

## Mikromorfologiczne cechy pokryw glebowych obszaru o najwyższych opadach na świecie — Cherrapunji, Wyżyna Meghalaya, Indie

Anna Budek\*, Paweł Prokop\*



A. Budek

P. Prokop

**Micromorphological features of the soil covers in the area of the highest rainfall in the world — Cherrapunji, Meghalaya Hills, India.** *Prz. Geol.*, 53: 293–298.

*S u m m a r y.* The paper presents the results of micromorphological analyses concerning soil covers near Cherrapunji with mean annual rainfall of 12 000 mm. Two soil profiles representing typical land use: grass formation (Cherrapunji–1) and natural evergreen forest (Cherrapunji–2) have been chosen. Processes leading to formation of Dystric Cambisols predominate in both profiles. However they have different weathering features. Soil cover under grass has more weathered quartz and contains less feldspars compared to soil cover in the forest area. Soils are characterized also by a large volume of pores which is typical for the tropical humid areas. The rapid infiltration of large amounts of water protects forest soil from surficial erosion. In case of soils under grass vegetation, micropores are filled with fresh organic matter (fine roots and plants tissue). Since both profiles are located on similar substratum (Paleogene sandstones) and

under the same climatic conditions, it is assumed that the micromorphological differences are due to long-term (several centuries) differences in local land use.

**Key words:** micromorphology, soil cover, weathering, India

Właściwości pokryw zwietrzelinowych w wilgotnym klimacie tropikalnym zależą od składu mineralnego skały macierzystej oraz środowiska w jakim zachodziły procesy wymywania i akumulacji, uwarunkowane oddziaływaniem klimatu i możliwościami drenażu (Delvigne, 2001; Mulyanto & Stoops, 2003). Spośród czynników klimatycznych na ewolucję gleb w największym stopniu wpływa średni opad roczny, decydując pośrednio o rozwoju pokrywy roślinnej i bilansie wodnym (Bremer, 1992).

Analiza mikromorfologiczna znalazła zastosowanie w badaniach procesów glebowych i geomorfologicznych obszarów tropikalnych, gdzie często ilość pozyskanych danych jest ograniczona (Bremer, 2002). Metodę wykorzystuje się zarówno do oceny składu mineralnego, jego podatności na wietrzenie (Kubiniok, 1992; Schnutgen, 1992; Bremer, 2002), jak i stopnia mineralizacji materii organicznej i porowatości utworu (Sander, 2002). Na podstawie cech mikromorfologicznych można wnioskować o przebiegu procesu glebotwórczego (Hseu i in., 2001) oraz stopniu degradacji przez różne czynniki pokrywy glebowej (Bajracharya & Lal, 1999).

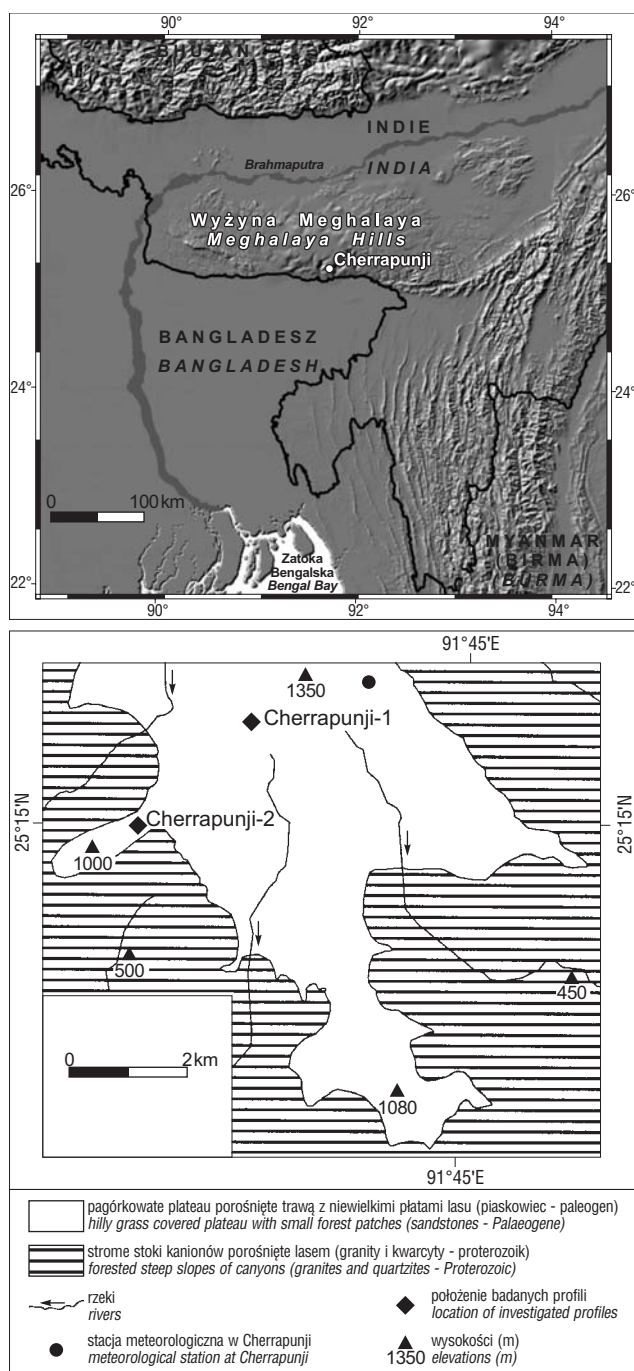
Metoda mikromorfologiczna, w badaniach prowadzonych na obszarze Indii i Bangladeszu, była sporadycznie wykorzystywana, głównie dla określenia procesów glebotwórczych lub oceny stopnia wietrzenia w klimacie monsunowym (Laufenberg, 1992; Islam i in., 2002; Srivastava & Prakash, 2002; Pal i in., 2003). Na Wyżynie Meghalaya gleby i osady należą do najslabiej przebadanych elementów środowiska. Poza opisami budowy geologicznej na południowym skłonie w rejonie Cherrapunji (Johnson & Alam, 1991; Nag & Pal, 1993) oraz opracowaniami kartograficznymi map glebowych w przeglądowej skali 1 : 250 000 (*Agriculture and Soil...*, 1987), brak jest studiów nad pokrywami glebowymi w obszarze o rekordowo wysokich opadach.

Celem artykułu jest określenie wpływu ekstremalnie wysokich opadów o sezonowym rozkładzie na proces pedogenezy i degradację pokryw glebowych w klimacie monsunowym.

### Obszar badań

Wyżyna Meghalaya (meghalaya — w sanskrycie „krajina chmur”) położona w północno-wschodnich Indiach (ryc. 1) jest asymetrycznym zrębem tektonicznym, stanowiącym część dawnego łańdzu Gondwana, który od czasów miocenu został podniesiony w centralnej części do wysokości prawie 2000 m n.p.m. (*Geological Survey...*, 1974). Trzon wyżyny jest zbudowany ze skał krystalicznych wieku prekambryjskiego (Mazumdar, 1986). Południowy skłon przykrywają kredowo-paleogeńskie, kilkusetmetrowej miąższości osady piaskowców, mułowców z wkładkami węgla oraz wapieni facji litoralnej (Nag i in., 2001). Zalegają one poziomo lub formują łagodną monoklinę o nachyleniu 2–5°. Południowa krawędź wyżyny stanowi pierwszą orograficzną barierę dla południowo-zachodniego monsunu niosącego wilgotne masy powietrza z Zatoki Bengalskiej. Intensywne procesy denudacyjne w warunkach tektonicznego podnoszenia i wysokich opadów, spowodowały rozcięcie krawędzi głębokimi na 1000 m kanionami na izolowane płaty o powierzchni kilkudziesięciu kilometrów kwadratowych. Na jednym z płatów o pagórkowatej rzeźbie, na wysokości 1200–1400 m n.p.m., jest położone niewielkie miasto Cherrapunji. Średnia roczna temperatura powietrza w tych wysokościach osiąga 17,3°C. Średnie miesięczne temperatury w lecie są wyrównane i zbliżone do średniej rocznej, a średnie maksymalne dochodzą do 22°C (ryc. 2). Wyraźnie najchłodniejszym miesiącem jest styczeń ze średnią temperaturą 11,7°C. Opady wahają się od 7000–24 000 mm (średnio rocznie 12 000 mm), z czego 70% przypada na okres monsunowy od czerwca do października. Miesiące zimowe (grudzień–luty) są suche z sumą opadów nie przekraczającą 100 mm. Od 1860 r. Cherrapunji ma światowy rekord najwyższych opadów za okres od 31 dni do 2 lat (*World Meteorological Organisation*, 1984).

\*Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania, Polska Akademia Nauk, ul. św. Jana 22, 31–018 Kraków; budek@zg.pan.krakow.pl; pawel@zg.pan.krakow.pl



Ryc. 1. Położenie Wyżyny Meghalaya i Cherrapunji  
Fig. 1. Location of Meghalaya Hills and Cherrapunji

Obszar płata wyżynnego okolic Cherrapunji o powierzchni 71 km<sup>2</sup> jest przykładem dwóch kontrastujących typów pokrycia terenu. Zbiorowiska traw porastające zdegradowane gleby zajmują ponad 80% powierzchni. Degradacja pokryw glebowych jest wynikiem współdziałania czynników antropogenicznych — wylesiania na potrzeby rolnictwa i przemysłu, w warunkach wzrastającej presji ludnościowej oraz czynników naturalnych — najwyższych na świecie opadów (Prokop, 2004). Subtropikalne wiecznie zielone lasy, które w przeszłości porastały całą wyżynę (Bor, 1942), występują w postaci niewielkich, kilkudziesięciohektarowych płatów.

### Metody badań

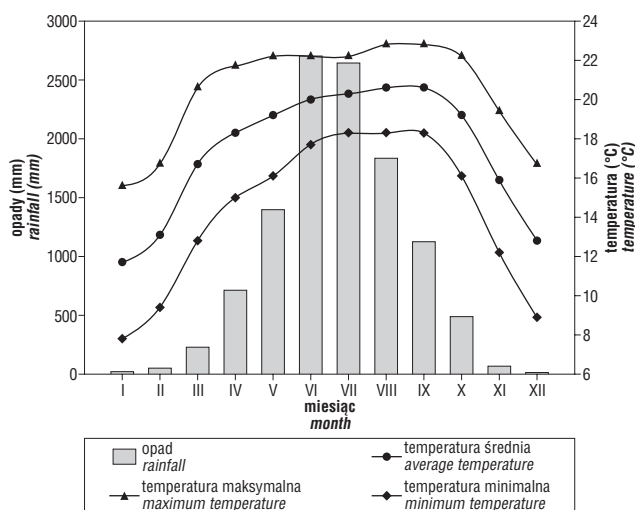
Podczas prac terenowych w 2002 r., pobrano próbki materiału glebowego do standardowych analiz fizykochemicznych oraz próbki o nienaruszonej strukturze do badań mikromorfologicznych. Próbkę pobrano z pokryw glebowych, wykształconych na piaskowcach wieku paleogeńskiego. Profil Cherrapunji-1 (ryc. 3, 4) znajdował się na wysokości 1300 m n.p.m., na wierzchołku o zdegradowanych glebach porośniętych trawą. Profil Cherrapunji-2 (ryc. 3, 5) na wysokości 1000 m n.p.m. również obejmował fragment wierzchołku szerokiego grzbieta porośniętego naturalnym, wiecznie zielonym, subtropikalnym lasem liściastym. Wybrane stanowiska profili reprezentują typowe dla wilgotnych obszarów tropikalnych przykłady pokryw zdegradowanych przez człowieka, porośnięte zbiorowiskami traw oraz pokrywy naturalne, rozwinięte pod subtropikalnym, wiecznie zielonym lasem. Analiza historycznych map i dokumentów wykazała, że co najmniej w ostatnich 100 latach nie wystąpiły zmiany użytkowania ziemi na badanych obszarze.

Analizę składu granulometrycznego gleb wykonano metodą areometryczną Cassagrande w modyfikacji Prószyńskiego oraz metodą sitową (Polski Komitet Normalizacyjny, 1998a, 1998b). Odczyn gleby określono metodą

Tab. 1. Wybrane właściwości fizykochemiczne gleb wytworzonych na paleogeńskim piaskowcu

Tab. 1. Selected physico-chemical soil properties developed on Paleogene sandstone

Profil Profile	Poziom glebowy Soil horizon	Głębokość Depth (cm)	Szkielet Skeleton >2,0 (mm)	Piasek Sand 2,0–0,05 (mm)	Pył Silt 0,05–0,002 (mm)	Il Clay <0,002 (mm)	Grupa granulometryczna Texture class	Barwa w skali Munsella Colour in Munsell scale	pH	Materia organiczna Organic matter (%)
			(%)							
Cherrapunji-1	ABbr	0–15	65,3	77,5	18,1	4,3	piasek gliniasty loamy sand	2.5Y3/2	4,5	3,6
	A/Bbr	16–20	3,5	52,0	38,9	9,1	glina piaszczysta sandy loam	10YR5/6	5,3	2,1
	Bbr/C	21–30	6,0	36,2	41,9	21,9	glina loam	10YR5/8	5,4	–
Cherrapunji-2	ABbr	0–15	1,6	55,3	24,9	19,9	glina piaszczysta sandy loam	10YR4/6	4,3	5,3



Ryc. 2. Średnie miesięczne opady (mm) i temperatury (°C) w Cherrapunji (1901–2000)

Fig. 2. Mean monthly rainfall (mm) and temperature (°C) at Cherrapunji (1901–2000)

potencjometryczną, a zawartość węgla organicznego oznaczono metodą Tiurina w modyfikacji Oleksynowej.

Próbki do analizy mikromorfologicznej po wysuszeniu zostały nasączone żywicą epoksydową, a następnie wykonano szlify o grubości 25  $\mu\text{m}$  (FitzPatrick, 1990). Szczegółowy opis szlifów wykonano na podstawie klucza do

oznaczenia cech mikromorfologicznych (Bullock i in., 1985; Stoops, 2003).

### Fizykochemiczne właściwości pokrywy glebowych

Na badanym obszarze dominują gleby brunatne kwaśne — Dystric Cambisol (FAO, 1998) — Dystrochrept (*Soil Survey...*, 1998). Charakteryzują się one stosunkowo płytkim profilem glebowym do głębokości ok. 30–50 cm. Dominuje uziarnienie piasków gliniastych i glin piaszczystych z dużą zawartością frakcji szkieletowej (tab. 1). Niski odczyn pH, ok. 5, jest związany ze skałą macierzystą — gruboziarnistym piaskowcem, jak również okresowo przemysłowym typem gospodarki wodnej w glebie. Rdzawo-brunatna barwa gleby jest wynikiem silnego wietrzenia piaskowca i wytrącania się tlenków żelaza. Zawartość materii organicznej waha się od 2% na terenach zdegradowanych zbiorowisk trawiastych do ponad 5% w lesie subtropikalnym. Poziomy powierzchniowe obydwu profili mają bardzo dużą ilość widocznych makroskopowo korzeni roślin.

### Mikromorfologiczne cechy pokrywy glebowych

W poziomie brunatnienia (do głębokości 20 cm) zdegradowanych gleb Cherrapunji–1, pod roślinnością trawiastą, we frakcji grubej dominuje kwarc. Jego ostrokrawędziste ziarna mają splekane powierzchnie, na

Tab.2. Mikromorfologiczne cechy poziomów glebowych (głębokość 0–15 cm) profili Cherrapunji–1 i Cherrapunji–2  
Table 2. Micromorphological features of the soil horizons (0–15 cm depth) profiles Cherrapunji–1 and Cherrapunji–2

Profil Profile	Poziom glebowy Soil horizon	Mikrostruktura Microstructure	Wolne przestrzenie Voids	Składniki mineralne Mineral components		Pedocechy Pedofeatures	
				grube coarse	drobne fine	Mikrokonkrecje i wypełnienia Nodules and infillings	Struktury biogeniczne Biopedofeatures
Cherrapunji –1	ABbr	masyw naporphyric	kanaliki channels	fragmenty piaskowca silnie zwietrzałe, ziarna kwarcu ostrokrawędziste o splekanych powierzchniach, muskowit, pojedyncze skalenie <i>altered sandstone, rough quartz grains, muscovit, single feldspars</i>	minerały ilaste, tlenki żelaza, barwa brunatno-rdzawa <i>clay minerals, iron oxides, red-brown colour</i>	liczne wytrącenia tlenków żelaza <i>iron oxide infillings</i>	liczne, nierozłożone fragmenty korzeni, ściśle wypełniające wolne przestrzenie <i>many undecomposed root fragments filling voids</i>
Cherrapunji–2	ABbr	masywna, kanalikowa porphyric, channel	kanaliki, pory channels, voids	ziarna kwarcu ostrokrawędziste o słabo splekanych powierzchniach, muskowit, liczne skalenie <i>rough quartz grains, muscovit, many feldspars</i>	minerały ilaste, tlenki żelaza, barwa pomarańczowo-zółta <i>clay minerals, iron oxides, orange-yellow colour</i>	mikrokonkrecje żelaziste typowe <i>typic iron nodules</i>	nierozłożone fragmenty roślin, wypełniające częściowo wolne przestrzenie, biogeniczne kanaliki wtórnie wypełnione materiałem mineralnym <i>undecomposed root fragments partly filling voids, biogenic channels filled with secondary mineral material</i>



**Ryc. 4.** Profil Cherrapunji-1 w obszarze zbiorowisk trawiastych  
**Fig. 4.** Cherrapunji-1 profile in the grassland area

**Ryc. 5.** Profil Cherrapunji-2 w wiecznie zielonym podzwrotnikowym lesie  
**Fig. 5.** Cherrapunji-2 profile in the subtropical evergreen forest

**Ryc. 6.** Poziom glebowy profilu Cherrapunji-1 (0–15 cm); PLL — światło przechodzące, XPL — światło spolaryzowane; K — kwarc, P — fragmenty piaskowca, R — fragmenty korzeni

**Fig. 6.** Soil horizon of Cherrapunji-1 profile (0–15 cm); PLL — plain transmitted light, XPL — cross polarizing light; K — quartz grains, P — sandstone fragments, R — root fragments

**Ryc. 7.** Nierozłożone fragmenty korzeni roślin wypełniające wolne przestrzenie w poziomie glebowym profilu Cherrapunji-1 (16–20 cm); PLL — światło przechodzące, XPL — światło spolaryzowane; P — fragmenty piaskowca, R — fragmenty korzeni

**Fig. 7.** Undecomposed root fragments filling voids in soil horizon of Cherrapunji-1 profile (16–20 cm); PLL — plain transmitted light, XPL — cross polarizing light, P — sandstone fragments, R — root fragments

**Ryc. 8.** Wtórnie wyspany grubszy materiał mineralny w profilu glebowym Cherrapunji-2 (0–15); PLL — światło przechodzące, XPL — światło spolaryzowane; V — kanalik, W — grubszy materiał mineralny

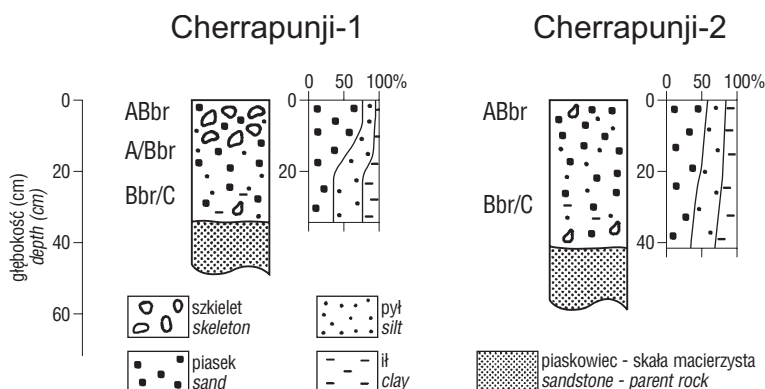
**Fig. 8.** Channel filled with secondary coarse mineral material of Cherrapunji-2 profile (0–15 cm); PLL — plain transmitted light, XPL — cross polarizing light; V — channel, W — coarse mineral material

których wytworzyły się rdzawe wytrącenia tlenków żelaza w postaci żyłek (*runiquartz* — Bremmer, 2002). Widoczne są duże fragmenty piaskowców o lepszemu żelazistym (tab. 2, ryc. 6). We fragmentach piaskowca, oprócz różnej wielkości kryształów kwarcu występują pojedyncze, niewielkie kryształy muskowitu. W masie podstawowej, pomiędzy większymi fragmentami piaskowców znajdują się różnej wielkości ziarna kwarcu nie wykazujące segregacji. Takie ułożenie części mineralnych daje mikrostrukturę masywną (*porphyric* — Stoops & Jongerius, 1975; Stoops, 2003). Wielkość poszczególnych minerałów zmniejsza się wraz z głębokością profilu glebowego. Materiał drobnoziarnisty występujący pomiędzy kryształami kwarcu ma barwę brunatną. Występująca foremnowielociennie-ostrokrzewdzista struktura agregatów świadczy, że poziom ten był narażony na częste namakanie i wysychanie w czasie procesów pedogenezy (FitzPatrick, 1990). Duża wilgotność powietrza w okresie wysokich opadów sprzyjała wytrącaniu się tlenków żelaza, najczęściej w szczelinach fragmentów piaskowców. Materia organiczna w postaci korzeni roślin, które nie uległy dekompozycji, wypełnia niemal wszystkie wolne przestrzenie (ryc. 7). Jest to cecha charakterystyczna zdegradowanych pokryw glebowych okolic Cherrapunji. Biomasa w glebie jest ponad dwukrotnie większa niż nad powierzchnią, odwrotnie niż w innych obszarach tropikalnych (Ram & Ramakrishnan, 1988). Większa powierzchnia korzeni pod powierzchnią ziemi ma za zadanie zmaksymalizować

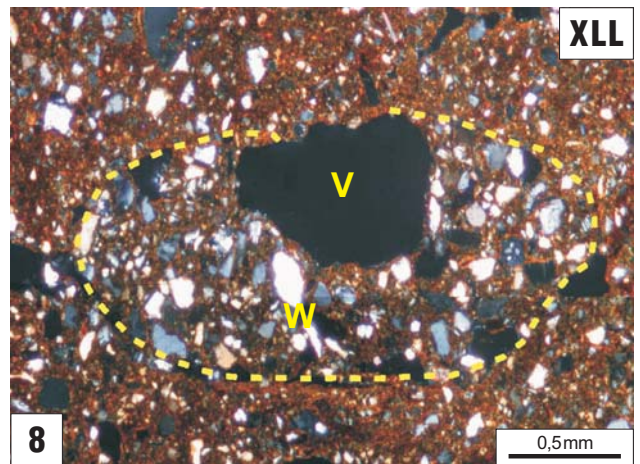
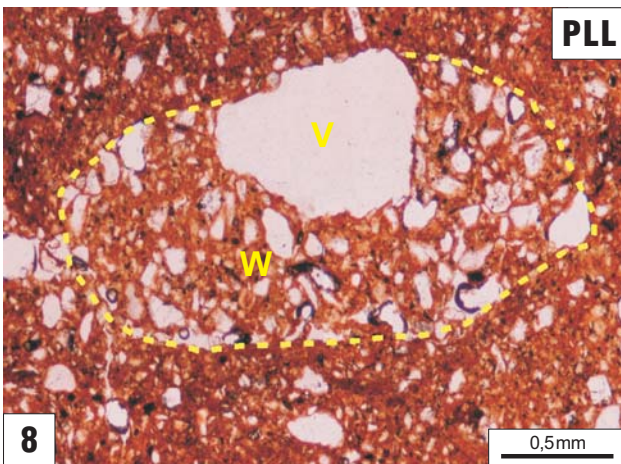
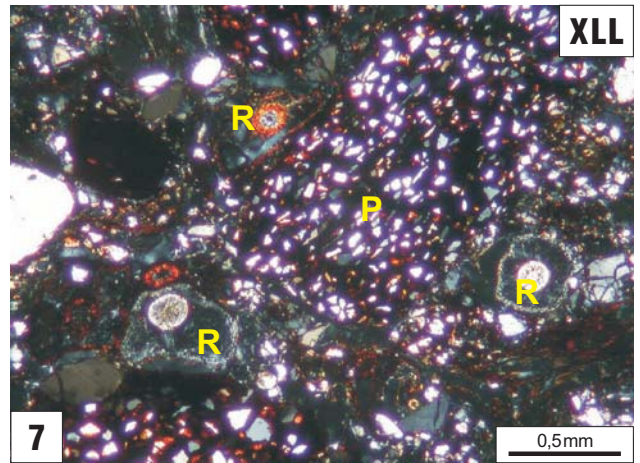
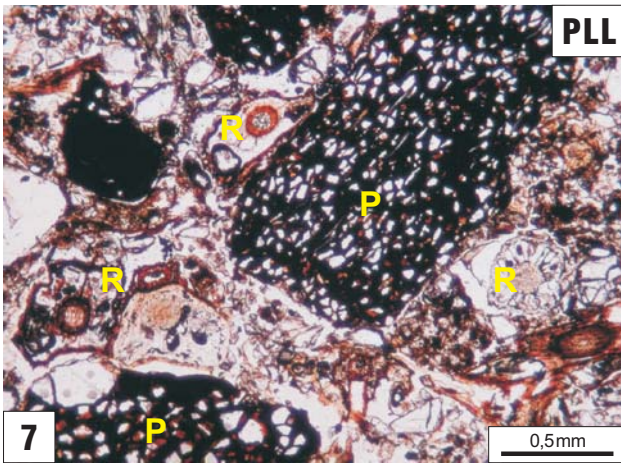
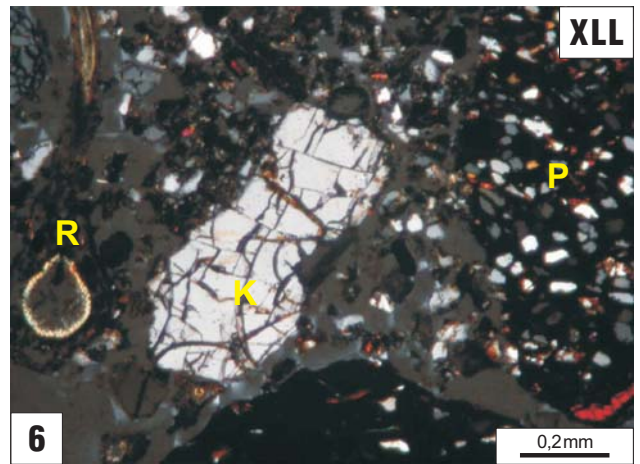
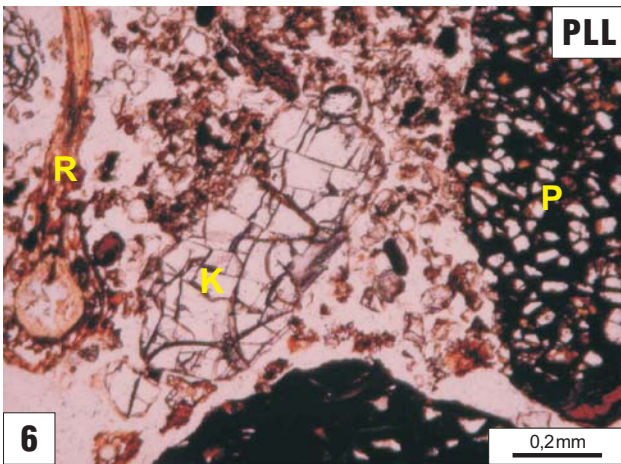
pozyskanie składników odżywczych w ubogim środowisku (Nye & Tinker, 1977). Ułatwia to roślinom przeżycie w czasie zimowego okresu suchego, gdyż zdolność retencyjna pokryw glebowych z brukiem na powierzchni jest bardzo mała.

Poziom niższy 21–30 cm ma podobny skład mineralny, jednak mniejsza jest ilość fragmentów piaskowca. Nadal dominują ostrokrzewdziste kryształy kwarcu o silnie spękanych powierzchniach. Materiał drobnoziarnisty jest barwy pomarańczowo-rdzawej, niekiedy ciemnobrunatnej. W całej masie podstawowej frakcja najdrobniejsza, ilasta jest bardzo słabo uporządkowana i nie wykazuje przemieszczania łu koloidalnego w głąb profilu, co świadczy o przewadze procesu brunatnienia. Występują również wytrącenia tlenków żelaza w postaci mikrokonkrekcji o regularnym kształcie. Wolne przestrzenie mają nieregularny kształt i w większości występują w nich świeże, nierozłożone fragmenty roślin.

W profilu Cherrapunji-2 gleby pod lasem tropikalnym, również występuje mikrostruktura masywna. Ziarna minerałów, położone względem siebie w niewielkich odległościach, są „zatopione” w masie podstawowej o barwie pomarańczowo-żółtej. W składzie mineralnym dominuje ostrokrzewdzisty kwarc, nie ma on jednak spękanych powierzchni jak we wcześniej opisanym profilu. Cechą odróżniającą jest także brak dużych fragmentów piaskowca oraz mniejsza ilość muskowitu. Znacznie większa jest natomiast ilość skaleni. Drobny materiał ilasty stanowiący



**Ryc. 3.** Schemat profili glebowych  
**Fig. 3.** Soil profiles sectio



masę podstawową jest mało uporządkowany. Masa podstawowa zawiera mikrokonkrecje żelaziste (*typic iron nodules*) o regularnych, okrągłych kształtach. Wolne przestrzenie występują w dużej ilości. W porach widoczne są fragmenty nierozłożonej materii organicznej, przeważnie fragmentów korzeni i łodyg, nie wypełniają one jednak wszystkich wolnych przestrzeni w glebie. W obrębie kanałków o zaokrąglonym kształcie, świadczącym o ich biogenicznym pochodzeniu, występuje materiał grubszy od otaczającego, który został wtórnie wyspany (ryc. 8).

### Wnioski

Proces glebotwórczy pod okrywą zbiorowisk traw i w naturalnym, subtropikalnym lesie w warunkach ekstremalnie wysokich opadów przebiega podobnie. Analiza geomorfologiczna wskazuje w obydwu profilach na dominację procesu brunatnienia, związanego ze skałą macierzystą – silnie zwiertzałym piaskowcem w warunkach dużego, okresowego uwilgotnienia. Na proces brunatnienia nakładają się procesy diagenetyczne, polegające na wytrącaniu tlenków żelaza. Badane pokrywy wykazują jednak wyraźne różnice zarówno w morfologii samych profili, jak i cechach mikroskopowych. Pod roślinnością trawiastą w poziomie powierzchniowym Cherrapunji–1, zawartość frakcji szkieletowej osiąga 65%. Brak zwartej pokrywy roślinnej w warunkach wysokich opadów powoduje nasilenie erozji i w rezultacie usuwanie drobniejszych cząstek gleby. W profilu tym zaznaczają się silniejsze procesy wietrzenia, o czym świadczą ostrokrawędziste ziarna kwarcu o zniszczonych powierzchniach oraz mniejsza ilość skaleni w porównaniu z profilem Cherrapunji–2.

Podobnie jak inne gleby tropikalne, badane pokrywy glebowe cechuje duża objętość porów (Sander, 2002). Stopień ich wypełnienia decyduje o możliwościach drenażu wody opadowej. Poziom powierzchniowy profilu gleby pod trawami wykazuje niemal całkowite wypełnienie porów nierozłożoną materią organiczną. Sprzyja to formowaniu się nienasyconego splywu powierzchniowego w przypadku opadów nawet o niewielkiej intensywności. W poziomie powierzchniowym pod lasem, pory wypełnione są w mniejszym stopniu materią organiczną, a także częściami mineralnymi, co ułatwia infiltrację wody w głąb profilu.

### Literatura

**Agriculture and Soil Division, Indian Institute of Remote Sensing (IIRS)** 1987 — Report on soil and land use survey of Meghalaya. Department of Space, Government of India.  
 BAJRACHARYA R.M. & LAL R. 1999 — Land use effects on soil crusting and hydraulic response of surface crusts on a tropical Alfisol. *Hydrological Processes*, 13: 59–72.  
 BOR N.L. 1942 — Relict vegetation of Shillong Plateau–Assam. *Indian Forest Records*, 3: 152–195.  
 BREMER H. 1992 — Relief and soil in the Tropics — a data base. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F., Supplementband*, 91: 1–10.  
 BREMER H. 2002 — Tropical weathering, landforms and geomorphological processes: Field work and laboratory analysis. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 46: 273–291.  
 BULLOCK P., FEDOROFF N., JONGERIUS A., STOOPS G. & TURSINA T. 1985 — Handbook for Soil Thin Section Description. Wane Research Publications, Wolverhampton.

DELVIGNE J.E. 2001 — Atlas of micromorphology of mineral alteration and weathering. The Canadian Mineralogist Special Publication, 3, Ottawa, Canada.  
 FAO 1998 — World reference base for soil resources. 84 World soil resources report, Rome.  
 FITZPATRICK E.A. 1990 — Soil Microscopy and Micromorphology. Wiley, London.  
**Geological Survey of India** 1974 — Geology and mineral resources of the states of India, part IV, Meghalaya. *Geol. Surv. India, Miscellaneous Publications*, 30: 69–90.  
 HSEU Z.Y., CHEN Z.S., TSAI C.C. & TSUI C.C. 2001 — Using micromorphology to interpret the genesis of tropical forest soils in the Nanjenshan area of Taiwan. *Taiwan J. Forest Sci.*, 16: 25–38.  
 ISLAM M.R., STUART R., RISTO A. & VESA P. 2002 — Mineralogical changes during intensive chemical weathering of sedimentary rocks in Bangladesh. *J. Earth Sci.*, 20: 889–901.  
 JOHNSON S.Y. & ALAM N.A.M. 1991 — Sedimentation and tectonics of Sylhet trough, Bangladesh. *Geol. Soci. Amer. Bull.*, 103: 1513–1527.  
 KUBINIOK J. 1992 — Soils and weathering as indicators of landform development in the mountains and basins of Northern Thailand. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F., Supplementband*, 91: 67–78.  
 LAUFENBERG M. 1992 — The different types of weathering of tropical soils in relation to source–rock material — examples from southern and western India. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F., Supplementband*, 91: 23–27.  
 MAZUMDAR S.K. 1986 — The Precambrian framework of part of the Khasi Hills, Meghalaya. *Records of the Geological Survey of India*, 117: 1–59.  
 MULYANTO B. & STOOPS G. 2003 — Mineral neof ormation in pore spaces during alteration and weathering of andesitic rocks in humid tropical Indonesia. *Catena*, 54, 385–391.  
 NAG S. & PAL T. 1993 — Specialised thematic mapping for structural study of the tertiary belt of Meghalaya along road sections. *Geol. Surv. India*, 128: 13–15.  
 NAG S., GAUR R.K. & PAL T. 2001 — Late Cretaceous–Tertiary Sediments and Associated Faults in Southern Meghalaya Plateau of India vis-a-vis South Tibet: Their Interrelationships and Regional Implications. *J. Geol. Soc. India*, 57: 327–338.  
 NYE P. H. & TINKER P. B. 1977 — Solute movement in the soil–root system. Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK.  
 PAL D.K., SRIVASTAVA P., DURGE S.L. & BHATTACHARYA T. 2003 — Role of microtopography in the formation of sodic soils in the semi-arid part of the Indo-Gangetic plains, India. *Catena*, 51: 3–31.  
**Polski Komitet Normalizacyjny** 1998a — PN–R–04032 Gleby i utwory mineralne. Pobieranie próbek i oznaczanie składu granulometrycznego. Warszawa.  
**Polski Komitet Normalizacyjny** 1998b — PN–R–04033 Gleby i utwory mineralne. Podział na frakcje i grupy granulometryczne. Warszawa.  
 PROKOP P. 2004 — Vegetation and land use. [W:] Starkel L., Singh S. (red.) — Rainfall, runoff and soil erosion in the globally extreme humid area, Cherrapunji region, India. *Pr. Geogr.*, 191: 33–36.  
 RAM S.C. & RAMAKRISHNAN P.S. 1988 — Litter production and decomposition patterns in seral grasslands at Cherrapunji in north–eastern India. *Pedobiologia*, 32: 65–76.  
 SANDER H. 2002 — The porosity of tropical soils and implications for geomorphological and pedogenetic processes and the movement of solutions within weathering cover. *Catena*, 49: 129–137.  
 SCHNUTGEN A. 1992 — Spheroidal weathering, granular disintegration and loamification of compact rock under different climatic conditions. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F., Supplementband*, 91: 79–94.  
**Soil Survey Staff** 1998 — Taxonomy Keys. United States Department of Agriculture, Washington D.C.  
 SRIVASTAVA P. & PARKASH B. 2002 — Polygenetic Soils of the North Central part of the Gangetic plains: A Micromorphological approach. *Catena*, 46: 243–259.  
 STOOPS G. 2003 — Guidelines for analysis and description of soil and regolith thin section. Soil Science Society of America, INC, Madison Wisconsin.  
 STOOPS G. & JONGERIUS A. 1975 — Proposal for a micromorphological classification of soil materials. I. A classification of the related distributions of fine and coarse particles. *Geoderma*, 13: 189–199.  
**World Meteorological Organisation** 1995 — Guide to Hydrological Practices. 5th edn., 168, Geneva, Switzerland.