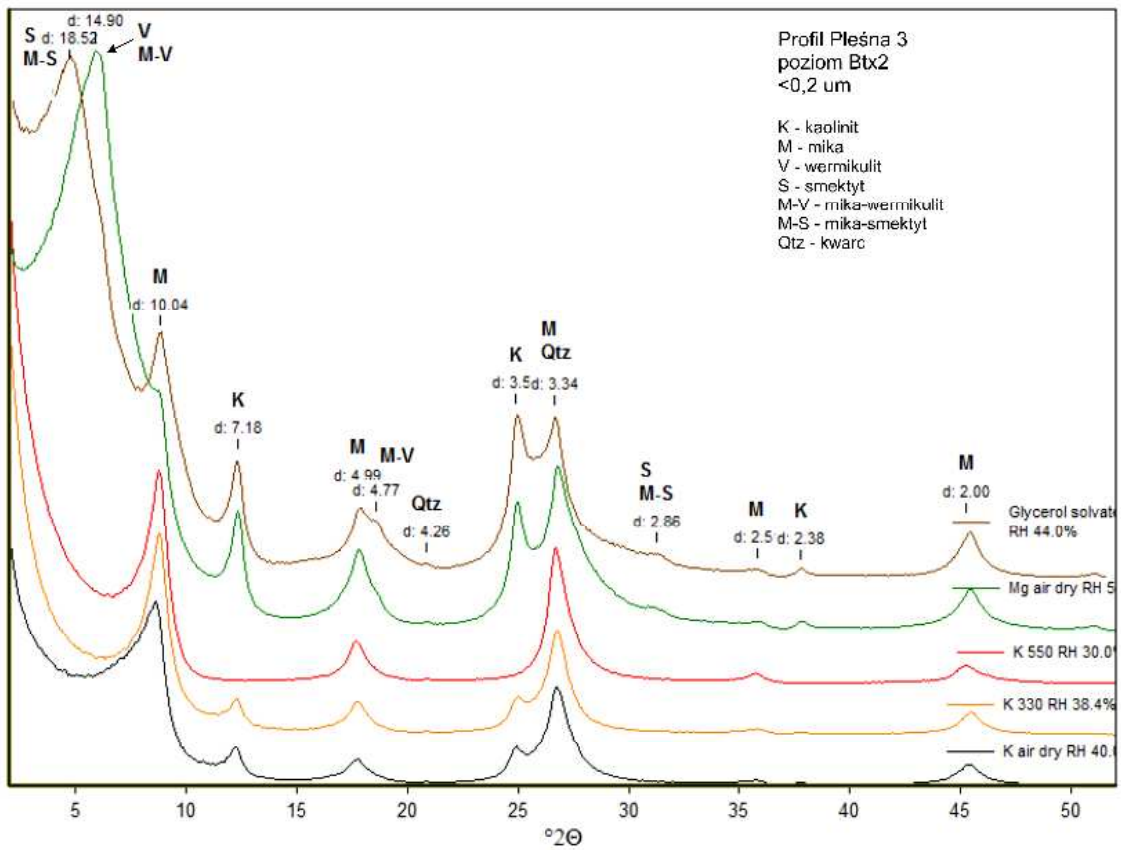


Ryc. 26. Skład mineralny frakcji ilastej (<0,2μm) z poziomu argillic w profilu Polanka Hallera.

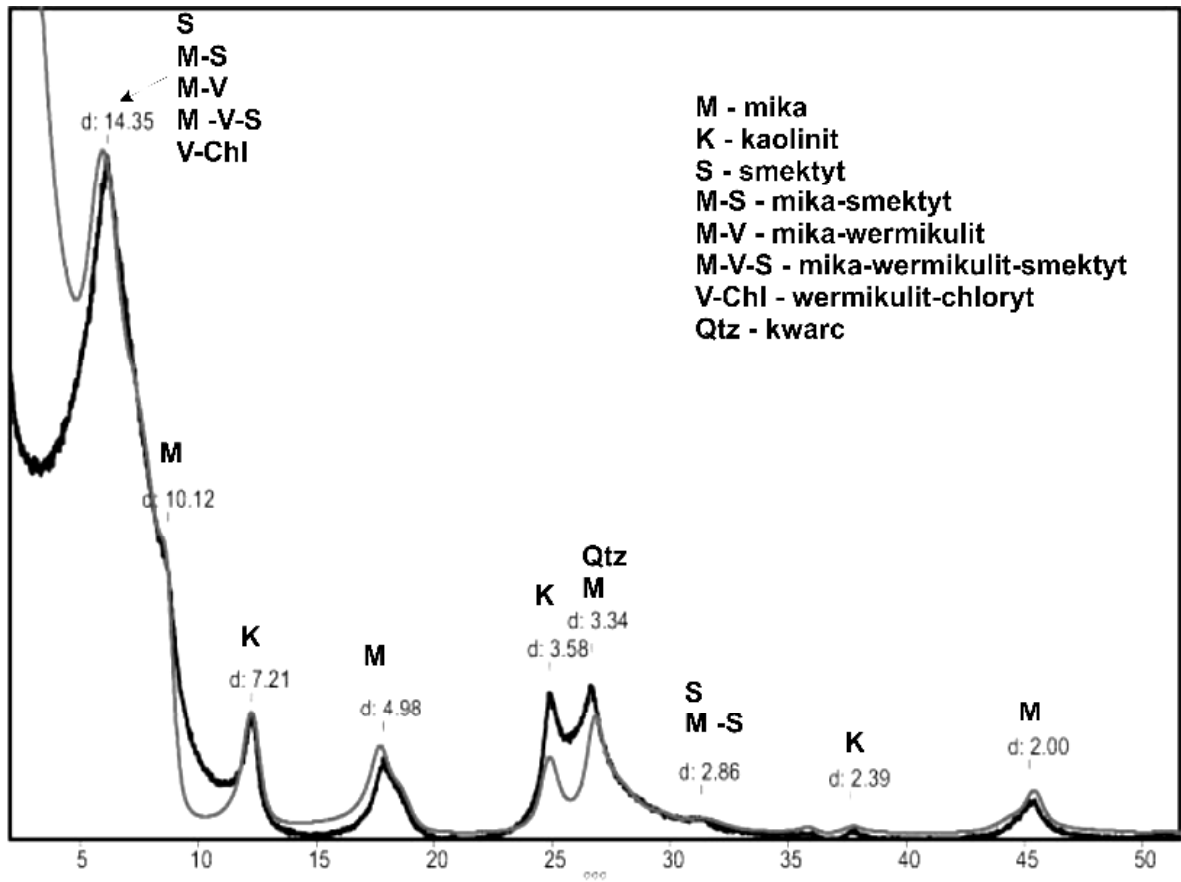




Ryc. 27. Skład mineralny frakcji ilastej (<0,2μm) z poziomu fragipan (Btx1) w profilu Plešna 3.



Ryc. 28. Skład mineralny frakcji ilastej (<0,2μm) z poziomu fragipan (Btx2) w profilu Plešna 3.



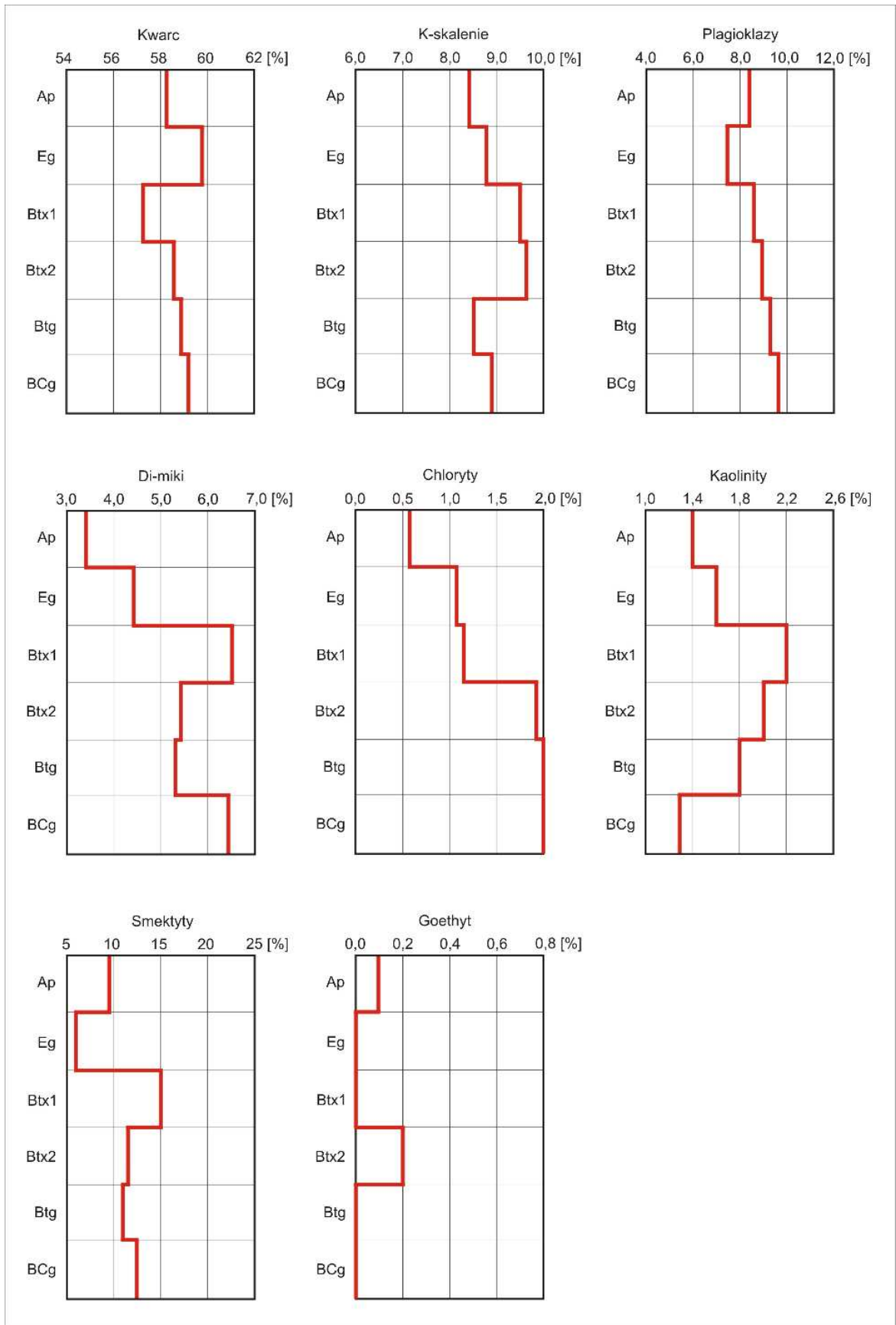
Ryc. 29. Porównanie dyfraktogramu frakcji ilastej z poziomu fragipan w profilu Łazy 1 (czarna linia) z dyfraktogramem modelowanym za pomocą programu Sybilla (szara linia); próbka orientowana, zarejestrowana w postaci powietrznie suchej i nasyconej  $Mg^{2+}$ .

Tabela 6. Ilościowy skład mineralny w wybranych profilach glebowych.

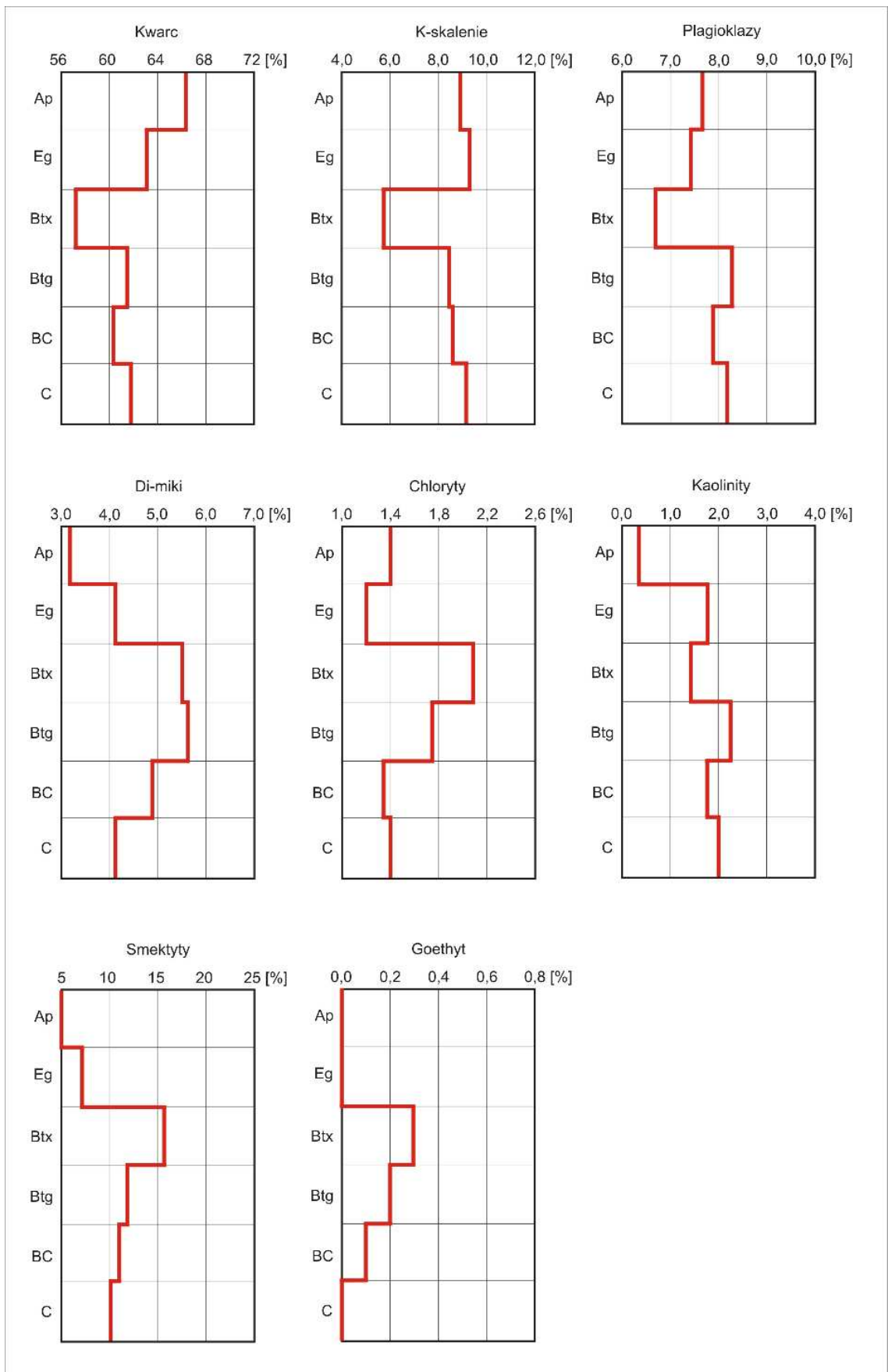
Poziom	Głębokość [cm]	[%]										
		Kwarc	K-skalenie	Plagioklasy	Di-miki	Kalcyt	Chloryty	Kaolinity	Smektyty	Goethyt	Inne	
Jedlicze												
Ap	0-15	62,7	10,2	10,1	4,6	0,0	0,9	1,3	8,4	0,0	0,0	1,8
AE	15-30	64,8	8,8	10,0	4,0	0,0	1,7	0,7	6,4	0,0	0,0	3,6
Eg	30-50	64,0	9,0	9,7	4,9	0,0	1,6	1,1	6,2	0,0	0,0	3,5
Btx	50-100	53,7	8,4	8,8	6,9	0,0	1,7	2,0	11,4	0,0	0,2	6,9
Btg	100-160	55,1	8,2	9,4	7,3	0,0	2,2	1,9	14,0	0,0	0,3	1,6
Języki		57,9	8,7	9,9	5,3	0,0	2,1	2,0	9,3	0,0	0,0	4,8
Pleśna 3												
Ap	0-35	58,1	8,4	8,2	3,4	0,0	0,6	1,4	9,7	0,0	0,1	10,1
Eg	35-45	59,5	8,8	7,6	4,3	0,0	1,1	1,6	6,4	0,0	0,0	10,7
Bbx1	45-100	57,2	9,5	8,4	6,5	0,0	1,2	2,2	15,0	0,0	0,0	0,0
Bbx2	100-180	58,5	9,6	8,9	5,4	0,0	1,9	2,0	11,9	0,0	0,2	1,6
Btg	180-245	58,8	8,5	9,3	5,3	0,0	2,0	1,8	11,4	0,0	0,0	2,9
BCg	245-285	59,2	8,9	9,7	6,4	0,0	2,0	1,3	12,5	0,0	0,0	0,0
Języki		57,2	9,5	8,4	5,6	0,0	1,9	2,2	12,1	0,0	0,0	3,1
Rdzawe otoczki języków		58,0	10,0	8,4	6,3	0,0	1,0	2,4	13,7	0,0	0,2	0,0
Pryzmy		57,1	10,0	7,7	5,3	0,0	2,1	2,1	15,5	0,0	0,2	0,0
Brzezie												
Ap	0-25	61,5	8,0	6,5	3,3	0,0	1,4	1,4	7,0	0,0	0,0	10,9
AE1	25-40	64,7	8,0	6,4	2,9	0,0	1,0	1,3	7,7	0,0	0,0	8,0
AE2	40-58	63,4	10,1	6,9	5,3	0,0	1,0	2,1	9,7	0,0	0,0	1,5
Eg	58-70	67,5	9,4	6,8	3,3	0,0	1,4	0,6	5,7	0,0	0,0	5,3
Btx	70-95	57,5	8,7	6,8	5,1	0,0	1,8	2,5	15,3	0,0	0,5	1,8
Btg1	95-115	62,2	8,9	7,8	4,8	0,0	1,7	1,8	11,9	0,0	0,1	0,8
Btg2	115-180	62,3	8,5	8,3	4,5	0,0	1,4	1,0	9,9	0,0	0,1	4,0
Języki		75,4	9,3	7,8	2,5	0,0	1,6	0,4	2,7	0,0	0,0	0,3

Tabela 6. Ilościowy skład mineralny w wybranych profilach glebowych cd.

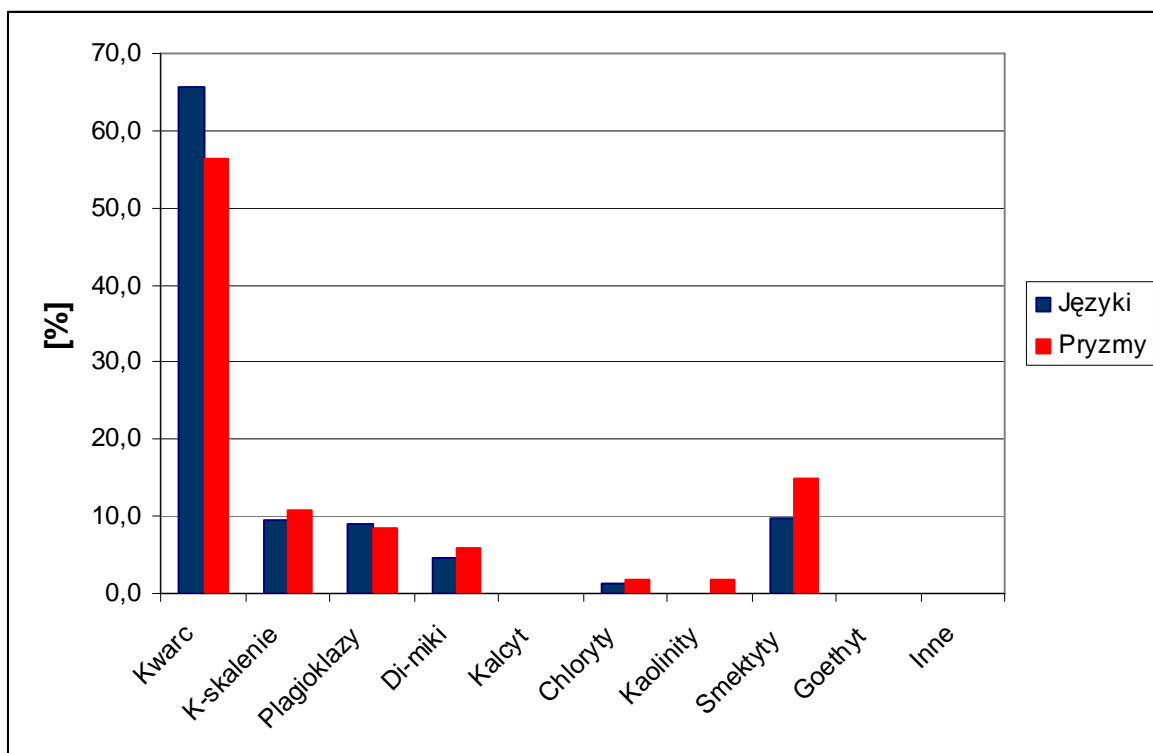
Poziom	Głębokość [cm]	[%]									
		Kwarc	K-skalenie	Plagioklasy	Di-miki	Kalcyt	Chloryty	Kaolinity	Smektyty	Goethyt	Inne
Gaik-Brzezowa											
Ap	0-30	62,2	10,7	8,6	5,6	0,0	0,7	1,6	10,2	0,1	0,3
Btx1	30-90	58,2	9,6	8,3	3,9	0,0	1,7	1,8	16,5	0,0	0,0
Btx2	90-140	60,4	10,2	9,0	5,0	0,0	1,1	1,5	12,7	0,1	0,0
Btg	140-170	58,2	9,6	10,6	5,3	0,0	2,2	0,8	13,0	0,0	0,3
Języki		65,6	9,6	9,1	4,6	0,0	1,2	0,0	9,9	0,0	0,0
Pryzmy		56,4	10,7	8,6	5,8	0,0	1,7	1,7	15,0	0,1	0,0
Łazy 1											
Ap	0-35	66,5	8,8	7,7	3,2	0,0	1,4	0,3	5,0	0,0	7,1
Eg	35-50	63,3	9,3	7,4	4,1	0,0	1,2	1,8	7,1	0,0	5,8
Btx	50-70	57,1	5,8	6,7	5,5	0,0	2,1	1,4	15,1	0,3	6,0
Bt	70-90	61,4	8,4	8,3	5,6	0,0	1,7	2,2	11,8	0,2	0,4
BC	90-110	60,1	8,5	7,9	4,9	0,0	1,3	1,8	11,0	0,1	4,4
C	110-150	61,8	9,1	8,2	4,1	0,0	1,4	2,0	10,1	0,0	3,3
Pryzmy		58,5	8,0	7,0	6,5	0,0	1,8	0,7	13,5	0,4	3,6
Języki		70,2	9,1	8,7	3,5	0,0	1,3	0,0	6,0	0,0	1,2
Polanka Hallera											
Ap	0-15	54,8	8,8	7,5	3,0	6,0	2,1	1,3	7,1	0,0	9,4
AB	15-30	58,1	9,6	8,2	4,9	2,7	1,8	1,1	9,3	0,1	4,2
Btg1	30-70	58,5	10,0	9,8	5,8	0,0	1,6	0,6	13,7	0,0	0,0
Btg2	70-110	58,5	9,4	10,1	4,7	0,0	2,2	2,2	12,9	0,0	0,0
BCg	110-150	57,0	9,4	10,1	7,3	0,0	1,6	1,9	12,3	0,1	0,3
Nacieki ilasto-próchniczne		53,0	10,0	7,9	7,0	0,0	1,2	1,9	19,0	0,0	0,0



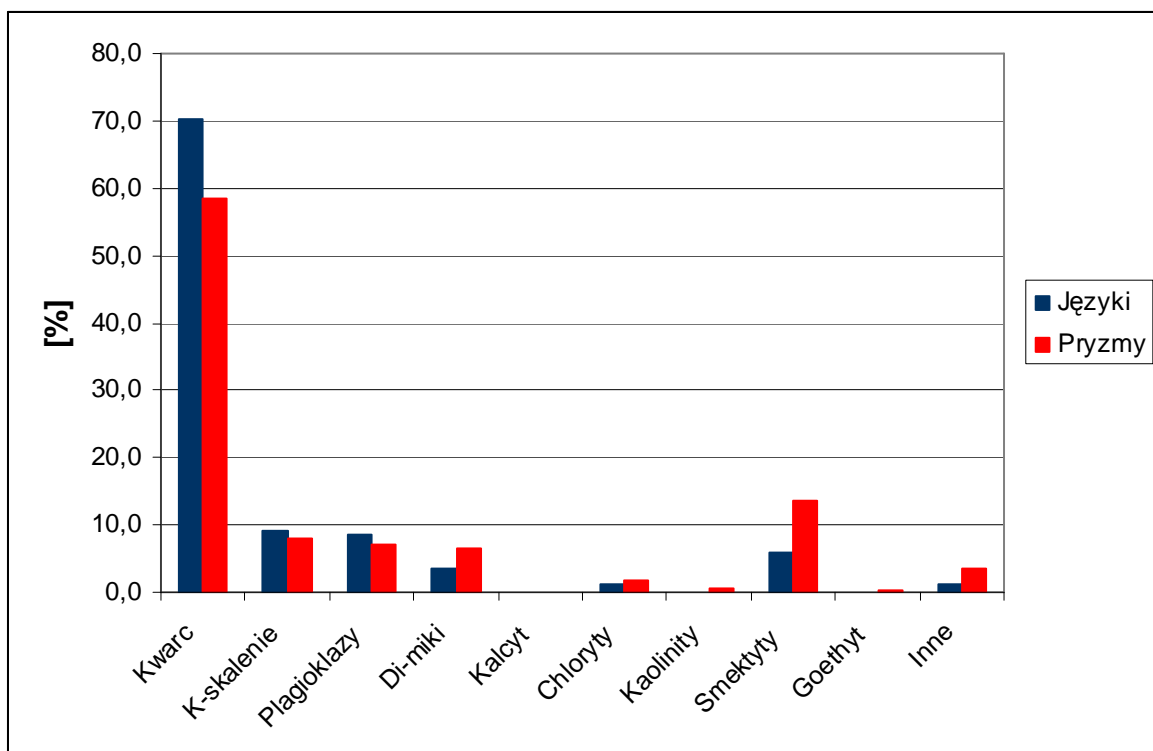
Ryc. 30. Ilościowy skład mineralny w profilu Pleśna 3.



Ryc. 31. Ilościowy skład mineralny w profilu Łazy 1.



Ryc. 32. Zawartość faz mineralnych w językach zaciekowych i pryzmach glebowych z poziomu fragipan, profil Gaik-Brzezowa.



Ryc. 33. Zawartość faz mineralnych w językach zaciekowych i pryzmach z poziomu fragipan, profil Łazy 1.

Przeprowadzone analizy mineralogiczne wykazały, że badane gleby płowe i poziomy *fragipan* odznaczają się bardzo zbliżonym składem mineralnym. Dominacja kwarcu, plagioklazów, skaleni potasowych i mik wynika z ich znacznej odporności na procesy wietrzenia (Wilson 2004). Procesy te są też główną przyczyną zróżnicowania ilościowego minerałów pierwotnych w poszczególnych poziomach genetycznych. Mniejsza zawartość plagioklazów w poziomach powierzchniowych (Ap, AE i E) w porównaniu z poziomami iluwialnymi (Btx i Btg) i przejściowymi do podłoża macierzystego (BC) związana jest z bardziej intensywnymi procesami wietrzenia w górnej części profilu glebowego. Wietrzejące plagioklasy w kwaśnym środowisku ulegają rozkładowi i dostarczają substratu dla powstających nowych faz mineralnych (np. smektytu). Zaznaczający się wzrost zawartości kwarcu w poziomach eluwialnych (Ap, AE, E) oraz w strukturach *glossic* spowodowany jest wypłukaniem innych składników (głównie minerałów ilastych) powodując względny wzrost zawartości tego minerału. Potwierdzają to wyniki uzyskane dla poziomów iluwialnych, w których akumulacja produktów wietrzenia (wtórnych minerałów ilastych) powoduje z kolei względne zmniejszenie zawartości kwarcu w tych poziomach. Większe różnice ilościowe zaznaczają się w przypadku minerałów ilastych, które koncentrują się w najdrobniejszej frakcji iłu koloidalnego i dzięki temu są najbardziej mobilne ze wszystkich faz mineralnych. Wyraźny wzrost zawartości faz pęczniejących (smektytu) oraz chlorytu i kaolinitu w poziomach iluwialnych związany jest z *lessivazem*, który doprowadza z jednej strony do zubożenia w produkty wietrzenia poziomy eluwialne (Ap, AE oraz E), a z drugiej strony wzbogaca poziomy iluwialne (Btx i Bt). Zwiększona zawartość tych faz mineralnych w poziomach iluwialnych wynika też w pewnym stopniu z wietrzenia minerałów pierwotnych *in situ*, które nie są wypłukiwane w głąb profilu glebowego. Procesy wietrzenia minerałów pierwotnych *in situ* potwierdziły badania mikromorfologiczne, które wykazały w poziomach iluwialnych obecność mikromasy zorientowanej wokół ziaren.

Przeprowadzone badania składu mineralnego frakcji ilastej wykazały, że pochodzenie pęczniejących faz mineralnych w badanych glebach należy wiązać z procesami wietrzenia mik dioktaedrycznych (muskowitu), w których dochodzi do zmniejszania się ilości jonów  $K^+$  w przestrzeniach międzypakietowych i redukcji ładunku elektrycznego pakietów. Prowadzi to do transformacji stabilnych struktur glinokrzemianów warstwowych (miki) w struktury labilne (wermikulit, smektyt). Dowodem tego jest obecność faz przejściowych (mika-wermikulit, mika-smektyt oraz mika-wermikulit-smektyt) od miki (o najwyższym



ładunku pakietów) do smektytu (o najniższym ładunku). W dodatku, pod mikroskopem skaningowym obserwowano silnie zwietrzałe i rozwarstwione blaszki mik. Takie przemiany mineralne w glebach są częste i mają bogatą literaturę (m.in. Brown 1953; Rich i Cook 1961; Laird i Nater 1993; Righi i in. 1999; Wilson 2004; Skiba 2007; Egli i in. 2001, 2008). Nie można też wykluczyć neoformacji smektytu z produktów wietrzenia skaleni i plagioklazów na co uwagę zwrócili w swoich pracach m.in. Allen i Fanning (1983), Karathanasis (1989) oraz Wilson (1999). Pewna część minerałów pęczniejących jest też zapewne odziedziczona z podłoża macierzystego.

Ubytek chlorytu w poziomach stagno-glejowych (Eg) oraz w pionowych językach zaciekowych jest najprawdopodobniej związany z cyklicznymi procesami oksydacyjno-redukcyjnymi, które prowadzą do dezintegracji kryształów tego minerału poprzez wzrost kryształów tlenków żelaza w przestrzeniach międzypakietowych. Cykliczne utlenianie i redukcja żelaza znajdującego się w strukturze krystalicznej chlorytu powoduje uwalnianie żelaza i zastępowanie innymi jonami (np.  $Al^{3+}$ ), a w trakcie tego procesu dochodzi do rozpadu struktury minerału o czym piszą Van Ranst i De Coninck (2002). Zmniejszona zawartość chlorytu w materiale z języków zaciekowych może być również związana z procesami przemieszczania i mikroerozji wzdłuż pionowych szczelin. Potwierdzeniem przemieszczania chlorytu w procesie *lessivazu* jest podwyższona jego zawartość w poziomach iluwialnych.

Niewielka zawartość kaolinitu w badanych glebach jest najprawdopodobniej związana ze składem mineralnym materiału macierzystego. Minerale z grupy kaolinitu również podlegają w pewnym stopniu procesowi przemiany. Świadczy o tym wyraźny ubytek kaolinitu w poziomach stropowych (Ap, AE i E) i w językach zaciekowych w stosunku do poziomów iluwialnych (Btx i Btg) i przyzm glebowych z poziomu *fragipan*.

Wyraźne różnice w zawartości poszczególnych faz mineralnych między językami zaciekowymi i przyzmami glebowymi w badanych poziomach *fragipan* wskazują na intensywne wypłukiwanie produktów wietrzenia wzdłuż pionowych szczelin, co z jednej strony prowadzi do zmniejszania zawartości minerałów ilastych w językach zaciekowych w porównaniu z wnętrzem przyzmatycznych agregatów, a z drugiej strony powoduje względny wzrost ilości minerałów pierwotnych (głównie kwarcu) w strukturach *glossic*.

Uzyskane wyniki ilościowej analizy składu mineralnego wskazują, że wyraźna przewaga pęczniejących minerałów ilastych w badanych poziomach *fragipan* ma duży

wpływ na ich właściwości fizyczne (twardość-kruchość w zależności od stopnia wilgotności, stabilność agregatów, przepuszczalność, pęcznienie), a także pełni ważną rolę w ich genezie i ewolucji. Akumulacja pęczniejących faz mineralnych w poziomie iluwialnym doprowadza z czasem do degradacji tych poziomów, która przejawia się powstawaniem pionowych szczelin z wysychania (efekt kurczenia minerałów ilastych) i rozwojem języków zaciekowych o cechach zbliżonych do materiału z poziomów eluwialnych. Potwierdzeniem tego jest obecność pęczniejących faz mineralnych w poziomach *fragipan* w glebach innych obszarów (Tremocoldi i in. 1994; Aide i Marshaus 2002; Scalenghe i in. 2004; Certini i in. 2007).

## 5. Podsumowanie

Określenie czasu rozwoju pokrywy glebowej nie jest rzeczą łatwą. Wynika to z oddziaływania wielu czynników glebotwórczych, które są ze sobą ściśle powiązane i wzajemnie się przenikają. Ścisłe wzajemne relacje pomiędzy tymi czynnikami powodują, że zmiana tylko jednego z nich, pociąga za sobą zmianę wszystkich pozostałych. Gleba, będąca utworem dynamicznym, podlega nieustannym zmianom, które mogą przebiegać w różnym tempie, a każda zmiana może pozostawić po sobie jakiś ślad w morfologii bądź właściwościach danej gleby. W glebie akumulują się więc ślady różnych procesów i to zarówno tych dawnych (kopalnych) jak i obecnych. Bardzo często jest też tak, że wcześniejsze ślady pedogenezy są zacierane bądź modyfikowane w różnym stopniu przez następne. Dlatego nie można z całą pewnością określić dokładnego rozwoju pokrywy glebowej. Przedstawione wcześniej poglądy na temat genezy poziomu *fragipan* świadczą o tym, że ustalenie jednego mechanizmu powstawania tego poziomu nie jest łatwe. Dlatego zaprezentowany niżej model powstawania i ewolucji poziomu *fragipan* w glebach płowych Pogórza Karpackiego i kotlin śródgórskich jest tylko propozycją opartą na podstawie uzyskanych wyników.

Gleby płowe Pogórza Karpackiego i kotlin śródgórskich wytworzyły się z bezwęglanowych pyłowych osadów czwartorzędowych, których miąższość dochodzi do kilkunastu metrów. Utwory te zostały zdeponowane w trakcie ostatniego zlodowacenia i podlegały procesom soliflukcji. Warunki klimatyczne z przewagą opadów nad parowaniem oraz brak węglanów w podłożu macierzystym sprzyjały pionowej translokacji produktów wietrzenia w głąb profilu glebowego. Proces ten doprowadził z czasem do

wyraźnego wzbogacenia poziomów podpowierzchniowych w minerały ilaste, a niekiedy również w tlenki żelaza, które przybierają postać nacieków i wypełnień ilastych oraz ilasto-żelazistych. Struktury naciekowego łu wypełniające większość wolnych przestrzeni w poziomach iluwialnych doprowadziły do wzrostu gęstości objętościowej i spadku porowatości tych poziomów przyczyniając się do powstania w ich stropowej części poziomu *fragipan*. Ciągła dostawa pęczniejących minerałów ilastych do poziomu *fragipan* w wyniku procesu płowienia, spowodowała przekroczenie wartości progowej, przy której poziom *fragipan* zaczyna ulegać degradacji. Dzieje się to na skutek procesów pęcznienia i kurczenia materiału zasobnego w pęczniące minerały ilaste w trakcie cyklicznego uwilgacania i wysychania materiału glebowego. W trakcie przesychania dochodzi do kurczenia pęczniejących minerałów ilastych i powstawania pionowych szczelin. W wyniku tych procesów powstaje też struktura pryzmatyczna, która jest charakterystyczna dla poziomów Btx. Powstałe w ten sposób pionowe szczeliny stanowią korytarze dla infiltrującej wody opadowej w głąb profilu glebowego, która napotykając zbity, słabo przepuszczalny poziom (*fragipan*) ma możliwość dalszej perkolacji tylko takimi szczelinami. Infiltrująca woda opadowa wypłukuje produkty wietrzenia (minerały ilaste i związki żelaza) z materiału w sąsiedztwie szczeliny, które przemieszczane są w głąb profilu glebowego. W efekcie powstaje jasnoszara strefa, zubożona w te produkty wietrzenia, przybierająca postać języka, który z czasem jest poszerzany. Wydaje się więc, że długość takiego języka zależy od głębokości cyklicznego przesychania materiału oraz od miąższości poziomu, w którym została zakumulowana wystarczająca ilość pęczniejących minerałów ilastych. Natomiast szerokość języków zaciekowych zależy od wieku takich struktur. Im starsza struktura, tym cechuje się większą szerokością, ponieważ więcej razy doświadczyła mikroeluwialnego oddziaływania wody opadowej. W powstawaniu pionowych języków zaciekowych aktywnie uczestniczy też proces wsypywania materiału z poziomu nadległego do otwartych szczelin z wysychania. Tempo degradacji poziomu *fragipan* zależy od stopnia uwilgotnienia profilu glebowego w ciągu roku. Wiąże się to z procesami cyklicznego kurczenia i pęcznienia materiału. Gleby silnie przepojone wodą (np. w zagłębieniach terenu) przez większą część roku nie przesychają, co utrudnia proces kurczenia minerałów ilastych i powstawanie pionowych szczelin.

W urzeźbionym obszarze jakim jest Pogórze Karpackie duży wpływ na morfologię profilu glebowego, a tym samym na miąższość poziomu *fragipan* i głębokość jego występowania mają procesy morfogenetyczne. Procesy te (głównie splukiwanie)

w połączeniu z działalnością rolniczą człowieka (łanowy układ pól i orka zgodnie z nachyleniem stoków) powodują erozję gleb. Erozji podlegają poziomy stropowe (Ap, AE oraz E), co sprawia, że twarde i słabo przepuszczalny poziom *fragipan* znajduje się z czasem coraz bliżej powierzchni. Dalsza erozja, wspomagana przez zabiegi agrotechniczne powoduje, że poziom *fragipan* stanowi powierzchniowy poziom, którego stropowa część przekształcana jest we wtórny poziom orno-próchniczny.

Stopniowe przekształcanie poziomu *fragipan* we wtórny poziom próchniczny powoduje zmniejszanie jego miąższości, a tym samym zmniejszanie długości pionowych języków zaciekowych. Procesy redukujące miąższość poziomu *fragipan* i *argillic* zachodzą na stokach o większym nachyleniu, gdzie procesy dyspersji minerałów ilastych oraz ich translokacja nie nadążają za procesami erozji. W efekcie prowadzi to do powstawania zerodowanych gleb płowych (tzw. ogłowionych). Na stokach o mniejszym nachyleniu oraz na spłaszczeniach wierzchowinowych, gdzie procesy erozji postępują wolno lub nie występują, poziomy iluwialne (Btx i Btg) są zachowane.

Przeprowadzone badania wykazały, że procesy mrozowe zachodzące w warunkach klimatu peryglacjalnego raczej nie miały wpływu na powstanie i ewolucję poziomu *fragipan*. W okresie panowania peryglacjalnych warunków klimatycznych na obszarze Pogórza Karpackiego, dochodziło do depozycji materiału macierzystego oraz jego przemieszczania w wyniku procesu soliflukcji. Dalsze procesy wietrzenia i przemieszczania frakcji ilastej w wyniku procesu *lessivaż* w okresie postglacjalnym doprowadziły do wykształcenia gęstego i twardego (w stanie suchym) poziomu iluwialnego *argillic (fragipan)*. Występowania struktury płytkowej bez obecności innych struktur mrozowych (takich jak: mikrostruktura soczewkowa, mikrostruktura warstwowa oraz występowanie wolnych przestrzeni w kształcie pęcherzyków) nie można traktować jako dowód zachodzących wcześniej procesów mrozowych, ponieważ taka mikrostruktura może być związana również z procesami depozycji materiału macierzystego.

W świetle prezentowanych wyników można z dużym prawdopodobieństwem stwierdzić, że geneza poziomu *fragipan* w glebach płowych Pogórza Karpackiego i kotlin śródgórskich jest związana z procesem *lessivażu*, a zachodząca obecnie jego degradacja wynika z nagromadzenia znacznej ilości pęczniejących minerałów ilastych, które w wyniku cyklicznego przesychnienia materiału ulegają kurczeniu. W efekcie powstają głębokie, pionowe szczeliny, wzdłuż których rozwijają się języki zaciekowe zubożone w produkty wietrzenia, a stropowa część poziomu *fragipan* ulega transformacji w poziom *glossic*.

## 6. Wnioski

Uzyskane wyniki przeprowadzonych badań pozwalają na wyciągnięcie następujących wniosków:

1. Gleby płowe zaciekowe opadowo-glejowe (*Albeluvisols*) są przeważającymi glebami Pogórza Karpackiego i kotlin śródgórskich.
2. W glebach tych, poziom *fragipan* występuje powszechnie i stanowi stropową część poziomów iluwalnych *argillic*, o czym świadczą, obserwowane pod mikroskopem, liczne struktury naciekowego iłu (wyściółki i wypełnienia ilaste).
3. Skład mineralny frakcji ilastej w poziomie *fragipan* jest zdominowany przez minerały pęczniejące o pakietach typu 2:1 (smektyt, wermikulit), które stanowią 14-15% masy glebowej. Minerały te decydują o właściwościach fizycznych tego poziomu (gęstość objętościowa, przepuszczalność wody, twardość-łamliwość oraz pęcznienie) i pełnią ważną rolę w jego genezie i ewolucji.
4. Poziom *fragipan* w glebach płowych Pogórza Karpackiego i kotlin śródgórskich wykazuje obecność pionowych szczelin z wysychania i kurczenia minerałów ilastych, wzdłuż których formują się języki zaciekowe. Rozwój tych języków jest związany z mikroerozyjną działalnością wody opadowej, która infiltrując w głąb profilu pionowymi szczelinami, wypłukuje produkty wietrzenia (minerały ilaste oraz związki żelaza) z ich sąsiedztwa. Doprowadza to z czasem do degradacji poziomu *fragipan* i jego transformacji w poziom *glossic*.
5. Duża gęstość objętościowa i niska przepuszczalność wody poziomu *fragipan* utrudniają rozwój systemu korzeniowego roślin osłabiając ich kondycję.
6. Powszechne występowanie słabo przepuszczalnego poziomu *fragipan* w glebach płowych Pogórza Karpackiego obniża zdolności retencyjne tych gleb, przez co intensyfikuje procesy splukiwania.

## 7. Bibliografia

1. **Aide M., Marshaus A.**, 2002, *Fragipan genesis in two Alfisols in east central Missouri*, Soil Science, 167, 7, s. 453-464.
2. **Ajmone-Marsan F., Pagliai M., Pini R.**, 1994, *Identification and properties of fragipan soils in the Piemonte Region of Italy*, Soil Sci. Soc. Am. J, 58, Madison, WI, USA, s. 891-900.
3. **Allen B.L., Fanning D.S.**, 1983, *Comparison and soil genesis*, [w:] L.P. Wilding, N.E. Smeck, G.F. Hall (red.), Pedogenesis and Soil Taxonomy. I. Concepts and Interactions, Elsevier, Amsterdam, s. 141-192.
4. **Assalay A.M., Jefferson I., Rogers C.D.F., Smalley I.J.**, 1998, *Fragipan formation in loess soils: development of the Bryant hydroconsolidation hypothesis*, Geoderma, 83, s. 1-16.
5. **Attou F., Bruand A.**, 1998, *Experimental study of "fragipans" formation in soils. Role of both clay dispersion and wetting-drying cycles*, Earth & Planetary Sciences, 326, s. 545-552.
6. **Balon J., German K., Kozak J., Malara H., Widacki W., Ziaja W.**, 1995, *Regiony fizycznogeograficzne*, [w:] Karpaty Polskie, J. Warszńska (red.), Wyd. UJ, Kraków, s. 117-130.
7. **Bates P.C., Blinn C.R., Alm A.A.**, 1990, *A survey of the harvesting histories of some poorly regenerated aspen stands in northern Minnesota*, [w:] R.D. Adams (red.), Aspen Symp. Proc. Duluth, MN, s. 221-230.
8. **Bednarek R., Komisarek J., Marcinek J., Mocek A., Piaścik H., Skiba S.**, 2008, *Systematyka gleb Polski, wersja pierwsza wydania 5*, Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, Poznań.
9. **Boulton G.S., Paul M.A.**, 1976, *The influence of genetic processes on some geotechnical properties of glacial tills*, Q. J., Eng. Geol., 9, s. 159-194.
10. **Brewer R.**, 1964, *Fabric and mineral analysis of soils*, John Wiley&Sons, New York, USA.
11. **Brinkman R.**, 1970, *Ferrollysis, a hydromorphic soil forming process*, Geoderma, 3, s. 199-206.

12. **Brinkman R.**, 1979, *Ferrolysis, a soil-forming process in hydromorphic conditions*, Doctoral thesis, Agricultural Research Reports 887, Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen.
13. **Brown G.**, 1953, *The dioctahedral analogue of vermiculite*, Clay Minerals Bulletin, 2, s. 64-69.
14. **Bryant R.B.**, 1989, *Physical processes of fragipan formation*, [w:] N.E. Smeck, E.J. Ciolkosz (red.), *Fragipans: Their occurrence, classification and genesis*, SSSA Spec. Publ., 24, SSSA, Madison, WI, USA, s. 141-150.
15. **Carlisle F.J.**, 1954, *Characteristics of soils with fragipans in a Podzol region*, Ph.D. diss. Cornell Univ., Ithaca, NY (Diss. Abstr., 14, 1861-1862).
16. **Cegła J.**, 1960, Z badań nad utworami pyłowymi kotlin karpackich, *Annales UMCS*, XV, 7, s. 75-91.
17. **Cegła J.**, 1963, *Porównanie utworów kotlin karpackich z lessami Polski*, *Annales UMCS*, XVIII, 4, s. 69-111.
18. **Certini G., Ugolini F.C., Taina I., Bolla G., Corti G., Tescari F.**, 2007, *Clues of the genesis of a discontinuously distributed fragipan in the northern Apennines, Italy*, *Catena*, 69, s. 161-169.
19. **Ciolkosz E.J., Waltman W.J.**, 2000, *Pennsylvania's fragipans*, *Agronomy Series*, 147, s. 1-14.
20. **Ciolkosz E.J., Waltman W.J., Thurman N.C.**, 1995, *Fragipans in Pennsylvania soils*, *Soil Survey Horizons*, 36, s. 5-20.
21. **Clemence S.P., Finbarr A.O.**, 1980, *Design consideration and evaluation methods for collapsible soils*, Am. Soc. Civil Eng. Convention and Exposition, Portland, OR, 14-18 Apr. Reprint, s. 80-116, Am. Soc. of Civil Engineers, New York.
22. **Daniels M.B., Fritton D.D.**, 1994, *Groundwater mounding below a surface line source in a Typic Fragiudalf*, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 58, Madison, WI, USA, s. 77-85.
23. **Day R.L., Calmon M.A., Stiteler J.M., Jabro J.D., Cunningham R.L.**, 1998, *Water balance and flow patterns in a fragipan using in situ soil block*, *Soil Sci.*, 163, s. 517-528.
24. **Dubiel E.**, 1987, *Dolina Wierzbanówki*, 10, *Zbiorowiska łąkowe*, *Zesz. Nauk. UJ, Prace Bot.*, 14, s. 51-86.
25. **Duncan M.M., Franzmeier D.P.**, 1999, *Role of free silicon, aluminum, and iron in fragipan formation*, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 63, Madison, WI, USA, s. 923-929.

26. **Dwucet K.**, 1999, *Litogeneza górnego lessu vistuliańskiego na Wyżynach Polskich i na Nizinie Śląskiej*, Wyd. UŚ, Katowice.
27. **Dylik J.**, 1954, *Zagadnienie genezy lessu w Polsce*, Biuletyn Peryglacjalny, 1, Łódź, s. 17-30.
28. **Egli M., Mirabella A., Fitze P.**, 2001, *Clay formation in soils of two different chronosequence in the Swiss Alps*, Geoderma, 104, s. 145-175.
29. **Egli M., Mirabella A., Sartori G.**, 2008, *The role of climate and vegetation in weathering and clay mineral formation in late Quaternary soils of the Swiss and Italian Alps*, Geomorphology, 102, s. 307-324.
30. **Firek A.**, 1977, *Niektóre właściwości i kryteria oceny stosunków wodnych gleb pyłowych Pogórza Karpackiego*, Acta Agr. et Silvestria, ser. Agr., 17, s. 41-65.
31. **FitzPatrick E.A.**, 1956, *An indurated soil horizon formed by permafrost*, J. Soil Sci., 7, s. 247-254.
32. **FitzPatrick E.A.**, 1984, *Micromorphology of soils*, Chapman and Hall, London.
33. **FitzPatrick E.A.**, 1990, *Soil microscopy and micromorphology*, Willey, New York.
34. **Franzmeier D.P., Norton L.D., Steinhardt G.C.**, 1989, *Fragipan formation in loess of the Midwestern United States*, [w:] N.E. Smeck, E.J. Ciolkosz (red.), *Fragipans: Their occurrence, classification and genesis*, SSSA Spec. Publ., 24, SSSA, Madison, WI, USA, s. 69-97.
35. **Gburek W.J., Needelman B.A., Srinivasan M.S.**, 2006, *Fragipan controls on runoff generation: Hydropedological implications at landscape and watershed scales*, Geoderma, 131, 3-4, s. 330-344.
36. **German K.**, 1992, *Typy środowiska przyrodniczego w zachodniej części Pogórza Karpackiego*, Rozpr. hab. UJ, 246, Wyd. UJ, Kraków.
37. **Grabowska-Olszewska B.**, 1963, *Własności fizyczno-mechaniczne utworów lessowych północnej i północno-wschodniej części świętokrzyskiej strefy lessowej na tle ich litologii i stratygrafii oraz warunków występowania*, Biuletyn Geologiczny, 3, s. 68-183.
38. **Graveel J.G., Tyler D.D., Jones J.R., McFee W.W.**, 2002, *Crop yield and rooting as affected by fragipan depth in loess soils in the southeast USA*, Soil and Tillage Research, 68, 2, s. 153-161.
39. **Grossman R.B., Carlisle F.J.**, 1969, *Fragipan soils of the eastern United States*, Adv. Agron., 29, s. 237-279.
40. **Halicki B.**, 1930, *Dyluwialne zlodowacenie północnych stoków Tatr*, Spraw. Pol.



- Inst. Geol., 3-4, s. 377-534.
41. **Hallmark C.T., Smeck N.E.**, 1979, *The effect of extractable aluminum, iron and silica on strength and bonding of fragipans of northeastern Ohio*, Soil Sci. Soc. Am. J., 43, Madison, WI, USA, s. 145-150.
  42. **Harlan P.W., Franzmeier D.P., Roth C.B.**, 1977, *Soil formation on loess in southwestern Indiana: II. Distribution of clay and free oxides and fragipan formation*, Soil Sci. Soc. Am. J., 41, Madison, WI, USA, s. 99-103.
  43. **Hess M.**, 1965, *Piętra klimatyczne w polskich Karpatach Zachodnich*, Zeszyty Naukowe UJ, Prace Geogr. z. 11.
  44. **Hess M., Leśniak B., Rauczyńska-Olecka D.**, 1984, *Stosunki klimatyczno-bonitacyjne obszaru Podhala*, Zesz. Nauk. UJ, Prace Geogr., 58, s. 7-35.
  45. **Hudnall W.H., Williams D.**, 1989, *Fragipan distribution in the South Central States*, [w:] N.E. Smeck, E.J. Ciolkosz (red.), *Fragipans: Their occurrence, classification and genesis*, SSSA Spec. Publ., 24, SSSA, Madison, WI, USA, s. 43-68.
  46. **Imbellone P.A., Gimenez J.E.**, 1998, *Parent materials, buried soils and fragipans in northwestern Buenos Aires Province, Argentina*, Quaternary International, 51/52, s. 115-126.
  47. **IUSS Working Group WRB**, 2006, *World reference base for soil resources 2006*, World Soil Resources Reports No. 103, FAO, Rome.
  48. **Izmałłow B., Kaszowski L., Krzemień K., Święchowicz J.**, 1995, *Rzeźba*, [w:] *Karpaty Polskie*, J. Warszńska (red.), Wyd. UJ, Kraków, s. 23-30.
  49. **Jackson M.L.**, 1969, *Soil chemical analysis: Advanced course*, 2<sup>nd</sup> ed., Published by the author, Dept. of Soil Science, Univ. of Wisconsin, Madison, WI, USA.
  50. **James H.R., Ransom M.D., Miles R.J.**, 1995, *Fragipan genesis in polygenetic soils on the Springfield Plateau of Missouri*, Soil Sci. Soc. Am. J., 59, Madison, WI, USA, s. 151-160.
  51. **Karathanasis A.D.**, 1987, *Mineral solubility relationships in Fragiudalfs of western Kentucky*, Soil Sci. Soc. Am. J., 51, Madison, WI, USA, s. 474-481.
  52. **Karathanasis A.D.**, 1989, *Solution chemistry of fragipans – Thermodynamic approach to understanding fragipan formation*, [w:] N.E. Smeck, E.J. Ciolkosz (red.), *Fragipans: Their occurrence, classification and genesis*, SSSA Spec. Publ., 24, SSSA, Madison, WI, USA, s. 113-139.
  53. **Kaszowski L., Święchowicz J.**, 1995, *Rzeźba progu Pogórza Karpackiego*

- między Rabą a Uszwicą*, [w:] *Dynamika i antropogeniczne przeobrażenia środowiska przyrodniczego progu Karpat pomiędzy Rabą a Uszwicą*, L. Kaszowski (red.), Wyd. Inst. Geogr. UJ, Kraków, s. 39-42.
54. **Klimaszewski M.**, 1948, *Polskie Karpaty Zachodnie w okresie dyluwialnym*, Prace Wrocławskiego Towarzystwa Naukowego, seria B, 7, Wrocław.
55. **Klimaszewski M.**, 1967, *Polskie Karpaty Zachodnie w okresie czwartorzędowym*, [w:] R. Galon, J. Dylik (red.), *Czwartorzęd Polski*, PWN, Warszawa, s. 431-497.
56. **Klimaszewski M., Starkel L.**, 1972, *Karpaty Zewnętrzne*, [w:] M. Klimaszewski (red.), *Geomorfologia Polski, Polska Południowa Góry i Wyżyny*, t. 1, s. 55-115.
57. **Klimek M.**, 1995, *Uziarnienie pokryw pyłowych progu Pogórza Karpackiego między Rabą a Uszwicą*, [w:] L. Kaszowski (red.), *Dynamika i antropogeniczne przeobrażenia środowiska przyrodniczego progu Karpat pomiędzy Rabą a Uszwicą*, Wyd. Inst. Geogr. UJ, Kraków, s. 35-38.
58. **Klimek M.**, 2000, *Wpływ procesów glebotwórczych na stosunki wodne utworów pyłowych Progu Pogórza Karpackiego*, Praca Doktorska, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej UJ, Kraków.
59. **Klimek M.**, 2005, *Pedogenetyczne uwarunkowania retencyjności pokryw pyłowych progu Pogórza Karpackiego*, *Roczn. Glebozn.*, LVI, 1/2, Warszawa, s. 85-96.
60. **Knox E.G.**, 1957, *Fragipan horizons in New York soils: III. The basis of rigidity*, *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 21, Madison, WI, USA, s. 326-330.
61. **Komisja V PTG Genezy, klasyfikacji i kartografii gleb**, 1956, *Przyrodniczo-genetyczna klasyfikacja gleb Polski*, *Rocz. Nauk Roln.*, 74, wyd. 1.
62. **Komisja V PTG Genezy, klasyfikacji i kartografii gleb**, 1989, *Systematyka gleb Polski*, Wyd. IV, *Rocz. Gleb.*, 40, 3/4, Warszawa.
63. **Kondracki J.**, 1988, *Geografia fizyczna Polski*, wyd. VI, PWN, Warszawa.
64. **Kornaś J.**, 1968, *Zespoły roślinne Gorców, II. Zespoły synantropijne*, *Frgm. Flor. Et Geobot.*, 14, 1, s. 83-124.
65. **Książkiewicz M., Samsonowicz J., Rühle E.**, 1965, *Zarys geologii Polski*, Wyd. Geologiczne, Warszawa.
66. **Książkiewicz M.**, 1972, *Karpaty*, [w:] M. Książkiewicz (red.) *Budowa geologiczna Polski*, t. IV, *Tektonika*, cz. 3, Wyd. Geol., Warszawa.
67. **Laird D.A., Nater E.A.**, 1993, *Nature of the illitic phase associated with randomly interstratified smectite/illite in soils*, *Clays and Clay Minerals*, 41, 3, s. 280-287.

68. **Lamotte M., Bruand A., Humbel F.X., Herbillon A.J., Rieu M.**, 1997a, *A hard sandy-loam soil from semi-arid northern Cameroon. I. Fabric of the groundmass*, Eur. J. Soil Sci., 48, s. 213-225.
69. **Lamotte M., Bruand A., Ohnenstetter D., Ildefonse P., Pedro G.**, 1997b, *A hard sandy-loam soil from semi-arid northern Cameroon. II. Geochemistry and mineralogy of the bonding agent*, Eur. J. Soil Sci., 48, s. 227-237.
70. **Langohr R., Sanders J.**, 1985, *The Belgian loess belt in the last 20 000 years. Evolution of soils and relief in the Zoniën forest*, [w:] J. Boardman (red.), *Soils and Quaternary Landscape Evolution*, John Wiley & Sons, s. 359-371.
71. **Lindbo D.L., Rhoton F.E.**, 1996, *Slaking in fragipan and argillic horizons*, Soil Sci. Soc. Am. J., 60, Madison, WI, USA, s. 552-554.
72. **Lindbo D.L., Rhoton F.E., Bigham J.M., Hudnall W.H., Jones F.S., Smeck N.E., Tyler D.D.**, 1994, *Bulk density and fragipan identification in loess soils of the Lower Mississippi River Valley*, Soil Sci. Soc. Am. J., 58, Madison, WI, USA, s. 884-891.
73. **Lindbo D.L., Rhoton F.E., Bigham J.M., Hudnall W.H., Jones F.S., Smeck N.E., Tyler D.D.**, 1995, *Loess toposequences in the Lower Mississippi River Valley: I. Fragipan morphology and identification*, Soil Sci. Soc. Am. J., 59, Madison, WI, USA, s. 487-500.
74. **Lindbo D.L., Rhoton F.E., Hudnall W.H., Smeck N.E., Bigham J.M., Tyler D.D.**, 2000, *Fragipan degradation and nodule formation in Glossic Fragiudalfs of the Lower Mississippi River Valley*, Soil Sci. Soc. Am. J., 64, Madison, WI, USA, s. 1713-1722.
75. **Lindbo D.L., Veneman P.L.M.**, 1986, *Strength and fabric characteristic of selected Massachusetts soils*, [w:] *Agronomy abstracts*, ASA, Madison, WI, USA, s. 228.
76. **Lindbo D.L., Veneman P.L.M.**, 1989, *Fragipans in the Northeastern United States*, [w:] N.E. Smeck, E.J. Ciolkosz (red.), *Fragipans: Their occurrence, classification and genesis*, SSSA Spec. Publ., 24, SSSA, Madison, WI, USA, s. 11-31.
77. **Lindbo D.L., Veneman P.L.M.**, 1993, *Morphological and physical properties of selected fragipan soils in Massachusetts*, Soil Sci. Soc. Am. J., 57, Madison, WI, USA, s. 429-436.
78. **Lozet J., Herbillon A.J.**, 1971, *Fragipan soils of Condroz (Belgium)*:

- mineralogical, chemical and physical aspects in relation with their genesis*,  
Geoderma, 5, s. 325-343.
79. **Lyford W.H., Troedsson T.**, 1973, *Fragipan horizons in soils on moraines near Garpenberg, Sweden*, Studia Forestalia Suecica, 108, s. 2-21.
80. **Łoziński W.**, 1934, *Gleby leśne Pogórza Karpat Wschodnich*, Prace Roln. Leśn. PAU, z. 12.
81. **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, 2, s. 166-173.
82. **McDaniel P.A., Gabehart R.W., Falen A.L., Hammel J.E., Reuter R.J.**, 2001, *Perched water tables on Argixeroll and Fragixeralf hillslopes*, Soil Sci. Soc. Am. J., 65, s. 805-810.
83. **Malicki A.**, 1950, *Geneza i rozmieszczenie loessów w środkowej i wschodniej Polsce*, Annales UMCS, sec. B, IV, 8, Lublin.
84. **Marsan F.A., Torrent J.**, 1989, *Fragipan bonding by silica and iron oxides in a soil from northwestern Italy*, Soil Sci. Soc. Am. J., 53, Madison, WI, USA, s. 1140-1145.
85. **Maruszczak H.**, 2000, *Definicja i klasyfikacja lessów oraz utworów lessopodobnych*, Przegląd Geol., 48/7, s. 580-586.
86. **Matuszkiewicz W.**, 2007, *Przewodnik do oznaczania zbiorowisk roślinnych Polski*, PWN, Warszawa.
87. **Medwecka-Kornaś A.**, 1976, *Szata roślinna dorzecza Białej Dunajcowej*, Studia Ośr. Dok. Fizjogr. PAN, 5, s. 137-167.
88. **Miller F.P., Holowaychuk N., Wilding L.P.**, 1971, *Canfield silt loam, a Fragiudalf: I. Macromorphology, physical and chemical properties*, Soil Sci. Soc. Am. Proc., 35, Madison, WI, USA, s. 319-324.
89. **Miller M.B., Cooper T.H., Rust R.H.**, 1993, *Differentiation of an eluvial fragipan from dense glacial till in Northern Minnesota*, Soil Sci. Soc. Am. J., 57, Madison, WI, USA, s. 787-796.
90. **Mystkowski K.**, 1999, ClayLab, a computer program for processing and interpretation of X-ray diffractograms of clays, [in:] Conference of European Clay Groups Association, EUROCLAY 1999, Book of abstracts, Krakow, Poland, 114-115.

91. **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, Madison, WI, USA, s. 914-923.
92. **Niedzielski A.**, 1993, *Czynniki kształtujące ciśnienie pęcznienia oraz swobodne pęcznienie ilów poznańskich i warwowych*, Roczn. Ak. Roln. w Poznaniu. Rozprawy Nauk., 238.
93. **Niedźwiedź T.**, 1981, *Sytuacje synoptyczne i ich wpływ na zróżnicowanie przestrzenne wybranych elementów klimatu w dorzeczu górnej Wisły*, Rozpr. Habil. UJ, 58.
94. **Niedźwiedź T., Obrębska-Starkel B.**, 1991, *Klimat*, [w:] I. Dynowska, M. Maciejewski (red.), *Dorzecze górnej Wisły, cz. I*, PWN, Warszawa-Kraków.
95. **Nikiforoff C.C.**, 1955, *Hardpan soils of the coastal plain of southern Maryland*, Geol. Surv. Prof. Pap. 267-B, Washington, DC.
96. **Norfleet M.L., Karathanasis A.D.**, 1996, *Some physical and chemical factors contributing to fragipan strength in Kentucky soils*, Geoderma, 71, s. 289-301.
97. **Obrębska-Starkel B., Hess M., Olecki Z., Trepńska J., Kowanetz L.**, 1995, *Klimat*, [w:] J. Warszyńska (red.), *Karpaty Polskie*, Wyd. UJ, Kraków, s. 31-48.
98. **Oszczypko N.**, 1995, *Budowa geologiczna*, [w:] J. Warszyńska (red.), *Karpaty Polskie*, Wyd. UJ, Kraków, s. 15-22.
99. **Pająk-Komorowska A.**, 2007, *Osiadanie zapadowe lessów Wzgórz Trzebnickich i Płaskowyżu Głubczyckiego*, Geologos, 11, s. 375-382.
100. **Pankiv Z.**, 2009, *Podzolisto-Dernowi hrunti Peredkarpattia*, Wisnik Odeskoho Nacjonaleho Uniwersitetu, 14/7, Odessa, s. 160-164.
101. **Parlange M.B., Steenhuis T.S., Timlin D.J., Stagnitti F., Bryant R.B.**, 1989, *Subsurface flow above a fragipan horizon*, Soil Sci., 148, s. 77-86.
102. **Pawłowski B., Zarzycki K.**, 1972, *Zespoły torfowiskowe*, [w:] Wł. Szafer, K. Zarzycki (red.), *Szata roślinna Polski, t. I*, PWN, Warszawa, s. 326-338.
103. **Payton R.W.**, 1993, *Fragipan formation in argillic brown earths (Fragiudalfs) of the Milfield Plain, north-east England. III. Micromorphological, SEM and EDXRA studies of fragipan degradation and the development of glossic features*, Journal of Soil Science, 44, s. 725-739.
104. **Petersen G.W., Ranney R.W., Cunningham R.L., Matelski R.P.**, 1970,

- Fragipans in Pennsylvania soils: a statistical study of laboratory data*, Soil Sci. Soc. Am. Proc., 34, 5, Madison, WI, USA, s. 719-722.
105. **Pol'chyna S.M., Savitska I.V., Dumih I.V.**, 2008, *Brownish-podzolic gleied soils of Pre-Carpathians in WRB system*, Agrochimija i Hruntoznavstvo, 69, Charków, s. 75-79.
106. **Rampelberg S., van der Aa B., Deckers J.**, 1997, *Soil morphology and soil water regime of loess soils under oak in the Meerdaal forest, Belgium*, Agricultural and Forest Meteorology, 84, s. 51-59.
107. **Ranney R.W., Ciolkosz E.J., Cunningham R.L., Petersen G.W., Matelski R.P.**, 1975, *Fragipans in Pennsylvania soils: properties of bleached prisms face materials*, Soil Sci. Soc. Am. Proc., 39, 4, Madison, WI, USA, s. 695-698.
108. **Rhoton F.E., Bigham J.M., Schulze D.G.**, 1993, *Properties of iron-manganese nodules from a sequence of eroded fragipan soils*, Soil Sci. Soc. Am. J., 57, Madison, WI, USA, s. 1386-1392.
109. **Rich C.I., Cook M.G.**, 1961, *Formation of dioctahedral vermiculite in Virginia soils*, Clays and Clay Minerals, 10, s. 96-106.
110. **Righi D., Huber K., Keller C.**, 1999, *Clay formation and podzol development from postglacial moraines in Switzerland*, Clay Minerals, 34, s. 319-332.
111. **Saejiew A., Grunberger O., Arunin S., Favre F., Tessier D., Boivin P.**, 2004, *Critical coagulation concentration of paddy soil clays in sodium-ferrous iron electrolyte*, Soil Chemistry, Soil Sci. Soc. Am. J., 68, Madison, WI, USA, s. 789-794.
112. **Scalenghe R., Certini G., Corti G., Zanini E., Ugolini F.C.**, 2004, *Segregated ice and liquefaction effects on compaction of fragipans*, Soil Sci. Soc. Am. J., 68, Madison, WI, USA, s. 204-214.
113. **Skiba S.**, 1995, *Pokrywa glebowa*, [w:] J. Warszńska (red.), Karpaty Polskie, Wyd. UJ, Kraków, s. 69-76.
114. **Skiba M.**, 2007, *Cal mineral formation during podzolization in an alpine environment of the Tatra Mountains, Poland*, Clays and Clay Minerals, 55, 6, s. 618-634.
115. **Skiba S., Drewnik M., Klimek M.**, 1995, *Gleby pyłowe progu Pogórza Karpackiego między Raba a Uszwicą*, [w:] L. Kaszowski (red.), Dynamika i antropogeniczne przeobrażenia środowiska przyrodniczego progu Karpat pomiędzy Rabą a Uszwicą, Wyd. Inst. Geogr. UJ, Kraków, s. 27-34.

116. **Skiba S., Drewnik M.**, 2003, *Mapa gleb obszaru Karpat w granicach Polski*, Roczniki Bieszczadzkie, 11, s. 15-20.
117. **Skiba S., Szymański W.**, 2009, *Gleby Karpat i ich rola w rozwoju rolnictwa neolitycznego*, [w:] J. Gancarski (red.) Surowce naturalne w Karpatach oraz ich wykorzystanie w pradziejach i wczesnym średniowieczu, materiały konferencyjne, s. 325-339.
118. **Smeck N.E., Thompson M.L., Norton L.D., Shipitalo M.J.**, 1989, *Weathering discontinuities: A key to fragipan formation*, [w:] N.E. Smeck, E.J. Ciolkosz (red.), Fragipans: Their occurrence, classification and genesis, SSSA Spec. Publ., 24, SSSA, Madison, WI, USA, s. 99-112.
119. **Smith B.R., Daniels R.B.**, 1989, *Occurrence and characteristics of fragipans on the Coastal Plains of the Southeastern United States*, [w:] N.E. Smeck, E.J. Ciolkosz (red.), Fragipans: Their Occurrence, classification and genesis, SSSA Spec. Publ., 24, SSSA, Madison, WI, USA, s. 33-68.
120. **Soil Survey Staff**, 2010, *Keys to soil taxonomy*, 11st ed., USDA-NRCS, Washington, DC.
121. **Starkel L.**, 1972, *Charakterystyka rzeźby polskich Karpat (i jej znaczenie dla gospodarki ludzkiej)*, Probl. Zagosp. Ziem Górsk., 10, s. 75-150.
122. **Stoops G.**, 2003, *Guidelines for analysis and description of soil and regolith thin section*, Soil Sci. Soc. Am., INC, Madison, WI, USA.
123. **Stupnicka E.**, 1960, *Geneza glin lessowatych Pogórza Cieszyńskiego i Beskidów Śląskich*, Acta Geol.-Polonica, X, 2, s. 247-261.
124. **Szafer W.**, 1959, *Szata roślinna Polski*, t. II, PWN, Warszawa.
125. **Szałata S.**, 2006, *Gleby płowe zaciekowe w Wielkopolsce: geneza, zróżnicowanie i właściwości*, Praca doktorska, AR, Poznań.
126. **Szymański W., Skiba S.**, 2007, *Geneza i znaczenie poziomego fragipan w glebach płowych (Albeluvisols) Pogórza Karpackiego*, Roczniki Bieszczadzkie, 15, s. 267-284.
127. **Szymański W., Skiba S., Skiba M., Żyła M.**, 2008, *Fragipan horizon in Albeluvisols of the Carpathian Foothills*, Agrochimija i Hruntoznawstvo, 69, Charków, s. 152-156.
128. **Środoń J., Drits V.A., McCarthy D.K., Hsieh J.C.C., Eberl D.D.**, 2001, *Quantitative X-ray diffraction analysis of clay-bearing rocks from random preparations*, Clays and Clay Minerals, 49, 6, s. 514-528.

129. **Święchowicz J.**, 2002, *Współdziałanie procesów stokowych i fluwialnych w odprowadzaniu materiału rozpuszczonego i zawiesiny ze zlewni pogórskiej*, Przemiany środowiska na Pogórzu Karpackim, 3, Wyd. IGiGP UJ, Kraków.
130. **Świtoniak M.**, 2006, *Litologiczne uwarunkowania kierunku rozwoju procesów glebotwórczych w glebach o dwudzielnym uziarnieniu na terenie Pojezierza Brodnickiego*, [w:] P. Gierszewski, M.T. Karasiewicz (red.), *Idee i praktyczny uniwersalizm geografii – Geografia fizyczna, Dokumentacja Geograficzna*, 32, IGiPZ PAN, Warszawa, s. 278-285.
131. **Świtoniak M.**, 2008, *Classification of young glacial soils with vertical texture-contrast using WRB system*, *Agrochimija i Hruntoznawsvo*, 69, Charków, s. 94-101.
132. **Taut T., Kleeberg R., Bergmann J.**, 1998, *The new Seifert Rietveld Program BGMN and its application to quantitative phase analysis*, *Materials Structure*, 5, 1, s. 57-64.
133. **Tomaszewski J.**, 1963, *Nowy pogląd na powstanie lessów polskich i utworów lessowatych*, *Przegląd Geogr.*, 35/2, s. 267-270.
134. **Towpasz K., Zemanek B.**, 1995, *Szata roślinna*, [w:] *Karpaty Polskie*, J. Warszńska (red.), Wyd. UJ, Kraków, s. 77-94.
135. **Tremocoldi W.A., Steinhardt G.C., Franzmeier D.P.**, 1994, *Clay mineralogy and chemistry of argillic horizons, fragipans, and paleosol B horizons of soils on a loess-thinning transect in southwestern Indiana, USA*, *Geoderma*, 63, s. 77-93.
136. **Uziak S.**, 1962, *Zagadnienie typologii niektórych gleb pyłowych Pogorza Karpackiego*, *Annales UMCS, Sec. B.*, s. 1-60.
137. **Watycha L.** 1984, *Ogólna charakterystyka geologiczna i podstawy stratygrafii*, [w:] S. Sokołowski (red.), *Budowa geologiczna Polski, stratygrafia kenozoik, czwartorzęd*, Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa, t. 1., s. 23-51.
138. **Weisenborn B.N., Schaetzl R.J.**, 2005, *Range of fragipan expression in some Michigan soils: II. A model for fragipan evolution*, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 69, Madison, WI, USA, s. 178-187.
139. **Wilson M.J.**, 2004, *Weathering of the primary rock – forming minerals: processes, products and rates*, *Clay Minerals*, 39, s. 233-266.
140. **Wilson M.J.**, 1999, *The origin and formation of clay minerals in soils: past, present and future perspectives*, *Clay Minerals*, 34, s. 7-25.



141. **Witty J.E., Knox E.G.**, 1989, *Identification, role in soil taxonomy and worldwide distribution of fragipans*, [w:] N.E. Smeck, E.J. Ciolkosz (red.), *Fragipans: Their occurrence, classification and genesis*, SSSA Spec. Publ., 24, SSSA, Madison, WI, USA, s. 1-9.
142. **Van Ranst E., De Coninck F.**, 2002, *Evaluation of ferrollysis in soil formation*, *European Journal of Soil Science*, 53, s. 513-519.
143. **Van Vliet B., Langohr R.**, 1981, *Correlation between fragipans and permafrost with special reference to silty Weichselian deposits in Belgium and northern France*, *Catena*, 8, s. 137-154.
144. **Van Vliet-Lanoë B.**, 1998, *Frost and soils: implications for paleosols, paleoclimates and stratigraphy*, *Catena*, 34, s. 157-183.
145. **Zasoński S.**, 1974, *Studia mikromorfologiczne i chemiczne nad procesem płowienia gleb pyłowych, Część I. Gleby lessowe Wyżyny Krakowskiej*, *Roczn. Glebozn.*, XXV, 3, Warszawa, s. 55-82.
146. **Zasoński S.**, 1975, *Studia mikromorfologiczne i chemiczne nad procesem płowienia gleb pyłowych, Część II. Gleby wytworzone z utworów lessopodobnych Kotliny Nowotarskiej*, *Roczn. Glebozn.*, XXVI, 1, Warszawa, s. 27-47.
147. **Zasoński S.**, 1980, *Rola przemywania w kształtowaniu cech mikromorfologicznych materiału pyłowego*, *Roczn. Glebozn.*, XXXI, 2, Warszawa, s. 3-13.
148. **Zasoński S.**, 1983, *Główne kierunki glebotwórcze na utworach pyłowych Pogórza Wielickiego, Część II. Właściwości mikromorfologiczne*, *Roczn. Glebozn.*, XXXIV, 4, Warszawa, s. 123-159.
149. **Zasoński S.**, 1990, *Gleby pyłowe Dołów Jasielsko-Sanockich (na przykładzie gleb Kotliny Krośnieńskiej)*, *Roczn. Glebozn.*, XLI, 3/4, Warszawa, s. 147-156.
150. **Zasoński S.**, 1991, *Wpływ rzeźby terenu na właściwości mikromorfologiczne gleb pyłowych Pogórza Wielickiego (na przykładzie przekroju Polanka Haller)*, *Roczn. Glebozn.*, XLII, 1/2, Warszawa, s. 109-115.
151. **Zasoński S.**, 1992a, *Właściwości mikromorfologiczne gleb pyłowych Kotliny Krośnieńskiej*, *Zeszyty Naukowe AR*, 265, 30, Kraków, s. 19-33.
152. **Zasoński S.**, 1992b, *Wpływ odgórnego oglejenia na wartość użytkową i sposób melioracji gleb pyłowych Pogórza Karpackiego*, *Probl. Zagosp. Ziem Górskich*

PAN, 35, s. 77-85.

153. **Zasoński S.**, 1993, *Właściwości mikromorfologiczne niektórych pyłowych gleb deluwialnych Pogórza Wiśnickiego*, Zeszyty Naukowe AR, 282, 31, Kraków, s. 3-17.

## 8. Aneks

### 8.1. Skład granulometryczny

Tabela 7. Uziarnienie.		% zawartość frakcji [mm]									
Poziom	Głębokość [cm]	>2,0	2,0-1,0	1,0-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,02	0,02-0,006	0,006-0,002	<0,002
Pleśna 1											
A	0-10	0,0	0,2	0,5	0,5	2,7	13,3	45,3	17,3	5,2	15,0
AE	10-30	0,0	0,2	0,2	0,7	2,5	13,3	44,3	17,3	8,3	13,2
E	30-70	0,0	0,2	0,2	0,7	2,3	14,3	45,3	18,0	6,0	13,0
Btx	70-105	0,0	0,2	0,2	0,3	1,3	13,0	42,0	17,0	8,0	18,0
Btg	105-150	0,0	0,0	0,5	0,5	1,2	11,3	45,5	16,5	5,2	19,3
C	150-300	0,0	0,2	0,2	1,2	4,3	15,3	46,3	15,3	4,2	13,0
2C	<300	0,0	0,2	1,3	5,2	10,5	15,5	36,5	13,5	4,3	13,0
Języki		0,0	0,0	0,7	0,8	2,0	13,0	43,0	19,5	5,5	15,5
Pleśna 2											
OI	0-2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
A	2-10	0,0	0,2	0,5	0,7	2,2	9,3	42,3	23,3	5,3	16,2
AE	10-30	0,0	0,2	0,5	0,7	3,3	10,5	42,5	24,5	5,5	12,3
E	30-55	0,0	0,2	0,5	0,7	1,7	9,5	43,5	24,3	6,3	13,3
Btx1	55-80	0,0	0,0	0,2	0,5	1,0	9,2	41,3	22,3	7,2	18,3
Btx2	80-160	0,0	0,0	0,5	0,5	1,0	9,5	42,8	20,7	6,5	18,5
Języki		0,0	0,0	0,2	0,2	0,4	10,3	44,3	22,3	7,3	15,0
Pleśna 3											
Ap	0-35	0,0	0,2	0,5	0,7	1,7	10,5	42,5	22,3	7,3	14,3
Eg	35-45	0,0	0,2	0,5	0,7	1,5	9,2	41,3	23,3	8,3	15,0
Btx1	45-100	0,0	0,2	0,7	1,0	1,2	9,8	38,0	21,5	8,3	19,3
Btx2	100-180	0,0	0,0	0,5	0,5	1,2	8,0	42,3	25,3	4,2	18,0
Btg	180-245	0,0	0,0	0,5	0,5	1,0	11,2	43,3	21,3	4,2	18,0
BCg	245-285	0,0	0,0	0,2	0,2	0,6	10,0	42,0	24,0	7,0	16,0
Języki		0,0	0,0	0,2	0,2	0,4	10,3	42,3	23,3	3,3	20,0
Rdzawe otoczki języków		0,0	0,0	0,5	1,0	1,5	10,0	39,0	22,0	5,0	21,0
Pryzmy		0,0	0,0	0,2	0,5	1,0	9,3	39,0	24,0	3,0	23,0
Pleśna 4											
Ap	0-15	0,0	0,0	0,1	0,3	0,7	7,9	43,0	23,0	5,0	20,0
Btg1	15-30	0,0	0,0	0,2	0,4	0,8	8,1	40,2	21,1	5,1	24,1
Btg2	30-55	0,0	0,0	0,1	0,2	0,4	8,9	39,8	19,9	4,9	25,8
Btx1	55-85	0,0	0,0	0,1	0,2	0,3	10,9	39,8	19,9	4,8	24,0
Btx2	85-152	0,0	0,0	0,0	0,2	0,4	9,7	40,9	22,5	7,7	18,6
Btx3	152-162	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	10,1	40,2	25,1	6,1	18,1
Btg3	162-245	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	9,2	42,2	24,1	7,1	17,0
Btg4	245-270	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	8,5	39,5	24,5	7,5	19,5
Rdzawe otoczki języków		0,0	0,0	0,1	0,4	0,6	8,8	38,8	22,6	2,8	25,9
Języki		0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	7,4	43,5	22,3	2,4	24,2
Pleśna 5											
Of	0-2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
A	2-10	0,0	0,0	0,0	0,5	1,0	19,5	40,0	20,0	6,5	12,5
E	10-40	0,0	0,0	0,0	0,3	0,8	12,0	46,0	22,0	6,0	13,0
Eg	40-90	0,0	0,0	0,0	0,5	0,5	12,0	46,0	22,0	6,0	13,0
Btx	90-150	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	9,0	41,0	20,5	4,5	24,5
Języki		0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	13,5	48,0	24,0	7,0	7,0

n.a. – nie analizowano

Tabela 7. Uziarnienie cd.		% zawartość frakcji [mm]									
Poziom	Głębokość [cm]	>2,0	2,0-1,0	1,0-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,02	0,02-0,006	0,006-0,002	<0,002
Gaik-Brzezowa											
Ap	0-30	0,2	0,2	0,2	0,8	1,8	9,0	44,0	22,0	6,0	16,0
Btx1	30-90	0,0	0,2	0,5	0,8	1,5	9,0	43,0	20,0	4,0	21,0
Btx2	90-140	0,0	0,2	0,8	1,0	1,5	9,5	45,0	20,0	5,0	17,0
Btg	140-170	0,0	0,2	0,2	0,3	1,3	11,0	43,0	22,0	4,0	18,0
Pryzmy		0,0	0,0	0,5	0,7	1,3	9,5	43,0	20,0	5,0	20,0
Języki		0,0	0,0	0,2	0,5	1,3	10,0	49,0	20,0	3,0	16,0
Gronków											
A	0-10	1,1	1,5	3,2	3,8	9,5	5,5	37,0	17,5	8,5	13,5
Ag	10-35	9,5	2,7	4,3	4,0	6,5	8,5	21,5	23,5	9,5	19,5
Eg	35-55	9,1	4,2	5,0	4,0	5,8	8,5	19,5	21,5	11,3	20,2
2Btx	55-100	0,6	1,0	1,7	2,3	4,7	7,5	16,5	21,5	12,5	32,3
2Btg	100-120	1,2	1,5	2,2	2,7	5,3	6,5	14,5	20,5	14,5	32,3
Brzezcie											
Ap	0-25	0,0	0,4	2,0	3,0	6,1	2,8	39,8	22,3	9,3	14,3
AE1	25-40	0,0	0,4	1,3	1,8	2,5	3,3	41,7	25,3	8,3	15,4
AE2	40-58	0,0	0,3	1,1	1,5	2,7	3,4	41,0	24,3	10,4	15,3
Eg	58-70	0,0	1,2	3,2	2,4	4,6	5,2	46,6	19,9	7,0	9,9
Btx	70-95	0,0	0,1	0,5	0,8	3,5	5,6	40,6	18,3	8,3	22,3
Btg1	95-115	0,0	0,3	0,9	1,1	3,2	4,8	46,3	17,8	4,8	20,8
Btg2	115-180	0,0	0,1	0,3	0,5	4,2	11,0	46,0	16,3	5,3	16,3
Jedlicze											
Ap	0-15	0,1	0,2	0,5	1,8	5,5	13,0	38,0	21,0	5,0	15,0
AE	15-30	0,1	0,2	0,5	1,5	5,3	13,5	37,0	20,0	8,0	14,0
Eg	30-50	0,0	0,2	1,0	2,3	5,5	11,5	36,5	20,0	7,0	16,0
Btx	50-100	0,0	0,2	0,5	1,3	4,5	10,5	34,5	18,5	9,0	21,0
Btg	100-160	0,0	0,2	0,5	2,0	5,8	12,5	36,0	15,0	8,0	20,0
Języki		0,0	0,0	0,7	2,3	5,0	11,5	37,0	19,5	8,5	15,5
Mucharz											
Ap	0-27	0,1	0,0	0,7	3,3	8,0	11,5	34,5	21,5	7,3	13,2
Eg	27-40	0,0	0,0	0,7	3,7	8,8	11,3	30,3	24,2	7,0	14,0
Btg1	40-70	0,0	0,0	0,2	2,7	7,3	10,3	31,3	22,2	8,0	18,0
Btx1	70-117	0,1	0,0	0,5	2,5	7,0	10,3	31,3	20,2	9,2	19,0
2Btx2	117-150	0,0	0,0	0,5	5,7	14,8	11,0	20,0	18,0	11,0	19,0
2Bt1	150-170	0,0	0,0	1,7	7,5	18,3	12,0	15,0	16,0	11,0	18,5
2Bt2	170-200	0,0	0,0	0,5	7,2	18,0	11,5	13,0	19,5	10,8	19,5
3C	200-210	0,0	0,0	0,7	4,0	9,0	11,3	29,0	16,0	9,0	21,0
4C1	210-260	19,8	0,2	2,0	7,3	12,0	12,5	27,0	14,0	7,0	18,0
4C2	260-280	51,6	3,2	9,5	12,8	20,0	11,5	11,5	10,5	9,0	12,0

n.a. – nie analizowano

Tabela 9. Uziarnienie cd.		% zawartość frakcji [mm]									
Poziom	Głębokość [cm]	>2,0	2,0-1,0	1,0-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,02	0,02-0,006	0,006-0,002	<0,002
Łazy 1											
Ap	0-35	0,0	0,0	0,2	0,8	2,5	17,5	45,5	19,5	5,5	8,5
Eg	35-50	0,0	0,0	0,2	0,3	1,5	19,0	47,0	16,0	5,0	11,0
Btx	50-70	0,0	0,0	0,2	0,8	2,0	12,0	41,5	15,5	5,5	22,5
Bt	70-90	0,0	0,0	0,5	0,5	1,5	15,5	45,5	13,5	5,5	17,5
BC	90-110	0,0	0,0	0,5	0,5	1,0	14,2	48,3	16,3	6,2	13,0
C	110-150	0,0	0,0	0,2	0,5	1,3	16,2	47,5	16,5	4,5	13,3
Języki		0,0	0,0	0,2	0,5	2,0	18,5	47,5	15,5	6,5	9,3
Pryzmy		0,0	0,0	0,2	0,3	0,7	15,3	42,3	12,2	6,0	23,0
Łazy 2											
OI	0-5	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Of	5-8	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
A	8-20	0,0	0,0	0,2	1,0	3,0	18,8	41,8	18,8	3,7	12,7
E	20-55	0,0	0,0	0,2	0,5	2,0	8,2	52,3	18,3	7,3	11,2
Btx1	55-65	0,0	0,0	0,2	0,5	1,7	15,3	40,5	17,3	5,2	19,3
Btx2	65-85	0,0	0,0	0,5	0,5	2,2	14,3	40,5	16,5	6,2	19,3
Bt	85-115	0,0	0,0	0,5	0,5	3,2	16,2	44,3	13,3	6,3	15,7
BC	115-135	0,0	0,0	0,2	0,2	1,3	19,0	45,3	14,0	5,0	15,0
C	135-185	0,0	0,0	0,2	0,2	1,2	20,2	46,3	14,3	4,3	13,3
Witoszyńce											
OI	0-2	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
A	2-30	0,0	0,0	0,2	0,7	1,8	7,3	39,5	25,5	9,0	16,0
Eg	30-50	0,0	0,0	0,2	1,0	1,5	8,0	37,8	26,5	9,0	16,0
Btx1	50-100	0,0	0,0	0,0	0,5	0,7	7,5	37,5	25,5	6,3	22,0
Btx2	100-160	0,9	0,0	0,2	0,2	0,8	8,0	40,5	26,3	5,0	19,0
Polanka Hallera											
Ap	0-15	1,9	1,0	1,7	1,7	2,6	9,0	43,0	19,0	7,0	15,0
AB	15-30	0,9	0,5	1,0	1,0	1,5	8,0	45,0	21,0	5,0	17,0
Btg1	30-70	0,0	0,5	0,5	0,5	1,0	9,2	37,5	24,2	6,3	20,3
Btg2	70-110	0,0	0,3	0,4	0,5	0,8	7,0	44,0	22,0	6,0	19,0
BCg	110-150	0,0	0,5	0,5	0,5	1,0	7,2	36,5	27,2	6,3	20,3

n.a. – nie analizowano

## 8.2. Opisy profili glebowych

### Profil Pleśna 1

Położenie: zbocze doliny Białej Tarnowskiej, 225 m n.p.m., nachylenie 2-5°, ekspozycja W

49°56'42,3N

20°56'51,6E

Roślinność: zadrzewienie z brzozą brodawkowatą, dębem bezszypułkowym, jarząbem pospolitym, lipą drobnolistną, grabem pospolitym, kupkówką pospolitą, przetacznikiem ożankowym

Podłoże: pył lessopodobny



- Ol** 0-1 cm słabo rozłożone liście i gałęzie drzew
- A** 1-10 cm pył ilasty; struktura subangularna do angularnej, średnia, trwała; układ pulchny; wilgotność: świeży, 10YR 4/2; korzenie +++, pH 4,2; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście stopniowe
- AE** 10-30 cm pył ilasty; struktura subangularna do angularnej, średnia, średnio trwała; układ pulchny; wilgotność: świeży; 10YR 5,3; korzenie ++; pH 5,1; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście stopniowe
- E** 30-70 cm pył ilasty; struktura subangularna do angularnej, średnia, średnio trwała; układ umiarkowanie zwięzły; wilgotność: świeży; 10YR 5/4; korzenie +; pH 5,2; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście wyraźne, zaciekowe
- Btx** 70-105 cm pył ilasty; struktura pryzmatyczna, gruba, trwała; układ zbity; wilgotność: świeży; 10YR 4/6; korzenie pojedyncze w górnej części; pH 4,9; CaCO<sub>3</sub> brak; liczne nacieki ilaste, przejście stopniowe; liczne nacieki ilaste i nodule Fe-Mn
- Btg** 105-150 cm pył ilasty; układ zbity; struktura pryzmatyczna, gruba, trwała; układ zbity; wilgotność: świeży; 10YR 4/6; korzeni brak; pH 5,0; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście stopniowe; liczne nacieki ilaste
- C** 150-300 cm pył ilasty; struktura masywna; układ zwięzły; wilgotność: świeży; 10YR 5/4; korzeni brak, pH 5,3; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście wyraźne; przewarstwienia ilaste barwy wiśniowej o miąższości 0,5-1cm
- 2C** <300 cm pył ilasty; struktura masywna; układ zwięzły; wilgotność: świeży; 10YR 5/4; korzeni brak; pH 8,0; CaCO<sub>3</sub> +++

Fot. 3. Profil Pleśna 1.

PTG 2008: Gleba płowa zaciekowa typowa

WRB 2006: Hapli-Fragic Albeluvisol (Dystric, Siltic)

Soil Taxonomy 2010: Aquic Fraglossudalf

## Profil Pleśna 2

Położenie: dolna część stoku, 255 m n.p.m., nachylenie: 3-5°, ekspozycja NE

49°55'10,3N

20°56'43,5E

Roślinność: łąka z silną wtórną sukcesją lasu, młode brzozy, buki, graby, klony, trawy, jaskry, dzwonki

Podłoże: pył lessopodobny



**OI** 0-2 cm mechanicznie rozdrobnione źdźbła traw  
**A** 2-12 cm pył ilasty; struktura subangularna, średnia, trwała; układ umiarkowanie zwięzły; wilgotność: świeży; 10YR 5/3; korzenie +++; pH 5,0; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście wyraźne, faliste

**AE** 12-30 cm układ zwięzły, pył ilasty; struktura angularna do subangulanej, średnia, średnio trwała; układ zwięzły; wilgotność: świeży; 10YR 5/4; korzenie ++; pH 5,2; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście stopniowe

**E** 30-55 cm pył ilasty; struktura subangularna do angularnej, średnia, średnio trwała; układ pulchny do umiarkowanie zwięzłego; wilgotność: świeży, 10YR 5/5; korzenie +; pH 5,5; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście wyraźne, zaciekowe

**Btx1** 55-80 cm pył ilasty; struktura pryzmatyczna, średnia do grubej, trwała; układ zwięzły; wilgotność: świeży; 10YR 5/6, 10YR 6/4; korzenie pojedyncze; pH 5,6; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście stopniowe, liczne konkrekcje Fe-Mn

**Btx2** 80-160 cm pył ilasty; struktura pryzmatyczna, gruba, trwała; układ zbity; wilgotność: świeży; 10YR 5/6, 10YR 6/4; korzeni brak; pH 5,4; CaCO<sub>3</sub> brak; liczne konkrekcje Fe-Mn

Fot. 4. Profil Pleśna 2.

PTG 2008: Gleba płowa zaciekowa typowa

WRB 2006: Hapli-Fragic Albeluvisol (Dystric, Siltic)

Soil Taxonomy 2010: Aquic Fraglossudalf

### Profil Pleśna 3

Położenie: dolna część stoku, 236 m n.p.m., nachylenie: 1-3°, ekspozycja NE

49°55'19,9N

20°56'35,4E

Roślinność: pole orne

Podłoże: pył lessopodobny



**Ap** 0-35 cm pył ilasty; struktura angularna, średnia, średnio trwała; układ umiarkowanie zwięzły; wilgotność: wilgotny; 10YR 4/3; korzenie +++; pH 5,1; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście wyraźne

**Eg** 35-45 cm pył ilasty; struktura angularna, średnia do grubej, średnio trwała; układ umiarkowanie zwięzły, wilgotność: świeży; 10YR 5/3; korzenie +; pH 5,6; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście wyraźne, zaciekowe

**Btx1** 45-100 cm pył ilasty; struktura pryzmatyczna, gruba, trwała, wtórna struktura angularna; układ zbity; wilgotność: wilgotny; 10YR 5/4, 10YR 6/3; korzenie pojedyncze; pH 6,0; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście stopniowe; liczne pieprze żelazisto-manganowe; liczne nacieki ilaste; liczne białe języki zaciekowe o szerokości 0,5-10 cm

**Btx2** 100-180 cm pył ilasty; struktura pryzmatyczna, gruba, trwała, wtórna struktura angularna; układ zbity; wilgotność: wilgotny; 10YR 5/3, 10YR 6/3; korzeni brak; pH 5,4; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście wyraźne; liczne białe języki zaciekowe o szerokości 0,5-5 cm; pieprze żelazisto-manganowe; liczne nacieki ilaste

**Btg** 180-245 cm pył ilasty; struktura masywna; układ umiarkowanie zbity; wilgotność: wilgotny; 10YR 5/2, 10YR 6/3; korzeni brak; pH 5,2; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście stopniowe; pojedyncze, drobne nodule Fe-Mn; pojedyncze białe języki zaciekowe o szerokości 1-2 cm

**BCg** 245-285 cm pył ilasty; struktura masywna; układ umiarkowanie zbity; wilgotność: mokry; 10YR 5/2; korzeni brak; pH 5,7; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście stopniowe; nieliczne nacieki ilaste; kongrecje żelaziste

Fot. 5. Profil Pleśna 3.

PTG 2008: Gleba płowa zaciekowa opadowo-glejowa

WRB 2006: Stagni-Fragic Albeluvisol (Dystric, Siltic)

Soil Taxonomy 2010: Aquic Fraglossudalf



## Profil Pleśna 4

Położenie: dolna część stoku, 240 m n.p.m., nachylenie: 2-5°, ekspozycja NE

49°55'10,3N

20°56'43,5E

Roślinność: pole orne

Podłoże: pył lessopodobny



**Ap** 0-15 cm pył ilasty; struktura angularna (bryłowa), średnia do grubej, średnio trwała do trwałe; układ zwięzły; wilgotność: świeży; 10YR 5/3; korzenie +++; pH 5,3; Fe<sup>2+</sup> ++; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście wyraźne, faliste

**Btg1** 15-30 cm pył ilasty; struktura angularna do subangularenj, płytkowa, średnia, średnio trwała; układ zwięzły do umiarkowanie zbitego; wilgotność: świeży; 10YR 5/4; korzenie ++; pH 5,6; Fe<sup>2+</sup> +++; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście stopniowe;

**Btg2** 30-55 cm pył ilasty; struktura angularna, średnia, średniotrwała do trwałe; układ zbity; wilgotność: świeży; 10YR 5/4; korzenie +; pH 5,9; Fe<sup>2+</sup> +++; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście stopniowe; pieprze Fe-Mn; wyściółki ilaste

**Btx1** 55-85 cm pył ilasty; struktura pryzmatyczna, gruba, trwała; układ zbity; wilgotność: świeży; 10YR 5/4, 10YR 6/3, 7.5YR 5/6; korzenie pojedyncze; pH 5,6; Fe<sup>2+</sup> +++; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście stopniowe; liczne pieprze Fe-Mn; pionowe języki o szerokości do 2 cm; liczne wyściółki ilaste

**Btx2** 85-152 cm pył ilasty; struktura pryzmatyczna, gruba, trwała; układ zbity; wilgotność: wilgotny 10YR 5/4, 10YR 6/3, 7.5YR 5/6; korzeni brak; pH 5,4; Fe<sup>2+</sup> +++; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście wyraźne; liczne pieprze Fe-Mn; pionowe języki o szerokości do 1 cm; liczne wyściółki ilaste

**Btx3** 152-162 cm pył ilasty, struktura pryzmatyczna, gruba, trwała; układ zbity; wilgotność: wilgotny; 10YR 5/4; korzeni brak; pH 5,7; Fe<sup>2+</sup> +++; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście ostre; liczne pieprze Fe-Mn; pionowe języki o szerokości do 1 cm; wyściółki ilaste

**Btg3** 162-245 cm pył ilasty; struktura pryzmatyczna, gruba, trwała; układ zbity; wilgotność: wilgotny a miejscami mokry; 10YR 5/4; korzeni brak; pH 5,8; Fe<sup>2+</sup> +++; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście wyraźne; kongrecje Fe-Mn o średnicy do 2,5 cm od 165 cm; pieprze Fe-Mn; pionowe języki o szerokości do 1cm

**Btg4** 245-270 cm pył ilasty; struktura masywna; układ zbity; wilgotność: wilgotny; 10YR 5/2; korzeni brak; pH 6,1; Fe<sup>2+</sup> +++; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście stopniowe; bardzo liczne kongrecje Fe-Mn; pieprze Fe-Mn

Fot. 6. Profil Pleśna 4.

PTG 2008: Gleba płowa zaciekowa opadowo-glejowa

WRB 2006: Stagni-Fragic Albeluvisol (Dystric, Siltic)

Soil Taxonomy 2010: Typic Fraglossudalf

## Profil Pleśna 5

Położenie: wypłaszczenie stokowe, 345 m n.p.m., nachylenie: 1-3°, ekspozycja NW  
49°55'50,0N

20°57'50,3E

Roślinność: grąd (buk zwyczajny, grab zwyczajny, lipa drobnolistna, brzoza brodawkowata)

Podłoże: pył lessopodobny



**Of** 0-2 cm słabo rozłożone liście i gałęzie drzew; pH 4,3

**A** 2-10 cm pył ilasty; struktura subangularna do angularnej, drobna do średniej, średnio trwała; układ pulchny; wilgotność: świeży; 10YR 2/1; korzenie +++; pH 4,1; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście wyraźne, faliste

**E** 10-40 cm pył ilasty; struktura angularna do subangularenj, drobna do średniej, nietrwała; układ zwięzły; wilgotność: świeży; 10YR 5/4; korzenie +++; pH 4,2; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście wyraźne

**Eg** 40-90 cm pył ilasty; struktura angularna, średnia do grubej, trwała; układ zbity; wilgotność: świeży; 10YR 4/4, 2.5Y 6/2; korzenie pojedyncze; pH 4,3; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście wyraźne, zaciekowe; liczne pieprze żelazisto-manganowe; liczne nacieki ilaste; wyraźne ślady odgórnego oglejenia; nieregularne, białe języki zaciekowe

**Btx** 90-150 cm pył ilasty; struktura pryzmatyczna, gruba, trwała, wtórna struktura angularna; układ zbity; wilgotność: świeży; 10YR 4/6, 2.5Y 6/2; korzeni brak; pH 5,2; CaCO<sub>3</sub> brak; białe języki zaciekowe o szerokości 0,5-1 cm; pieprze żelazisto-manganowe; liczne nacieki ilaste

Fot. 7. Profil Pleśna 5.

PTG 2008: Gleba płowa zaciekowa opadowo-glejowa

WRB 2006: Stagni-Fragic Albeluvisol (Dystric, Siltic)

Soil Taxonomy 2010: Aquic Fraglossudalf

## Profil Brzezcie

Położenie: podnóże stoku, 210 m n.p.m., nachylenie 0-2°, ekspozycja N

50°00'145 N

20°10'748 E

Roślinność: pole uprawne

Podłoże: pył lessopodobny



**Ap** 0-25 cm pył ilasty; struktura angularna, średnia, trwała; układ zwięzły; wilgotność: świeży; 10YR 5/3; korzenie +++; pH 5,3; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście wyraźne, faliste,

**AE1** 25-40 cm pył ilasty; struktura angularna, średnia, średnio trwała do nietrwalej; układ zwięzły; wilgotność: świeży, 10YR5/4; korzenie ++; pH 5,4; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście wyraźne, faliste

**AE2** 40-58 cm pył ilasty; struktura angularna do granularnej, średnia do drobnej, nietrwała; układ zwięzły; wilgotność: świeży; 10YR 5/3; korzenie ++; pH 5,4; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście wyraźne

**Eg** 58-70 cm pył gliniasty; struktura angularna do granularnej, średnia do drobnej, nietrwała; układ umiarkowanie zwięzły; wilgotność: świeży; 10YR 7/2; korzenie +; pH 5,4; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście ostre, zaciekowe; koncentracje żelazisto-manganowe

**Btx** 70-95 cm pył ilasty; struktura pryzmatyczna, gruba, trwała; układ zbity; wilgotność: świeży do wilgotnego; 10YR 6/8, 10YR 7/2; korzenie pojedyncze w materiale eluwialnym; pH 5,1; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście stopniowe; liczne pieprze żelazisto-manganowe; liczne nacieki ilaste

**Btg1** 95-115 cm pył ilasty; struktura pryzmatyczna, gruba, trwała; układ zbity, wilgotność: wilgotny; 10YR 6/6, 10YR 6/1; korzeni brak; pH 5,4; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście stopniowe; liczne koncentracje żelazisto-manganowe; liczne nacieki ilaste

**Btg2** 115-180 cm pył ilasty; struktura pryzmatyczna, gruba, trwała; układ zbity; wilgotność: wilgotny; 10YR 6/6, 10YR 7/1; korzeni brak; pH 6,0; CaCO<sub>3</sub> brak; mniej liczne koncentracje żelazisto-manganowe; nacieki ilaste

Fot. 8. Profil Brzezcie.

PTG 2008: Gleba płowa zaciekowa opadowo-glejowa

WRB 2006: Stagni-Fragic Albeluvisol (Dystric, Siltic)

Soil Taxonomy 2010: Aquic Fraglossudalf

## Profil Gaik-Brzezowa

Położenie: stok, 305 m n.p.m., nachylenie 3-5°, ekspozycja SE

49°51'52,2N

20°03'32,6E

Roślinność: pole orne

Podłoże: pył lessopodobny



**Ap** 0-30 cm pył ilasty; struktura angularna, średnio trwała, średnia do grubej, koprolitowa; układ umiarkowanie zwięzły; wilgotność: świeży; 10YR 4/3; korzenie ++; pH 6,8; Fe<sup>2+</sup> +++; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście ostre

**Btx1** 30-90 cm pył ilasty; struktura pryzmatyczna, gruba, trwała, wtórna struktura angularna; układ zbity; wilgotność: świeży; 10YR 5/4, 10YR 6/2; w górnej części pojedyncze, drobne korzenie; pH 6,2; Fe<sup>2+</sup> ++; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście stopniowe; liczne języki zaciekowe o długości 40-80 cm i szerokości 1-4 cm; liczne pieprze Fe-Mn; liczne nacieki i wyściółki ilaste na ścianach agregatów

**Btx2** 90-140 cm pył ilasty; struktura pryzmatyczna, bardzo gruba, bardzo trwała, wtórna struktura angularna; układ zbity; wilgotność: wilgotny; 10YR 5/4, 10YR 6/2; korzeni brak; pH 5,4; Fe<sup>2+</sup> +; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście stopniowe; kontynuujące się języki zaciekowe do 130 cm; liczne pieprze Fe-Mn; nacieki i wyściółki ilaste na ścianach agregatów

**Btg** 140-170 cm pył ilasty; struktura masywna; układ zbity; wilgotność: wilgotny; 10YR 6/2; korzeni brak; pH 6,0; Fe<sup>2+</sup> ++; CaCO<sub>3</sub> brak; kongregacje Fe o średnicy 0,5 cm i długości 2-3 cm; plamy glejowe

Fot. 9. Profil Gaik-Brzezowa.

PTG 2008: Gleba płowa zaciekowa opadowo-glejowa, zerodowana

WRB 2006: Stagni-Fragic Albeluvisol (Dystric, Siltic)

Soil Taxonomy 2010: Aquic Fraglossudalf

## Profil Gronków

Położenie: stok, 643m n.p.m., nachylenie 2-5°, ekspozycja N

Roślinność: łąka (wiechlina zwyczajna, sit skupiony, tymotka łąkowa, szczaw tępolistny)

Podłoże: pył lessopodobny



Fot. 10. Profil Gronków.

PTG 2008: Gleba płowa zaciekowa opadowo-glejowa

WRB 2006: Stagni-Fragic Albeluvisol (Dystric)

Soil Taxonomy 2010: Aquic Fraglossudalf

**A** 0-10 cm pył ilasty; struktura gruzełkowa, drobna, średnio trwała; układ pulchny do umiarkowanie zwięzłego; wilgotność: świeży; 10YR 3/2; korzenie +++; pH 5,8; Fe<sup>2+</sup> +; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście wyraźne; szkielec 1% (piaskowce i kwarcyty)

**Ag** 10-35 cm pył ilasty; struktura angularna, gruba do średniej, trwała; układ umiarkowanie zwięzły; wilgotność: wilgotny; 10YR 5/3, 5YR 5/8; korzenie ++; pH 5,3; Fe<sup>2+</sup> +++; CaCO<sub>3</sub> brak, przejście wyraźne; szkielec 10% (piaskowce i kwarcyty); pieprze Fe

**Eg** 35-55 cm pył ilasty; struktura angularna, średnia do grubej, średnio trwała do trwałej; układ zwięzły do umiarkowanie zbitego; wilgotność: wilgotny; 10YR 5/3; korzenie +; pH 5,5; Fe<sup>2+</sup> +++; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście ostre zaciekowe; szkielec 10% (piaskowce i kwarcyty); pieprze Fe-Mn

**Btx** 55-100 cm glina pylasto-ilasta; struktura pryzmatyczna, gruba, trwała, wtórna struktura płytkowa; układ zbity; wilgotność: świeży; 10YR 5/8, 10YR 6/3; korzenie pojedyncze; pH 5,2; Fe<sup>2+</sup> ++; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście stopniowe; szkielec 1% (piaskowce i kwarcyty); kongrecje Fe-Mn i Mn; liczne nacieki i wyściółki ilaste

**Btg** 100-(120) cm glina ilasto-pylasta; struktura pryzmatyczna, bardzo gruba, trwała, wtórna struktura płytkowa; układ zbity; wilgotność: świeży; 10YR 5/8, 10YR 6/2 do 6/3, korzeni brak; pH 5,9; Fe<sup>2+</sup> ++; CaCO<sub>3</sub> brak; szkielec 1% (piaskowce i kwarcyty); kongrecje Fe-Mn i Mn; liczne nacieki i wyściółki ilaste

## Profil Jedlicze

Położenie: stok, 300 m n.p.m., nachylenie: 1-2°, ekspozycja SW

49°43'880N

21°38'166E

Roślinność: pole orne

Podłoże: pył lessopodobny



**Ap** 0-15 cm pył ilasty; struktura bryłowa, średnia, trwała; układ pulchny; wilgotność: świeży; 10YR 4/3; korzenie +++; pH 5,4; Fe<sup>2+</sup> +++; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście stopniowe

**AE** 15-30 cm pył ilasty; struktura angularna, średnia, trwała; układ zwięzły; wilgotność: świeży; 10YR 4/3; korzenie +; pH 5,5; Fe<sup>2+</sup> +; CaCO<sub>3</sub> brak przejście wyraźne; pojedyncze, rdzawe plamy glejowe

**Eg** 30-50 cm pył ilasty; struktura subangularna do angularnej, średnia, nierwała; układ umiarkowanie zwięzły, miejscami pulchny; wilgotność: wilgotny; 10YR 4/3 do 5/3; korzenie +; pH 6,0; Fe<sup>2+</sup> ++; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście wyraźne, zaciekowe; wyraźne ślady odgórnego oglejenia

**Btx** 50-100 cm pył ilasty, struktura pryzmatyczna, gruba, trwała, wtórna struktura angularna; układ zwięzły do zbitego; wilgotność: wilgotny; 10YR 4/4, 10YR 5/2; korzenie pojedyncze; pH 6,5; Fe<sup>2+</sup> +; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście stopniowe; języki zaciekowe; wyraźne pieprze Fe-Mn i plamy glejowe; liczne nacieki i wyściółki ilaste; wysięk wodny w górnej części

**Btg** 100-160 cm pył ilasty; struktura masywna; układ zbity; wilgotność: mokry, miejscami wilgotny; 10YR 5/8, 10YR 5/3; korzeni brak; pH 6,8; Fe<sup>2+</sup> +; CaCO<sub>3</sub> brak; liczne plamy glejowe; pieprze i konkracje Fe-Mn; na 160 cm poziom wody gruntowej

Fot. 11. Profil Jedlicze.

PTG 2008: Gleba płowa zaciekowa opadowo-glejowa

WRB 2006: Stagni-Fragic Albeluvisol (Dystric, Siltic)

Soil Taxonomy 2010: Aquic Fraglossudalf

## Profil Mucharz

Położenie: wyższa terasa Skawy, 305m n.p.m., nachylenie: 0-3°, ekspozycja NW

Roślinność: pole orne

Podłoże: pył lessopodobny na glinie zwietrzelinowej podścielonej osadami aluwialnymi



**Ap** 0-27 cm pył ilasty; struktura angularna do subangulanej, średnia do grubej, trwała; układ zwięzły; wilgotność: suchy; 10YR 5/3; korzenie +++; pH 5,2; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście wyraźne

**Eg** 27-40 cm pył ilasty; struktura płytkowa, średnia, trwała; układ zwięzły; wilgotność: świeży; 10YR 5/6, 2.5Y 6/2; korzenie pojedyncze; pH 5,3; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście wyraźne, zaciekowe; plamy glejowe, liczne pieprze Fe i Fe-Mn

**Btg1** 40-70 cm pył ilasty; struktura angularna, średnia, trwała; układ zwięzły; wilgotność: świeży; 10YR 5/6, 10YR 6/3; korzenie pojedyncze; pH 6,7; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście wyraźne, zaciekowe; liczne pieprze Fe i Fe-Mn; liczne nacieki ilaste

**Btx1** 70-115 cm pył ilasty; struktura pryzmatyczna, gruba, trwała, wtórna struktura płytkowa; układ zbity; wilgotność: świeży; 10YR 5/6, 2.5Y 6/2; korzeni brak; pH 5,1; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście stopniowe; liczne języki zaciekowe; pieprze Fe-Mn, liczne nacieki ilaste

**2Btx2** 115-150 cm glina zwykła; struktura pryzmatyczna, gruba, trwała, wtórna struktura angularna; układ zbity; wilgotność: świeży; 10YR 5/6, 2.5Y 6/2; korzeni brak; pH 5,1; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście wyraźne; liczne pieprze Fe-Mn; liczne nacieki ilaste; pojedyncze języki zaciekowe; w dolnej części widoczne warstwowanie (warstwy o miąższości 2 cm)

**2Bt1** 150-170 cm glina zwykła; struktura masywna do płytkowej (drobnej); układ zwięzły; wilgotność: świeży; 10YR 5/6; korzeni brak; pH 6,3; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście stopniowe; pojedyncze języki zaciekowe; nacieki ilaste

**2Bt2** 170-200 cm glina zwykła; struktura masywna; układ bardzo zwięzły; wilgotność: świeży; 10YR 5/6; korzeni brak; pH 4,9; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście wyraźne; pojedyncze języki zaciekowe; nacieki ilaste

**3C** 200-210 cm pył ilasty; struktura masywna; układ zwięzły; wilgotność: świeży; 10YR 5/8; korzeni brak; pH 5,2; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście stopniowe

**4C1** 210-260 cm glina zwykła; struktura masywna, układ zwięzły; wilgotność: świeży; 7.5YR 5/6; korzeni brak; pH 5,1; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście wyraźne; 20% szkieletu (piaskowce)

**4C2** 260-280 cm glina lekka; struktura masywna; układ zwięzły; wilgotność: świeży; 10YR 4/6; korzeni brak, pH 5,3; CaCO<sub>3</sub> brak; 50% szkieletu (piaskowce)

Fot. 12. Profil Mucharz.

PTG 2008: Gleba płowa zaciekowa opadowo-glejowa

WRB 2006: Stagni-Fragic Albeluvisol (Dystric, Siltic)

Soil Taxonomy 2010: Aquic Fraglossudalf

## Profil Łazy 1

Położenie: stok, 255 m n.p.m., nachylenie: 3-5°, ekspozycja S

49°58'03''N

20°29'25''E

Użytkowanie: pole orne

Podłoże: pył lessopodobny



**Ap** 0-35 cm pył gliniasty; struktura subangularna do bryłowej, średnia, trwała; układ pulchny; wilgotność: świeży; 10YR 3/3; korzenie +++; pH 6,4; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście ostre

**Eg** 35-50 cm pył gliniasty; struktura angularna do subangulanej, średnia, średnio trwała; układ zwięzły; wilgotność: świeży; 10YR 4/3; korzenie +; pH 6,7; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście nieregularne, zaciekowe; języki zaciekowe o długości około 3-5 cm i szerokości około 1-3 cm; wyraźne odgórne oglejenie; biogeniczne mieszanie materiału

**Btx** 50-70 cm pył ilasty; struktura angularna, średnia do grubej, trwała; układ zwięzły; wilgotność: świeży; 10YR 5/6, 10YR 5/3; korzenie pojedyncze; pH 6,1; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście stopniowe; nieliczne, drobne konkracje Fe-Mn; liczne nacieki ilaste

**Bt** 70-90 cm pył ilasty; struktura angularna, średnia do grubej, trwała; układ zbity; wilgotność: świeży; 10YR 5/6; korzeni brak; pH 5,5; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście stopniowe; plamy Fe; liczne nacieki ilaste

**BC** 90-110 cm pył ilasty; struktura angularna do subangulanej, średnia do grubej, trwała; układ zbity; wilgotność: świeży; 10YR 5/4; korzeni brak; pH 5,7; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście stopniowe; plamy o jasnoszarej barwie; laminy jaśniejsze (szare) i ciemniejsze (brunatne); nacieki ilaste; na około 90 cm szara plama o średnicy około 5-8 cm

**C** 110-150 cm pył ilasty; struktura masywna; układ zbity; wilgotność: świeży; 10YR 5/4; korzeni brak; pH 5,6; CaCO<sub>3</sub> brak; plamy szare i niewielkie laminki szaro-brązowe

Fot. 13. Profil Łazy 1.

PTG 2008: Gleba płowa z cechami *glossic*, zerodowana

WRB 2006: Stagni-Fragic Albeluvisol (Siltic)

Soil Taxonomy 2010: Aquic Fraglossudalf



## Profil Łazy 2

Lokalizacja: stok, 250 m n.p.m., nachylenie: 3-5°, ekspozycja NW

Użytkowanie: bór mieszany (grab zwyczajny, dąb bezszypułkowy, sosna zwyczajna, buk zwyczajny, lipa drobnolistna, brzoza brodawkowata)

Podłoże: pył lessopodobny



- Oi** 0-5 cm słabo rozłożone liście i gałęzie buka, graba, dębu; pH 4,0
- Of** 5-8 cm mechanicznie rozdrobnione i nieco bardziej rozłożone liście i gałęzie buka, grabu i dębu; pH 4,5
- A** 8-20 cm pył ilasty; struktura subangularna do angularnej, średnia, średnio trwała; układ pulchny; wilgotność: wilgotny; 10YR 3/2; korzenie +++; pH 3,9; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście wyraźne, faliste
- E** 20-55 cm pył gliniasty; struktura subangularna, średnia do drobnej, nietrwała; układ pulchny do umiarkowanie zwięzłego; wilgotność: wilgotny; 10YR 5/4; korzenie ++; pH 4,2; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście wyraźne
- Btx1** 55-65 cm pył ilasty; struktura angularna, średnia do drobnej, trwała; układ zwięzły; wilgotność: świeży; 10YR 4/4, 10YR 7/1; korzenie pojedyncze; pH 4,0; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście wyraźne, zaciekowe; języki o długości 3-5 cm i szerokości 1-2 cm, liczne nacieki ilaste
- Btx2** 65-85 cm pył ilasty; struktura angularna, średnia do grubej, trwała; układ zbity; wilgotność: świeży; 10YR 4/6; korzenie pojedyncze; pH 4,7; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście stopniowe; liczne nacieki ilaste
- Bt** 85-115 cm pył ilasty; struktura angularna, średnia, trwała; układ zbity; wilgotność: świeży; 10YR 4/6; korzenie pojedyncze; pH 5,0; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście stopniowe; szare i brunatne laminki; liczne nacieki ilaste
- BC** 115-135 cm pył ilasty; struktura angularna, średnia do drobnej, średnio trwała; układ zbity; wilgotność: świeży; 10YR 4/6; korzenie pojedyncze; pH 4,9; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście stopniowe; szare i brunatne laminki; nacieki ilaste
- C** 135-185 cm pył ilasty; struktura masywna; układ zbity; wilgotność: świeży; 10YR 4/6; korzeni brak; pH 5,0; CaCO<sub>3</sub> brak; szaro-brunatne laminy

Fot. 14. Profil Łazy 2.

PTG 2008: Gleba płowa z cechami *glossic*

WRB 2006: Stagni-Fragic Albeluvisol (Dystric, Siltic)

Soil Taxonomy 2010: Aquic Fraglossudalf

## Profil Witoszyńce

Położenie: podnóże stoku, 302m n.p.m., nachylenie 3-5°, ekspozycja SE

49°44'00,9N

22°43'31,5E

Roślinność: łąka z pojedynczymi drzewami (brzoza brodawkowata)

Podłoże: pył lessopodobny



- O1** 0-2 cm słabo rozłożone żdźbła traw
- A** 2-30 cm pył ilasty; struktura subangularna do koprolitowej, średnia do grubej, średnio trwała; układ pulchny do umiarkowanie zwięzłego, wilgotność: suchy; 10YR 3/3; korzenie +++; pH 5,6; Fe<sup>2+</sup> +; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście stopniowe
- Eg** 30-55 cm pył ilasty, struktura pryzmatyczna, wtórna struktura angularna, średnia, trwała; układ zbity; wilgotność: suchy; 10YR 7/1; korzenie +, pH 6,0; Fe<sup>2+</sup> +; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście wyraźne, zaciekowe; wyraźne ślady odgórnego oglejenia
- Btx1** 55-100 cm pył ilasty; struktura pryzmatyczna, gruba, trwała; układ zbity; wilgotność: świeży, 10YR 4/6, 10YR 5/3; korzeni brak; pH 6,2; Fe<sup>2+</sup> +; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście dyfuzyjne; wyraźne ślady oglejenia; nacieki ilaste na ścianach pęknięć; liczne pęknięcia pionowe i poziome wypełnione materiałem organiczno-mineralnym, a obrzeża barwy sinej, od 90 cm sina plama kontynuująca się w poziomie niższym jako jasno popielata smuga o szerokości 6-8 cm, na głębokości 80 cm czarna nieregularna plama o średnicy 2,5 cm; liczne czarne plamy o średnicy 0,5 cm, na 65 cm regularna czarna plama o średnicy 5 cm
- Btx2** 100-160 cm pył ilasty; struktura masywna; układ zbity; wilgotność: świeży; 10YR 5/4, 10YR 2/1; korzeni brak; pH 6,7; Fe<sup>2+</sup> +; CaCO<sub>3</sub> brak; wyraźne ślady oglejenia; liczne pęknięcia pionowe i poziome wypełnione materiałem organiczno-mineralnym; liczne czarne plamy o średnicy 0,5-1 cm

Fot. 15. Profil Witoszyńce.

PTG 2008: Gleba płowa z cechami *glossic*

WRB 2006: Stagni-Fragic Albeluvisol (Dystric, Siltic)

Soil Taxonomy 2010: Aquic Fraglossudalf

## Profil Polanka Hallera

Położenie: stok, 293m n.p.m., nachylenie 2-5°, ekspozycja SE

49°55'611N

19°45'575E

Roślinność: pole orne

Podłoże: pył lessopodobny



**Ap** 0-15 cm pył ilasty; struktura bryłowa do koprolitowej, średnia, średnio trwała; układ umiarkowanie zwięzły; wilgotność: świeży; 10YR 4/3; korzenie ++; pH 7,8; Fe<sup>2+</sup> ++; CaCO<sub>3</sub> +++, przejście wyraźne, szkielet wapienny 2%

**AB** 15-30 cm pył ilasty; struktura angularna, średnia, średnio trwała; układ zwięzły; wilgotność: świeży; 10YR 4/3, 10YR 5/8; korzenie +; pH 8,1; Fe<sup>2+</sup> +++; CaCO<sub>3</sub> +++; przejście ostre; wyraźne ślady mieszania materiału przez orkę; 1% szkieletu wapiennego

**Btg1** 30-70 cm pył ilasty; struktura pryzmatyczna, bardzo gruba, trwała, wtórna struktura angularna; układ zbity; wilgotność: wilgotny; 7.5YR 5/6, 10YR 6/3; korzeni brak, pH 8,1; Fe<sup>2+</sup> +; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście stopniowe; liczne pieprze Fe i Fe-Mn, na ścianach pryzm i agregatów czarne nacieki organiczno-mineralne; liczne plamy glejowe; na głębokości 60-70 cm czarna plama nieregularnego kształtu

**Btg2** 70-110 cm pył ilasty; struktura pryzmatyczna, bardzo gruba, trwała, wtórna struktura angularna; układ zbity; wilgotność: wilgotny; 7.5YR 5/6, 10YR 6/3; korzeni brak; pH 8,0; Fe<sup>2+</sup> ++; CaCO<sub>3</sub> brak; przejście stopniowe; liczne plamy glejowe; mniej liczne konkracje i pieprze Fe i Fe-Mn; na ścianach pryzm i agregatów czarne nacieki organiczno-mineralne

**BCg** 110-160 cm pył ilasty; struktura masywna; układ zwięzły; wilgotność: wilgotny (dołem mokry); 10YR 5/8, 10YR 6/3; korzeni brak; pH 7,8; Fe<sup>2+</sup> +; CaCO<sub>3</sub> brak; plamy glejowe; nieliczne konkracje Fe

Fot. 16. Profil Polanka Hallera.

PTG 2008: Gleba płowa gruntowo-glejowa (zerodowana)

WRB 2006: Gleyi-Cutanic Luvisol (Siltic)

Soil Taxonomy 2010: Oxyaquic Hapludalf

### 8.3. Opisy mikromorfologiczne

Profil: **Pleśna 1**

Poziom: **AE**

Głębokość: **10-20 cm**

Numer szlif: 1

Orientacja szlif: pionowa

Rozmiar: 5x7,5 cm

Grubość: 30 µm

Mikrostruktura i porowatość	Masa podstawowa (groundmass)			Materia organiczna	Cechy pedogenetyczne
	Szkielet	Materiał gruby	Materiał drobny		
<p><b>Mikrostruktura:</b> Płytkowa, koprolitowa, granularna i kanalikowa</p> <p><b>Pory:</b> Kanaliki i szczeliny o średnicy dochodzącej do 4 mm, lokalnie <i>single</i> i <i>complex packing voids</i></p>	Brak	<p><b>Mineralny:</b> Angularne i subangularne ziarna kwarcu, plagioklazów, blaszki mik o frakcji pyłu grubego; subangularne agregaty glaukonitu; pojedyncze ziarna kwarcu o frakcji piasku; cyrkon i minerały nieprzezroczyste</p> <p><b>Organiczny:</b> Fragmenty organiki (węgle drzewne) o średnicy 300µm, czasem z rdzawymi brzegami (<i>tissue residues</i>)</p>	<p>Brazowa i szaro-brazowa mieszanina amorficznego humusu i niewielkiej ilości ilu koloidalnego (plamistego – <i>speckled b-fabric</i>)</p>	Pojedyncze, drobne korzenie	Konkrecje żelaziste o średnicy 200-700µm i inne skupienia żelaza

Profil: **Pleśna 1**

Poziom: **E**

Głębokość: **40-50 cm**

Numer szlifu: 2

Orientacja szlifu: pionowa

Rozmiar: 5x7,5 cm

Grubość: 30 µm

Mikrostruktura i porowatość	Masa podstawowa (groundmass)			Materia organiczna	Cechy pedogenetyczne
	Szkielet	Materiał gruby	Materiał drobny		
<p><b>Mikrostruktura:</b> Koprolitowa i kanalikowa, nieliczne agregaty angularne</p> <p><b>Pory:</b> kanaliki</p>	Brak	<p><b>Mineralny:</b> Subangularne i angularne ziarna kwarcu, plagioklazów, skaleni potasowych, blaszki mik, pojedyncze okruchy rogowców o frakcji pyłu grubego, rzadziej piasku bardzo drobnego i drobnego; subangularne agregaty glaukonitu; cyrkon i minerały nieprzezroczyste</p> <p><b>Organiczny:</b> Czarne i czerwone fragmenty organiki (węgle drzewne) o średnicy około 400µm (<i>tissue residues</i>)</p>	<p>Braźowa i szaro-braźowa mieszanina amorficznego humusu i niewielkiej ilości iłu koloidalnego (<i>plamistego speckled b-fabric</i>), lokalnie ił koloidalny zorientowany wokół ziaren (<i>granostriated b-fabric</i>) i wokół porów (<i>porostriated b-fabric</i>)</p>	<p>Pojedyncze, drobne korzenie</p>	<p>Bardzo nieliczne wyściółki ilaste;</p> <p>Typowe nodule żelaziste powstałe <i>in situ</i> (<i>orthic nodules</i>) i nodule intruzyjne (<i>disorthic nodules</i>) o średnicy około 1,5mm</p>

Profil: **Pleśna 2**

Poziom: **E**

Głębokość: **40-50 cm**

Numer szlif: 3

Orientacja szlif: pionowa

Rozmiar: 5x7,5 cm

Grubość: 30 µm

Mikrostruktura i porowatość	Masa podstawowa (groundmass)			Materia organiczna	Cechy pedogenetyczne
	Szkielet	Materiał gruby	Materiał drobny		
<p><b>Mikrostruktura:</b> Kanalikowa, masywna, miejscami komorowa i kopolitowa</p> <p><b>Pory:</b> Kanaliki o szerokości 100-250µm i długości około 1mm, nieliczne większe kanaliki o długości 5-6mm i szerokości 0,5-1mm; pojedyncze komory</p>	<p>Pojedyncze okruchy łupków słabo obtoczonych</p>	<p><b>Mineralny:</b> Subangularne i angularne ziarna kwarcu, plagioklazów, blaszki mik o frakcji pyłu grubego, pojedynczy okruch piaskowca o frakcji piasku; subangularne agregaty glaukonitu; cyrkon i minerały nieprzezroczyste</p> <p><b>Organiczny:</b> Pojedyncze fragmenty organiki (czarne)</p>	<p>Żółty do pomarańczowego ił koloidalny zorientowany wokół kanalików (<i>porostriated b-fabric</i>) a lokalnie wokół ziaren (<i>granostriated b-fabric</i>)</p>	<p>Brak</p>	<p>Pojedyncze otoczki ilaste i mikrolaminowane wypełnienia ilaste, mikrolaminowane wypełnienia ilasto-organiczne, nacieki wzbogacone w związki żelaza (<i>ferrargillansy</i>);</p> <p>Liczne i rozległe strefy zubożenia w ił koloidalny (<i>clay depletion zones</i>) oraz miejscowe skupienia iłu koloidalnego (<i>impregnative features</i>);</p> <p>Pojedyncze, drobne skupienia żelaza o średnicy 50-100µm</p>

Profil: **Pleśna 2**

Poziom: **Btx2**

Głębokość: **90-100 cm**

Numer szlifu: 4

Orientacja szlifu: pionowa

Rozmiar: 5x7,5 cm

Grubość: 30 µm

Mikrostruktura i porowatość	Masa podstawowa (groundmass)			Materia organiczna	Cechy pedogenetyczne
	Szkielet	Materiał gruby	Materiał drobny		
<p><b>Mikrostruktura:</b> Kanalikowa, masywna</p> <p><b>Pory:</b> Kanaliki o średnicy 0,3-1mm</p>	Brak	<p><b>Mineralny:</b> Angularne i subangularne ziarna kwarcu, plagioklazów, blaszki mik o frakcji grubego pyłu i rzadziej piasku bardzo drobnego; subangularne agregaty glaukonitu; cyrkon i minerały nieprzezroczyste</p> <p><b>Organiczny:</b> brak</p>	Rdzawy, brązowy do żółtego ił koloidalny zorientowany wokół porów ( <i>porostriated b-fabric</i> )	Brak	<p>Mikrolaminowane wypełnienia ilaste o zróżnicowanej orientacji domen ilastych, nacieki ilasto-próchniczne;</p> <p>Pojedyncze, drobne typowe nodule żelaziste powstałe <i>in situ</i> (<i>orthic nodules</i>)</p>

Profil: **Pleśna 3**      Poziom: **E/B kontakt**      Głębokość: **40-50 cm**      Numer szlifu: 5  
 Orientacja szlifu: pionowa      Rozmiar: 5x7,5 cm      Grubość: 30 µm

Mikrostruktura i porowatość	Masa podstawowa (groundmass)			Materia organiczna	Cechy pedogenetyczne
	Szkielet	Materiał gruby	Materiał drobny		
<p><b>Mikrostruktura:</b> Kanalikowa, masywna, miejscami subangularna;</p> <p>Agregaty w większości umiarkowanie oddzielone od siebie (<i>moderately separated</i>);</p> <p><b>Pory:</b> Kanaliki i szczeliny</p>	Brak	<p><b>Minerlany:</b> Subangularne i angularne ziarna kwarcu, plagioklazów, skaleni potasowych, blaszki mik o frakcji pyłu grubego i rzadziej piasku bardzo drobnego; subangularne agregaty glaukonitu; cyrkon i minerały nieprzezroczyste</p> <p><b>Organiczny:</b> brak</p>	<p>Żółty do jasnobrązowego i brązowy ił koloidalny zorientowany wokół porów (<i>porostriated b-fabric</i>), wokół ziaren (<i>granostriated b-fabric</i>) oraz plamisty (<i>speckled b-fabric</i>), miejscami równoległe zorientowany (<i>parallel striated b-fabric</i>)</p>	Brak	<p>Mikrolaminowane wypełnienia ilaste o wyraźnej orientacji domen ilastych, nacieki ilasto-próchniczne;</p> <p>Strefy zubożenia (<i>clay depletion hypocoating</i>) i wzbogacenia w ił koloidalny (<i>impregnative hypocoatings</i>);</p> <p>Typowe nodule żelaziste powstałe <i>in situ</i> (<i>orthic nodules</i>) i nodule intruzyjne (<i>disorthic nodules</i>)</p>



Profil: **Pleśna 3**

Poziom: **Btx1**

Głębokość: **60-70 cm**

Numer szlifu: 6

Orientacja szlifu: pionowa

Rozmiar: 5x7,5 cm

Grubość: 30 µm

Mikrostruktura i porowatość	Masa podstawowa (groundmass)			Materia organiczna	Cechy pedogenetyczne
	Szkielet	Materiał gruby	Materiał drobny		
<p><b>Mikrostruktura:</b> Kanalikowa, masywna, miejscami komorowa i angularna, w językach zaciekowych masywna;</p> <p><b>Pory:</b> Dominują kanaliki, komory oraz nieliczne szczeliny</p>	Brak	<p><b>Mineralny:</b> Subangularne i angularne ziarna kwarcu, plagioklazów, blaszki mik, okruchy łupków o frakcji pyłu grubego i rzadziej piasku bardzo drobnego, subangularne agregaty glaukonitu; w językach zdecydowanie przeważa kwarc; cyrkon i minerały nieprzezroczyste</p> <p><b>Organiczny:</b> brak</p>	<p>Żółty do brązowego ił koloidalny zorientowany wokół porów (<i>porostriated b-fabric</i>)</p>	Brak	<p>Mikrolaminowane nacieki i wypełnienia ilaste o wyraźnej orientacji domen ilastych, wypełnienia ilsto-próchniczne, hypootoczki, nacieki wzbogacone w związki żelaza (<i>ferrargillansy</i>), mostki ilaste, papule;</p> <p>Strefy zubożenia i wzbogacenia w ił koloidalny (<i>depletion i impregnative pedofeatures</i>);</p> <p>Niewielkie, typowe nodule żelaziste powstałe <i>in situ</i> (<i>orthic nodules</i>)</p>

Profil: **Pleśna 3**      Poziom: **Btx1/Btx2**      Głębokość: **90-100 cm**      Numer szlif: 7  
 Orientacja szlif: pionowa      Rozmiar: 5x7,5 cm      Grubość: 30 µm

Mikrostruktura i porowatość	Masa podstawowa (groundmass)			Materia organiczna	Cechy pedogenetyczne
	Szkielet	Materiał gruby	Materiał drobny		
<p><b>Mikrostruktura:</b> Kanalikowa, masywna</p> <p><b>Pory:</b> Kanaliki o średnicy 0,3-1mm</p>	Brak	<p><b>Mineralny:</b> Angularne i subangularne ziarna kwarcu, plagioklazów, blaszki mik o frakcji grubego pyłu i rzadziej piasku bardzo drobnego; subangularne agregaty glaukonitu; cyrkon i minerały nieprzezroczyste</p> <p><b>Organiczny:</b> brak</p>	Rdzawy, brązowy do żółtego il koloidalny zorientowany wokół porów ( <i>porostriated b-fabric</i> )	Brak	<p>Mikrolaminowane wypełnienia ilaste o zróżnicowanej orientacji domen ilastych, nacieki ilasto-próchniczne;</p> <p>Pojedyncze, drobne typowe nodule żelaziste powstałe <i>in situ</i> (<i>orthic nodules</i>)</p>

Profil: **Pleśna 3**

Poziom: **Btg**

Głębokość: **190-200 cm**

Numer szlifu: 8

Orientacja szlifu: pionowa

Rozmiar: 5x7,5 cm

Grubość: 30 µm

Mikrostruktura i porowatość	Masa podstawowa (groundmass)			Materia organiczna	Cechy pedogenetyczne
	Szkielet	Materiał gruby	Materiał drobny		
<p><b>Mikrostruktura:</b> Kanalikowa, masywna</p> <p><b>Pory:</b> Dominują kanaliki, ale są też szczeliny</p>	Brak	<p><b>Mineralny:</b> Subangulane i angulane ziarna kwarcu, plagioklazów, blaszki mik, pojedyncze okruchy łupków o frakcji pyłu grubego i rzadziej piasku bardzo drobnego i drobnego; subangulane agregaty glaukonitu; cyrkon i minerały nieprzezroczyste</p> <p><b>Organiczny:</b> brak</p>	<p>Brązowy do żółtego ił koloidalny zorientowany wokół porów (<i>porostriated b-fabric</i>) oraz miejscami wokół ziaren (<i>granostriated b-fabric</i>), plamisty (<i>speckled b- fabric</i>)</p>	Brak	<p>Nacieki ilaste, nacieki przesycone związkami żelaza (<i>ferrargillansy</i>), mikrolaminowane wypełnienia ilaste i ilasto- próchniczne, mostki ilaste;</p> <p>Typowe nodule żelaziste powstałe <i>in situ</i> (<i>orthic nodules</i>) oraz nodule intruzyjne (<i>disorthic nodules</i>)</p>

Profil: **Brzezie**

Poziom: **Btx**

Głębokość: **80-90 cm**

Numer szlifu: 9

Orientacja szlifu: pionowa

Rozmiar: 5x7,5 cm

Grubość: 30 μm

Mikrostruktura i porowatość	Masa podstawowa (groundmass)			Materia organiczna	Cechy pedogenetyczne
	Szkielet	Materiał gruby	Materiał drobny		
<p><b>Mikrostruktura:</b> Kanalikowa, masywna</p> <p><b>Pory:</b> Kanaliki o średnicy 200-500μm</p>	Brak	<p><b>Mineralny:</b> Angularne i subangularne ziarna kwarcu, plagioklazów, skaleni potasowych, blaszki mik, okruchy łupków o frakcji pyłu grubego i zdecydowanie rzadziej piasku bardzo drobnego, pojedyncze ziarna o frakcji piasku średniego; subangularne agregaty glaukonitu; cyrkon i minerały nieprzezroczyste</p> <p><b>Organiczny:</b> brak</p>	<p>Żółty do brązowego ił koloidalny zorientowany wokół porów (<i>porostriated b-fabric</i>), miejscami zorientowany wokół ziaren (<i>granostriated b-fabric</i>)</p>	Brak	<p>Mikrolaminowane wypełnienia ilaste o wyraźnej orientacji domen ilastych, otoczki ilaste, nacieki ilaste przesycone związkami żelaza (<i>ferrargillansy</i>), papule, nacieki ilaste w obrębie nodul;</p> <p>Strefy zubożenia wzdłuż pionowych szczelin (<i>clay, iron depletion zones</i>);</p> <p>Typowe nodule żelaziste powstałe <i>in situ</i> (<i>orthic nodules</i>) oraz nodule intruzyjne (<i>disorthic nodules</i>)</p>

Profil: **Brzezie**

Poziom: **Btg2**

Głębokość: **120-130 cm**

Numer szlifu: 10

Orientacja szlifu: pozioma

Rozmiar: 5x7,5 cm

Grubość: 30 µm

Mikrostruktura i porowatość	Masa podstawowa (groundmass)			Materia organiczna	Cechy pedogenetyczne
	Szkielet	Materiał gruby	Materiał drobny		
<p><b>Mikrostruktura:</b> Kanalikowa, masywna</p> <p><b>Pory:</b> kanaliki</p>	Brak	<p><b>Mineralny:</b> Angularne i subangularne ziarna kwarcu, skaleni potasowych, plagioklazów, blaszki mik o frakcji pyłu grubego i rzadziej piasku bardzo drobnego; subangularne agregaty glaukonitu; cyrkon i minerały nieprzezroczyste</p> <p><b>Organiczny:</b> brak</p>	<p>Brązowy do żółtego ił koloidalny zorientowany wokół porów (<i>porostriated b-fabric</i>) i rzadziej wokół ziaren (<i>granostriated b-fabric</i>)</p>	Brak	<p>Mikrolaminowane nacieki ilaste o słabej orientacji domen ilastych, wypełnienia ilaste, nacieki przesycone związkami żelaza (<i>ferrargillansy</i>);</p> <p>Strefy zubożenia i wzbogacenia w ił koloidalny i związki żelaza (<i>depletion i impregnative pedofeatures</i>), żelaziste quasioctozki;</p> <p>Typowe nodule żelaziste powstałe <i>in situ</i> (<i>orthic nodules</i>)</p>

Profil: **Gronków**

Poziom: **2Btx**

Głębokość: **60-70 cm**

Numer szlifu: 11

Orientacja szlifu: pozioma

Rozmiar: 5x7,5 cm

Grubość: 30 µm

Mikrostruktura i porowatość	Masa podstawowa (groundmass)			Materia organiczna	Cechy pedogenetyczne
	Szkielet	Materiał gruby	Materiał drobny		
<p><b>Mikrostruktura:</b> Kanalikowa, masywna, miejscami angularna, gruba płytkowa</p> <p><b>Pory:</b> Przeważają kanaliki, szczeliny i komory</p>	<p>Zwietrzały kwarc i plagioklasy, glaukonit o średnicy 2,5mm, okruchy piaskowca glaukonitowego</p>	<p><b>Mineralny:</b> Angularne i subangularne ziarna kwarcu, plagioklazów, blaszki mik, okruchy piaskowców, rogowców i mułowców oraz łupków ilastych o frakcji od piasku grubego do pyłu grubego; subangularne agregaty glaukonitu; cyrkon i minerały nieprzezroczyste</p> <p><b>Organiczny:</b> brak</p>	<p>Zółty do rdzawo-brązowego ił koloidalny zorientowany wokół porów (<i>porostriated b-fabric</i>) i wokół ziaren (<i>granostriated b-fabric</i>) miejscami zorientowany równolegle (<i>parallel striated b-fabric</i>)</p>	<p>Brak</p>	<p>Mikrolaminowane nacieki ilaste, otoczki ilaste o wyraźnej orientacji domen ilastych, nacieki wzbogacone w związki żelaza (<i>ferrargillansy</i>), papule;</p> <p>Strefy zubożenia w ił koloidalny (<i>clay depletion zones</i>);</p> <p>Typowe nodule żelaziste powstałe <i>in situ</i> (<i>orthic nodules</i>) i nodule intruzyjne (<i>disorthic nodules</i>)</p>

Profil: **Mucharz**

Poziom: **Btg1**

Głębokość: **40-50 cm**

Numer szlifu: 12

Orientacja szlifu: pozioma

Rozmiar: 5x7,5 cm

Grubość: 30 µm

Mikrostruktura i porowatość	Masa podstawowa (groundmass)			Materia organiczna	Cechy pedogenetyczne
	Szkielet	Materiał gruby	Materiał drobny		
<p><b>Mikrostruktura:</b> Płytkowa</p> <p><b>Pory:</b> Horyzontalne szczeliny, kanaliki</p>	Brak	<p><b>Mineralny:</b> Angularne i subangularne ziarna kwarcu, skaleni potasowych, plagioklazów, blaszki mik, okruchy rogowców i łupków o frakcji grubego pyłu oraz rzadziej bardzo drobnego i drobnego piasku; subangularne agregaty glaukonitu; cyrkon i minerały nieprzezroczyste</p> <p><b>Organiczny:</b> brak</p>	<p>Brązowy do żółtego ił koloidalny zorientowany wokół ziaren (<i>granostriated b-fabric</i>), wokół porów (<i>porostriated b-fabric</i>) oraz plamisty (<i>speckled b-fabric</i>)</p>	<p>Pojedyncze żywe korzenie o średnicy 300-400µm</p>	<p>Pojedyncze wypełnienia ilaste o słabej orientacji domen ilastych, nacieki ilaste przesycone związkami żelaza (<i>ferrargillansy</i>), pojedyncze papule;</p> <p>Typowe nodule żelaziste powstałe <i>in situ</i> (<i>orthic nodules</i>), ale są też nodule intruzyjne (<i>disorthic nodules</i>)</p>

Profil: **Mucharz**

Poziom: **Btx1**

Głębokość: **80-90 cm**

Numer szlifu: 13

Orientacja szlifu: pionowa

Rozmiar: 5x7,5 cm

Grubość: 30 µm

Mikrostruktura i porowatość	Masa podstawowa (groundmass)			Materia organiczna	Cechy pedogenetyczne
	Szkielet	Materiał gruby	Materiał drobny		
<p><b>Mikrostruktura:</b> Kanalikowa, masywna, płytkowa</p> <p><b>Pory:</b> Kanaliki i szczeliny</p>	Brak	<p><b>Mineralny:</b> Angularne i subangularne ziarna kwarcu, plagioklazów, skaleni potasowych, blaszki mik, okruchy rogowców i łupków ilastych o frakcji pyłu grubego i rzadziej piasku bardzo drobnego; subangularne agregaty glaukonitu; cyrkon i minerały nieprzezroczyste</p> <p><b>Organiczny:</b> brak</p>	<p>Żółty il koloidalny zorientowany wokół porów (<i>porostriated b-fabric</i>) i wokół ziaren (<i>granostriated b-fabric</i>)</p>	Brak	<p>Mikrolaminowane nacieki i wypełnienia ilaste, nacieki przesycone związkami żelaza (<i>ferrargillansy</i>), żelaziste otoczki wokół porów;</p> <p>Strefy wzbogacenia w il koloidalny i związki żelaza (<i>impregnative features</i>);</p> <p>Typowe nodule żelaziste powstałe <i>in situ</i> (<i>orthic nodules</i>)</p>



Profil: **Mucharz**

Poziom: **2Bt**

Głębokość: **150-160 cm**

Numer szlifu: 14

Orientacja szlifu: pionowa

Rozmiar: 5x7,5 cm

Grubość: 30µm

Mikrostruktura i porowatość	Masa podstawowa (groundmass)			Materia organiczna	Cechy pedogenetyczne
	Szkielet	Materiał gruby	Materiał drobny		
<p><b>Mikrostruktura:</b> Kanalikowa, masywna</p> <p><b>Pory:</b> kanaliki</p>	Brak	<p><b>Mineralny:</b> Angularne i subangularne ziarna kwarcu, plagioklazów, skaleni potasowych, blaszki mik, okruchy łupków i rogowców o frakcji pyłu grubego, piasku bardzo drobnego do średniego; subangularne agregaty glaukonitu; cyrkon i minerały nieprzezroczyste</p> <p><b>Organiczny:</b> brak</p>	<p>Brazowy do żółtego ił koloidalny zorientowany wokół porów (<i>porostriated b-fabric</i>), wokół ziaren (<i>granostriated b-fabric</i>), plamisty (<i>speckled b-fabric</i>)</p>	Brak	<p>Nacieki ilaste mniej liczne niż w poziomach nadległych;</p> <p>Typowe nodule żelaziste powstałe <i>in situ</i> (<i>orthic nodules</i>) i nodule intruzyjne (<i>disorthic nodules</i>)</p>

Profil: Łazy 1

Poziom: Btx

Głębokość: 50-60 cm

Numer szlifu: 15

Orientacja szlifu: pionowa

Rozmiar: 5x7,5 cm

Grubość: 30 µm

Mikrostruktura i porowatość	Masa podstawowa (groundmass)			Materia organiczna	Cechy pedogenetyczne
	Szkielet	Materiał gruby	Materiał drobny		
<p><b>Mikrostruktura:</b> Kanalikowa, masywna</p> <p><b>Pory:</b> Kanaliki, pojedyncze szczeliny</p>	Brak	<p><b>Mineralny:</b> Subangularne i angularne ziarna kwarcu, plagioklazów, skaleni potasowych, blaszki mik o frakcji pyłu grubego i zdecydowanie rzadziej piasku bardzo drobnego; subangularne agregatu glaukonitu; cyrkon i minerały nieprzezroczyste</p> <p><b>Organiczny:</b> brak</p>	<p>Rdzawo-brązowy, brązowy do żółtego ił koloidalny zorientowany wokół porów (<i>porostriated b-fabric</i>), miejscami wokół ziaren (<i>granostriated b-fabric</i>) oraz plamisty (<i>speckled b-fabric</i>)</p>	Brak	<p>Mikrolaminowane wypełnienia ilaste i ilasto-próchniczne, nacieki ilaste, otoczki ilaste przesycone związkami żelaza (<i>ferrargillansy</i>), mostki ilaste;</p> <p>Strefy zubożenia w ił koloidalny (<i>clay depletion hypocoating</i>), silne przesylenie materiału glebowego związkami żelaza (<i>impregnative features</i>);</p> <p>Typowe nodule żelaziste powstałe <i>in situ</i> (<i>orthic nodules</i>) i nodule intruzyjne (<i>disorthic nodules</i>)</p>

Profil: Łazy 1

Poziom: Btg

Głębokość: 80-90 cm

Numer szlifu: 16

Orientacja szlifu: pionowa

Rozmiar: 5x7,5 cm

Grubość: 30 µm

Mikrostruktura i porowatość	Masa podstawowa (groundmass)			Materia organiczna	Cechy pedogenetyczne
	Szkielet	Materiał gruby	Materiał drobny		
<p><b>Mikrostruktura:</b> Kanalikowa, masywna</p> <p><b>Pory:</b> kanaliki</p>	Brak	<p><b>Mineralny:</b> Angularne i subangularne ziarna kwarcu, plagioklazów, blaszki mik o frakcji pyłu grubego, a bardzo rzadko piasku drobnego i bardzo drobnego; subangularne agregaty glaukonitu; cyrkon i minerały nieprzezroczyste</p> <p><b>Organiczny:</b> brak</p>	<p>Żółto-brązowy do pomarańczowego ił koloidalny zorientowany wokół porów (<i>porostriated b-fabric</i>), a miejscami wokół ziaren (<i>granostriated b-fabric</i>)</p>	Brak	<p>Mikrolaminowane wypełnienia ilaste i ilasto-próchniczne, nacieki ilaste i ilasto-próchniczne (mniej niż w poziomie Btx);</p> <p>Strefy i plamy zubożenia w ił koloidalny (<i>clay depletion zones</i>);</p> <p>Drobne, typowe nodule żelaziste powstałe <i>in situ</i> (<i>orthic nodules</i>) i nodule intruzyjne (<i>disorthic nodules</i>)</p>

Profil: Łazy 2

Poziom: Btx1

Głębokość: 55-65 cm

Numer szlifu: 17

Orientacja szlifu: pionowa

Rozmiar: 5x7,5 cm

Grubość: 30 µm

Mikrostruktura i porowatość	Masa podstawowa (groundmass)			Materia organiczna	Cechy pedogenetyczne
	Szkielet	Materiał gruby	Materiał drobny		
<p><b>Mikrostruktura:</b> Kanalikowa, masywna i komorowa;</p> <p><b>Pory:</b> Kanaliki i komory</p>	Brak	<p><b>Mineralny:</b> Angularne i subangularne ziarna kwarcu, plagioklazów, blaszki mik o frakcji pyłu grubego; subangularne agregaty glaukonitu; cyrkon i minerały nieprzezroczyste</p> <p><b>Organiczny:</b> brak</p>	<p>Żółto-brązowy do żółtego il koloidalny zorientowany wokół porów (<i>porostriated b-fabric</i>) a lokalnie wokół ziaren (<i>granostriated b-fabric</i>)</p>	Brak	<p>Mikrolaminowane wypełnienia ilaste i ilasto-próchniczne o wyraźnej orientacji domen ilastych, nacieki ilaste;</p> <p>Strefy zubożenia w il koloidalny (<i>clay depletion zones</i>);</p> <p>Konkrecje żelaziste</p>

Profil: Łazy 2

Poziom: Btx2

Głębokość: 65-75 cm

Numer szlifu: 18

Orientacja szlifu: pionowa

Rozmiar: 5x7,5 cm

Grubość: 30 µm

Mikrostruktura i porowatość	Masa podstawowa (groundmass)			Materia organiczna	Cechy pedogenetyczne
	Szkielet	Materiał gruby	Materiał drobny		
<p><b>Mikrostruktura:</b> Kanalikowa, masywna i komorowa;</p> <p><b>Pory:</b> Kanaliki i komory o średnicy do 2mm</p>	Brak	<p><b>Mineralny:</b> Angularne i subangularne ziarna kwarcu, plagioklazów, blaszki mik o frakcji pyłu grubego i rzadziej piasku bardzo drobnego; subangularne agregaty glaukonitu; cyrkon i minerały nieprzezroczyste</p> <p><b>Organiczny:</b> brak</p>	<p>Żółto-pomarańczowy do żółtego ił koloidalny zorientowany wokół porów (<i>porostriated b-fabric</i>)</p>	Brak	<p>Wyściółki ilaste i ilasto-próchniczne, mikrolaminowane wypełnienia ilaste i ilasto-próchniczne, mniej nacieków w porównaniu z Btx1;</p> <p>Typowe nodule żelaziste powstałe <i>in situ</i> (<i>orthic nodules</i>)</p>

Profil: Łazy 2

Poziom: BC

Głębokość: 120-130 cm

Numer szlifu: 19

Orientacja szlifu: pozioma

Rozmiar: 5x 7,5 cm

Grubość: 30 µm

Mikrostruktura i porowatość	Masa podstawowa (groundmass)			Materia organiczna	Cechy pedogenetyczne
	Szkielet	Materiał gruby	Materiał drobny		
<p><b>Mikrostruktura:</b> Kanalikowa, masywna i komorowa</p> <p><b>Pory:</b> Kanaliki i komory, sporadyczne szczeliny</p>	Brak	<p><b>Mineralny:</b> Subangularne i angularne ziarna kwarcu, plagioklazów, skaleni potasowych, blaszki mik, pojedyncze okruchy łupków o frakcji pyłu grubego i piasku bardzo drobnego; subangularne agregatu glaukonitu; cyrkon i minerały nieprzezroczyste</p> <p><b>Organiczny:</b> brak</p>	<p>Brązowy do żółtego ił koloidalny zorientowany wokół porów (<i>porostriated b-fabric</i>), wokół ziaren (<i>granostriated b-fabric</i>) oraz plamisty (<i>speckled b-fabric</i>)</p>	Brak	<p>Nacieki ilaste, wypełnienia ilaste, mikrolaminowane nacieki ilasto-próchniczne;</p> <p>Strefy zubożenia i wzbogacenia w ił koloidalny (<i>depletion i impregnative pedofeatures</i>);</p> <p>Pojedyncze, drobne nodule żelaziste</p>

Profil: **Witoszyńce**

Poziom: **Btx1**

Głębokość: **55-65 cm**

Numer szlif: 20

Orientacja szlif: pionowa

Rozmiar: 5x7,5 cm

Grubość: 30 µm

Mikrostruktura i porowatość	Masa podstawowa (groundmass)			Materia organiczna	Cechy pedogenetyczne
	Szkielet	Materiał gruby	Materiał drobny		
<p><b>Mikrostruktura:</b>                      Angularna (nieliczne agregaty subangularne);                      kanalikowa</p> <p>Agregaty silnie i średnio oddzielone od siebie (<i>moderately separated</i>), częściowo dopasowane</p> <p><b>Pory:</b>                      Liczne szczeliny i kanaliki o szerokości 100-250µm i długości około 1mm, miejscami <i>compound packing voids</i></p>	Brak	<p><b>Mineralny:</b>                      Subangularne i angularne ziarna kwarcu, plagioklazów, blaszki mik (sporo zwietrzałych) o frakcji pyłu grubego (obecne też ziarna o frakcji piasku drobnego i bardzo drobnego);                      subangularne agregaty glaukonitu; angularne okruchy łupków o frakcji pyłu; cyrkon i minerały nieprzezroczyste</p> <p><b>Organiczny:</b>                      brak</p>	<p>Żółty do pomarańczowego ił koloidalny zorientowany wokół porów (<i>porostriated b-fabric</i>) i wokół ziaren (<i>granostriated b-fabric</i>)</p>	<p>Pojedyncze fragmenty korzeni</p>	<p>Otoczki i wypełnienia ilaste, mikrolaminowane wypełnienia ilasto-organiczne, nacieki wzbogacone w związki żelaza (<i>ferrargillansy</i>), mostki ilaste, papule;</p> <p>strefy zubożenia w ił koloidalny i związki żelaza (<i>clay i iron depletion zones</i>);</p> <p>drobne skupienia żelaza i nodule żelaziste (<i>undifferentiated iron nodules</i>);</p> <p>niektóre pory wypełnione materiałem o frakcji pyłu</p>

Profil: **Witoszyńce**

Poziom: **Btx1**

Głębokość: **80-90 cm**

Numer szlifu: 21

Orientacja szlifu: pionowa

Rozmiar: 5x7,5 cm

Grubość: 30 µm

Mikrostruktura i porowatość	Masa podstawowa (groundmass)			Materia organiczna	Cechy pedogenetyczne
	Szkielet	Materiał gruby	Materiał drobny		
<p><b>Mikrostruktura:</b> Kanalikowa, masywna</p> <p><b>Pory:</b> Kanaliki przeważają, ale są też pionowe szczeliny</p>	Brak	<p><b>Mineralny:</b> Subangularne i angularne ziarna kwarcu, plagioklazów, blaszki mik, okruchy łupków o frakcji pyłu grubego, a zdecydowanie bardziej drobno- dziej piasku bardzo drobnego i drobnego; subangularne agregaty glaukonitu; cyrkon i minerały nieprzezroczyste</p> <p><b>Organiczny:</b> brak</p>	<p>Brazowy do żółtego ił koloidalny zorientowany wokół porów (<i>porostriated b-</i> <i>fabric</i>), a miejscami wokół ziaren (<i>granostriated</i> <i>b-fabric</i>), lokalnie plamisty (<i>speckled b-</i> <i>fabric</i>)</p>	Brak	<p>Mikrolaminowane wypełnienia ilasto- organiczne, nacieki ilaste, otoczki ilaste wzbogacone w związki żelaza (<i>ferrargillansy</i>);</p> <p>Typowe nodule żelaziste powstałe <i>in situ</i> (<i>orthic</i> <i>nodules</i>)</p>



## 9. Spis tabel

Tabela 1. Uziarnienie badanych gleb.....	33
Tabela 2. Odczyn, zawartość węgla organicznego oraz materii organicznej w badanych glebach.....	41
Tabela 3. Zawartość różnych form żelaza i glinu w wybranych profilach glebowych.....	46
Tabela 4. Właściwości fizyczne badanych gleb.....	51
Tabela 5. Pęcznienie swobodne w wybranych profilach glebowych.....	57
Tabela 6. Ilościowy skład mineralny w wybranych profilach glebowych.....	91
Tabela 7. Uziarnienie.....	115

## 10. Spis rycin i fotografii

Rycina 1. Lokalizacja odkrywek glebowych na tle występowania gleb płowych w Karpatach Polskich.....	13
Rycina 2. Budowa geologiczna Karpat Polskich wg Książkiewicz i in. 1965.....	19
Rycina 3. Osady czwartorzędowe w Karpatach Polskich i na ich przedpolu.....	20
Rycina 4. Szczegółowa lokalizacja badanych profili glebowych.....	26
Rycina 5. Skład granulometryczny badanych gleb.....	36
Rycina 6. Skład granulometryczny języków zaciekowych, rdzawych otoczek oraz pryzm glebowych z badanych poziomów <i>fragipan</i> .....	37
Rycina 7. Kurczenie i pękanie materiały w wyniku wysychania w wybranych poziomach <i>fragipan</i> .....	59
Rycina 8. Kurczenie i pękanie pryzmy glebowej w wyniku wysychania z poziomu Btx1 z profilu Mucharz.....	60
Rycina 9. Kurczenie i pękanie materiału w wyniku przesychnienia podczas cyklicznego zamrażania i rozmrażania z wybranych poziomów <i>fragipan</i> .....	62
Rycina 10. Mikrostruktura i porowatość w badanych glebach płowych.....	65
Rycina 11. Porowatość i mikrostruktura w badanych glebach płowych.....	66
Rycina 12. Skład mineralny i procesy wietrzenia w badanych glebach płowych.....	69
Rycina 13. Mikromasa glebowa i jej uporządkowanie w badanych glebach płowych.....	71
Rycina 14. Cechy pedogenetyczne w badanych poziomach <i>fragipan</i> .....	74
Rycina 15. Wypełnienia ilaste w badanych poziomach <i>fragipan</i> .....	75
Rycina 16. Koncentracje żelaza w badanych poziomach <i>fragipan</i> .....	77

Rycina 17. Mostek ilasty wysycony związkami żelaza, poziom Btx1, profil Pleśna 1 (krzyżyk oznacza miejsce wykonania analizy chemicznej).....	78
Rycina 18. Popękane wypełnienie ilaste wysycone związkami żelaza, poziom Btx, profil Brzezcie (krzyżyk oznacza miejsce wykonania analizy chemicznej).....	79
Rycina 19. Wietrzejąca blaszka muskowitu, poziom Btx, Brzezcie (krzyżyk oznacza miejsce wykonania analizy chemicznej).....	80
Rycina 20. Skład chemiczny otoczki ilastej w poziomie Btx1 w profilu Pleśna 3.....	81
Rycina 21. Skład chemiczny rozwarstwowanego nacieku ilastego w poziomie Btx1 w profilu Pleśna 3.....	82
Rycina 22. Skład chemiczny mostka ilastego w poziomie Btx1 w profilu Pleśna 3.....	83
Rycina 23. Skład chemiczny wietrzejącej blaszki muskowitu w poziomie Btx1 w profilu Pleśna 3.....	84
Rycina 24. Skład mineralny wybranych poziomów fragipan wraz ze wzorcem wewnętrznym (cynkitem).....	87
Rycina 25. Skład mineralny frakcji ilastej (<0,2µm) z poziomu <i>fragipan</i> w profilu Łazy 1.....	88
Rycina 26. Skład mineralny frakcji ilastej (<0,2µm) z poziomu argillic w profilu Polanka Hallera.....	88
Rycina 27. Skład mineralny frakcji ilastej (<0,2µm) z poziomu <i>fragipan</i> (Btx1) w profilu Pleśna 3.....	89
Rycina 28. Skład mineralny frakcji ilastej (<0,2µm) z poziomu <i>fragipan</i> (Btx2) w profilu Pleśna 3.....	89
Rycina 29. Porównanie dyfraktogramu frakcji ilastej z poziomu fragipan w profilu Łazy 1 (czarna linia) z dyfraktogramem modelowanym za pomocą programu Sybilla (szara linia); próbka orientowana, zarejestrowana w postaci powietrznie suchej i nasyconej Mg <sup>2+</sup> .....	90
Rycina 30. Ilościowy skład mineralny w profilu Pleśna 3.....	93
Rycina 31. Ilościowy skład mineralny w profilu Łazy 1.....	94
Rycina 32. Zawartość faz mineralnych w językach zaciekowych i pryzmach glebowych z poziomu <i>fragipan</i> , profil Gaik-Brzezowa.....	95
Rycina 33. Zawartość faz mineralnych w językach zaciekowych i pryzmach glebowych z poziomu <i>fragipan</i> , profil Łazy 1.....	95
Fotografia 1. Sieć spękań w kształcie poligonów. Poziom <i>fragipan</i> w Brzezcie.....	30

Fotografia 2. Język zaciekowy w poziomie <i>fragipan</i> w profilu Pleśna 3.....	31
Fotografia 3. Profil Pleśna 1.....	118
Fotografia 4. Profil Pleśna 2.....	119
Fotografia 5. Profil Pleśna 3.....	120
Fotografia 6. Profil Pleśna 4.....	121
Fotografia 7. Profil Pleśna 5.....	122
Fotografia 8. Profil Brzezie.....	123
Fotografia 9. Profil Gaik-Brzezowa.....	124
Fotografia 10. Profil Gronków.....	125
Fotografia 11. Profil Jedlicze.....	126
Fotografia 12. Profil Mucharz.....	127
Fotografia 13. Profil Łazy 1.....	128
Fotografia 14. Profil Łazy 2.....	129
Fotografia 15. Profil Witoszyńce.....	130
Fotografia 16. Profil Polanka Hallera.....	131