

Stowarzyszenie Geomorfologów Polskich
WARSZTATY GEOMORFOLOGICZNE INDIE 2006

**PRZEMIANY ŚRODOWISKA, ROZWÓJ RZEŻBY I EKSTREMALNE ZDARZENIA
GEOMORFOLOGICZNE W HIMALAJACH I NA WYŻYNIE MEGHALAYA**

**Przewodnik warsztatów na obszarze Dardżylińskich Himalajów, przedpola
Sikkimsko-Bhutańskich Himalajów i Wyżyny Meghalaya (rejon Cherrapunji)**

12-26 listopada 2006

opracowanie
Leszek Starkel, Paweł Prokop

Instytut Geografii i PZ PAN
Zakład Geomorfologii i Hydrologii Gór i Wyżyn

Warsztaty zrealizowano przy współpracy kolegów z North Bengal University (prof. Subir Sarkar) i North-Eastern Hill University w Shillongu (prof. Surendra Singh i dr Hiambok J. Syiemlieh) oraz wsparciu programu wymiany PAN-INSA

Kraków 2006

Program warsztatów

12.11. Warszawa – Monachium – Delhi

Przylot do Delhi 7.45, przejazd do INSA Guest House, po południu zwiedzanie Delhi. Nocleg w INSA Guest House.

13.11. Delhi – Bagdogra – North Bengal University (NBU) w Siliguri

Godz. 8.00 wyjazd na lotnisko, przelot Delhi 10.25 - Bagdogra 12.15, przejazd do North Bengal University (NBU) w Siliguri, godz. 15.00-17.30 seminarium "Geomorphology of Mountain Areas". Nocleg w NBU Guest House.

14.11. NBU – Tindharia – Kurseong – Ambootia – Sonada – Dardżyling

Przejazd autami z NBU do Darjdzylingu, rzeźba brzegu młodych gór, osuwiska, w tym osuwisko Ambootia, zwiedzanie plantacji herbaty. Nocleg w Tourist Lodge w Dardżylingu.

15.11. Dardżyling – Ging i okolice

Osuwiska i stacja badawcza w Ging, zwiedzanie Himalaya Mountaneering Institute, ośrodka tybetańskiego Tibetan Refuge Centre i in.). Nocleg w Tourist Lodge w Dardżylingu

16.11. Dardżyling – Tista Bazar – Kalimpong – Kalijhora

Przejazd Darjeeling – Pashok – Tista Bazar – dolina Tisty (terasy, koryta). Nocleg w Kalijhora Guest House.

17.11. Kalijhora – Gish – Gorbathan – Jaldhapara

Przejazd wzdłuż Himalajów od wylotu doliny Tisty do doliny Torsy. Koryta rzek roztokowych, agradacja, młoda tektonika. Nocleg w Jaldhapara Tourist Lodge.

18.11. Jaldhapara – Kaljani – Phountsholing – Jalpaiguri – NBU

Osuwiska i agradacja u brzegu Bhutańskich Himalajów, w dorzeczu Pagli i Gabur Basra, powrót do NBU. Nocleg w NBU Guest House.

19.11. NBU – Balasan – Bagdogra – Gauhati – Shillong

Wylot rzeki Balasan z gór, przelot Bagdogra 12.50 – Gauhati 13.40, punkt widokowy na Brahmaputrę w Gauhati, przejazd do Shillongu. Nocleg w NEHU Guest House.

20.11. Shillong

Seminarium w North Eastern Hill University (NEHU) „Environmental Changes and Geomorphologic Hazards”. Nocleg w NEHU Guest House.

21.11. Shillong – Myllem – Cherrapunji – Laitkynsew

Granitowy batolit okolic Myllem, kaniony rzek na południowym skłonie wyżyny, odkrywkowe kopalnie węgla, profile gleb, wodospad Nohkalikai, zlewnia eksperymentalna Maw-ki Syiem w Cherrapunji. Nocleg w Laitkynsew Holiday Resort.

22.11. Laitkynsew – Cherrapunji – Shillong

Punkt widokowy na Bangladesz, zwiedzanie jaskini i wodospadów w Mawsmi, przejazd przez Cherrapunji, megality. Nocleg w NEHU Guest House w Shillongu.

23.11. Shillong – Gauhati – Delhi

Wyjazd w godzinach porannych z Shillongu, przelot Gauhati 15.40 – Delhi 18.25.
Nocleg w INSA Guest House

24.11. Delhi

Zwiedzanie Delhi, czas wolny. Nocleg w INSA Guest House

25.11. Delhi – Agra – Delhi

Wyjazd w godzinach porannych do Agry, zwiedzanie Taj Mahal, powrót w godzinach
nocnych. Nocleg w INSA Guest House

26.11. Delhi – Monachium – Warszawa

Przelot Delhi 9.55 – Monachium 14.00

Monachium 14.45 – Warszawa 16.20

Historia badań zespołu polskiego we wschodnich Indiach i współpracy z ośrodkami indyjskimi

W okresie XI.1968-III.1969 w ramach programu wymiany PAN-CSIR pierwsze badania prowadził L.Starkel, który opublikował skutki ekstremalnego opadu z października 1968 r. w Dardżylińskich Himalajach oraz scharakteryzował typ i natężenie erozji gleb w różnych regionach klimatu monsunowego Indii m.in. wizytując rejon Cherrapunji (publikacja w Geographia Polonica 1972).

W 1984 r. w ramach wymiany PAN-INSA L.Starkel i W.Froehlich rozpoczęli regularne badania półstacjonarne procesów geomorfologicznych oraz skutków ekstremalnych zjawisk koncentrując się m.in. na analizie opadów, obiegu wody, w glebie, tempie erozji i sedymentacji, a szczególnym obiektem obserwacji stało się osuwisko Ambootia. W badaniach czynny udział brali E.Gil, R.Soja, jak również w mniejszym zakresie I.Kasza, P.Prokop, T.Kalicki i in. Badania były realizowane przy dużej pomocy Darjeeling Planters Association i menedżerów plantacji, jak też współpracy z prof. S.B.Basu i dr. S.Sarkarem z North Bengal University, prowadzącymi równoległe badania innych osuwisk. Plonem naszych badań jak i współpracy jest ok. 20 publikacji i wydana przez INSA w roku 2000 monografia „Rains, landslides and floods in the Darjeeling Himalaya”. U schyłku 1990-tych badania zostały rozszerzone na obszar przedpola Himalajów na wschód od doliny Tisty na zagadnienia skutków ekstremalnych powodzi (artykuł L.Starkla, S.Sarkara Studia Geom. Carp-Balc. 2002).

W 1996 r. W.Froehlich, R.Soja i L.Starkel wizytowali rejon Cherrapunji i od 1998 r. rozpoczęła się bilateralna współpraca nad tematem: „Runoff and soil rosion in the globally extreme humid area in the Cherrapunji region (Meghalaya Plateau, India)” w ramach porozumienia KBN-Department of Science and Technology. Plonem pierwszego etapu badań jest monografia z 2004 r. „Rainfall, runoff and soil erosion in the globally extreme humid area, Cherrapunji region, India”.

Prace są obecnie kontynuowane m.in. poprzez granty indywidualne, prowadzona jest rejestracja automatyczna opadów atmosferycznych (R.Soja), zastosowano analizę zdjęć satelitarnych (P.Prokop), określono tempo denudacji stoków metodą ^{137}Cs (W.Froehlich), a ostatnio została ukończona rozprawa doktorska P.Prokopa pt. „Degradacja środowiska przyrodniczego południowego skłonu wyżyny Meghalaya (z zastosowanie GIS i metod teledetekcji)”.

A1. Dardżylińskie Himalaje 14-16.11.2006

Dardżylińskie Himalaje stanowią część brzeżną Sikkimskich Himalajów, kulminujących pasmem Kanchenjung (8580 m n.p.m.), odwadnianych przez Tistę oraz w części brzeżnej przez Balasan, Mahanandę i dopływy Tisty.

Budowa geologiczna (ryc.A1)

Dardżylińskie Himalaje budują w części centralnej prekambryjskie skały metamorficzne: gnejsy dardżylińskie (z łupkami mikowymi) podścielone formacją Daling (łupki metamorficzne) tworzące synklinorium nasunięte na permską formację Damuda (piaskowce i łupki). Główny uskok brzeżny - nasunięcie (MBF) oddziela je od wąskiej strefy plejstocentrycznych piaskowców, mułków i zlepieńców formacji Siwalików. W tej strefie oddzielonej nasunięciem czołowym Himalajów (HFTL) występują też wysoko podniesione terasy plejstocentryczne. Piaszczysto-pylasto-ilaste pokrywy zwietrzelinowe o znacznej pojemności wodnej (35-70%) na stokach gór mają miąższości 0.5-2 m, niekiedy do 4 m.

Rzeźba

Dardżylińskie Himalaje wznoszą się ostrą krawędzią z ok. 200 m do 1000-1800 m n.p.m. Wyższe grzbiety niekiedy monoklinalne sięgają 2500-3600 n.p.m. (Tiger Hill 2560 m). Doliny o stromych zboczach wcięte są do 1000-2000 m, wzdłuż nich stwierdzono fragmenty spłaszczeń o wysokości względnej 400-600 m i 150-250 m (u brzegu gór odpowiadają im terasy poziomów Gorbathan i Rangamati (z pokrywami otoczonych głazów) oraz niższe.

Klimat i opady ekstremalne

Średnie temperatury lata sięgają na nizinie 28°C, a w Dardżylingu (2100 m n.p.m.) do 16-17°C. Opad roczny waha się od 2000-3000 mm na Nizinie Bengalskiej do 4000-5000 mm na krawędzi gór i szybko spada w strefie cienia opadowego do poniżej 2000 mm (ryc.A2). Wahania opadu rocznego są znaczne (w Dardżylingu od 1900 do 3800 mm). Opady skoncentrowane są między majem a wrześniem. Powodzie i osuwiska w skali lokalnej wywołują opady ulewne rzędu 200-300 mm. W skali regionalnej największe zniszczenia wywołały 3 opady ciągłe: rzędu 600-700 mm - 24-25.09.1899, 900-1200 mm 11-13.07.1950 i 500-1100 mm - 2-5.10.1968.

Procesy kształtujące stoki

Wśród stoków przeważają stoki o nachyleniach 15-45°C, wypukłe lub prostolinijne, niekiedy schodowe, kontrolowane przez różnice w odporności (o długości 1-2 km). W przekrojach poprzecznych rzadko są płaskie, zwykle rozczłonkowane głębszymi wciosami, osuwiskami albo płytkimi obniżeniami spływów gruzowych lub błotnych. Te ostatnie powstały masowo w czasie opadu rozlewnego 2-5.10.1968, gdy u schyłku natężenie wzrosło i zarejestrowano opad 200 mm w ciągu 4 godzin. Przy infiltracji rzędu 100 mm w ciągu 5-30 min. nie obserwowano śladów spływu powierzchniowego, ale po przekroczeniu granicy upłynnienia gruntu i udziale sufozji doszło do powstania setek spływów błotno-gruzowych (ryc.A3). Na niektórych plantacjach herbaty degradacji uległa gleba na 20-30% powierzchni stoków. W lasach ruchy masowe objęły 1-2% powierzchni stoków. Rynny spływów po kilku latach zarosły, nie uległy odnowieniu. Duże osuwiska wymagają dziesięcioleci aby ulec stabilizacji (jak Ambootia - ok. 30 lat).

Procesy kształtujące koryta i dna dolin

Koryta i równiny zalewowe mniejszych potoków modelowane są w czasie zdarzających się co kilka lat ulew, ale jedynie zdarzenia ekstremalne o równoczesnej dostawie ze stoków prowadzą do powstania spływów gruzowych, które przemieszczając się wzdłuż koryt powodują odcinkami agradację do 5-10 m, a niekiedy przy większych spadkach pogłębianie w aluviach i litej skale. W okresach między takimi zdarzeniami następuje powolne rozcinanie, a nadbudowywana drobnym materiałem głazowa pokrywa przekształca się w równinę terasową (ryc.A4). W dużych rzekach rzędu Tisty i Wielkiego Rangitu coroczne wahania poziomu wody sięgają 4-6 m, a w czasie ekstremów nawet 20 m dzięki lokalnym podparciom przez osuwiska i spływy gruzowe. Pogłębianie koryt polega na wymywaniu drobniejszych frakcji i dalszy proces jest hamowany przez bruk głazowy w dnie koryta. Wylesienie Dardżylińskich Himalajów ma niewątpliwy wpływ na zahamowanie procesu pogłębiania dolin młodych podnoszonych gór i agradacyjne wkraczanie korzeni stożków w górę rzek, rozcinających brzeżną część gór.

14.11.2006. Kampus NBU - Tindharia - Kurseong - Ambootia - Sonada - Dardżyling (ryc. A5)

NBU-Sukna Roztokowe koryto i równiny terasowe Balasanu, wyższe stopnie teras koło Sukna i brzeg Himalajów i brzegów Himalajów.

Tindharia (wys.600-700 m n.p.m.) płytkie osuwiska rumowiskowe na serii łupkowo-piaskowcowej wzdłuż drogi Hill Cart Road, związane często z eksploatacją cienkich ławic węgla. Głęboka dolina Mahanandy była badana przez S.Sarkara.

Paglajhora (wys.1000-1200 m n.p.m.) długi, wylesiony stok osuwiskowy. Zwiertzałe pakiety skał osadowych serii Damuda i nadległych skał metamorficznych serii Daling zsuwają się zasilane przez liczne źródła. Droga w permanentnej naprawie od 40 lat. Strefa najwyższych opadów 4000-5000 mm.

Kurseong (1400-1600 m n.p.m.). Miasto położone na skłonie pierwszego, wysokiego grzbietu (tu w 1968 roku notowano ekstremalny opad 1091 mm w ciągu 2,5 doby). Widok na brzeżną część gór i stożek rzeki Balasan.

Ambootia (ok. 1000 m n.p.m.). Plantacja herbaty założona w roku 1861 w strefie spłaszczeń stokowych wzniesionych 500-600 m nad dno doliny Balasanu. W październiku 1968 roku w płytkiej dolince rozcinającej spłaszczenie okryte 30-40 metrową warstwą koluwiów powstało głębokie osuwisko, które rozwijało się intensywnie do lat 1980-tych, zabierając łącznie ok. 150 domów i kolejne przesuwane w górę stoku odcinki drogi. Osuwisko ma długość 1300 m, szerokość 625 m, głębokość do 270 m. Schodzi od wysokości 1065 m n.p.m. do 480 m, niżej zaczyna się stożek wsypany w dno doliny Balasanu (ryc.A6). Stałe odnawianie związane było ze zbiornikami wód gruntowych w koluwiach i źródłami w spękanych gnejsach. Poszczególne partie osuwiska modelowane są przez różne typy ruchów masowych. Po 2-30 latach poszczególne partie powoli zamierają, powraca roślinność. Nadal rozwija się kanionowe wcięcie w dolnej części osuwiska modelowane przez spływy gruzowe. Cała forma przybiera kształt doliny osuwiskowej.

Po wizycie w 1988 roku zespół krakowski na prośbę właściciela plantacji p. Bansala rozpoczął szczegółowe badania. W 1989 roku zespół: W.Froehlich,

L.Starkel i I.Kasza wykonał zdjęcie busolowe osuwiska (ryc.A7). W.Froehlich analizował przepuszczalność pokryw i kierunki przepływu wód gruntowych. W kolejnych latach. L.Starkel zbierał dane opadowe ze stacji i rejestrował zmiany w górnej i środkowej części osuwiska. W obserwacji zmian w dolnej części doliny i na stożku uczestniczyli również W.Froehlich, R.Soja i inni.

Sonada-Ghoom. Droga do Dardżylingu biegnie skłonem grzbietu kulminującego w Tiger Hill na pograniczu plantacji herbaty i silnie przetrzebionych lasów z dominującym drzewem iglastym *Cryptomeria japonica*. W Ghoom osiągamy przełęcz na wys. 2250 m n.p.m.

15.11.2006. Dardżyling – Ging i okolice

Dardżyling (miasto) leży na grzbiecie (2050-2150 m n.p.m.) z widokiem na cały Sikkim z Kanchenjungą. Miasto powstało w latach 1835-1850 początkowo jako obóz wojskowy i punkt targowy, a po zbudowaniu drogi i kolejki wąskotorowej stało się centrum administracyjnym i ośrodkiem plantacji herbaty, której uprawa sięga 2100 m n.p.m. Dziś liczy ok. 100 tys. mieszkańców. Szybki rozwój przy położeniu na grzbiecie powoduje, że miasto ma duże trudności z zaopatrzeniem w wodę, energię, a w czasie ekstremalnych opadów powstają liczne osuwiska, które prowadzą do katastrof budowlanych. Szczególnie groźne osuwiska powstały w 1899 i 1950 roku (ryc.A8). W mieście spotykają się przedstawiciele różnych narodowości i religii. Na zwiedzenie zasługują Himalaya Mountaineering Institute, Tibetan Refuge Center, Planters Club, różne świątynie (w tym buddyjska na Observatory Hill), ogrody: botaniczny i zoologiczny.

Ging Tea Estate. Plantacja herbaty położona na stoku schodzącym do doliny Rangnu. Aktywne osuwiska niszczące drogę. Stacja eksperymentalna hodowli klonów herbaty, wykonująca pomiary hydrometeorologiczne. Widok na stoki zajęty przez plantację Bannockburn, gdzie przeprowadzono kartowanie skutków ulew w grudniu 1968 roku, a w latach 1980-tych wykonano pomiary opadu, infiltracji, spływu, a także procesów fluwialnych.

16.11.2006. Dardżyling – Tista Bazar – Kalimpong – Kalijhora

Połączenie Tisty i Great Rangit. Punkt widokowy na grzbiecie, z którego można rejestrować kolejne zmiany położenia koryta i odsypów. Częste podparcie Rangitu przez Tistę prowadzi do wsypywania małych delt zbudowanych z piasków, które są następnie rozcinane. Po powodzi w 1968 roku, która objęła obie zlewnie zaznaczał się w zdarciu pokryw i roślinności do wysokości ok. 20 m ślad wysokiej fali powodziowej, natomiast od lat 1980-tych wyraźny jest zasięg wezbrań corocznych do poziomu 5-7 m.

Tista-Bazar. Powyżej mostu Coronation Bridge zachowane są przyczółki i filary Anderson Bridge, który został porwany przez falę powodziową 4-5 października 1968 roku. Poziom wody przed wezbraniem wynosił 201.8 m n.p.m., w czasie kulminacji 228.6 m, trzy miesiące później 207 m. Oznacza to wzrost fali o 26.8 m, a równocześnie podniesienie dna koryta o 5m. Przyczyna aggradacji była dostawa grubego rumowiska przez wielkie osuwiska i przez spływ gruzowy z bocznej doliny Peshok Jhora. Przepływ maksymalny został oszacowany na $18\,150\text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (przy prędkości fali 5.5 ms^{-1}). Po powodzi Tista stopniowo pogłębia swe koryto (ryc.A9) wymywając frakcje żwirowe, w latach 1968-1983 doszło do pogłębienia o blisko 2 m.

Kalimpong. Miasteczko położone na lewym brzegu Tisty na grzbiecie o wysokości 1300-1400 m n.p.m. Widok na Sikkimskie Himalaje. Znany klasztor buddyjski i orchidarium.

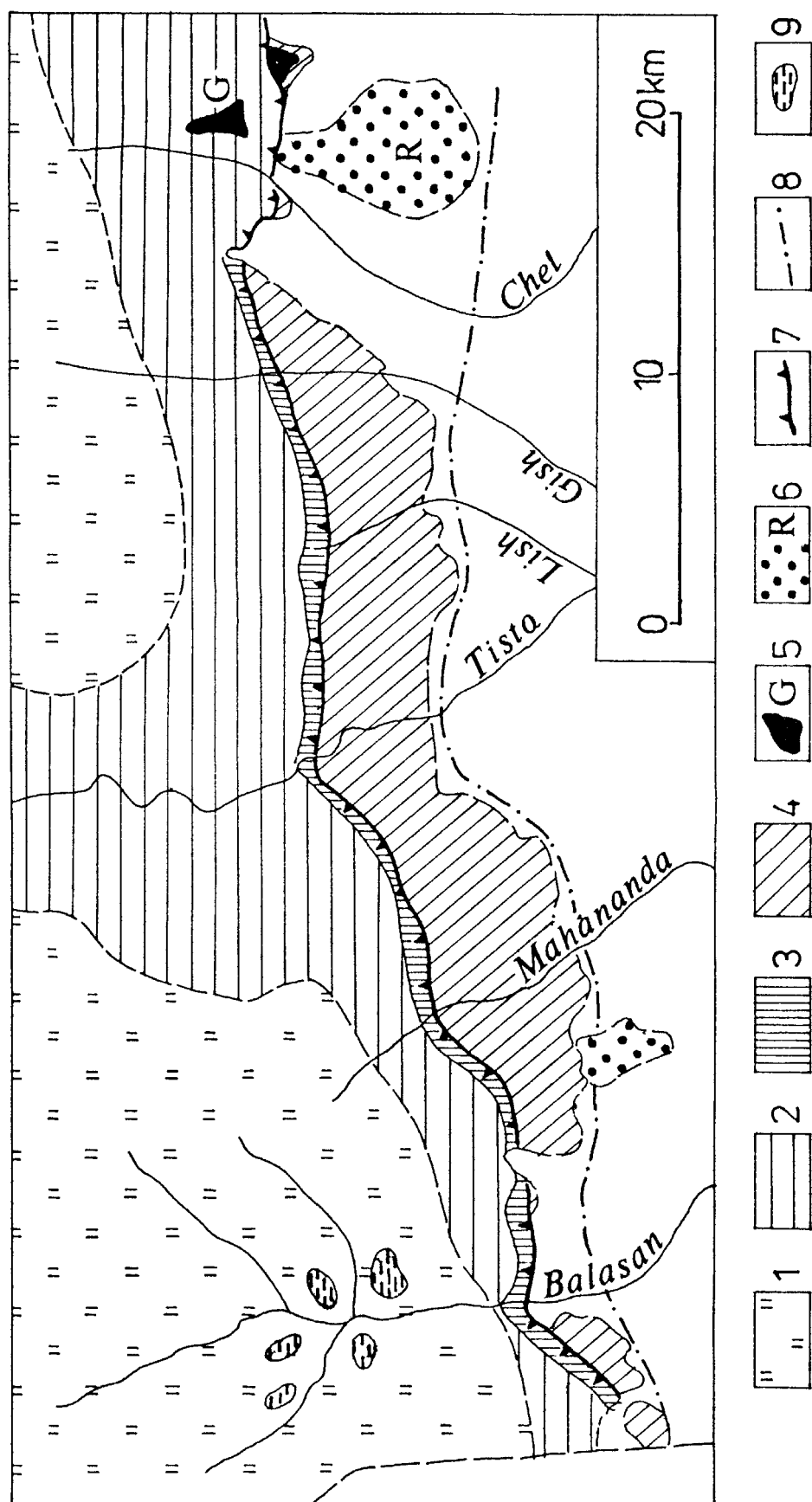
Dolina Tisty w rejonie osuwiska Birrik. Kręta głęboko wcięta dolina Tisty. Na zboczach m.in. podcinanych przez drogę duże osuwiska, stale odnawiające się w strefach łupków metamorficznych. W korycie na zmianę przemieszczane łachy i odcinki bystrzy wycięte w skale. Wyraźna listwa terasy dziś o wysokości 6-10 m, zadrzewiona, stanowiąca równinę zasłaną głazami w czasie powodzi 1968 roku.

Kalijhora. Wioska i miejsce piknikowe u ujścia potoku Kalijhora do Tisty. Odcinki erozyjne i akumulacyjne. Potok boczny wsypuje stożek, który jest stale przemodelowywany, także wskutek podcinania przez wody Tisty. Granulometria, osadów łach korytowych i niższych stopni terasowych (do 5 m wysokości) w zasięgu

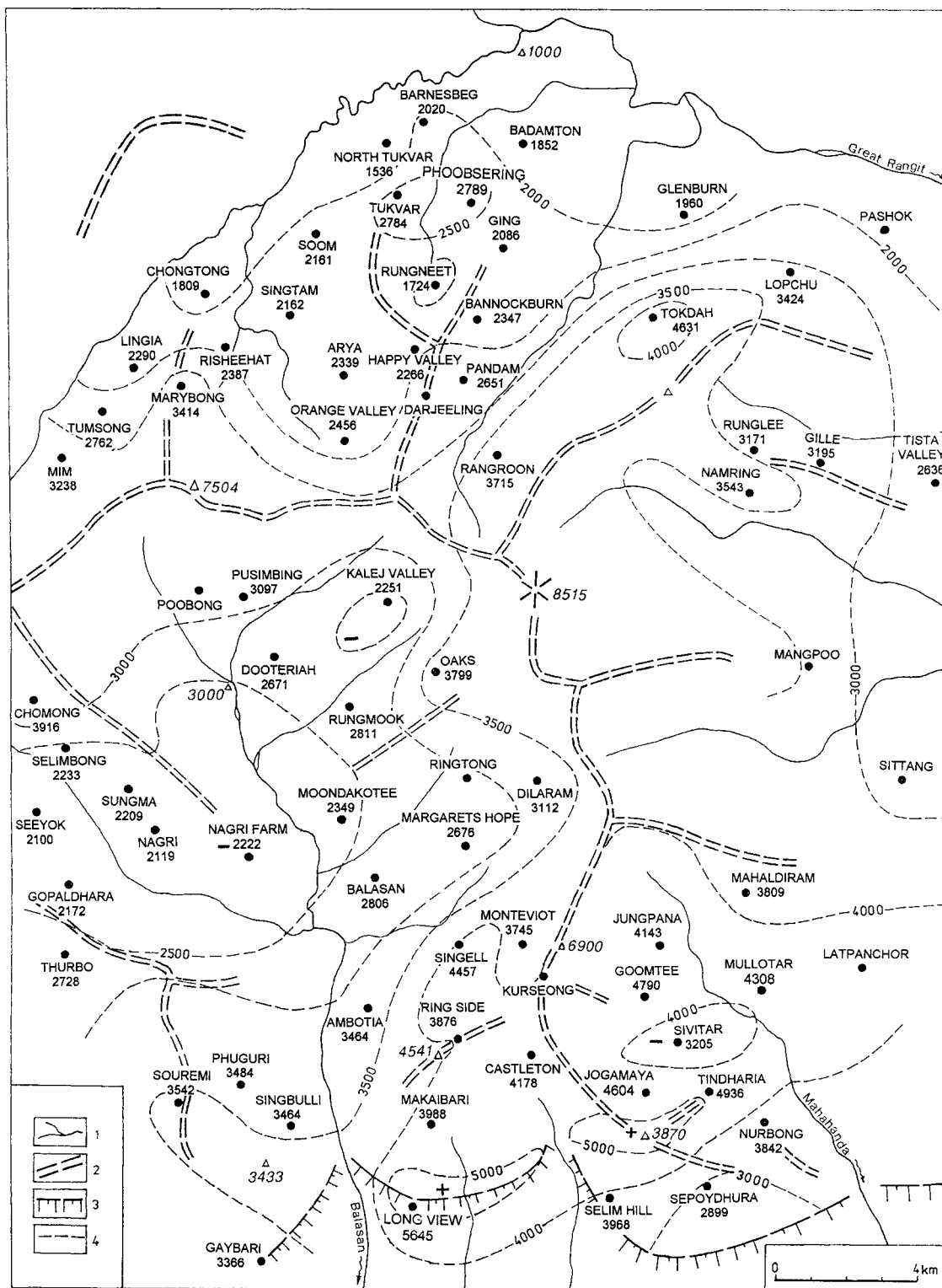
corocznych wezbrań były badane przez T.Kalickiego i L.Starkla. Wyższy poziom ok. 15 m z pojedynczymi drzewami powstał w 1968 roku. Na murze ośrodka wypoczynkowego zaznaczono poziom wysokiej wody, dziś położony ok. 18 m nad średni poziom wody w Tiście.

Wyżej wznosi się wysoka na ok. 60 m terasa z cokołem wysokości 15-20 m (ryc.A10). Buduje ją 40 metrowa seria piasków ze żwirami - frakcja dziś niemal niespotykana w dolinie Tisty. Datowania TL wykonane przez A.Bluszcza dostarczyły zaskakujących wyników: ze spągu 47 ± 6 ka BP i ze stropu 17 ± 6 ka BP. Zatem seria reprezentowałaby okres interpleniglacjału i górnego pleniglacjału. Wskazywałoby to na dużą dostawę z topniejących lodowców, ale tak dużą miąższość w pogłębianej dolinie możnaby tłumaczyć lokalną zaporą w brzeżnej części gór. Jest to jedyne takie stanowisko zarejestrowane w dolinie Tisty niżej ujścia Rangitu.

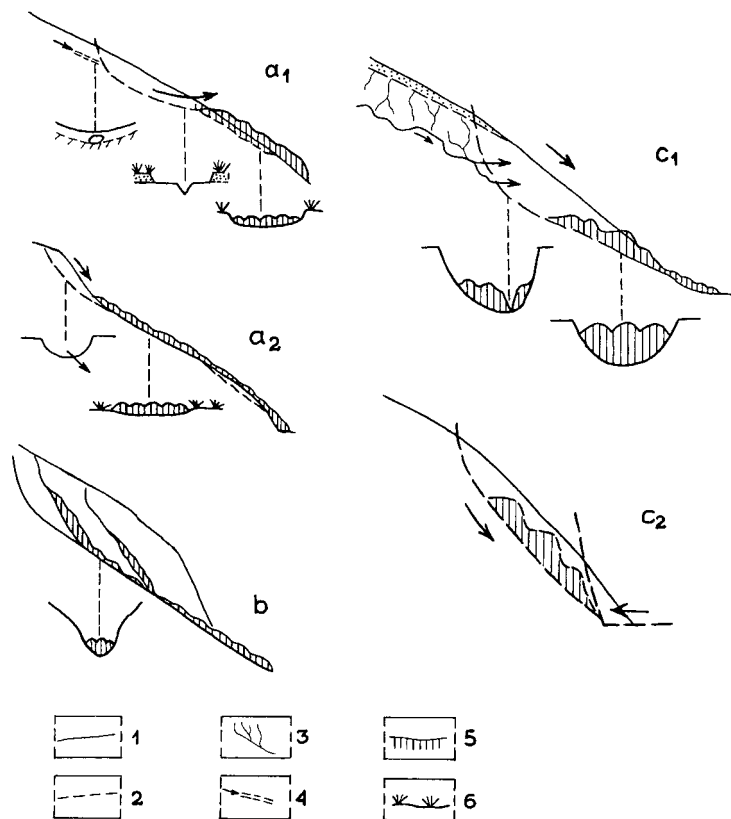
Sevok Bridge. Wyraźne zwężenie kanionowe koryta Tisty z kotłami eworsyjnymi w strefie Siwalików i czołowego nasunięcia Himalajów wskazuje na intensywne ruchy podnoszące, za którymi z trudem nadąża erozja Tisty. Poniżej zwężenia zaczyna się strefa korzeniowa stożka na przedpolu gór.



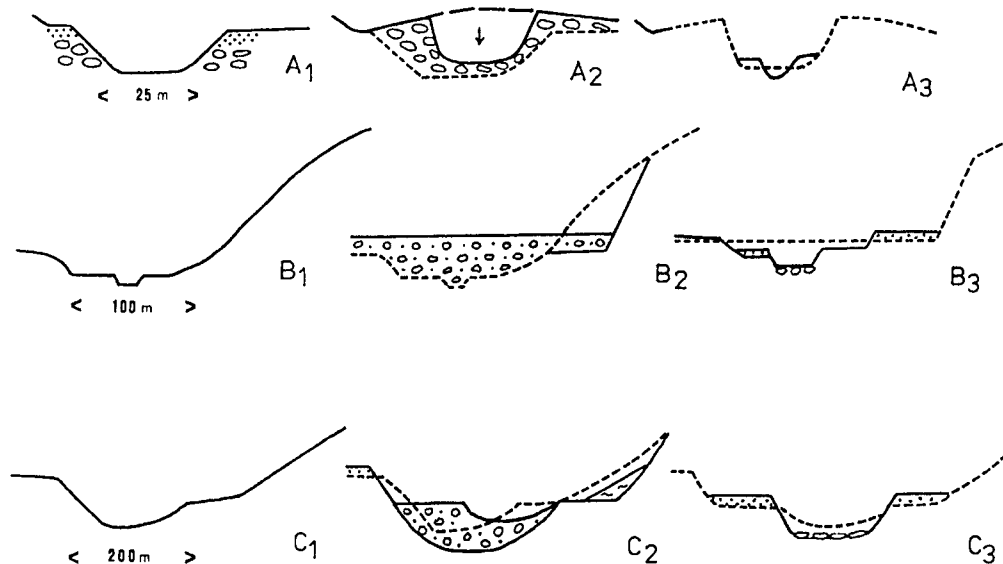
A1. Szkic geologiczny brzeżnej części Sikkimskich Himalajów (wg Pawde, Saha 1982, Nakata 1972 i in.). 1 – formacja Dardzyling, 2 – seria Daling, 3 – seria Damuda, 4 – seria Siwalik, 5 – poziom Rangamati, 6 – poziom Gorubathen, 7 – górny uskok brzeżny, 8 – czołowe nasunięcie, 9 – wysoki poziom denudacyjny w dolinie Balasan



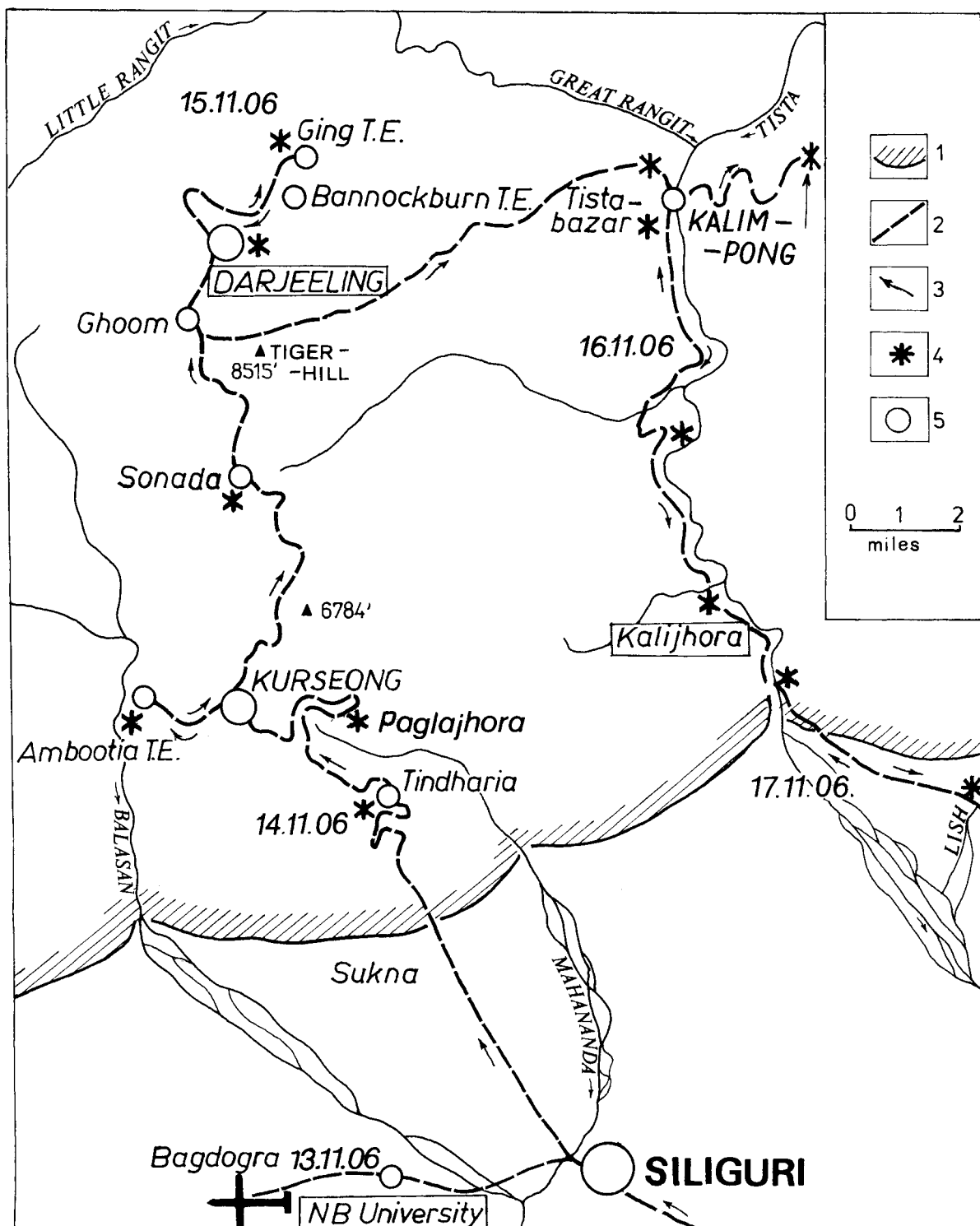
A2. Mapa opadów w Dardżylińskich Himalajach – średnia z lat 1989-2002 (wg danych z plantacji opracował L.Starkel). 1 – rzeki, 2 – główne grzbiety, 3 – krawędź gór, 4 – izohiety w mm.



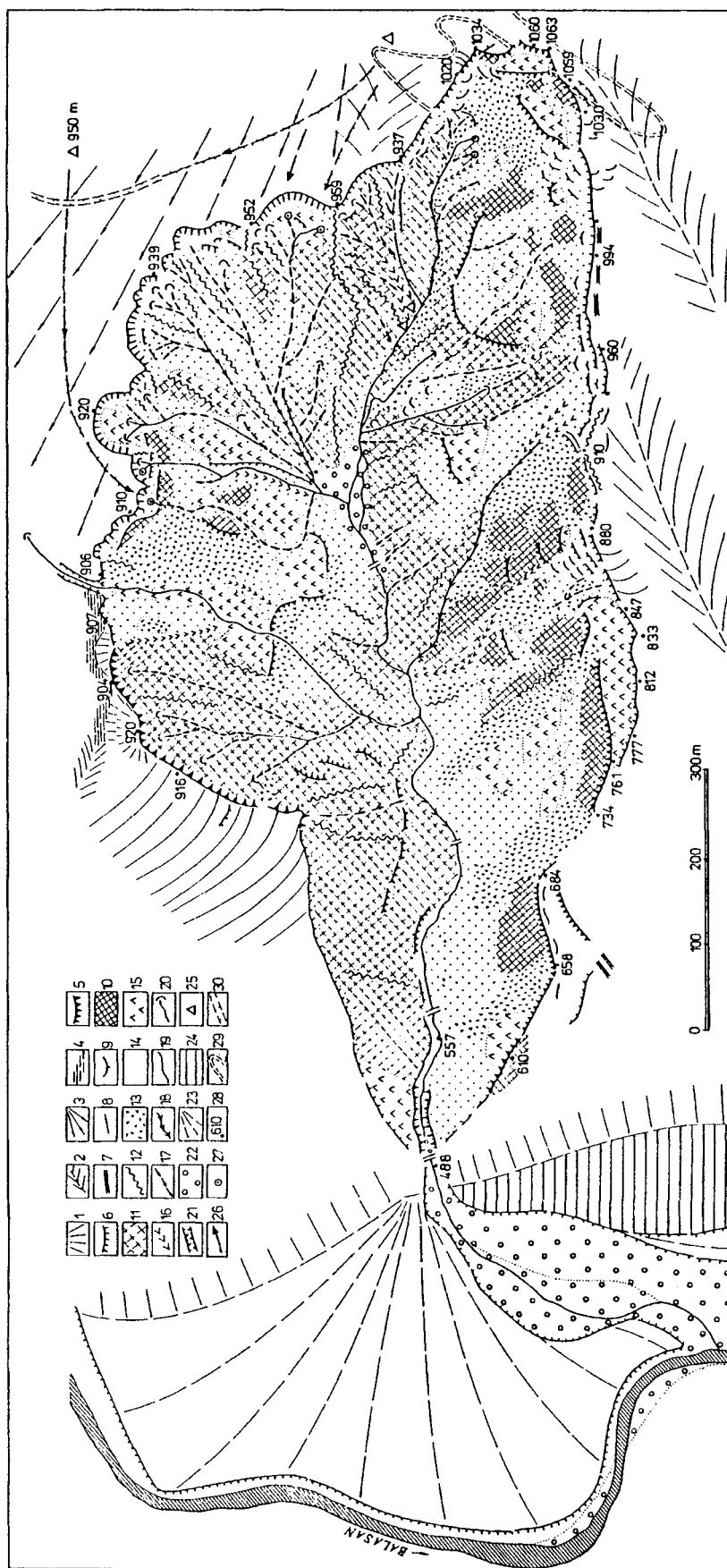
A3. Typy ruchów masowych zarejestrowane po opadzie w październiku 1968 r. (Starkel 1972). a_1 – spływy związane z sufozją, a_2 – spływy związane z zerwami, b – spływy gruzowe w rozcięciach stokowych, c_1 – osuwiska skalne związane z głębokim krążeniem, c_2 – zerwy i osuwiska związane z erozją boczną, 1 – powierzchnia stoku przed ruchem, 2 – nowy profil podłużny, 3 – system spękań, 4 – kanał sufozyjny, 5 – koluwia, 6 – gleba z krzewami herbaty



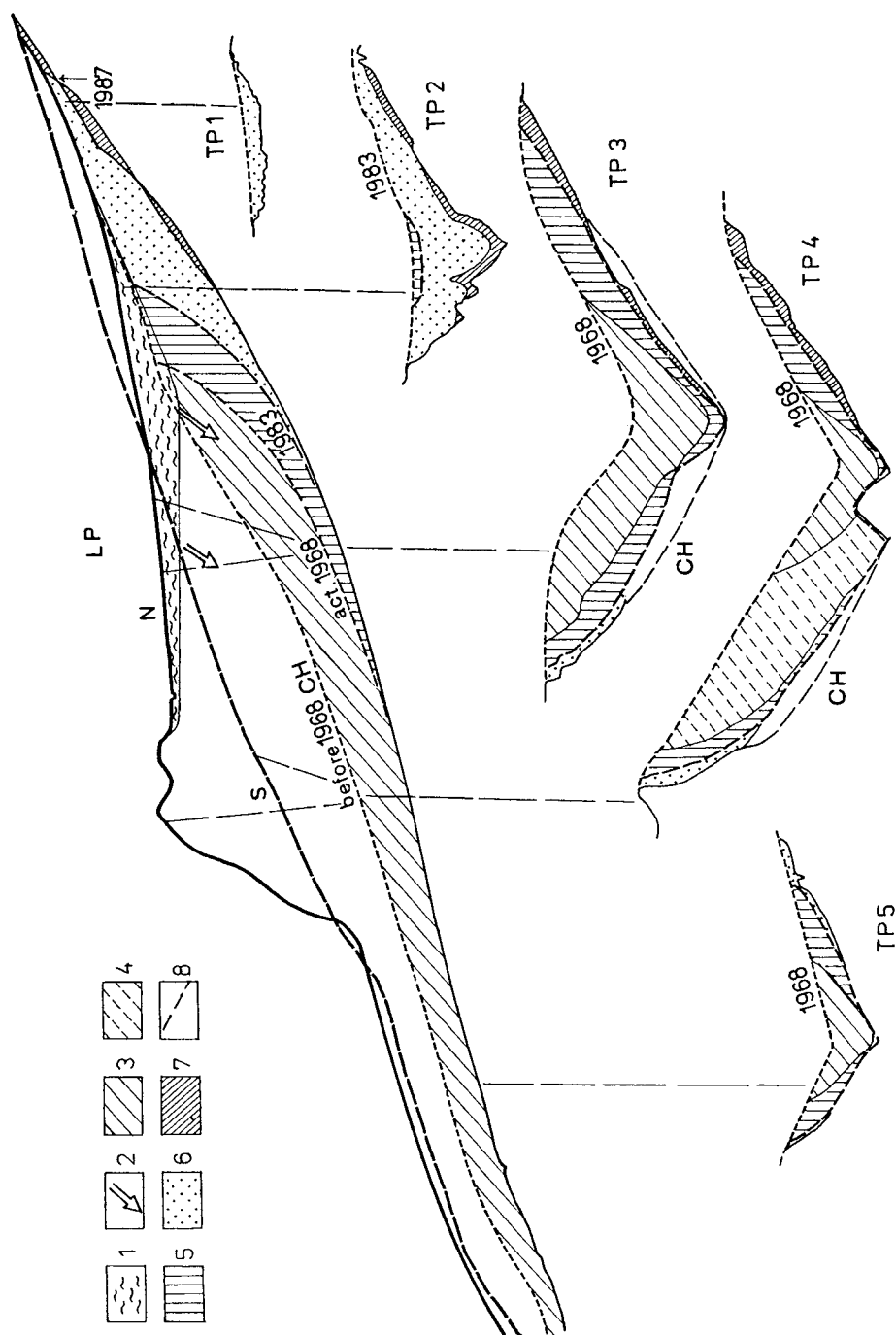
A4. Zmiany koryt różnej wielkości (A, B, C) przed zdarzeniem ekstremalnym (1), po nim (2) i w fazie relaksacji (3) – wg Starkla (2000). 1 – głazy i żwiry facji korytowej, 2 – drobne żwiry i piaski facji pozakorytowej, 3 – drobne koluwia, 4 – nowo ukształtowany przekrój, 5 – przekrój z poprzedniego okresu



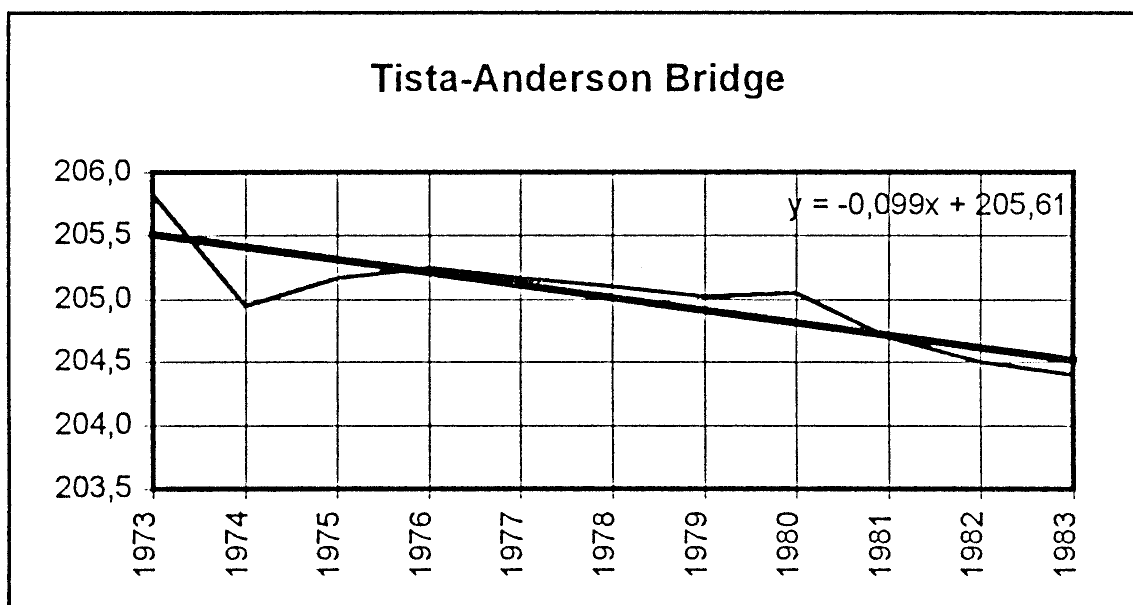
A5. Trasa wycieczki w Dardżylińskich Himalajach 14-16.11.2006. 1 – brzeg gór, 2 – trasa wycieczki, 3 – kierunek jazdy, 4 – punkty postoju (w ramach miejsca noclegów). Wysokości w stopach angielskich.



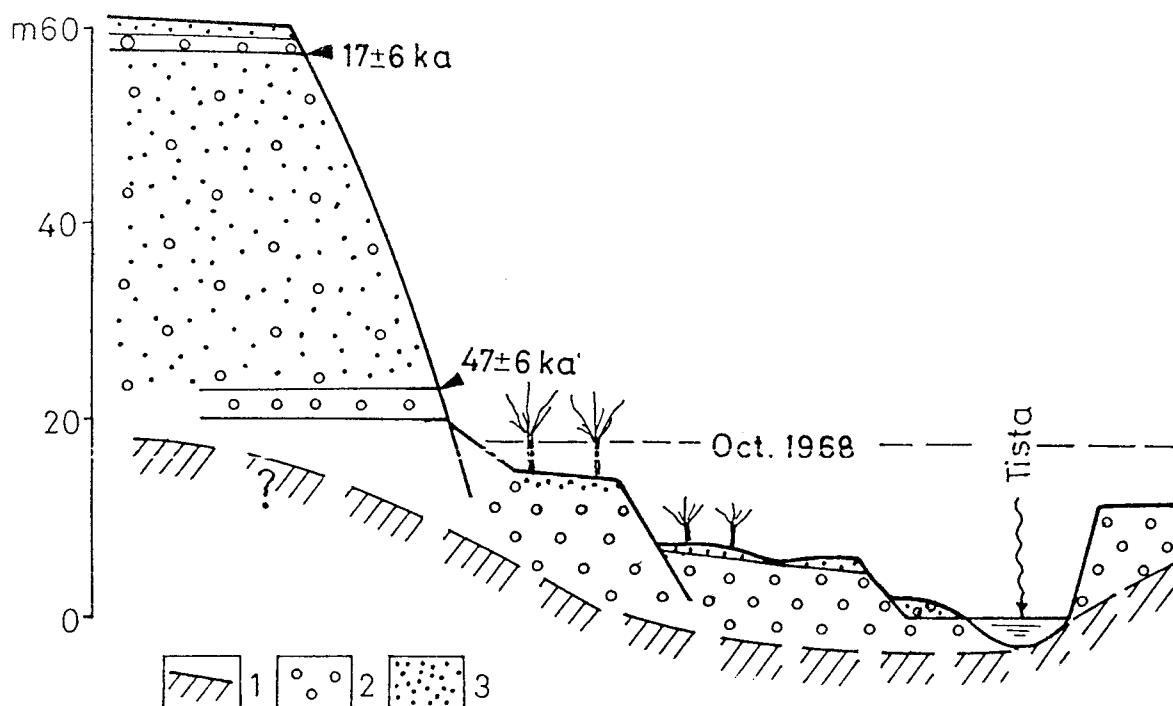
A6. Mapa geomorfologiczna osuwiskowej doliny Ambootia w 1989 r. (wg Froehlich, Starkel, Kasza 1991). 1 – stromy stok, 2 – małe dolinki poza osuwiskiem, 3 – stary stożek koluwalno-proluwalny, 4 – dno nieczynnej dolinki, 5 – skalne nisz osuwisk i obrywów, 6 – nisz w koluwalach i in., 7 – rowy osuwiskowe, 8 – szczeliny, 9 – stopnie osuwisk, 10 – odsłonięte powierzchnie ławic, 11 – inne stoki skaliste, 12 – wąskie grzędy (granie), 13 – pola głazowe i piargi, 14 – drobnoziarniste usypiska, 15 – zarosnięte stoki gruzowe, 16 – suche dobrze modelowane przez spływy gruzowe, 17 – debrze okresowo odwadniane, 18 – debrze i wawoży ze stałym ciekim, 19 – koryta cieków stałych wycięte w skale, 20 – nisz źródlane, 21 – kanion wycięty w skale, 22 – aluwia frakcji blokowej i żwirowej w dnach dolin i na stożkach, 23 – stary rozcięty stożek koluwalny Ambootii, 24 – fragment wyższej terasy stożka, 25 – miejsca barwienia wód płynących, 26 – kierunek drenażu podziemnego, 27 – miejsca wypływu wód barwionych na osuwisku, 28 – wysokości n.p.m. (wg pomiaru altymetrem Paulina), 29 – stara droga, 30 – betonowe koryto odprowadzające wodę



A7. Rekonstrukcja faz rozwoju doliny osuwiskowej w Ambottii – profile podłużny i poprzeczny (wg Froehlich, Starkel, Kasza 1991). 1 – stare koluwia i proluwia na spłaszczeniu, 2 – kierunek infiltracji, 3-7 – masy przemieszczone w różnych okresach: 3 – wczesna faza osuwania w 1968 r., 4 – późniejsza faza w 1968 r., 5 – w latach 1969-1983, 6 – w latach 1983-1987, 7 – w latach 1987-1989, 8 – nowe żłoby wcięte w starsze stoki, S i N – profil podłużny starszych grzęd po stronie S i N niekawatowej dolinki rozciętej osuwiskiem



A9. Tendencje do pogłębiania koryta Tisty w Tista Bazar zarejestrowana w obniżaniu najniższych stanów wody po wezbraniu w 1968 r. (wg Starkel, Froehlich 2000)



A10. Schematyczny przekrój dna doliny Tisty koło Kalijhory rejestrujący budowę terasy 60-metrowej datowanej metodą TL i zasięg powodzi z 1968 r. (wg Bluszcz i in. 1997).

B. Przedpole Sikkimsko-Bhutańskich Himalajów 17-18.11.2006

Budowa geologiczna i rzeźba

Brzeg Himalajów aczkolwiek wyraźny i ostry jest ku wschodowi bardziej falisty i przerzuca się odcinkami z czołowego nasunięcia (HFTL) na bardziej wewnętrzne brzeżne (MBF) nie obejmujące formacji Siwalików (por.ryc.A1). Na przedpolu gór zaznaczają się systemy uskoku zarówno południkowych ukierunkowujących przebieg dolin, jak też równoleżnikowych, które wyróżniają się w postaci niewysokich zrębów z prostolinijnymi krawędziami i oddzielających je rowów (ryc.B1). Nakata (1972) wydzielił kilka stopni terasowych, których korelacja jest trudna ze względu na ruchy tektoniczne i nakładanie się młodych stożków.

Wśród dolin rzecznych i rzek odwadniających południowy stok Himalajów i systemy stożków na ich przedpolu można wyróżnić sześć wyraźnych kategorii (ryc.B2).

1. Doliny dużych rzek o zlewniach sięgających wysokich Himalajów z lodowcami (Tista, Jaldhaka, Torsa) o roztokowych korytach na przedpolu.
2. Zlewnie brzeżnej części Himalajów (o powierzchni 50-300 km²) z potężnymi stożkami na przedpolu i licznymi przerzutami koryt. W odległości 15-25 km od brzegu gór koryta roztokowe przechodzą w meandrowe.
3. Potoki nacinające jedynie krawędź gór (intensywnie rozcinaną) z nieproporcjonalnie dużymi stożkami na przedpolu i odwodnieniem epizodycznym.
4. Potoki rozcinające wyniesione bloki na przedpolu gór.
5. Potoki rozpoczynające się w górnych partiach stoków z odwodnieniem stałym, zasilane przez wody gruntowe.
6. Potoki rozpoczynające się w dolnych partiach stożków, zasilane przez wody gruntowe i wezbrania letnie, z korytami meandrowymi. W układzie koryt przedpola wyraźne jest łączenie potoków na liniach uskoku.

Wraz z rosnącą odległością od gór i malejącymi przepływami maleją też spadki i frakcja niesionego materiału. W obrębie piedmontu Bhutańskich Himalajów możemy wyróżnić trzy wyraźne strefy (ryc.B3):

a/ korzeniowa część stożków o nachyleniach 12-4‰ o korytach roztokowych z częstymi przerzutami dominuje: frakcja żwirowa i blokowa aluwiiów (głazowa),

agradacja wnika często w głąb gór, b/ część środkowa o nachyleniach 4-2‰ z korytami roztokowymi, niekiedy z przerzutami, frakcja żwirowo-piaszczysta składanych aluwiiów, c/ część dolna o nachyleniach schodzących poniżej 1‰ o korytach meandrowych zarówno rzek płynących z gór jak i autochtonicznych z równinami zalewowymi zbudowanymi z frakcji piaszczysto-pyłowej.

Opady atmosferyczne i powodzie

Brzeg gór i przylegająca strefa przedpola otrzymują średni opad roczny 4000-5000 mm, w latach ekstremalnych niekiedy przekraczający 7000 mm (opad miesięczny 1000-2000 mm). W odległości 30-50 km od brzegu gór spada do ok. 3000 mm (ryc.B4). Wgłąb gór gradient jest jeszcze większy, za brzeżnymi grzbietami maleje do 1500-2000 mm, a w centralnym Bhutanie poniżej 1000 mm. Obszar ten nawiedzają często opady ekstremalne (do 400 mm i więcej) i kilkudniowe rozlewne. Te ostatnie rejestrowane m.in. w latach 1993, 1996, 1998 i 2000 sięgają 800-1600 mm (ryc.B5).

Efektem takich opadów są wezbrania rzek, często kilkakrotne w jednym sezonie, które połączone ze spływami gruzowymi u brzegu gór prowadzą do agradacji w obrębie roztokowych koryt, sięgającej 3 m w ciągu 10 lat (rzeki Jainti, Gish) i do przerzutów koryt. Zmiany koryt i rozszerzanie się stref roztokowych rejestrowane są przez zdjęcia satelitarne wykonywane w latach 1991, 1996, 1998 i 2001. Opuszczone ramiona po kilku latach zarastane są przez roślinność.

17.11.2006. Kalijhora – Gish-Gorbathan – Jaldhapara forest (ryc.B6)

Lish. Zlewnia rzeźby Lish w brzeżnej części gór (48 km²) w znacznej części wylesiona, eksploatacja węgla i osuwiska, na przedpolu koryto roztokowe poszerzane (od 200-850 m w 1929 r. do 700-1050 m w 1998 roku) i podnoszone, duże wahania przepływów (od 0.25 do 255 m³ w 1952 roku) (ryc.B7).

Gish. Zlewnia podobna, ale większa (160 km²), koryto roztokowe podnoszone (>0.1 m/rok) i poszerzane (od 500-145 do 1500-2700) duże wahania przepływów od 0.08-630 m³s⁻¹ w 1952 r.), agradacja postępuje wgłąb gór (ryc.B7).

Gorbathan. Wielki złożony stożek rzeki Chel przecięty liniami uskokowymi z zachowanymi paleokorytami w obrębie wyższych teras. U wylotu z gór stopnie

terasowe z otoczkami frakcji gwałowej. Najwyższy z poziomów Gorbathan wznosi się do 300 m np. rzeki. Wielkie bloki na wysokich poziomach świadczą o spływach gruzowych w czasie ulew (dawniej mylnie uznawane za osad peryglacjalny).

Murti. Rzeka Murti rozcina podniesiony blok terasy Rangamati. W korycie duże bloki skalne.

Jaldhaka. Zlewnia rzeki Jaldhaka ponad 100 km² w górach (wys. do 4000 m n.p.m.) koryto roztokowe poszerzone (od 1000-2570 m), notowane przepływy max. 8.850 m³.

Daina. Zlewnia rzeki Daina jedynie 223 km² w górach. Obszar eksploatacji dolomitów. Koryto poszerzone od 300 do 1070 m.

Rethi. Niewielka zlewnia w górach, wynoszone są wielkie ilości rumowiska; obok koryta roztokowego szeroka równina zalewowa, zbudowana z pylasto-ilastych aluwii eksploatowanych do wyrobu cegieł (zawiesina pochodzi ze zwietrzliny dolomitów i iłupków).

Jaldhapara. Wielki kompleks leśny objęty ochroną w dnie doliny Torsy, największej rzeki zachodniego Bhutanu (zlewnia ok. 4000 km² w górach, max. notowany przepływ > 12 000 m³. Obok koryta roztokowego szerokości 1-2 km w lasach zachowane stare szerokie rynny paleokoryt z I połowy XX wieku i starsze.

18.11.2006. Jaldapara – Kaljani – Phuntsholing – Jalpaiguri – NBU

Kaljani. Roztokowe koryto rzeki Kaljani powstałe z połączenia dwóch rzek odwadniających brzeżną część Himalajów: Pana i Gabur Basra, sypiących system połączonych stożków (ryc. B8, B9).

Pana. Na północ od plantacji Chuapara TE przecinamy suche koryto okresowej rzeki Pana, a następnie paleokoryta opuszczone w różnym czasie XX wieku (w różnym stopniu pokryte roślinnością). Zmiany koryt ilustrują ryciny B8 i B9.

Gabur-Basra. Roztokowe koryto rzeki Gabur-Basra z kilkoma ramionami prowadzącymi wodę. W dali na progu Himalajów wielkie osuwisko ze stożkiem.

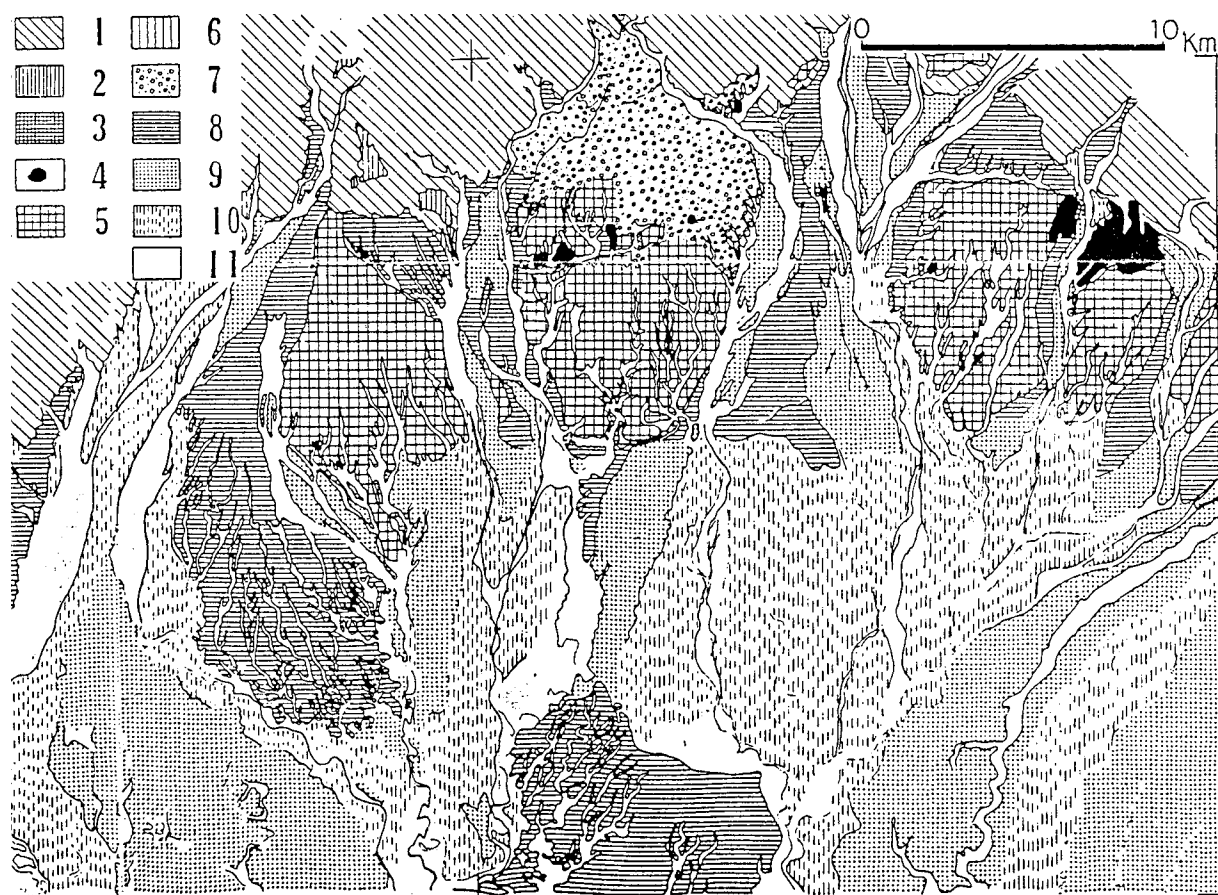
Jaigaon – Phuntsholing. Miasto w Indiach i bliźniacze miasto w Bhutanie u wylotu z Himalajów roztokowej rzeki Torsy. W okolicy wyraźne formy osuwisk i spływów gruzowych (prawdopodobnie przekroczymy granicę Bhutanu).

Gilandi. Między Rethi a Jaldhaką przecinamy koryto meandrującej rzeki Gilandi, która rozpoczyna się na stożku źródłami wód infiltrujących w stożek u brzegu Himalajów.

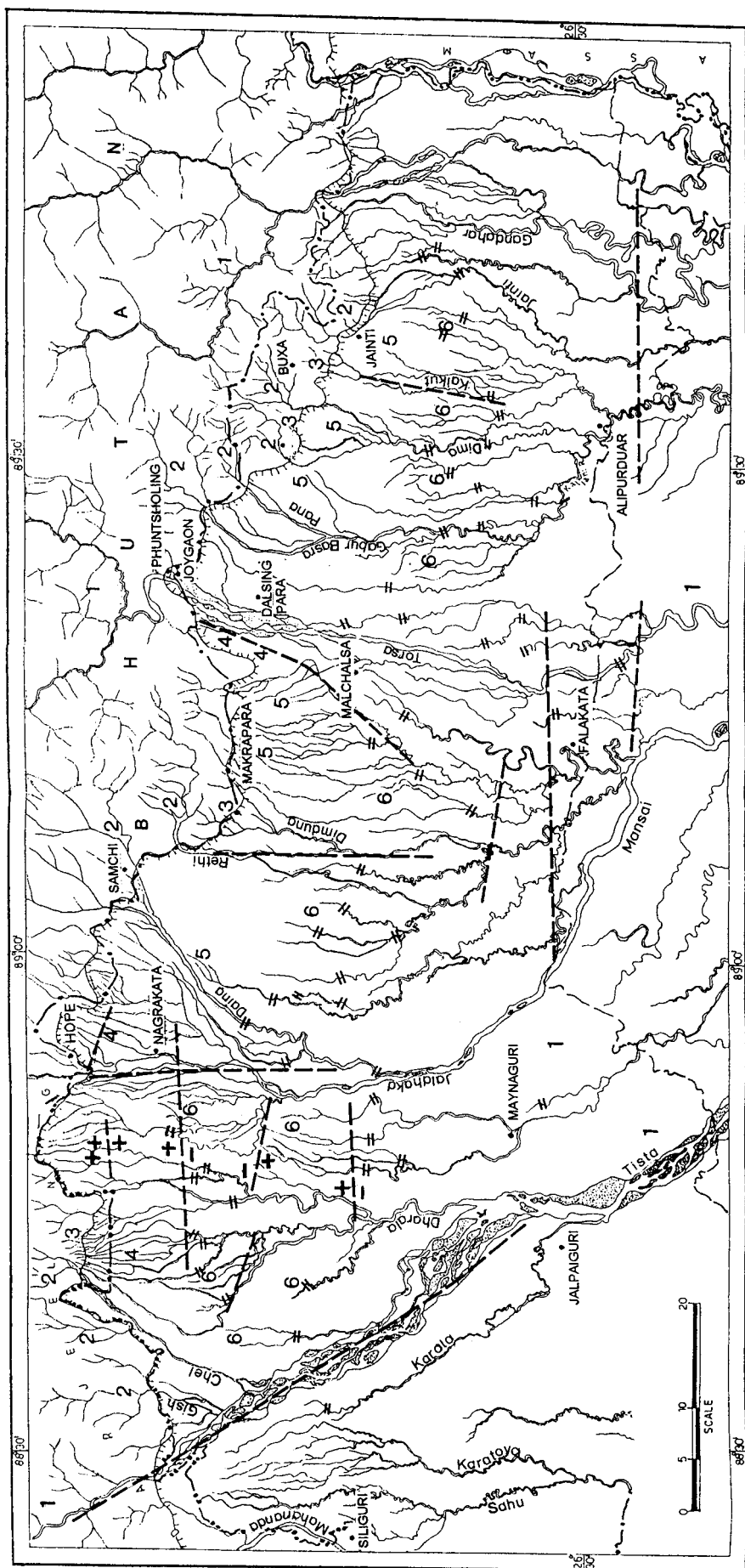
Tista. Przed Jalpaiguri przecinamy szerokie koryto rzeki Tisty, drenujące całe Sikkimskie Himalaje. Szerokość koryta powodziowego sięga 2-5 km. Odcinkami brzegi są umocnione. Tista u schyłku XVIII wieku przerzuciła się na wschód i z dopływu Gangesu stała się dopływem Brahmaputry. W październiku 1968 przy przepływie $>20000 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ część miasta znalazła się pod wodą. Regulacje i kanał irygacyjny pochodzą z ostatnich dziesięcioleci.

19.11.2006. NBU – Balasan – Bagdogra – Gauhati – Shillong

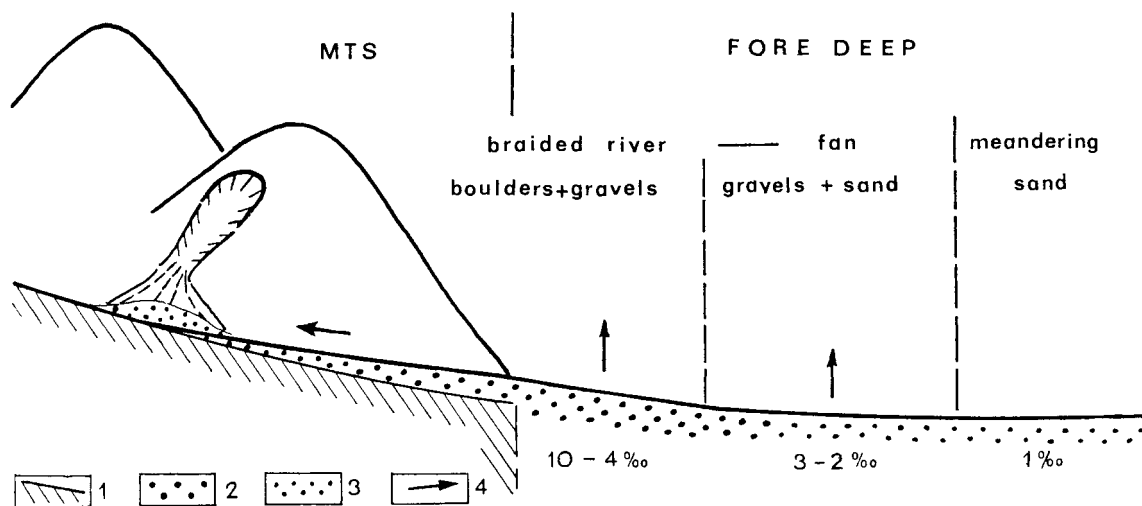
Balasan. Fakultatywna wycieczka (w dniu 19.11 przed odlotem) wzdłuż koryta Balasanu do wylotu rzeki z gór (m. Dhudia). Rzeka niesie duże ilości głazów, które podobnie jak drobniejsze żwiry i piaski wybierane są w porze suchej z koryta, co przeciwdziała agradacyjnemu podnoszeniu koryta. Po drodze przecinamy suche koryta epizodycznych cieków rozwinięte na powierzchni stożka i płyty wyższych teras.



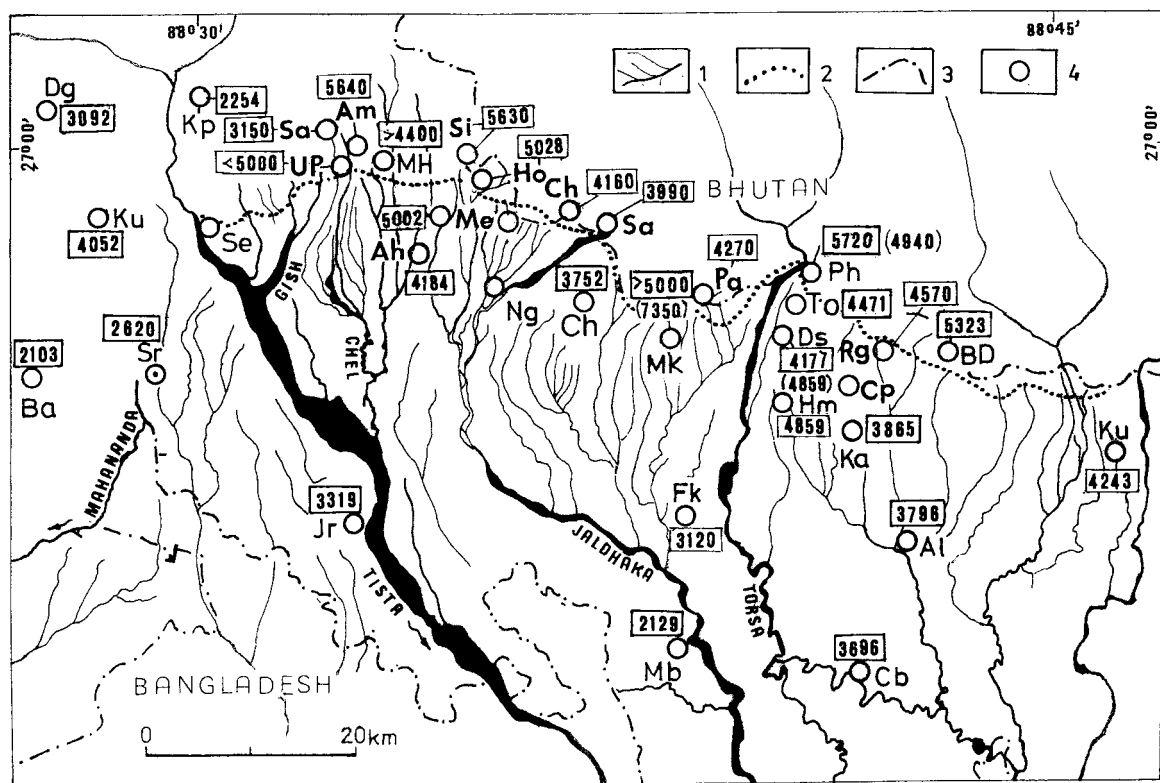
B1. Rzeźba przedpola Himalajów między rzekami Chel i Daina (wg Nakata 1972). 1 – obszar górski, 2 – poziom Gorubathan, 3 – poziom Sukna, 4 – poziom Matiali, 5 – poziom Rangamati, 6 – poziom Pankhabari, 7 – poziom Samsing, 8 – wyższa terasa, 9 – średnia terasa, 10 – niska terasa – równina aluwialna, 11 – koryto i równina zalewowa



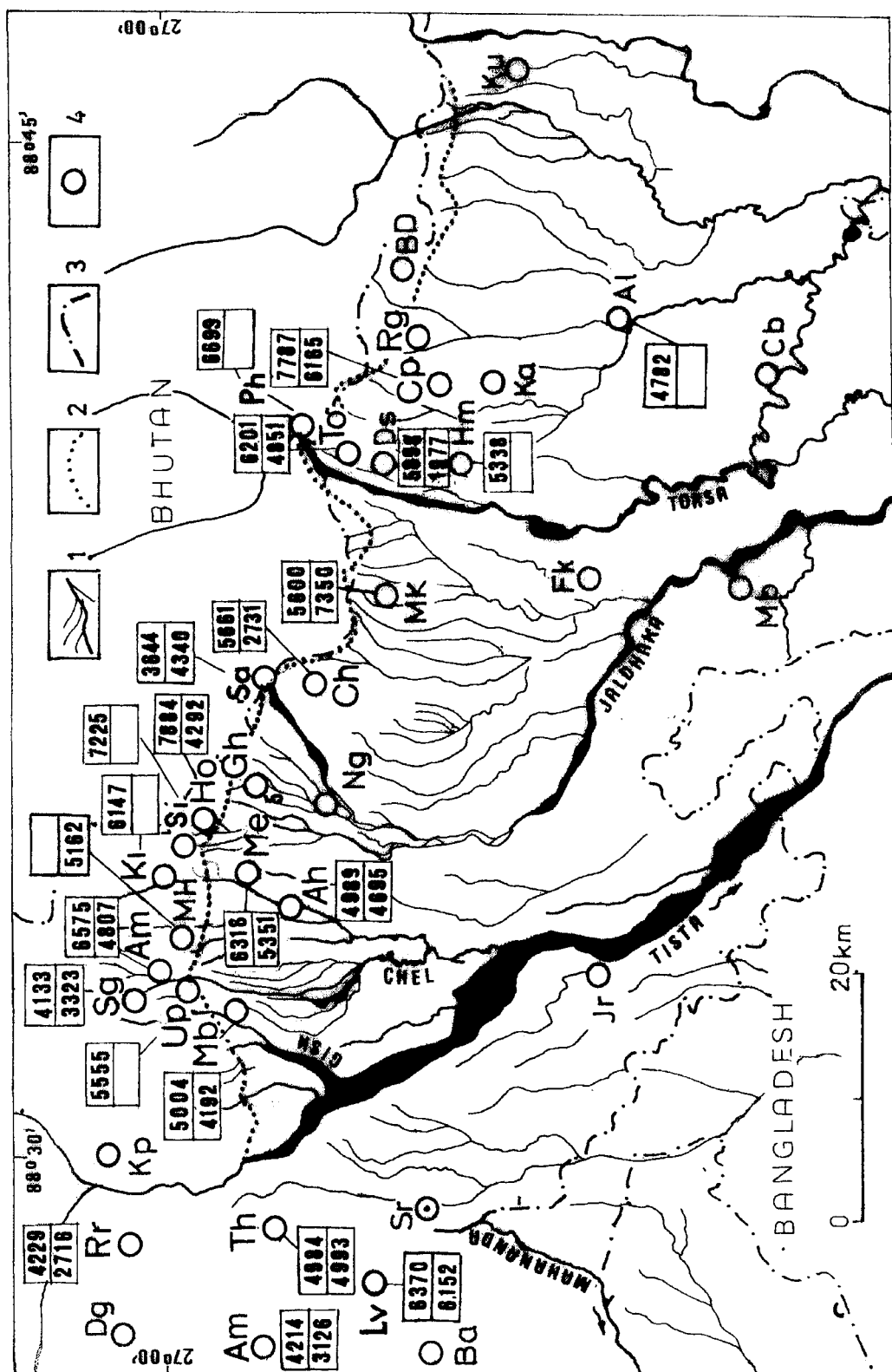
B2. Systemy koryt przedpola Sikkimsko-Bhutańskich Himalajów (oprac. L.Starkel). 1 – rzeki dużych zlewni himalajskich, 2 – rzeki brzeżnej części Himalajów, 3 – rzeki ze źródłami na progu, 4 – rzeki rozpoczynające się na wyniesionych blokach przedpola 5 – źródła rzek w górnej części stożków, 7 – linie uskoków (wg Arunawy), 8 – początek odcinka meandrowego, 9 – granica państwa, 10 – granica stanu, 11 – granica regionu, 12 – brzeg Himalajów



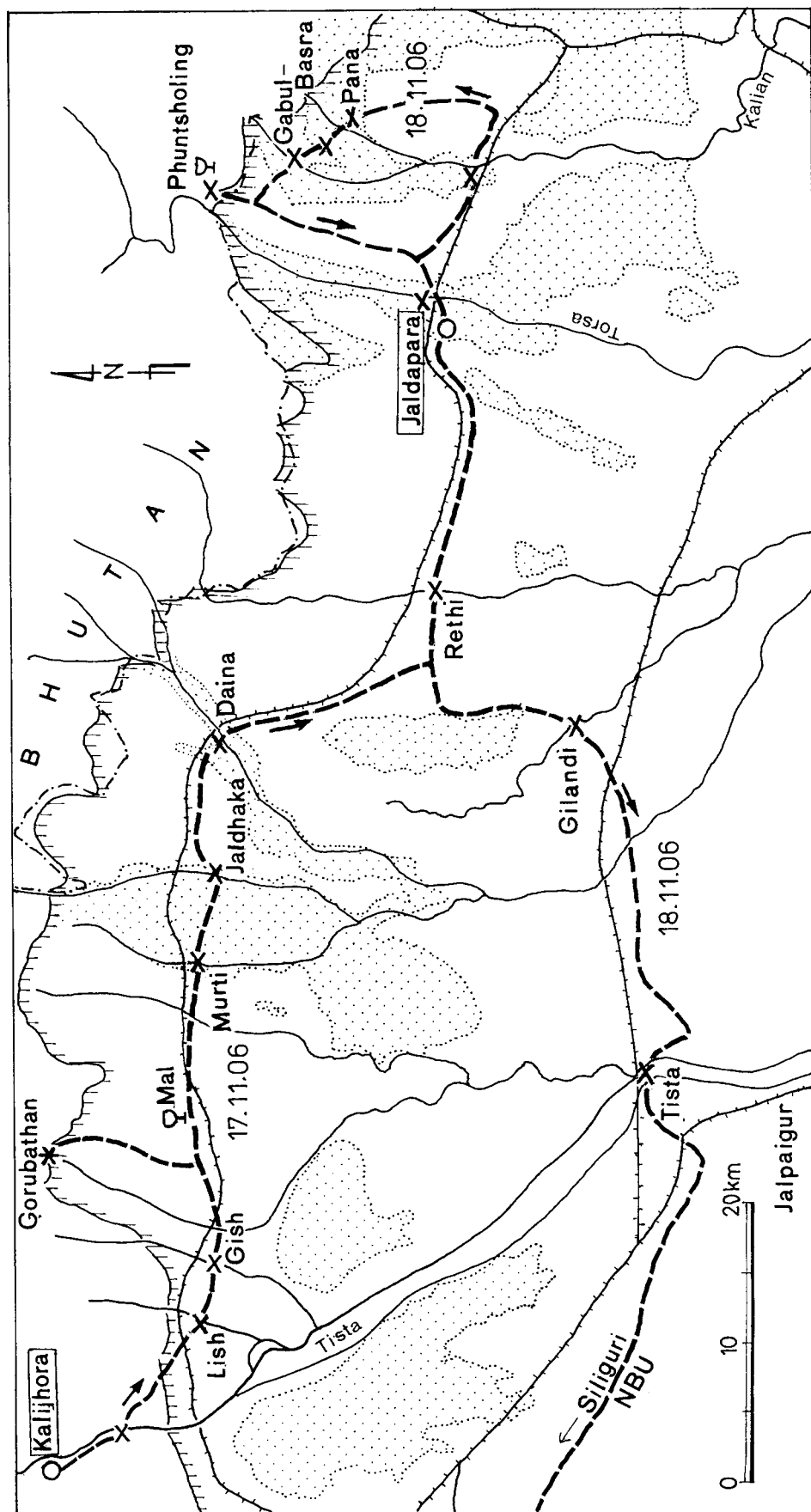
B3. Model profilu podłużnego koryta rzeki i aktywnej powierzchni stożka napływowego na przedpolu Bhutańskich Himalajów (wg Starkel, Sarkar 2002). 1 – skały podłoża, 2 – gruboziarniste aluwia, 3 – drobnoziarniste aluwia, 4 – kierunek agradacji. Wyrażna zmiana spadku i przejścia z koryta roztokowego do meandrowego.



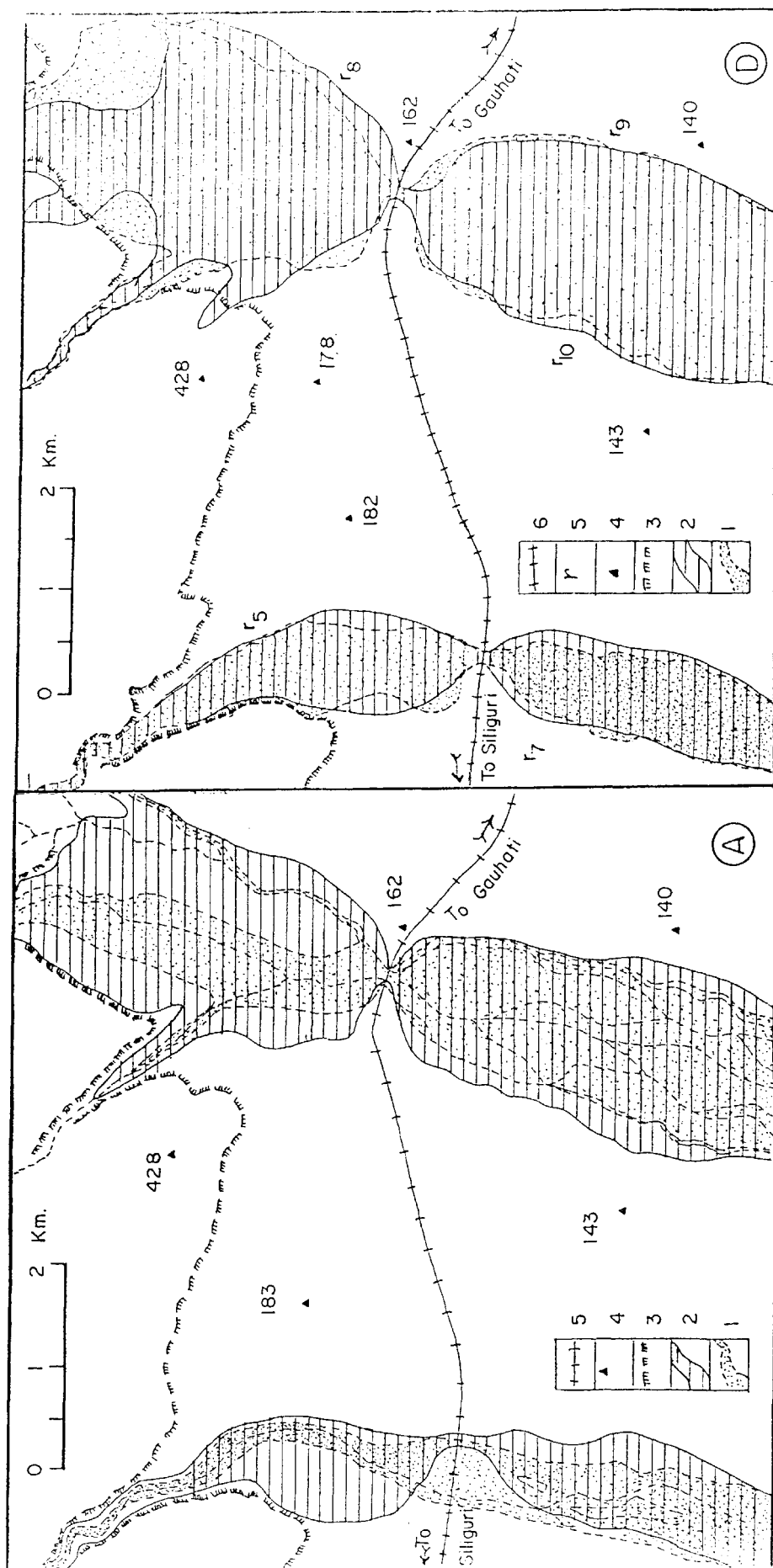
B4. Średni opad roczny w brzeżnej części i na przedpolu Sikkimsko-Bhutańskich Himalajów (zestawił L.Starkel)



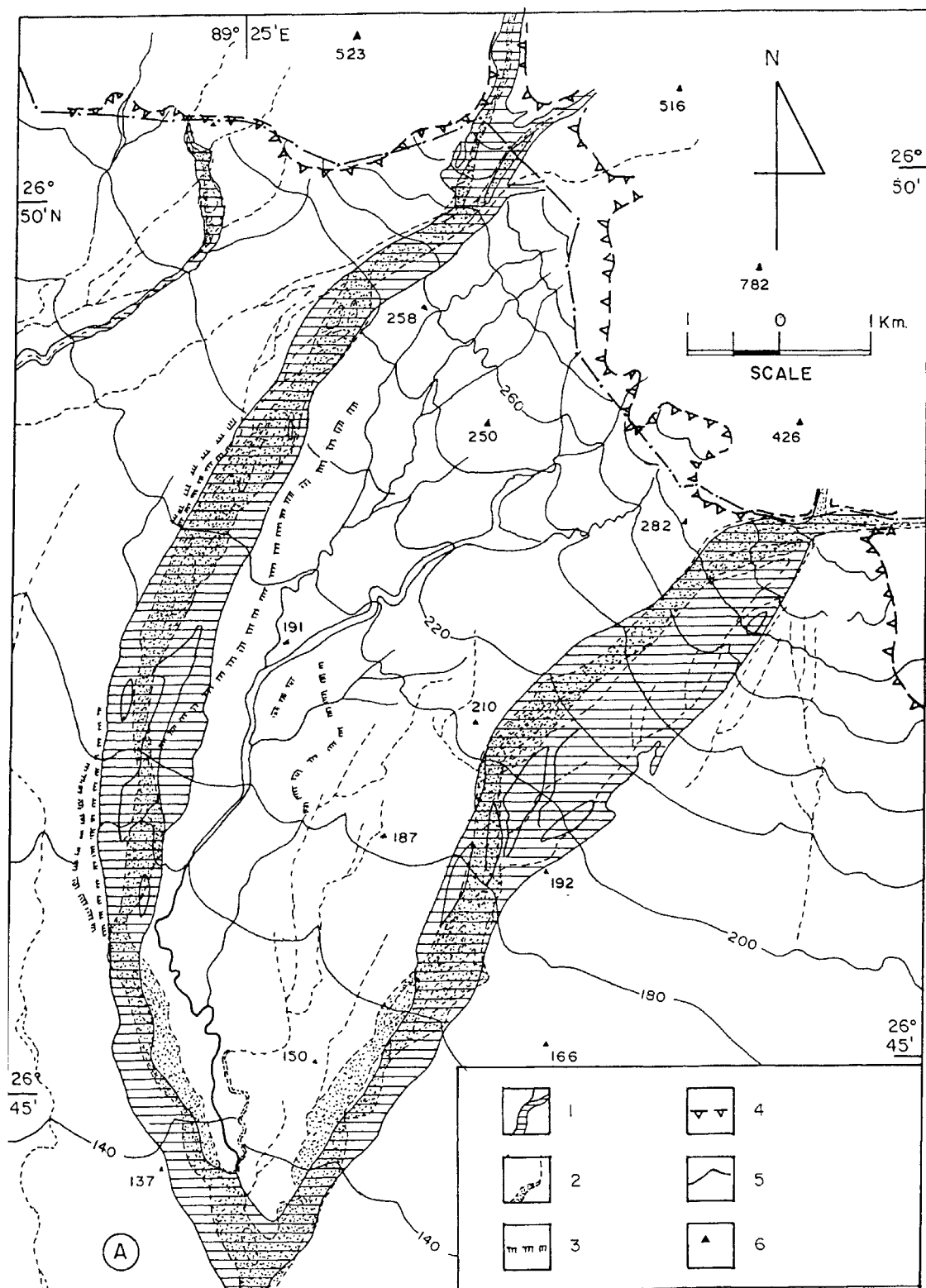
B5. Wysokość 5 wybranych rozlewnych opadów ekstremalnych na przedpolu Himalajów (Zestawiał L.Starkel). Od dołu: 19-21.07.1993, 11-14.07.1996, 8-13.06.1998, 20-24.07.1998, 1-4.08.2000



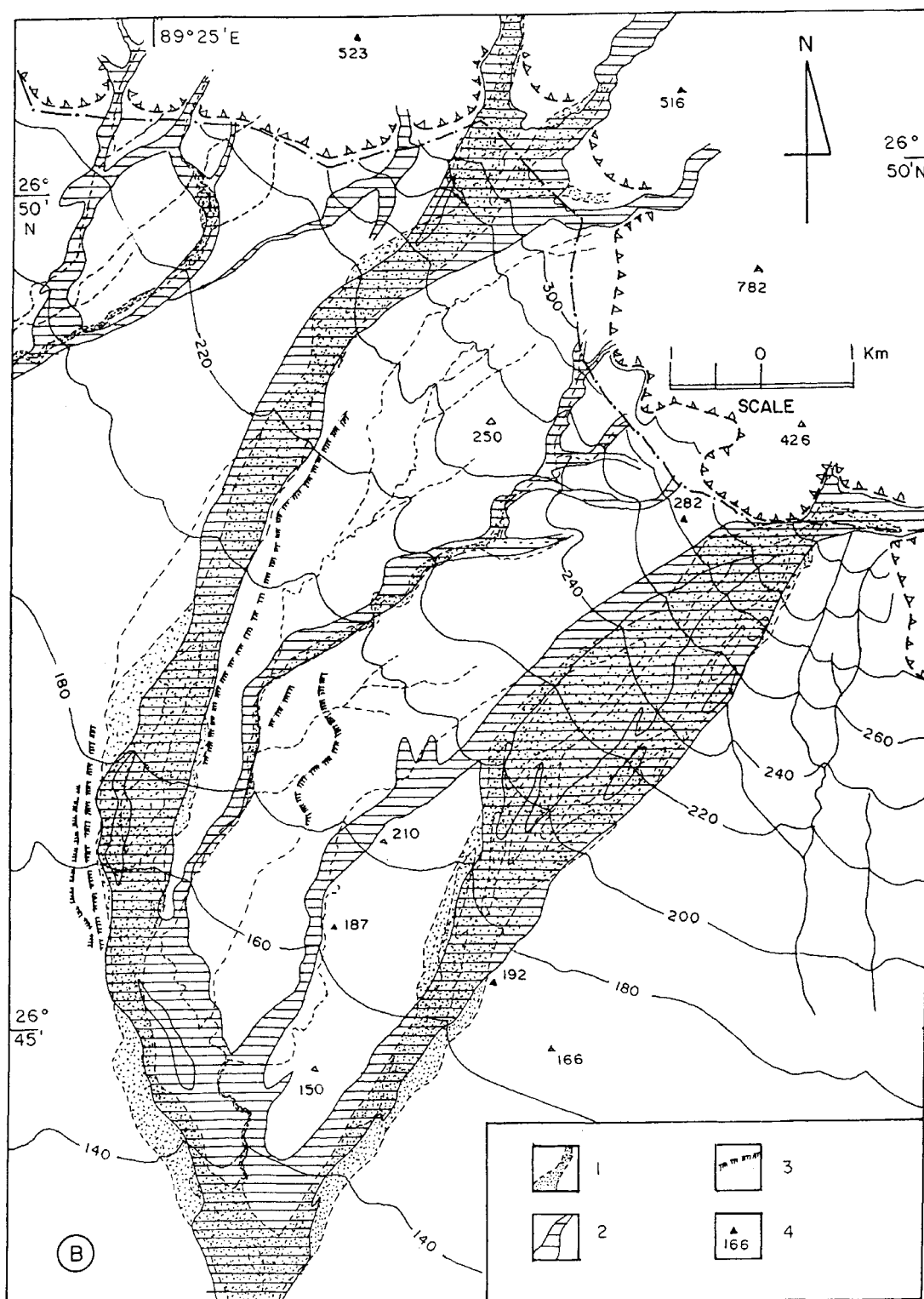
B6. Trasa wycieczki na przedpolu Sikkimsko-Bhutańskich Himalajów 17-18.11.2006. 1 – rzeki, 2 – trasa wycieczki, 3 – linia kolejowa, 4 – lasy, 5 – brzeg Himalajów, 6 – granica Bhutanu, 7 – miejsca noclegu, x – punkty postoju



B7. Agradacja w korytach rzek Lish i Gish (oprac. Basu, Ghatowar, Sarkar) A – 1935-1964, D – 1984-1998. 1 – zasięg koryta w czasie pierwszego kartowania, 2 – zasięg w czasie drugiego kartowania, 3 – krawędź Himalajów, 4 – punkty wysokościowe, 5 – linia kolejowa.



B8. Zmiany biegu rzek i agradacji na stożkach rzek Gabur-Basra i Pana w okresie 1930-1966 (oprac. S.Sarkar). 1 – koryto w 1966 r., 2 – koryto w 1930 r., 3 – wysoka krawędź, 4 – brzeg Himalajów, 5 – poziomice, 6 – punkty wysokościowe



B9. Zmiany biegu rzek i agradacji na stożkach rzek Gabur-Basra i Pana w okresie 1966-1998 (oprac. S.Sarkar). 1 – koryto w 1966 r., 2 – koryto w 1998 r., 3 – wysoka krawędź, 4 – punkty wysokościowe.

C. Wyżyna Meghalaya 18-23.11.2006

Wyżyna Meghalaya (*meghalaya* - w sanskrycie „kraina chmur”) położona jest w północno-wschodnich Indiach w dorzeczu Brahmaputry i Meghny.

Budowa geologiczna

Wyżyna Meghalaya jest asymetrycznym zrębem tektonicznym, będącym częścią dawnego lądu Gondwany, oddzielonym rowem przedgórskim Brahmaputry od Himalajów na północy oraz uskokiem tektonicznym Dauki od Niziny Bengalskiej na południu. Trzon wyżyny o charakterze płaskowyżu, budują prekambryjskie kwarcyty i gnejsy, w które wdarły się intruzje granitowe formując rozległe batolity (ryc. C1). W czasie podnoszenia, wzdłuż uskoku Dauki, nastąpiły wylewy bazaltowych trapów, których odsłonięcia widoczne są na południowej, stromej krawędzi wyżyny. W kredzie i paleogenie, na południowym skłonie wyżyny, osadzone zostały niemal poziomo zalegające piaskowce, mułowce z wkładkami węgla o miąższości kilkuset metrów, przechodzące na południu w fację wapieni. Brak znaczącej depozycji osadów wieku plioceńskiego wskazuje, że w tym okresie rozpoczęło się główne podnoszenie wyżyny. Średnie tempo podnoszenia, kontynuowane do dziś, szacowane jest na $2,5 \pm 1 \text{ mm} \cdot \text{rok}^{-1}$. Aktywność tektoniczna powoduje niemal codzienne trzęsienia ziemi. Najsilniejsze odnotowano 12.06.1897 r. o sile $M=8,1$ w skali Richtera.

Rzeźba

Morfologicznie wyżyna ma charakter płaskowyżu, rozciągającego się równoleżnikowo na długości 300 km i wznoszącego się od 50 m n.p.m. do 1200-1600 m n.p.m. w części środkowej i wschodniej. Izolowane wzgórza osiągają 1900 m n.p.m. z najwyższym szczytem Shillong Peak (1964 m n.p.m.). Część zachodnia jest niższa i silnie rozczłonkowana z najwyższym szczytem Nokrek (1412 m n.p.m.). W przekroju południkowym na długości 100 km, zaznacza się wyraźna asymetria. Północny skłon wyżyny łagodnie opada w kierunku doliny Brahmaputry, a południowy kończy się stromą 1000 metrową ścianą, rozciętą licznymi kanionami. Litologiczne kontrasty i aktywność tektoniczna wpływają na energię rzeźby. Centralna część wyżyny ma rzeźbę dojrzałą, falisto-pagórkowatą, rzeki płyną płytkimi,

nieodmłodzonymi dolinami. Wcinając się stopniowo rzeki tworzą V-kształtne doliny o skalnych korytach i dużych spadkach.

Klimat

Podnóże wyżyny znajduje się w klimacie monsunowym tropikalnym, natomiast wyższe partie w klimacie monsunowym umiarkowanym. Wyniesienie wyżyny powoduje, że średnie roczne temperatury zmieniają się od 24°C u ujścia Umiew do 14°C na wysokości prawie 2000 m n.p.m. W lipcu średnie wieloletnie temperatury wszędzie przekraczają 20°C, natomiast w styczniu, średnie temperatury w szczytowych partiach spadają poniżej 10°C. W przebiegu rocznym opadów możemy wyróżnić cztery sezony: zimowy (styczeń-luty), przedmonsunowy (marzec-maj), monsunowy (czerwiec-wrzesień) i pomonsunowy (listopad-grudzień). Różny czas trwania sezonów wynika ze średnich dat nadejścia (ok. 1 czerwca) i wycofania się (między 1 a 15 października) południowo-zachodniego monsunu na Wyżynie Meghalaya. Na okres monsunowy przypada ok. 70% rocznych opadów. W okresie przedmonsunowym spada 20% sumy rocznej. Są one związane z intensywną działalnością cyklonalną, jaka rozwija się nad Zatoką Bengalską. Południowy skłon wyżyny ma zawsze wyższe roczne sumy opadów (3000-12000 mm) niż północny (poniżej 3000 mm) (ryc. C2, C3). Centralna i wschodnia część wyżyny na południowym skłonie, gdzie krawędź jest podniesiona najwyżej do 1400 m n.p.m., otrzymuje opady, sięgające w Cherrapunji i Mawsynramie średnio 10000-12000 mm rocznie. Ekstremalnie opady w Cherrapunji: roczny: 26 461 mm (w latach 1860/61), 22 763 mm (w 1974 r.), miesięczny: 9300 mm (w sierpniu 1861 r.), dobowy: 1563 mm (16.06.1995 r.)

19.11.2006. Gauhati – Shillong

Dolina Brahmaputry o szerokości 100 km położona jest w cieniu opadowym między Wyżyną Meghalaya a Himalajami z rocznym opadem w Gauhati osiągającym tylko 1600 mm. Brahmaputra - rzeka o długości 2840 km i powierzchni dorzecza 636 000 km² mająca źródła na Wyżynie Tybetańskiej. Średni przepływ roczny w Gauhati: 16 682 m³/s, maksymalny prawie 73 000 m³/s został zanotowany 23.08.1962 r.

Gauhati lub Guwahati miasto położone 50 m n.p.m. nad Brahmaputrą, 814 tys. mieszkańców (2001), stolica stanu Assam (w starożytnych tekstach znany jako Kamarupa) o powierzchni 78 523 km². W wiekach średnich pod panowaniem dynastii

Ahomów pochodzącej z Chin. Od 1826 r. włączony do Brytyjskiej Kompanii Wschodnioindyjskiej.

Po drodze do Shillongu uprawy ryżu, plantacje palmy areki i ananasów oraz kompleksy lasu, flora typowa dla Azji Południowo-Wschodniej - obszar o największej bioróżnorodności w Indiach. Na stokach przykłady gospodarki żarowo-odłogowej (jhum). Wraz ze wzrostem wysokości wzrasta udział wtórnych lasów sosnowych.

Meghalaya – stan utworzony z części Assamu w 1972 r. Do lat 70-tych XX w. używano nazw geograficznych, będących równocześnie odpowiednikami jednostek terytorialnych utworzonych jeszcze przez administrację brytyjską: Garo Hills (dystrykt utworzony w 1873 r.), Khasi Hills (1833 r.) i Jaintia Hills (1835 r.). Nazwy pochodziły od etnicznej ludności zamieszkującej wyżynę - Garo (tybeto-birmańska grupa językowa) oraz Khasi i Jaintia (mon-khmerska rodzina językowa). Trzy dystrykty stanowiły część prowincji Bengal do 1874 r., a następnie wchodziły w skład autonomicznego regionu Assamu ze stolicą w Shillongu.

Obszar stanu o powierzchni 22 429 km² w znacznym stopniu pokrywa się z regionem fizyczno-geograficznym wyżyny i jest zamieszkały przez 2,3 mln ludności (2001), z czego 19,6% żyje w miastach. Stolicą stanu i największą aglomeracją jest Shillong.

20.11.2006. Seminarium w Shillongu

Shillong – nazwa pochodzi od najwyższego wzniesienia Shillong Peak (1964 m n.p.m.). Od 1867 r. siedziba władz dawnego dystryktu Khasi i Jaintia Hills przeniesiona przez Brytyjczyków z Cherrapunji. Początkowo wieś zamieszkiwana przez 1636 mieszkańców (1872 r.), obecnie 268 tys. (2001 r.). W 1973 r. powołano do życia North Eastern Hill University. Średni opad roczny na wysokości 1500 m n.p.m. wynosi 2200 mm. Zimą zdarzają się przymrozki, a raz na kilkanaście lat niewielki opad śniegu na najwyższych szczytach.

21.11.2006. Shillong – Myllem – Cherrapunji – Laitkynsew (ryc. C4)

Okolice Shillongu - kwarcyty prekambryjskie, zachowane grube pokrywy zwietrzelinowe z intensywnym rolnictwem typu *bun*, który jest odmianą systemu żarowego. Zamiast wypalania lasu, pod okrywą gleby spala się tylko gałęzie drzew, które wzbogacają glebę w składniki pokarmowe. Większość badaczy wiąże jego rozwój z wprowadzeniem uprawy ziemniaka w Khasi Hills w 1830 r.

Myllem. Intruzja granitowa - batolit Myllem o powierzchni ok. 40 km² z pokrywami laterytowymi do 20 m miąższości. Centrum wydobywania rud żelaza do lat 70-tych XIX w. – liczne odsłonięcia granitów, zdegradowane gleby, niewielkie uprawy ryżu w dnach dolin, intensywna uprawa ziemniaka na stromych stokach.

Wah Sohra. Widok na kanion wycięty w kwarcytach

Płaskowyż Cherrapunji. (1200-1600 m.n.p.m.) Obszar wyżyny o deniwelacjach 50-100 m. Mapa geomorfologiczna okolic Cherrapunji (ryc. C5). Odkrywkowe wydobywanie węgla kamiennego zapoczątkowane w tym rejonie w 1840 r.

Droga do Diathlen. Pokrywy zwietrzelinowe przy drodze (ryc. C6).

Cherrapunji. Lokalna nazwa Sohra – miasto zamieszkałe przez 10 tys. mieszkańców (2001 r.). Niewielkie centrum administracyjne. Ludność utrzymuje się z handlu, pracy w największym zakładzie przemysłowym Meghalaya – Cementowni Mamluh (widoczna po drodze do Laitkynsew) i rolnictwa.

Wodospad Nohkalikai. Wysokość 180 m, górna część wycięta w piaskowcach wapnistych (formacja Shella) i odpornych piaskowcach żelazistych (formacja Therria) stanowiących lokalną bazę erozyjną dla płaskodennej nieodmłodzonej doliny. Dolna część doliny, o charakterze kanionu, wycięta w kwarcytach (Grupa Shillongu).

Zlewnia eksperymentalna Maw-ki Syiem (ryc. C7). Zlewnia o powierzchni 22 ha leży w wysokości 1314-1390 m n.p.m. Zbudowana z piaskowców i przewarstwień mułowców co odbija się w schodowym układzie spłaszczeń i stoków. Dominują gleby płytkie i zdegradowane z warstwą gruboziarnistego bruku na powierzchni. Podnóża stoków okrywa warstwa utworów deluwialnych o miąższości do 70 cm, a w samym dnie doliny aluwia o miąższości do 120 cm. Większość cieków jest okresowa. Przepływy w porze suchej spada do kilkanastu l/s, latem w czasie gwałtownych wezbrań sięga 20-50 m³/s gdy poziom wody wzrasta do 2,5 m (wg okresowych pomiarów stanów wody na łacie wodowskazowej i kilkukrotnych pomiarów

przepływu). Przeważającą część zlewni zajmują zbiorowiska trawiaste, lasy i zarośla porastają 16% jej powierzchni.

W zlewni prowadzono szczegółowe badania nad erozją gleb (ryc. C8). Pomimo dużej energii opadów erozja i dostawa zwietrzelin do koryt jest mała. Brak na powierzchni skutecznie ogranicza procesy rozbryzgu i splukiwania gleby. Badania metodą cezu wskazują, że erozja gleb nie przekracza 2.1 t/ha/rok, a depozycja deluwii u podnóży stoków nie przekracza 1,5 mm/rok. Pokrywa traw stanowi skuteczny filtr w transferze sedymentu ze stoków do koryt (Froehlich 2004).

Na podstawie obserwacji w zlewni Maw-ki Syiem opracowano model ewolucji małej doliny na Płaskowyżu Cherrapunji (ryc. C9)

Po drodze do Laitkynsew widok na południe z krawędzi wyżyny na Bangladesz i na północ na kanion Umiew z wodospadami.

22.11.2006. Laitkynsew – Cherrapunji – Shillong

Rano przed śniadaniem spacer na punkt widokowy na Bangladesz (fakultatywnie).

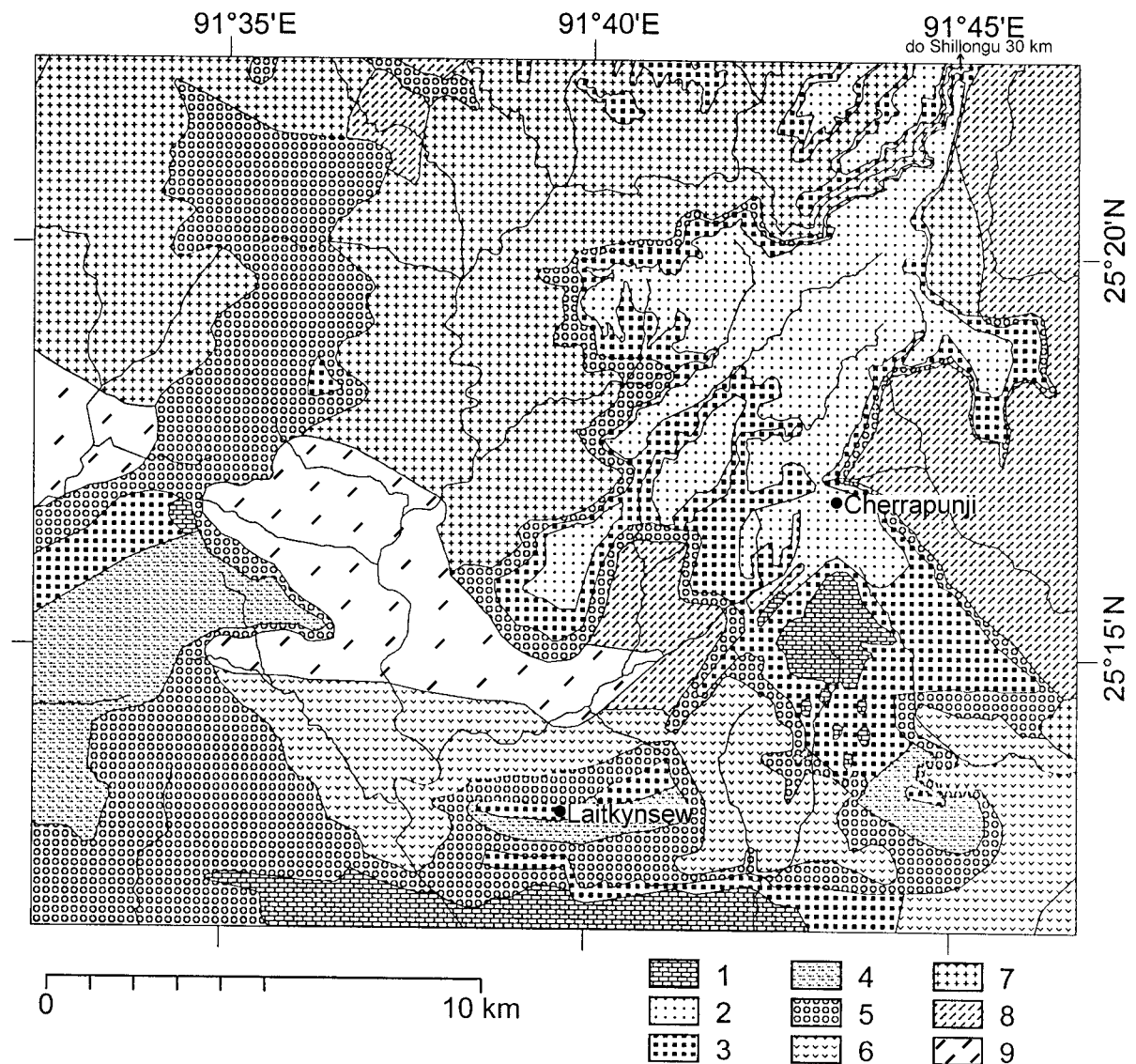
Przejazd z Laitkynsew do Mawsmi południową krawędzią wyżyny.

Mawsmi. Wodospady o wysokości 350 m, zjawiska krasowe i jaskinia, po drodze widok na karbońskie paprocie. Koło jaskini święty las - zachowane przez miejscową ludność płaty lasu klimaxowego, będące obiektem kultu religijnego i stanowiące dowód, że wyżyna była w przeszłości porośnięta lasem liściastym.

Cherrapunji. Dolne Cherrapunji założone przez Brytyjczyków. Stacja meteorologiczna położona na wysokości 1313 m n.p.m. notująca najwyższe roczne opady na świecie.

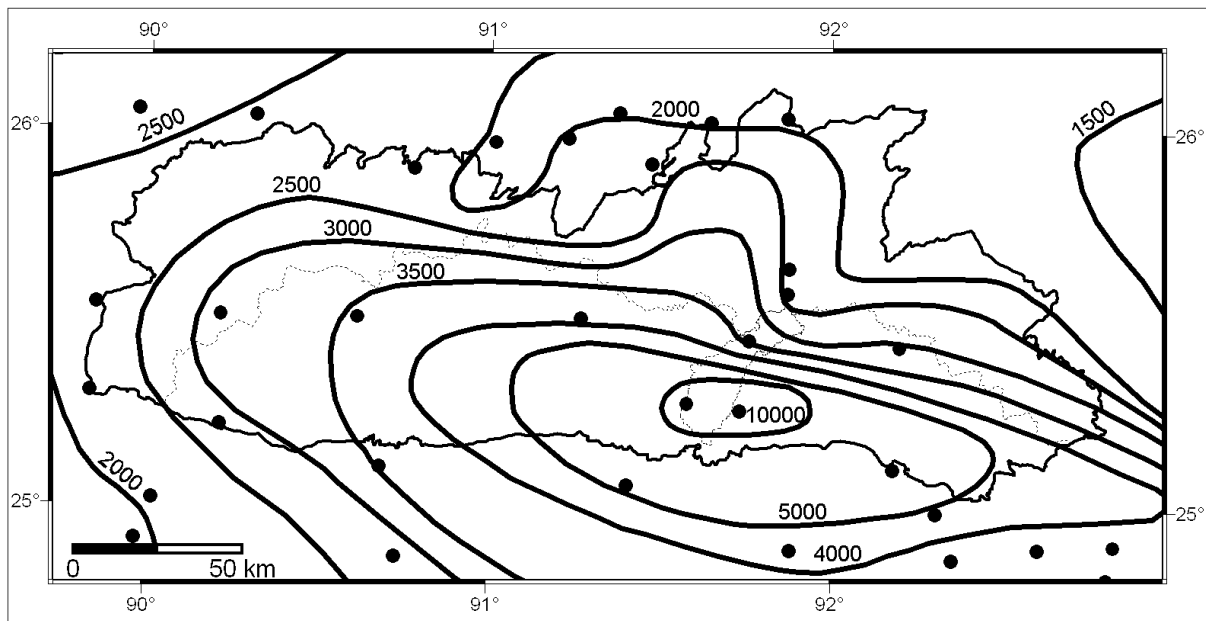
Pomnik Davida Scotta – pierwszego Brytyjczyka na wyżynie.

Droga do Shillongu, po drodze stanowisko megalitów w Laitlyngkot (fakultatywnie).

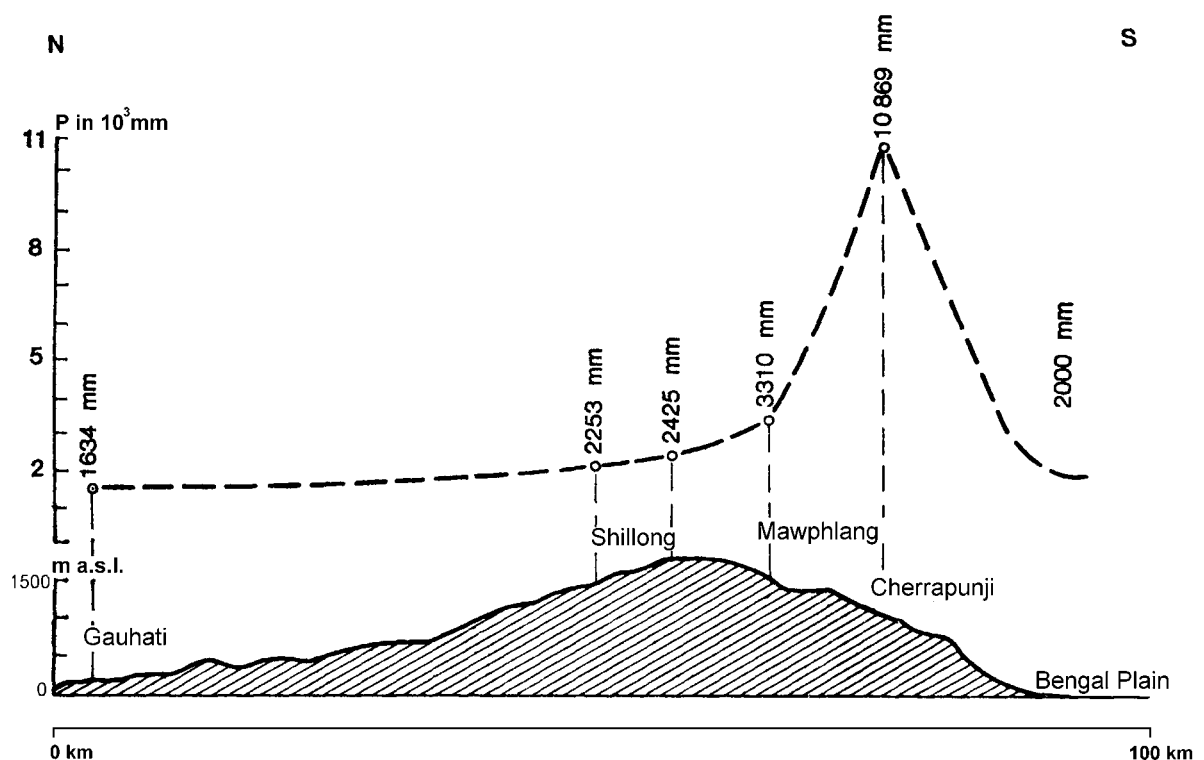


C1. Szkic geologiczny okolic Cherrapunji (oprac. P. Prokop 2004 na podstawie różnych źródeł)

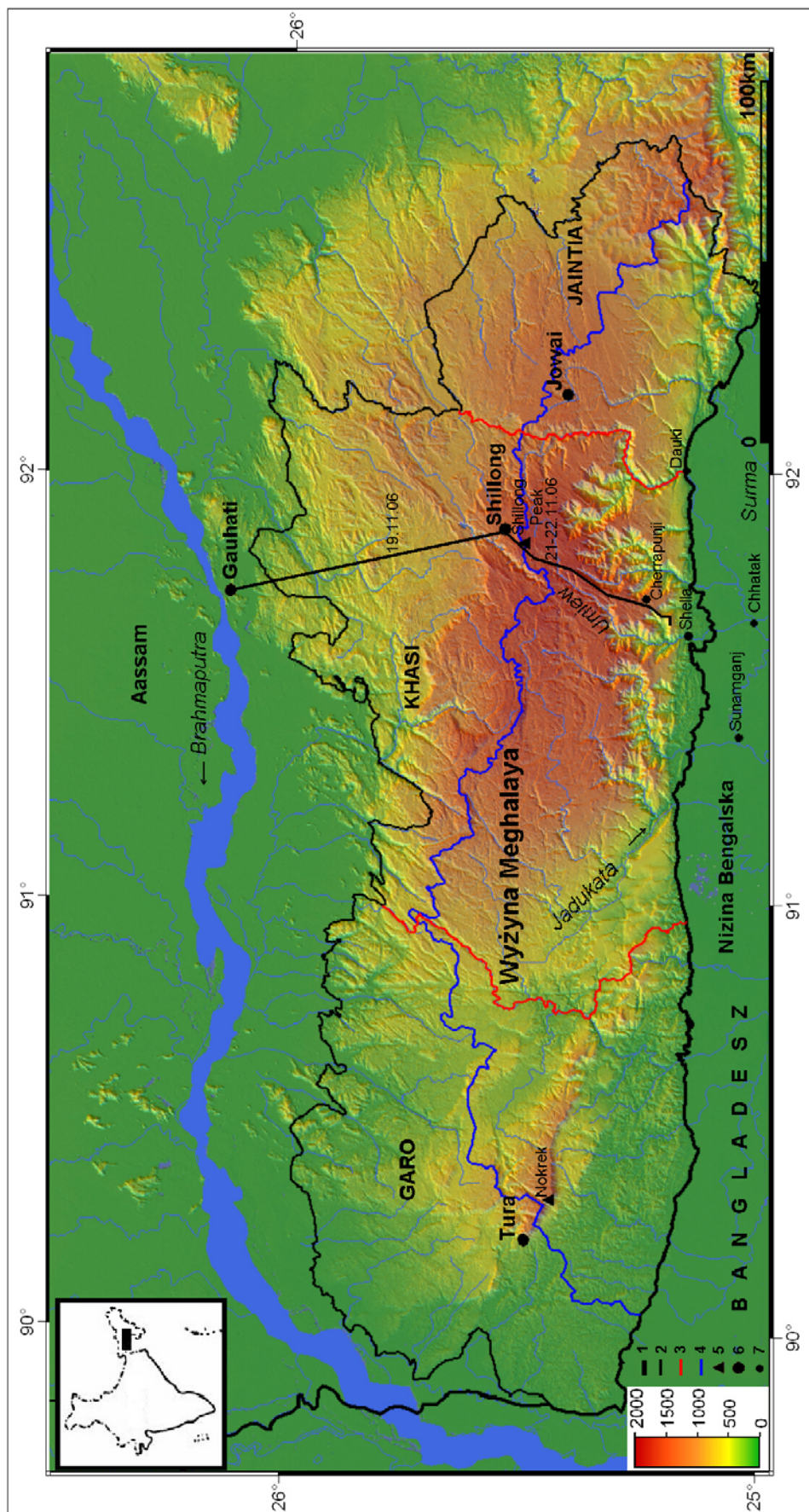
1 - wapienie (formacja Shella - eocen), 2 - piaskowce wapienste (formacja (Shella - eocen), 3 - piaskowce żelaziste (formacja Therria - eocen), 4 - piaskowce wapienste z wkładkami ilów (formacja Langpar - paleocen), 5 - piaskowce glaukonitowe (formacja Mahadek - kreda), 6 - bazalty (trap Sylhetu - jura), 7 - granity (proterozoik), 8 - kwarcyty (grupa Shillongu - proterozoik), 9 - kompleks gnejsów (archaik)



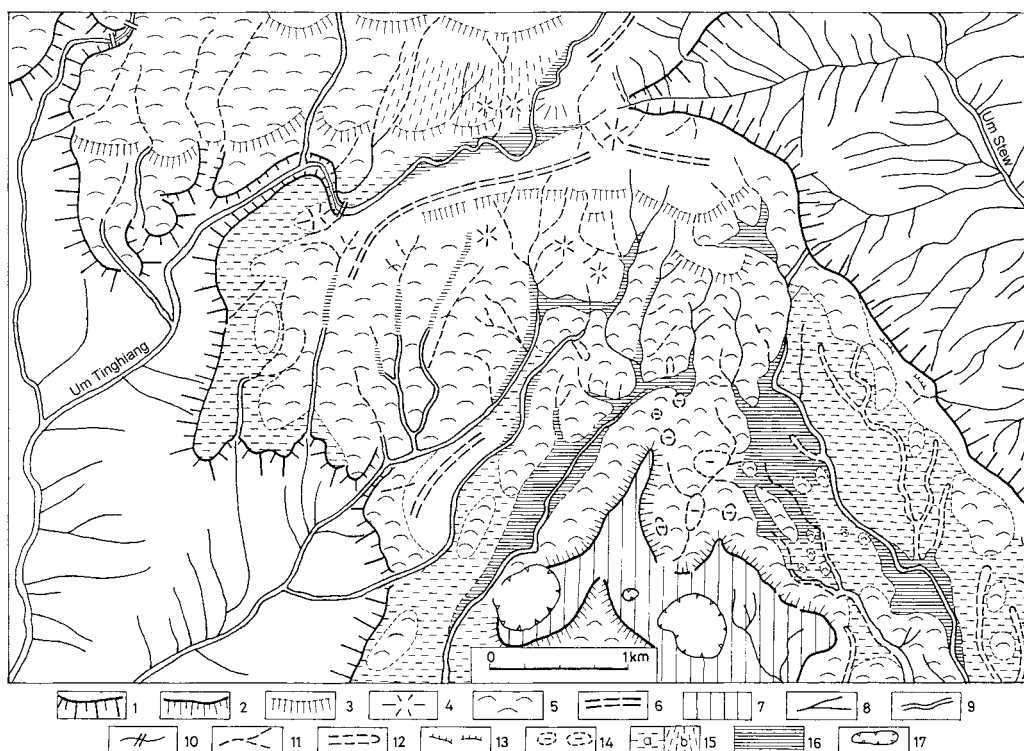
C2. Rozkład średnich wieloletnich sum opadu na Wyżynie Meghalaya (wartości izohiet w mm). Linia przerywaną zaznaczono granice (dział wodny) południowego skłonu wyżyny wraz ze zlewnią Umiew, punkty wskazują stacje opadowe wzięte pod uwagę w czasie interpolacji (oprac. P.Prokop 2006)



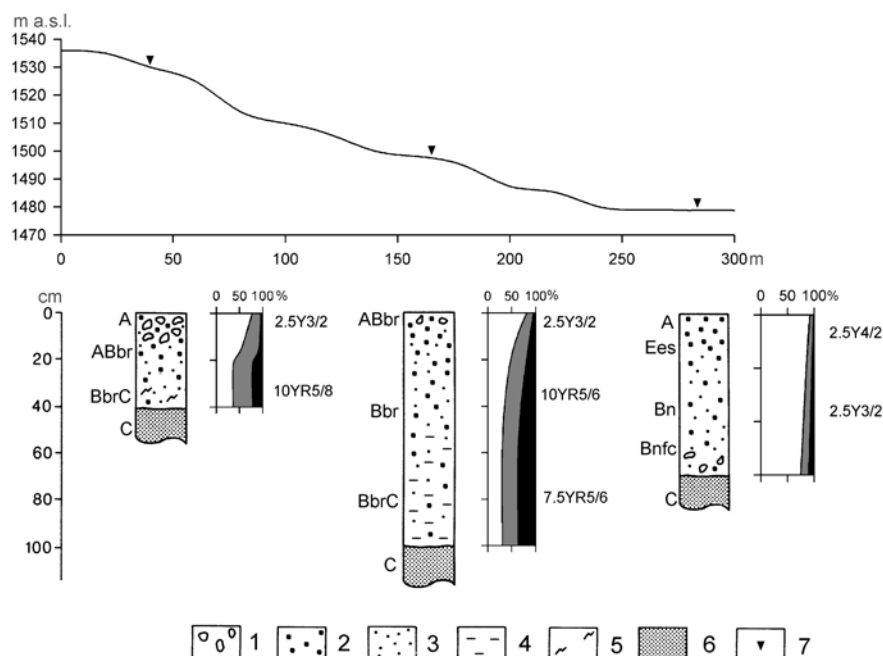
C3. Przekrój przez Wyżynę Meghalaya z krzywą średnich rocznych opadów (L.Starkel i in. 2002)



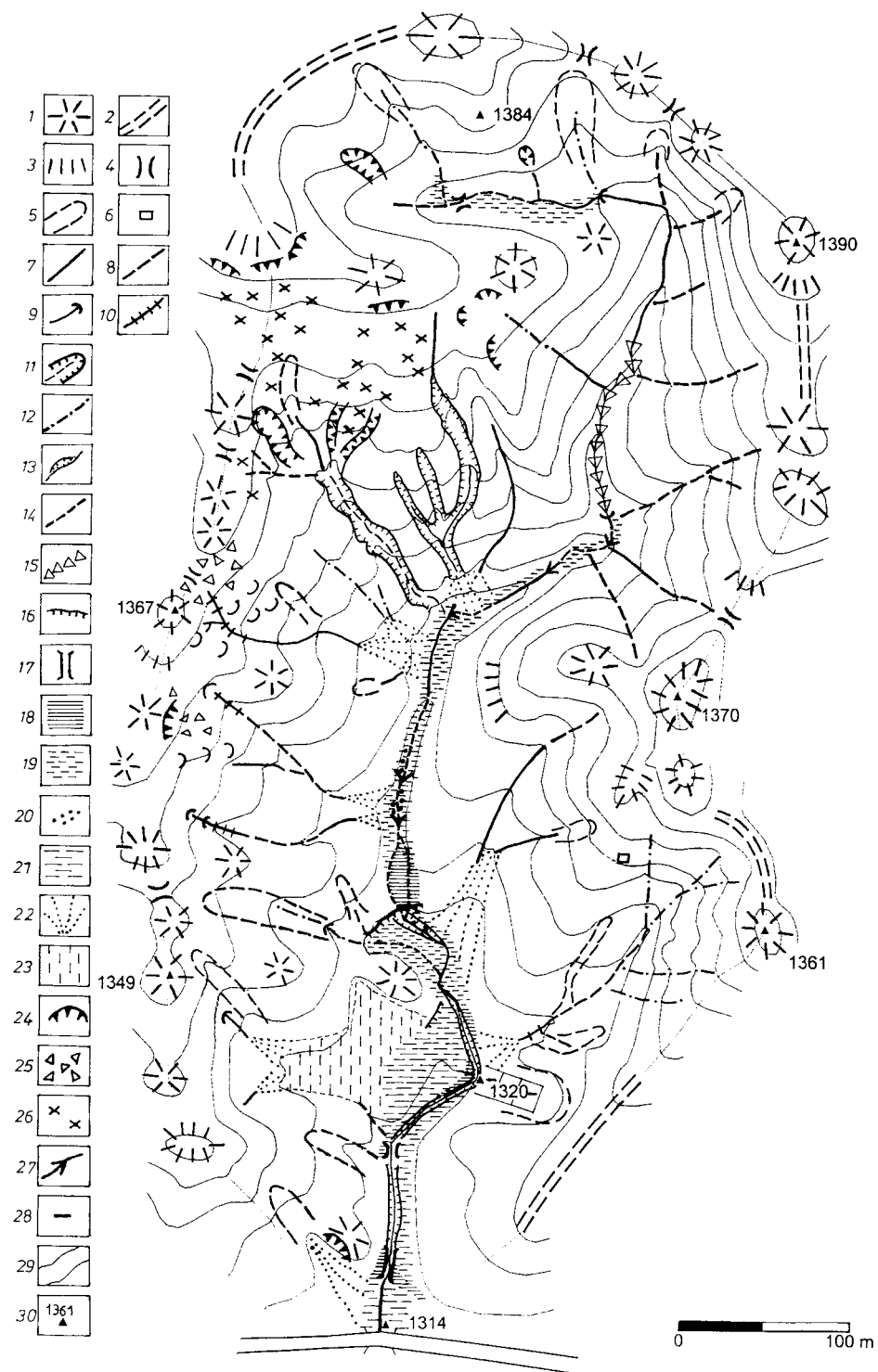
C4. Położenie Wyżyny Meghalaya i trasa wycieczki. 1 - granice państw, 2 - granice stanów, 3 - granice historycznie ukształtowanych jednostek administracyjnych, 4 - granice południowego skłonu wyżyny (dział wodny), 5 - najwyższe wzniesienia, 6 - główne miasta, 7 - pozostałe miejscowości (Prokop 2006)



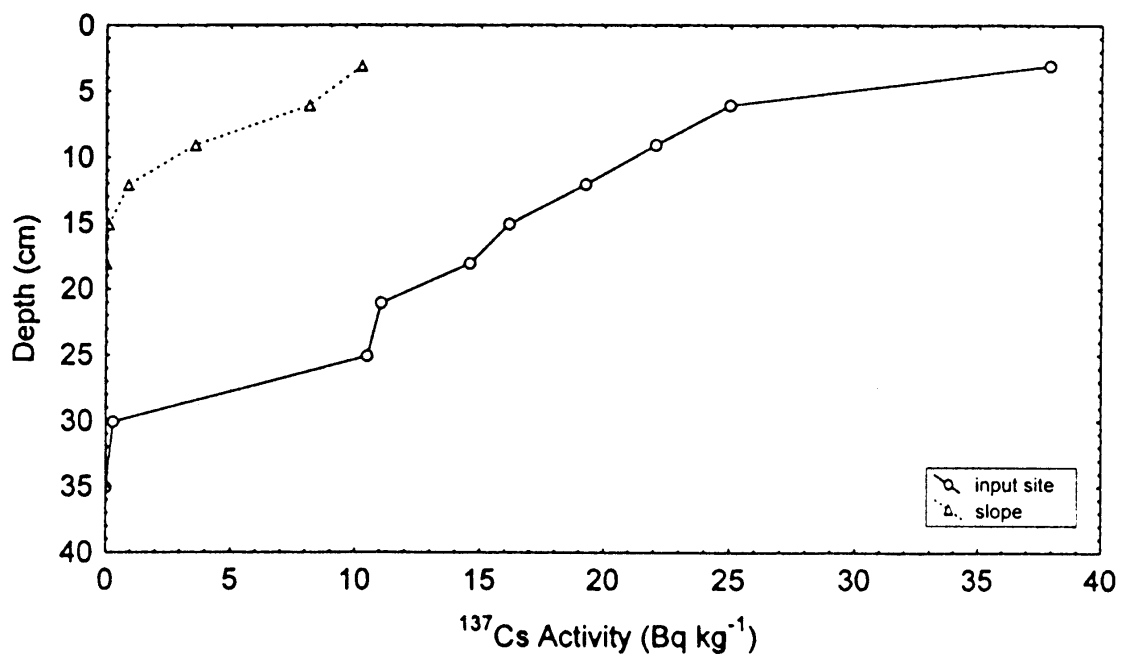
C5. Mapa geomorfologiczna środkowo-południowej części Płaskowyżu Cherrapunji (kartowanie L.Starkel) 1 - strome krawędzie kanionów, 2 - progi wapiennych stoliw, 3 - inne strukturalne progi, 4 - ostańcowe wzgórza, 5 - rzeźba pagórkowata, 6 - szeroki, płaski grzbiet, 7 - wapienne stoliwo, 8 - wcięte koryta i wciosa, 9 - szerokie wcięte koryta, 10 - wodospady, 11 - małe płaskodenne doliny, 12 - inne płytkie doliny, 13 - krawędzie obrywów i zerw, 14 - krasowe obniżenia, 15 - wyższe dna dolin lub glacis, 16 - dna dolin (głównie uwarunkowane strukturą), 17 - kamieniołomy wapieni



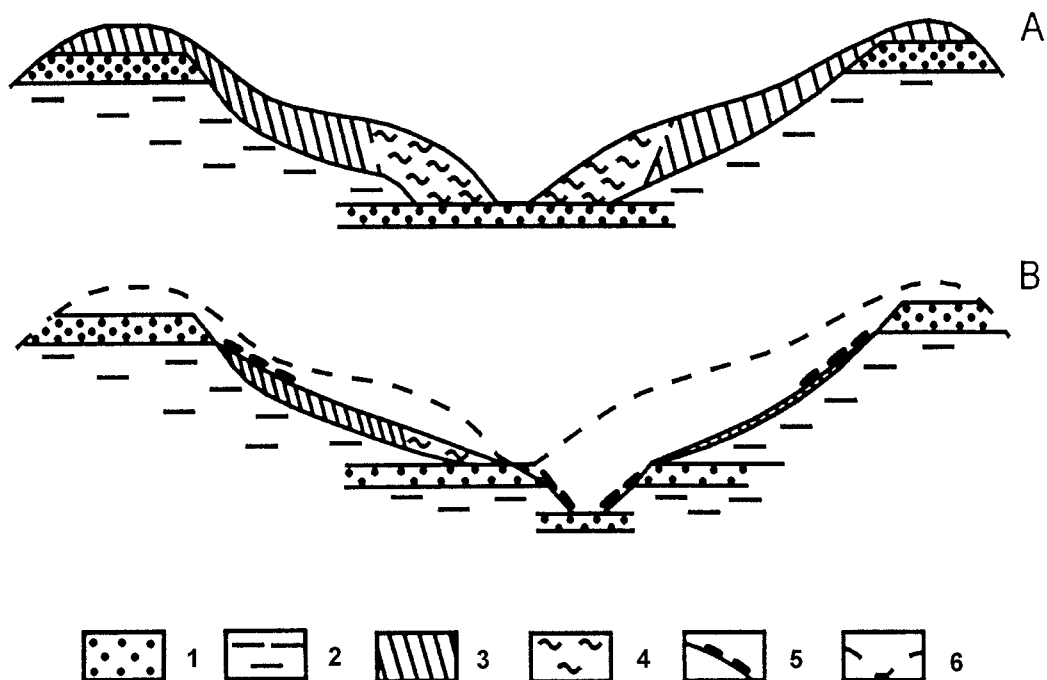
C6. Profile glebowe na Płaskowyżu Cherrapunji. Wykresy przedstawiają procentową zawartość piasku (kolor biały), pyłu (szary) i iłu (czarny) z wyłączeniem frakcji szkieletowej przedstawionej graficznie. Barwa w skali Munsella. 1 - szkielec, 2 - piasek, 3 - pył, 4 - ił, 5 - wkładki węgla kamiennego, 6 - skała macierzysta, 7 - położenie profilów (Prokop 2006)



C7. Mapa geomorfologiczna zlewni Maw-ki Syiem (zdjęcie terenowe L. Starkel) 1 - szczyt, 2 - szeroki grzbiet, 3 - krawędź stokowa, 4 - przełęcz, 5 - nisza stokowa, 6 - duży blok skalny, 7 - v-kształtna dolinka z odpływem, 8 - sucha V-kształtna dolinka, 9 - nisza źródłowa, 10 - wąwóz z progami, 11 - duży aktywny wąwóz, 12 - płytkie nacięcie stokowe, 13 - koryto wycięte w skale, 14 - koryto wycięte w aluviach, 15 - koryto zasypane rumowiskiem, 16 - krawędź erozyjna (z wodospadem), 17 - brama skalna (mały kanion), 18 - skalna terasa, 19 - równina zalewowa (z cienką pokrywą aluviów), 20 - odsyp żwirowo-piaszczysty, 21 - wyższa terasa, 22 - stożek proluwialny, 23 - powierzchnia podstokowa-glacis, 24 - krawędź kamieniołomu, 25 - rumowiska skalne, 26 - wyróbiska górnicze (dawne), 27 - sztuczne zaporki, 28 - staw, 29 - poziomice, 30 - wysokości w metrach



C8. Koncentracja ^{137}Cs na stanowisku reperowym i na stoku (Froehlich 2004)



C9. Model ewolucji małej doliny na Płaskowyżu Cherrapunji (podobnej do potoku Maw-ki Syiem, oprac. L. Starkel)

A - przed wylesieniem, B - stan dzisiejszy

1 - odporne ławice piaskowca, 2 - mniej odporne piaskowce i łupki, 3 - zwietrzelina typu laterytowego, 4 - osady koluwalne (także głęboko zwietrzałe), 5 - zsuwające się bloki piaskowcowe, 6 - przekrój doliny z poprzedniego okresu