

WACŁAW BAŁUK i ANDRZEJ RADWAŃSKI

## Toczeńce uzbrojone z potoków Kotliny Sądeckiej

**STRESZCZENIE:** Toczeńce uzbrojone, będące charakterystycznym składnikiem aluwów w potokach Kotliny Sądeckiej, tworzą się w czasie letnich wezbrań powodziowych z wrywanych przez nawałnicowy nurt z brzegów lub dna potoków brył różnorodnych glin — przeważnie zwietrzelinowych, utworzonych z łupków dłuszowych, lub rzadziej — z różnych glin zboczowych i lessopodobnych. Bryły te w czasie krótkiego transportu przybierają postać kulistych toczeńców i prawie jednocześnie ulegają uzbrojeniu zwiarem na swej powierzchni, w wyniku czego powstają typowe formy toczeńców uzbrojonych.

### WSTĘP

Pracę poniższą, dotyczącą toczeńców uzbrojonych z potoków Kotliny Sądeckiej, wykonaliśmy na podstawie materiału zebranego w lecie 1960 r. Toczeńce na tym obszarze zostały znalezione przez pierwszego ze współautorów w 1958 r. w Potoku Trzetrzewińskim, w czasie opracowywania utworów miocenijskich odsłaniających się na zboczach Kotliny Sądeckiej. W następnym roku stwierdzono występowanie toczeńców także w szeregu innych potoków. Zainteresowani tym faktem, postanowiliśmy bliżej zająć się toczeńcami w roku 1960, chcąc obserwować ich powstawanie i zmienność w ciągu całego sezonu od wiosny do zimy. W czasie pobytu na wiosnę 1960 r. nie znaleźliśmy jednak zupełnie toczeńców. Pojawiły się one w dużej ilości dopiero w czasie intensywnej powodzi, która miała miejsce na przełomie lipca i sierpnia.

Znalezione przez nas toczeńce uzbrojone bardzo przypominają analogiczne formy znane z wielu miejsc na świecie, a opisywane w literaturze za H. Bellem (1940) jako *armored mud balls* (Pettijohn 1957, Kugler & Saunders 1959).

Prace kameralne wykonaliśmy na jesieni 1960 r. w Zakładzie Geologii Dynamicznej Uniwersytetu Warszawskiego pod kierunkiem prof. dr. E. Passendorfera. Jemu więc, oraz doc. dr. Z. Kotańskiemu dziękujemy serdecznie za okazaną pomoc oraz za dyskusję nad przedstawionym materiałem, Kolegom — dr R. Unrugowi oraz mgr J. Rudnickiemu,

N. Butrymowiczowi i J. Niemczynowiczowi dziękujemy za informacje o znalezionych przez nich toczeniach uzbrojonych w różnych rejonach Polski oraz za zezwolenie opublikowania ich obserwacji. Dr. R. Unrugowi wdzięczni jesteśmy ponadto za dyskusję terminologiczną.

#### PRZEGLĄD PRAC DOTYCZĄCYCH TOCZEŃCÓW UZBROJONYCH

Warunki powstawania i występowania toczeńców uzbrojonych są przedmiotem kilku większych prac, przede wszystkim W. Haasa (1927), A. S. Fedorovskiego (1928) i H. Bella (1940), oraz tematem kilkunastu przyczynków. W krótkich rozdziałach omawiane są one także w niektórych podręcznikach (Twenhofel 1932, 1950; Fenton & Fenton 1945; Pettijohn 1957). Na podstawie tych publikacji wiadomo, że toczeniece uzbrojone tworzą się dzisiaj:

1) w potokach — z kawałków iłu lub gliny oderwanych z brzegów lub wyrwanych z dna w czasie ulew i powodzi (Andrusov 1904, Krištafovič 1904, Gardner 1908, Patton 1922, Čirvinski 1924, Haas 1927 — potoki typu *arroyo* w Colorado, Fedorovski 1928, Bell 1940 — potok typu *barranca* w Kalifornii, Fenton & Fenton 1945);

2) na brzegach mórz — z kawałków iłu lub gliny wypłukanych przez fale z brzegu lub dna (Richter 1926, Grabau 1932, Fenton & Fenton 1945, Kugler & Saunders 1959);

3) na brzegach większych rzek (Krištafovič 1910) i jezior (Haas 1927; Fedorovski 1928; Twenhofel 1932, 1950).

Z osadów kopalnych, utworzonych w środowiskach zbliżonych do dzisiejszych, toczeniece znane są przede wszystkim z plejstocenu (Ellis in Haas 1927, Gołąb 1934, Sawicki 1955, Leney & Leney 1957, Kobendza & Kobendza 1958) i trzeciorzędu (Jones & King 1875, Cartwright 1928, Kugler & Saunders 1959). W osadach starszych typowe toczeniece uzbrojone znaleziono tylko w serii Patuxent dolnej kredy we wschodniej części Stanów Zjednoczonych (Wentworth 1935). Opisane przez wymienionych autorów toczeniece plejstocenijskie powstawały w różnych warunkach fluwioglacjalnych, formy trzeciorzędowe zaś i kredowe — w środowisku płytkomorskim lub plażowym, czego zresztą przeważnie nie można było definitywnie rozstrzygnąć.

Toczeniece uzbrojone opisane przez cytowanych autorów są z reguły pokryte (uzbrojone) żwirem, a tylko w nielicznych stanowiskach — piaskiem lub piaskiem ze żwirem (Gardner 1908, Krištafovič 1910, Richter 1926, Leney & Leney 1957, Kobendza & Kobendza 1958) i — w przypadku morskich — fragmentami alg wapiennych, różnymi skorupami, muszlami oraz kregami i innymi kośćmi ryb (Richter 1926, Kugler & Saunders 1959). Uzbrojenie uprzednio uformowanego toczenia jest jednak możliwe tylko wtedy, gdy toczy się on po piasku lub żwirze i jest przy

tym na tyle plastyczny, że drobny materiał klastyczny może zostać wgnieciony w jego powierzchnię. Ponieważ warunki takie zdarzają się stosunkowo rzadko, w wielu miejscach spotyka się często — zarówno dziś jak i w stanie kopalnym — także toczne zupełnie nieuzbrojone lub uzbrojone bardzo słabo i fragmentarycznie (Fraas 1872, Jones & King 1875, Krištafovič 1910, Richter 1926, Fenton & Fenton 1937 i in.).

Kilka z przedstawionych prac zajmuje się tocząciami z terenu Polski. Formy te zostały u nas po raz pierwszy zaobserwowane i opisane przez N. Krištafoviča (1904) z terenu Góry Puławskiej, gdzie powstawały w czasie silnych ulew w małych strumykach rozcinających skarpę starego tarasu Wisły. Tocznie tworzyły się tam z erodowanych czarnych ilów czwartorzędowych, uzbrajały się drobnym żwirem i następnie były transportowane strumieniami do Wisły. W kilka lat później ten sam badacz (Krištafovič 1910) opisał inne różnokształtne toczne uzbrojone z brzegów Wisły pod Puławami i poświęcił im interesujące studium morfologiczne. Późniejsi autorowie — J. Gołąb (1934) i L. Sawicki (1955) — toczne uzbrojone utworzone z gliny morenowej opisali z osadów interglacialnych w Szelażu pod Poznaniem. Podobne formy N. Butrymowicz (1957, inf. ustna) napotkał w Koninie i w okolicach Kutna. W roku 1958 J. Kobendza i R. Kobendza opisali toczne uzbrojone utworzone z ilów warwowych z warstwowanych piasków ze żwirami na obszarze wydm Puszczy Kampinoskiej.

Drobne toczne, niezbyt typowe i słabo uzbrojone, znajdowano u nas także w osadach starszych od czwartorzędu. R. Gradziński (1957) wspomina o nich z morskich piasków miocenских w Proszowicach koło Krakowa, a Z. Wójcik (1959) z piaskowców wierchowego górnego triasu na zboczach Bobrowca w Tatrach Zachodnich. Współczesne toczne uzbrojone, prócz stanowisk opisanych przez N. Krištafoviča (1904, 1910), znane są z kilku miejsc w Karpatach, co zostało przedstawione w następnym rozdziale, oraz z Kamecznicy Podmachocickiej w Górach Świętokrzyskich (Głazek & Radwański 1962).

W ostatnich latach stwierdzono u nas ponadto, że prócz wymienionych środowisk współczesnych i kopalnych toczne uzbrojone występują także we fliszu. M. Książkiewicz (1958) notuje ich występowanie w utworach podmorskich osuwisk w warstwach istebniańskich (górną kreda), zaś K. Grzybek i B. Halicki (1958) — w ławicach osuwiskowych fliszu podhalańskiego. Z licznych obserwacji dra R. Unruga (dane nie publikowane) wynika, że toczne uzbrojone pojawiają się we fliszu karpackim dość często, szczególnie w warstwach grodziskich (dolna kreda), istebniańskich (górną kreda) i ciężkowickich (trzeciorzęd), gdzie zwykle występują w grubych ławicach gruboziarnistych piaskowców powstałych w wyniku podmorskich spływów piaskowych. Tocznie, według obserwacji dra R. Unruga, tworzą zazwyczaj w tych ławicach wyraźnie zaznaczające się

poziomy, co wyłącza możliwość osuwiskowej genezy znalezionych przez niego form. Prócz badaczy polskich, występowanie we fliszu toczeńców uzbrojonych stwierdził także S. Marchant (inf. w pracy Kuglera i Saundersa 1959) w Ekwadorze, w obrębie eoceńskiej formacji Socorro.

Ostatnio także zostały opisane przez S. Alexandrowicza i S. Siedleckiego (1960) interesujące struktury zbliżone do małych toczeńców uzbrojonych z osadów retu okolic Rybnika, gdzie w wapnistych dolomitach występuje wkładka zlepieńca śródformacyjnego utworzonego z 1-8 mm średnicy otoczków dolomitu zlepionych dolomitycznym spoiwem. Niektóre otoczki są oblepione ostrokrawędzistymi ziarnami kwarcu o frakcji mulastej, tworzącymi charakterystyczne „*piaszczyste otoczki*“. Autorzy ci stwierdzają, że otoczki tworzyły się wskutek włączenia po dnie okruchów rozmytej ławicy dolomitowej i oblepiania ich drobnym piaskiem kwarcowym.

Znalezione przez nas toczeńce okolic Nowego Sącza formą swoją, spośród omówionych przykładów, najbardziej przypominają okazy przedstawione przez H. Bella (1940) z potoku Las Posas w Ventura County w Kalifornii oraz okazy H. Kuglera i J. Saundersa (1959) z wybrzeży Trynidadu. Obserwacja ta wraz z danymi z cytowanych prac wskazuje, że podobne toczeńce uzbrojone, o zbliżonym kształcie, wielkości i ogólnym wyglądzie, mogą się tworzyć w zupełnie odmiennych warunkach. Z tego też względu oraz z uwagi na fakt, że znane są toczeńce uzbrojone na złożu drugorzędym (Sawicki 1955, Kugler & Saunders 1959), stwierdzić można, że w osadach kopalnych omawiane utwory nie pozwalają na dokładniejsze sprecyzowanie środowiska sedymentacji.

#### TOCZENŃCE UZBROJONE W POTOKACH KOTLINY SADECKIEJ

Toczeńce znaleźliśmy w potokach rozcinających zachodnie zbocza Kotliny Sądeckiej. Potoki te rozcinają wzgórza osiągające wysokości do około 600 m, podczas gdy toczeńce występują przeważnie w ich środkowych odcinkach biegów, na wysokościach 340-380 m. Dno Kotliny Sądeckiej leży tu na wysokości około 300 m. Potoki wypływają ze wzgórz otaczających kotlinę na tarasy Dunajca, które są określane przez M. Klimaszewskiego (1937) jako tarasy denne. Poszczególne potoki mają różną morfologię w zależności od ilości przenoszonej wody i częściowo od budowy geologicznej. Nachylenie dna potoków, począwszy od górnego biegu do miejsca wplynięcia na tarasy denne Dunajca, jest zmienne i waha się w granicach od kilku do kilkunastu stopni.

Toczeńce uzbrojone znaleźliśmy w następujących potokach: bezimiennym, wypływającym spod wzgórza Naszczowska Góra—Łazy, Juraszowskim, Barzynie, Suchym, Brzeznej, Trzetrzewińskim i Biczycykim. Miejsca występowania toczeńców zostały zaznaczone na mapie geologicz-

nej zachodniej części Kotliny Sądeckiej (fig. 1); ciągną się one na odcinku około 10 km wzdłuż zboczy kotliny.

Z budową geologiczną omawianego terenu zapoznaliśmy się z niepublikowanego zdjęcia A. Bałukowej (1960) w skali 1:25000, wykonanego na podstawie prac W. Szajnochy, M. Książkiewicza, H. Świdzińskiego, H. Kozłkowskiego, J. Burtanówny i innych. Na obszarze rozciętym przez

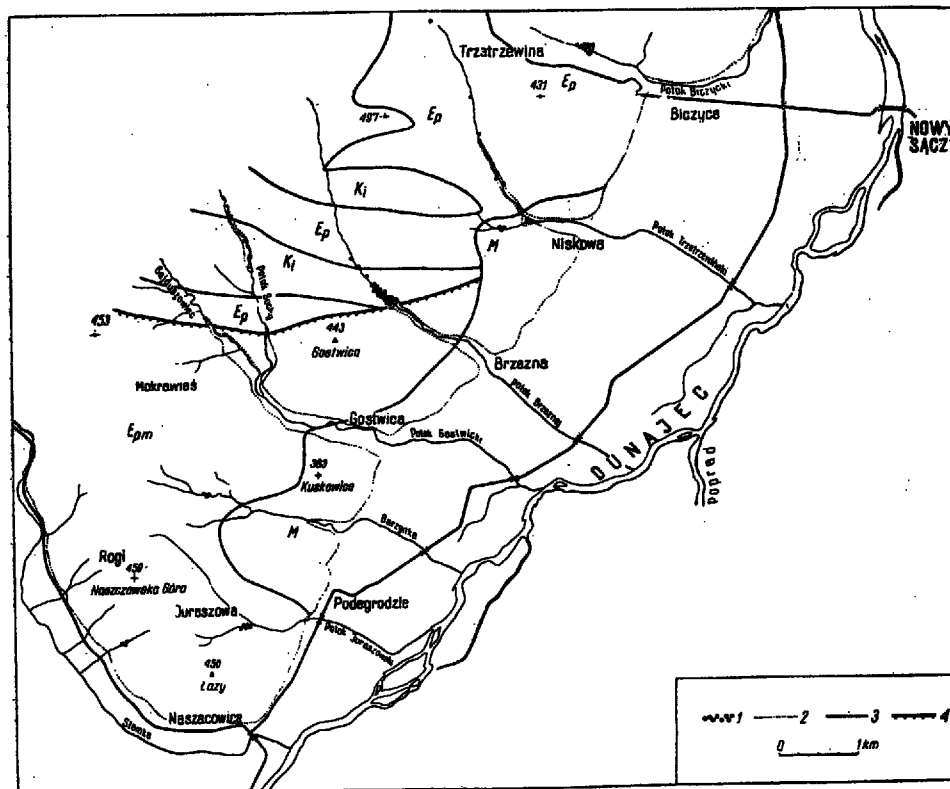


Fig. 1

Szkic geologiczny zachodniej części Kotliny Sądeckiej (na podstawie zdjęcia w skali 1 : 25 000 wykonanego przez A. Bałukową, 1960) z zaznaczeniem miejsc występowania toczeńców uzbrojonych

1 miejsca występowania toczeńców, 2 granice dennych tarasów Dunajca i jego dopływów, 3 granice stratygraficzne, 4 nasunięcia. M miocen. Płaszczyzna magurska:  $E_{pm}$  warstwy podmagurskie — eocen,  $E_p$  pstre łupki — eocen,  $K_1$  warstwy inoceramowe — górna kreda

Geologic sketch map of the western part of the Sadecka Depression (after a 1 : 25 000 map by A. Bałukowa, 1960), showing the sampling sites of armored balls

1 sampling sites of balls, 2 bottom terrace boundaries of the Dunajec and its tributaries, 3 stratigraphic boundaries, 4 overthrusts. M Miocene. Magura nappe:  $E_{pm}$  sub-Magura beds — Eocene,  $E_p$  variegated shales — Eocene,  $K_1$  Inoceramus beds — Upper Cretaceous

wymienione potoki spośród starszego podłoża odsłaniają się fliszowe ogniw płaszczowiny magurskiej: warstwy inoceramowe, pstre łupki eocenu i warstwy podmagurskie. Z młodszej pokrywy na zboczach potoków występują żwiry tarasów zboczowych Dunajca (Klimaszewski 1937), gliny zboczowe, lessy i gliny lessowate (podobne do analogicznych utworów opracowanych przez E. Stupnicką, 1960, w Beskidach Śląskich i na Pogórzu Cieszyńskim), oraz współczesne aluwia małych tarasów, kamieńców i stożków napływowych. W dwóch potokach, Barzynie i dopływie Trzetrzewińskiego, spod młodszej pokrywy odsłaniają się także osady miocenu.

Jak zauważyliśmy, toceńce tworzą się głównie ze zwietrzliny pstrych łupków eocenu, a w mniejszym stopniu ze zwietrzliny szaroniebieskich łupków warstw podmagurskich; miejscami tworzą się one również z glin zboczowych i lessopodobnych. W zależności od materiału wyjściowego toceńce różnią się barwą — w pierwszym przypadku są niebieskawe lub wiśniowe, w drugim — stalowo-niebieskie, w trzecim — żółto-szare.

Toceńce tworzą się tylko w czasie gwałtownych wezbrań potoków, które mają miejsce w czasie nagłych i intensywnych opadów letnich. Jak stwierdziliśmy w 1960 r., nie tworzą się one natomiast przy podniesionym wiosennym stanie wód wywołanym roztopami, choć przybór wody w tym czasie bywa podobnej wielkości jak w czasie gwałtownych opadów letnich.

W poszukiwaniu toceńców przejeżdżaliśmy koryta i kamieńce Dunajca w Kotlinie Sądeckiej oraz jego głównego dopływu — Popradu, gdzie jednak poszukiwanych form dotychczas nie napotkaliśmy. Spośród wielu potoków wpadających do Dunajca, toceńce znaleźliśmy tylko w potokach zachodniej części kotliny. Obfitość występujących tam toceńców pozwala sądzić, że przypuszczalnie tworzą się one w pewnych okresach także w potokach wschodniej części Kotliny Sądeckiej i poza nią, zwłaszcza tam, gdzie są erodowane podobne litologicznie skały należące do fliszu lub młodszej pokrywy. Przypuszczenie takie potwierdzają obserwacje kilku kolegów pracujących nad różnymi problemami w dorzeczu Dunajca. I tak mianowicie w roku 1955 dr R. Unnig i mgr J. Rudnicki (informacje ustne) znajdowali toceńce uzbrojone po powodzi na stożku potoku Mizerki wpadającego do Dunajca koło Czorsztyna (przysiółek Ciechorzyn). Według informacji mgra J. Rudnickiego, toceńce występowały tam w ilości kilkuset sztuk, a tworzyły się ze znanych ilów pliocenskich zawierających słynną florę opracowaną przez profesora W. Szafera. W wyższej części potoku Mizerka znajdowały się także nieprawidłowe i niecałkowicie uzbrojone bryły zwietrzliny tych ilów wyrwane przez potok bezpośrednio z podłoża.

W obrębie zlewni Dunajca toceńce uzbrojone obserwowane były także w Tatrach, w Potoku Lejowym przez mgra J. Niemczynowicza (1956, inf. ustna), gdzie tworzyły się w czasie powodzi ze współczesnej gliny zwietrzelinowej powstałej na wychodniach różnych skał reglowych.

#### *Miejsca występowania toceńców w Kotlinie Sądeckiej*

*Mały bezimienny potok* wypływający spod wzgórza Naszczowska Góra—Łazy, wpadający do rzeki Słomki między Rogami a Naszacowicami, 1 km na N'W od Naszacowic.

Toczeńce (pl. XXII, fig. 2) tworzą się tutaj z gliny zboczowej leżącej na warstwach podmagurskich, które często odsłaniają się w potoku. Pojawiają się bardzo rzadko i mają niewielkie rozmiary — 1,5 do 3 cm, a sporadycznie do 6 cm. Kształt ich jest kulisty lub nieco elipsoidalny, uzbrojenie słabe i niezupełne lub przeciwnie dobre i równomierne. Występują w kamieńcach w dolnym odcinku potoku, na przestrzeni ostatnich 300 m przed miejscem jego wypływu na tarasy Słomki.

Toczeńce obserwowane tu były w roku 1959 i 1960.

*Południowe odgałęzienie* górnego biegu *Potoku Juraszowskiego*. Toczeńce (pl. XXIII, fig. 1) występowały tutaj tylko w obrębie stożka napływowego o powierzchni około 200 m<sup>2</sup>, utworzonego na stosunkowo płaskim i szerokim dnie w miejscu łączenia się obu rozgałęzień potoku. Tworzyły się ze zwietrzliny łupków ilastych warstw podmagurskich. Występowały w różnej ilości w zależności od stanu wód. W roku 1959 było ich kilkadziesiąt, podczas gdy w roku 1960 zaledwie kilka. W czasie pierwszej jednakże obserwacji kamieniec był prawie wyłącznie zasypyany materiałem żwirowym, w czasie zaś drugiej — osadem błotnistym z niewielką ilością żwiru. Toczeńce osiągały tu średnicę do 15 cm, kształty miały kuliste lub elipsoidalne, przy czym formy znalezione w roku 1960 były bardziej elipsoidalne. Uzbrojenie toczeńców było stosunkowo słabe.

*Potok Barzynka*. Charakterystyka toczeńców jest tu podobna jak w potoku poprzednim; tworzą się one tak samo ze zwietrzliny ilastych łupków warstw podmagurskich. Były obserwowane w roku 1959, kiedy występowały w ilości około 30 sztuk.

*Potok Suchy*, będący jednym z dwóch rozgałęzień *Potoku Gostwickiego* w górnej jego części.

Toczeńce tworzą się ze zwietrzliny pstrych łupków eocenu. Występują w niewielkiej ilości, przy czym oprócz form kulistych i dobrze uzbrojonych, pojawia się tu także szereg brył zwietrzliny, słabo obtoczonych i niecałkowicie uzbrojonych, stanowiących wstępne stadia powstawania toczeńców. Toczeńce dochodzą do kilkunastu centymetrów średnicy, nieregularne bryły zaś bywają dwukrotnie większe. Obserwowano tu także stosunkowo nietrwałe bryły utworzone z gliny zboczowej, które jednak znacznie odbiegały od typowych postaci toczeńców.

Toczeńce występowały tu w roku 1960, podczas gdy brak ich było zupełnie w roku 1959.

*Potok Brzeznej*. Jest to jeden z największych potoków na omawianym terenie.

Toczeńce (pl. XVIII-XXI) tworzą się w zdecydowanej większości ze zwietrzliny pstrych łupków eocenu, a sporadycznie (kilka sztuk) z gliny zboczowej. Występują w wielkiej ilości kilkuset do tysiąca sztuk na po-

wodziowym stożku napływowym utworzonym na ostatnich 310 metrach przed sztucznie zbudowanym stopniem zagradzającym całkowicie koryto. Licząc od źródeł jest to pierwszy stopień potoku Brzeznej.

Podczas letniej powodzi 1960 r. kamieniec stożka powodziowego utworzył się tutaj w młodym lasu olchowym. W stosunku do normalnego stanu wody — zwierciadła strumienia obserwowanego w połowie września 1960 r. — osady kamieńca zostały złożone przeciętnie o 40 cm, a miejscami o 90 cm wyżej. Jak można zorientować się z fragmentów roślin napławionych i nawiniętych wokół pni olch, stan powodziowy wody pokrywał do 30 cm najwyższe osady kamieńca, czyli zwierciadło wody podniesione było maksymalnie o 120 cm. Grubszy materiał na stożku ułożony był w grzbiecie równoległe do kierunku prądu (rzeczne *pręgi podłużne* Roniewicza 1959), które z reguły pojawiały się wokół miejsc większego zagęszczenia krzaczastych lub drzewiastych olch. Tocznięce występowały głównie w obrębie tych pręg. Stosunki morfologiczne na stożku powodziowym zostały naszkicowane na figurze 2.

Powyżej stożka powodziowego kamieniec stopniowo zwężał się ku górze, podobnie jak całe koryto potoku. Na zboczach jego, w odległości 550 metrów od stopnia, zaczyna się odsłaniać flisz — piaskowce i łupki warstw inceramowych, wyżej zaś pstry łupki eocenu. Tocznięce powyżej stożka

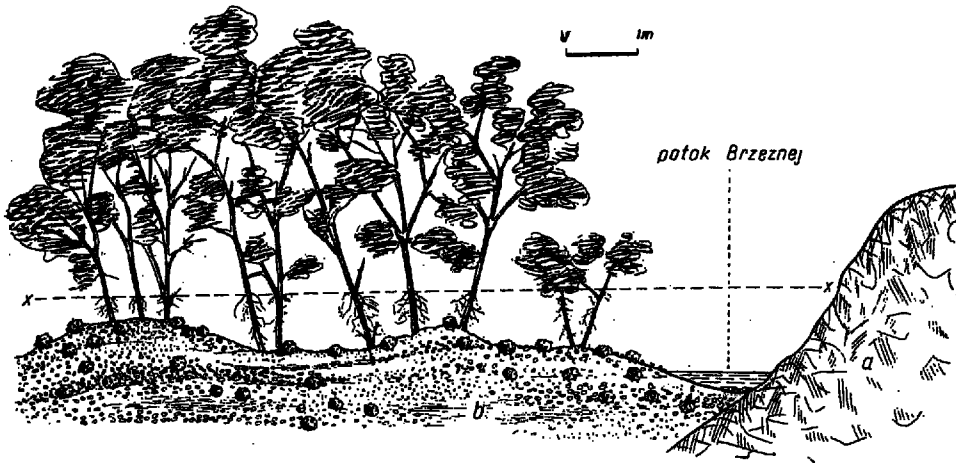


Fig. 2

Przekrój poprzeczny przez stożek potoku Brzeznej w miejscu najintensywniejszego występowania tocznięców (III odcinek)

a osady starszych tarasów potoku Brzeznej, b aluwia powodziowe z tocznięcami, x-x maksymalny poziom wód powodziowych

Cross section of flood fan in the Brzezna stream showing the most abundant occurrence site of armored balls (segment III)

a' older terrace deposits in the Brzezna stream, b flood alluvia with balls, x-x highest flood water mark



występowały sporadycznie, a obok nich zjawiały się coraz większe, do 50 cm średnicy, słabo uzbrojone bryły zwietrzliny łupków fliszowych (pl. XVIII, fig. 1).

Wielkie nagromadzenia toczeńców na omawianym stożku obserwowane były w latach 1959 i 1960. W ostatnim roku przeprowadziliśmy szczegółowe obserwacje ich morfologii i sposobu występowania, które zostały przedstawione w następnych rozdziałach.

*Potok Trzetrzewiński.* Choć jest to także jeden z największych potoków na tym terenie, toczeńce (pl. XXIII, fig. 2) pojawiają się w nim zupełnie sporadycznie w ilości kilku lub kilkunastu sztuk. Występują w głównym cieku oraz w jednym z prawych dopływów (*potok Pruska*), który jest znany z występujących nad nim odsłoneń morskiego miocenu.

W obu przypadkach toczeńce tworzą się ze zwietrzliny pstrych łupków eocenu. Wielkość ich dochodzi do kilkunastu centymetrów, kształty są niezbyt prawidłowe, uzbrojenie dobre. W paru miejscach spotkano również nieregularne i nieuzbrojone bryły zwietrzliny łupków.

W głównym cieku toczeńce znajdowane były w roku 1958, 1959 i 1960, w cieku przy odsłonięciach morskiego miocenu tylko w roku 1960, podczas gdy nie było ich zupełnie w poprzednich latach.

*Potok Biczycycki.* Toczeńce (pl. XXII, fig. 3) występują w obrębie niewyraźnego stożka powodziowego, usypanego przed pierwszym stopniem zagradzającym koryto. Są to formy dość prawidłowe, utworzone wyłącznie ze zwietrzliny pstrych łupków eocenu, ale barwę mają przeważnie wiśniową. Zmiana barwy pstrych łupków eocenu w obrębie Kotliny Sadeckiej, odbijająca się bezpośrednio na barwie toczeńców — z niebieskiej od południa kotliny na wiśniową ku północy, jest — według H. Kozikowskiego (1956) — cechą charakterystyczną tych łupków w całej płaszczynie magurskiej.

Wielkość toczeńców w Potoku Biczycyckim przeciętnie jest stosunkowo mała — około 5 cm. W 1960 r. występowały one w ilości kilkuset sztuk i zostały dokładniej omówione w jednym z następnych rozdziałów, podobnie jak toczeńce z potoku Brzeznej.

Toczeńce znaleziono także u wylotu małego, prawobrzeżnego cieku, leżącego około 80 m przed wspomnianą tamą. U wylotu cieku tworzy się stożek napływowy zazębiający się ze stożkiem Potoku Biczycyckiego. Toczeńce dochodzą tu do 25 cm średnicy. Ponieważ wiele z nich leży już na stożku głównego cieku Potoku Biczycyckiego, przy opisie zostały ujęte wspólnie z tymi ostatnimi.

Poza tym napotkano również kilka niezbyt foremnych i słabo uzbrojonych brył zwietrzliny łupków w największym lewym dopływie omawianego potoku. Bryły te znacznie jednak odbiegały od normalnej postaci toczeńców.

*Charakterystyka toczeńców z Potoku Brzeznej*

Dokładniejsza charakterystyka toczeńców z potoku Brzeznej została przeprowadzona na okazach zebranych na stożku powodziowym. Tocenece zebrano kolejno na trzech odcinkach najwyraźniej rozwiniętego stożka, mających po 80 m długości każdy, w sumie na przestrzeni 240 metrów. Na ostatnich 70 m osadów stożka, końącego się na stopniu, tocenece są zupełnie sporadyczne i nie udało się zebrać ich w dostatecznej ilości. Tocenece zebrane w poszczególnych odcinkach łączyliśmy w osobne grupy, z których mierzyliśmy po 100 najlepiej zachowanych okazów.

*Wielkość*

Dane dotyczące wielkości omawianych toczeńców są przedstawione na tabeli 1 i figurze 3.

Tabela (Chart) 1

Rozmiary toczeńców z potoku Brzeznej i Biczycznego (w centymetrach)  
Size distribution of balls (in cm.) from the Brzezna and Biczyccki streams

	Potok Brzeznej (Brzezna stream segments)			Potok Biczyccki (Biczyccki stream)
	Odcinek I	Odcinek II	Odcinek III	
Maksymalna średnica najdłuższa ( <i>a</i> ) (Maximum longest axis — <i>a</i> )	27,0	23,0	40,0	25,0
Maksymalna średnica średnia $\left(\frac{a + b + c}{3}\right)$ (Maximum mean axis — $\frac{a + b + c}{3}$ )	20,0	21,0	33,7	23,7
Minimalna średnica najkrótsza ( <i>c</i> ) (Minimum shortest axis — <i>c</i> )	4,2	4,0	6,0	2,2
Trzy sąsiadujące przedziały o największej częstości (w oparciu o średnice najdłuższe <i>a</i> ) (Three adjacent maximum frequency sectors — based on longest axis <i>a</i> )	6—12	6—12	8—14	2—8

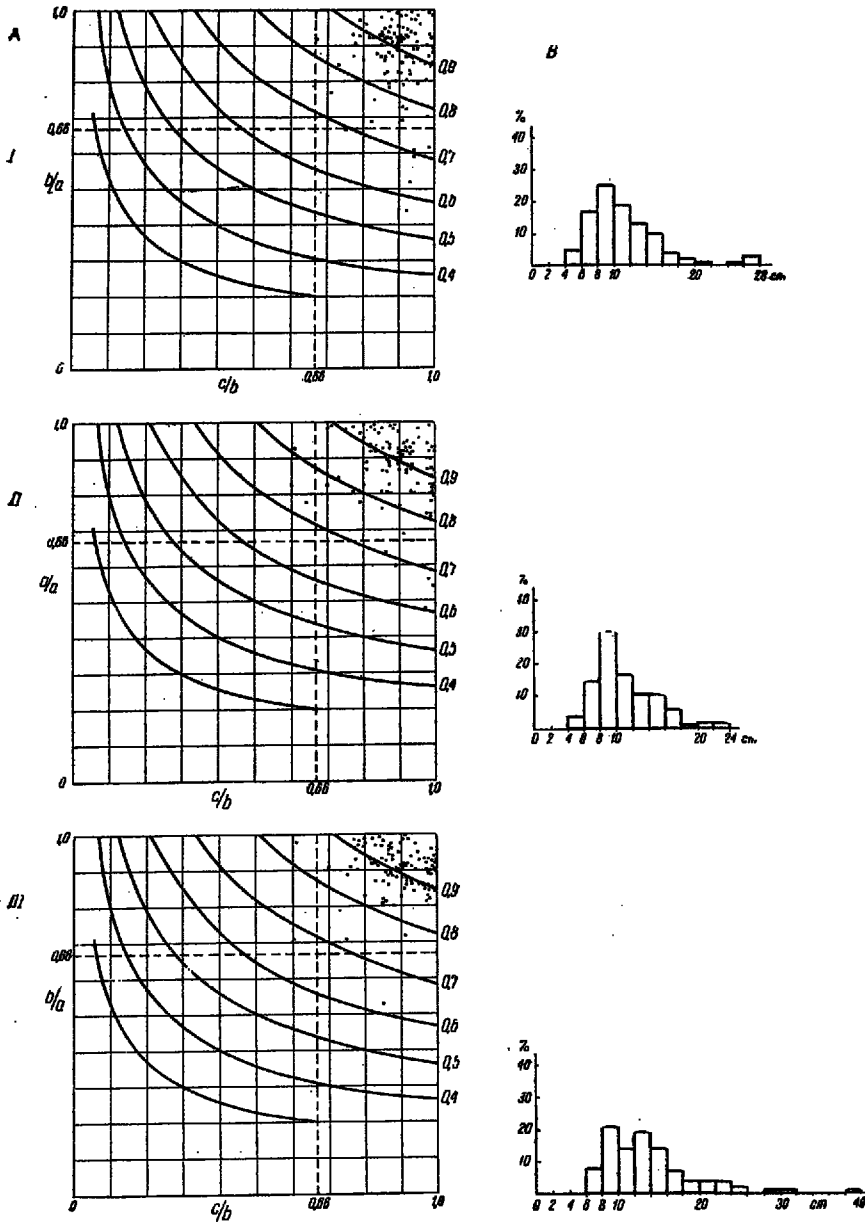


Fig. 3

Charakterystyka graficzna kształtu i wielkości walców uzbrojonych z potoku Brzesnej

A diagramy osiowych współczynników kształtu  $\frac{b}{a}$  i  $\frac{c}{b}$  wraz z izoliniami kulistości  
 B diagramy częstości najdłuższych średnic toczeniów. I, II i III odcinki stożka powodziowego potoku Brzesnej opisane w tekście

Diagram showing the shape and size characteristics of armored balls in the Brzesna stream

A axial shape coefficients diagram ( $\frac{b}{a}$  and  $\frac{c}{b}$  with equal sphericity lines

B longest pebble-diameter frequency diagrams. I, II, III segments of the flood fan in the Brzesna stream described in the text

Wyniki powyższe wskazują, że w potoku Brzeznej na odcinku I i II wielkości toczenców są bardzo podobne i wykazują tylko niewyraźną tendencję wzrostu na odcinku II. Toczence na odcinku III, a więc w najniższej partii stożka, są natomiast wyraźnie większe.

### Kształt

Kształt toczenców określono na podstawie pomiarów długości średnic ( $a > b > c$ ) i obliczonych współczynników  $b/a$  oraz  $c/b$ . Z diagramów T. Zingga (1935) przedstawionych na figurze 3 wynika, że zdecydowana większość toczenców ma kształt kulisty, a tylko pojedyncze okazy mają kształt wrzecionowaty lub dyskowaty. Kulistość toczenców określona z diagramu W. Krumbeina (1941) (izolinie kulistości przedstawione na diagramach fig. 3) jest stosunkowo wysoka i dla większości okazów wyższa od 0,8 (tab. 2). Spośród toczenców o niższej kulistości przeważają formy o kształcie wrzecionowatym.

Tabela (Chart) 2

Kulistość toczenców z potoku Brzeznej i Biczyckiego  
Sphericity of balls from the Brzezna and Biczyccki streams

	Kulistość (Sphericity)			
	< 0,6	< 0,7	< 0,8	< 0,9
Potok Brzeznej (Brzezna stream)				
Odcinek (Segment) I	1	4	13	50
„ „ II	—	4	12	51
„ „ III	—	1	4	43
Potok Biczyccki (Biczyccki stream)	—	1	3	46

Z tabeli 2 widać także, że kulistość toczenców na odcinku I i II jest prawie jednakowa, natomiast wzrasta nieco na odcinku III, czyli w dolnej partii stożka.

Kulistość toczenców, jak można stwierdzić na podstawie pomiarów, nie jest uzależniona od ich wielkości, co pokrywa się z obserwacjami H. Bella (1940), a różni się od faktów zaobserwowanych w innych warunkach przez A. S. Fedorovskiego (1928) i J. Gołęba (1934), że wśród toczenców bardziej kuliste są formy mniejsze, oraz od obserwacji A. Ellisa (*in* Haas 1927), że bardziej kuliste są formy większe. Sam fakt wzrostu kulistości toczenców w dół potoku obserwowany był poprzednio przez H. Bella (1940).

### Budowa wewnętrzna (jądro)

Toczence, jak wspomnieliśmy, zbudowane są w zdecydowanej większości ze zwietrzliny łupków należących do różnych ogniw fliszu. Zwietrzelina ma charakter gliny, w skład której prócz ilu wchodzi niewielkie

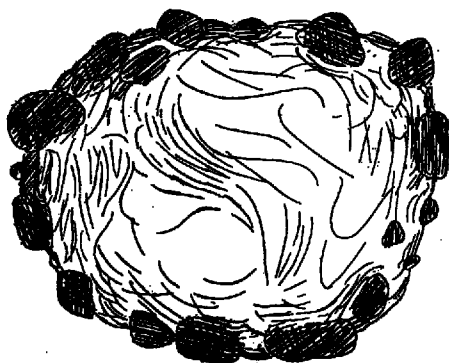
ilości drobnych okruchów mułowców lub piaskowców tworzących pierwotnie milimetrowe lub centymetrowe przewarstwienia w łupkach. Barwa gliny jest niebieskawa lub wiśniowa, w zależności od barwy wietrzejących łupków; w obrębie poszczególnych toczeńców może zmieniać się w sposób nieprawidłowy.

Jądro toczeńców przeważnie jest jednorodne. W niektórych jednak przypadkach można obserwować, że jest ono zbudowane z kilku fragmentów gliny różniących się nieco strukturą, konsystencją i barwą oraz zachowujących niekiedy pierwotny charakter łupków z widocznym warstwowaniem. Fragmenty te są silnie wymięte i zgniecione ze sobą (fig. 4 i pl. XXII, fig. 1), przez co jądra takich toczeńców jako całość przypomi-

Fig. 4

Przekrój toczeńca uzbrojonego z potoku Brzeznej. Widać strukturę ugniataną jądra zbudowanego z gliny zwietrzelinowej pstrych łupków

Section through armored ball from the Brzezna stream, showing the "kneaded" structure of nucleus which consists of clayey waste of variegated shales



niają swoją budową toczeńce ugniatane, opisane przez drugiego ze współautorów (Radwański 1960) z jurajskich osuwisk podmorskich na obrzeżeniu Gór Świętokrzyskich. Mimo podobieństwa morfologicznego mechanizm nabywania struktury ugniatanej przez toczeńce z potoków Kotliny Sadeckiej jest jednak odmienny. W czasie transportu w potokach bowiem ugniatanie ogranicza się najprawdopodobniej tylko do wierzchniej części brył czy toczeńców — silniej nawodnionych, a przez to bardziej plastycznych od jądra. Ugniatana struktura głębszych partii jądra pochodzi natomiast przypuszczalnie w głównej mierze z samej gliny, a wywołana została jej osuwaniem się lub spelzrywaniem ze zboczy potoków do ich koryt. W czasie tego ruchu glina ugniatana się podobnie jak osady osuwające się i tworzące toczeńce w warunkach podmorskich.

Jakkolwiek proces ugniatania brył i toczeńców w czasie transportu przez nurt potoku zachodzi raczej tylko na ich powierzchni, to jednak jest on wraz z obmywaniem brzegów przez wodę głównym czynnikiem powodującym utworzenie kulistych form toczeńców (podkreślają to m.in. Ellis *in* Haas 1927, Fedorowski 1928, Wentworth 1935), który należy przeciwstawić ścieraniu i abrazji decydującym o kształcie otoczków. Można tu zresztą podać, że w innych warunkach toczeńce uzbrojone mogą się także tworzyć drogą stopniowego zwiłania się osadu lub naklejania nowych powłok iu na transportowaną bryłę tak, że toczeńce takie nabywają

strukturę zwijaną (Gardner 1908; Čirvinski 1924; Cartwright 1928; Twenhofel 1932, 1950; Gołąb 1934; Fenton & Fenton 1945; Kugler & Saunders 1959), analogicznie jak niektóre toczneńce tworzące się w osuwiskach podmorskich. Wewnątrz takich toczneńców, podobnie jak czasem w toczneńcach osuwiskowych (Książkiewicz 1958) żwir uzbrajający zachował się w kilku powłokach.

W jednym z toczneńców o niewyraźnie zaznaczonej strukturze ugniatanej zauważyliśmy niewielkich rozmiarów wydłużoną szczelinę z naciekami błotnymi na jej ściankach (fig. 5). Forma szczeliny i nacieku wska-



Fig. 5

Szczelina w toczneńcu uzbrojonym z potoku Brzeznej z naciekami błotnymi

Crack in armored ball from the Brzezna stream with minute mud draperies

zuje, że w czasie transportu niektóre toczneńce mogły być na tyle suche i sztywne, że pod wpływem uderzeń pękały, a potem w utworzone szczeliny naciekało błoto, osiadając sekrecyjnie na ich ściankach.

### Uzbrojenie

Wszystkie toczneńce uzbrojone są z wierzchu żwirem, równomiernie i przeważnie dość szczelnie. W jądrach toczneńców spotyka się wprawdzie czasem otoczaki lub okruchy skał, ale pochodzą one raczej z samej gliniastej zwietrzliny łupków. Uzbrojenie (*armor*, Bell 1940) ściśle przylega do jądra, choć nie tworzy oddzielnej warstwy. W czasie wysychania, lub odwrotnie, nawadniania toczneńców (gdy znajdują się ponownie w wodzie), objętość gliny zmienia się nieznacznie i przypuszczalnie stopniowo, co nie wywołuje złuszczenia się i odpadania pokrywy uzbrajającej, jak to obserwowano w innych przypadkach (Krištafovič 1910, Haas 1927, Fedorovski 1928, Bell 1940, Twenhofel 1950).

Fracja żwiru uzbrajającego wynosi przeciętnie 1-2 cm, a maksymalne okruchy dochodzą do 7 cm długości i 2 cm szerokości. Żwir ten jest z reguły słabo obtoczony, a kształt jego dość różnorodny, z przewagą form płaskich — taki sam, jak leżący w osadach kamieńca. Rzadko znajduje się toczneńce mające wgniecionę z wierzchu duże otoczaki o średnicy niewiele mniejszej od średnicy toczneńca.

W skład uzbrojenia wchodzi przeważnie szare lub brunatnawe mułowce z muskowitem na powierzchniach lamin, oraz rozmaite stosunkowo

związłe łupki, a dalej — piaskowce i okruchy żyłowego kalcytu. Prócz tego znaleźć można często przyklepione kawałki gałązek i korzeni, liście, a sporadycznie także drobne kostki kręgowców.

Cechą charakterystyczną uzbrojenia jest stosunkowo jednolita frakcja żwiru, przeważnie niezależna od wielkości toczenia. Obserwuje się mianowicie duże, kilkunastocentymetrowe toczence uzbrojone żwirem do 1 cm, a z drugiej strony — małe toczence, 5-7 cm średnicy, uzbrojone żwirem o średnicy 1-2 cm. Cecha ta jest zatem różna od stwierdzonej przez V. Čirvinskigo (1924) u toczenców z wąwozu okolic Kaniowa (Ukraina) i przez H. Bella (1940) wśród podobnych do naszych toczenców w potoku Las Posas (Kalifornia), gdzie wielkość żwiru uzbrajającego była proporcjonalna do wielkości toczenców.

Toczenie utworzone z gliny zboczowej posiadają uzbrojenie wyraźnie słabsze w stosunku do form opisanych powyżej, co przypuszczalnie jest wywołane mniejszą plastycznością tej gliny w czasie formowania się toczenców.

*Charakterystyka toczenców z Potoku Biczyckiego*

W Potoku Biczyckim zmierzaliśmy 100 okazów z całego obszaru niewielkiego stożka, nie dzieląc go na poszczególne odcinki, oraz traktując razem z formami przyniesionymi ze wspomnianego prawobocznego cieku,

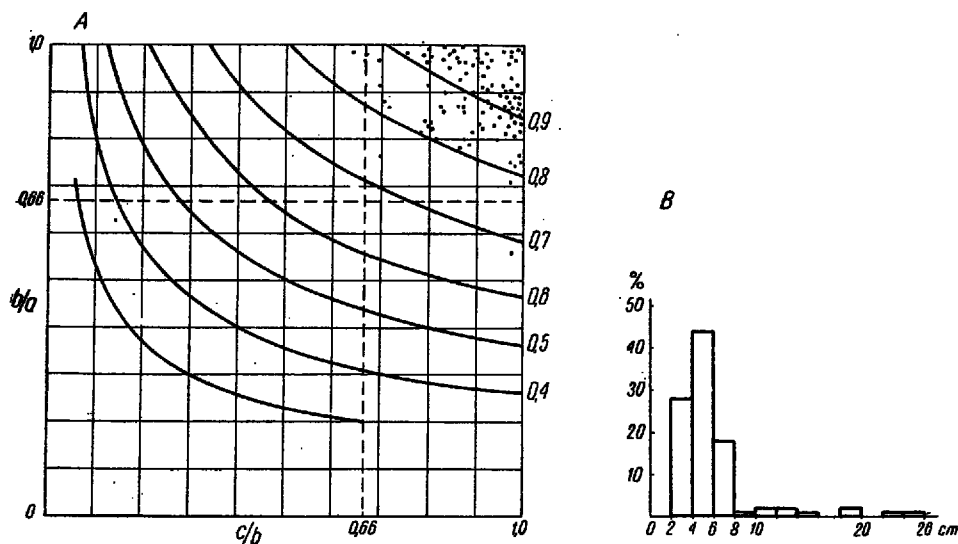


Fig. 6

Charakterystyka graficzna kształtu (A) i wielkości (B) toczenców uzbrojonych z Potoku Biczyckiego. objaśnienia wykresów A i B na fig. 3

Diagram showing the shape (A) and size (B) characteristics of armored balls from the Biczyccki stream. For explanation of diagrams A-B see fig. 3

na ogół większymi. Przypuszczalnie z tego powodu rozrzut wielkości wszystkich toczeńców razem wziętych jest tutaj dość znaczny (tab. 1), choć przeciętne ich rozmiary są niewielkie (tab. 1 i fig. 6) i znacznie mniejsze niż w potoku Brzeznej.

Kształt toczeńców jest tu niemal wyłącznie kulisty, a kulistość stosunkowo wysoka, w 94% wyższa od 0,8 (fig. 6), co upodabnia wyniki z tego potoku do wyników z końcowego (III-ciego) odcinka stożka w potoku Brzeznej (tab. 2).

Cechy uzbrojenia są analogiczne jak w potoku Brzeznej.

#### WARUNKI POWSTAWANIA TOCZEŃCÓW

Omówione toczeńce uzbrojone w Kotlinie Sądeckiej znajduje się w wielu potokach będących dopływami Dunajca, gdzie leżą w obrębie kamieńców stożków powodziowych — nierównomiernie rozrzucone w masie żwirów, lub też na przegach podłużnych utworzonych za lokalnymi przeszkodami.

Toczeńce tworzą się tylko w czasie gwałtownych wezbrań potoków po ulewnych deszczach letnich, gdy dochodzi do szybkiej erozji stosunkowo zwężonej zwietrzeliną różnych łupków. W czasie wiosennych roztopów toczeńce nie mogą się tworzyć, ponieważ zwietrzelina ta jest wtedy o wiele mniej sztywna, silniej nawodniona i zbliżona konsystencją do błota. Toczeńce nie tworzą się także w czasie normalnego stanu wód, przy którym nurt potoków jest tak słaby, że nie tylko nie może silnie erodować, ale nawet transportować poprzednio utworzonych toczeńców, analogicznie zresztą jak zwykłego żwiru (ostatnią prawidłowość obserwowano także w żwirach Dunajca — Unrug 1956, 1957).

Sporadyczne deszcze letnie nie niszczą toczeńców pozostawionych przez wezbrane wody nawałnicowe. Rozpadają się one dopiero w czasie opadów jesiennych lub też podczas zamarzania i rozmrażania w zimie i roztopów na wiosnę następnego roku. Po toczeńcach pozostają wtedy jedynie płaskie kopki uzbrajającego żwiru, który leży na resztkach nierozmytej gliny ze środka toczeńców.

Toczeńce w czasie letnich nawałnic tworzą się z erodowanych z brzegu lub dna koryta fragmentów rozmiękłych pakietów łupków fliszowych lub też z brył gliny zwietrzelinowej, która miejscami spełza w postaci koluwiów do potoków. Oderwane bryły, mające już niejednokrotnie strukturę ugniataną nabytą w czasie spełzania, ulegają formowaniu do postaci kulistych toczeńców drogą stopniowego obmywania brzegów, ugniatania i wygładzania powierzchni, na której jednocześnie stopniowo uzbraja się żwirem. Z chwilą całkowitego uzbrojenia w zasadzie kończy się proces formowania toczeńców. Ponieważ nie obserwuje się okazów roz-



bitych lub zdeformowanych, sądzić należy, że utworzone toczne podczas dalszego transportu nie były już niszczone, lecz stanowiły utwory mechanicznie dość odporne.

Zważywszy, że większość toczenców pod względem kształtów i stopnia uzbrojenia reprezentuje formy dojrzałe, podczas gdy formy wyjściowe lub pośrednie, będące w stadium formowania się i uzbrajania, znajdowane są zupełnie sporadycznie, oraz z uwagi na fakt, że w potoku Brzeznej między osadami stożka a pierwszymi wychodniami pstrego eocenu (około 300 m) toczne prawie w ogóle nie występują, można przypuszczać, że prawie wszystkie toczne skończyły swój cykl rozwojowy i zostały przeniesione dość daleko od miejsc swego powstawania jeszcze w czasie podniesionego stanu wody. Większość toczenców utworzyła się prawdopodobnie w czasie jednej, być może pierwszej, gwałtownej fali podczas wezbrania i wraz z różnorodnym materiałem klastycznym została złożona w obrębie formującego się stożka powodziowego.

Z zaobserwowanej w lecie 1959 i 1960 r. zależności, iż w Potoku Juraszowskim obecność toczenców (1959 r.) wyklucza się w zasadzie z obecnością obfitych nanosów mułu i iłu (1960 r.), wynika, że toczne nie tworzą się także w czasie letnich nawałnic, gdy dochodzi do całkowitego rozbełtania glin zwietrzelinowych, a więc podobnie jak to ma miejsce przy roztopach wiosennych.

Wielkość toczenców w poszczególnych potokach zależy najprawdopodobniej od siły erozyjnej i transportowej nurtu, która z kolei uzależniona jest od ilości przepływającej wody, długości potoków i nachylenia jego koryta. Czynniki te są silnie z sobą wzajemnie powiązane i przeważnie nie można rozpatrywać roli któregośkolwiek z nich osobno. Wpływ nachylenia zaobserwować można w bocznym cieku Potoku Biczyskiego, który ma znacznie większe nachylenie ( $15^\circ$ ) od cieku głównego ( $2^\circ$ ). W bocznym dopływie tworzą się mianowicie toczne do 25 cm średnicy, podczas gdy w samym potoku najwyższej do 10-13 cm.

Z pomiarów w potoku Brzeznej widać, że w najniższej partii stożka powodziowego, odpowiadające bardziej dolnemu biegowi potoku, rozmiary toczenców wzrastają (tab. 1), podobnie jak ich kulistość (tab. 2). Sposób transportu toczenców musiał być zatem przynajmniej częściowo odmienny niż otoczków skał fliszowych, których średnica w dół stożka szybko maleje tak, że w końcowych jego partiach toczne leżą przeważnie w bardzo drobnym żwirze lub piasku z niewielką domieszką żwiru. Najprawdopodobniej żwir był transportowany tylko prądem, w chwili gdy toczne ruszone przez nurt z miejsca chwilowego spoczynku mogły toczyć się dalej samodzielnie, częściowo niezależnie od zmniejszającej się siły nośnej potoku. W ten sposób formy bardziej kuliste mogły toczyć się dalej niż mniej kuliste.

Większość toczeńców ma kształt wyraźnie kulisty; formy wrzecionowate spotyka się rzadko i raczej w górnej części stożka (potok Brzeznej, fig. 3). Orientacja tych ostatnich w stosunku do osi koryta jest bezładna, co wynika najprawdopodobniej ze zmiennego nurtu powodziowego transportującego toczeńce, lub z zachowania się pozycji toczeńców w stadium niecałkowitej reorientacji. Ostatnie zjawisko, stwierdzone w Dunajcu (Unrug 1956, 1957), polega na zmianie położenia najdłuższej osi otoczków z prostopadłego do kierunku prądu, jaki mają w czasie wleczenia, na równoległe w czasie odkładania materiału przez słabnący prąd.

Określenie długości transportu, jaki przeszły bryły zwietrzliny zanim utworzyły się z nich toczeńce, bądź utworzone już toczeńce, jest w większości przypadków bardzo trudne, gdyż potoki płyną po wychodniach tych samych warstw, prawie subsekwentnie z ich przebiegiem. W potoku Brzeznej, który rozcina zespoły różnych warstw, minimalna długość transportu — od najwyższych osadów stożka do najbliższych wychodni pstręgo eocenu — wynosi około 300 metrów, maksymalna zaś — od najdalej położonych wychodni łupków do najniższych osadów stożka — około 1300 metrów. Szacunkowo biorąc, w Potoku Trzetrzewińskim długość transportu jest podobna. Najkrótszy transport, gdyż zaledwie kilkudziesięciometrowy, przeszły toczeńce w kilkakrotnie omawianym małym, prawobocznym cieku wpadającym do Potoku Biczyskiego.

Opisane warunki powstawania, formowania i uzbrajania toczeńców z potoków Kotliny Sądeckiej bardzo przypominają pod wieloma względami warunki zaobserwowane przez H. Bella (1940) w wspomnianym potoku Las Posas w Kalifornii, gdzie toczeńce tworzyły się z łupków ilastych erodowanych w czasie gwałtownej powodzi w marcu 1938 r., a składane były wzdłuż całego koryta oraz na stożku powodziowym. Dokładniejsze rozpoznanie różnych zjawisk i procesów oraz ich kolejności było tam jednakże możliwe z powodu znacznie większej długości potoku, w którym odległość od pierwszych punktów tworzenia się toczeńców do najdalej położonych miejsc ich złożenia na mieliznach stożka wynosiła aż około 4,5 km.

Reasumując można stwierdzić, że toczeńce uzbrojone są charakterystycznym składnikiem współczesnych aluwii w potokach Kotliny Sądeckiej, a występowanie ich zależy od budowy geologicznej podłoża oraz od warunków erozji, transportu i sedymentacji w potokach. Interesujące byłoby kontynuowanie sezonowych obserwacji nad warunkami ich powstawania i występowania również i w następnych latach.

*Zakład Geologii Dynamicznej  
i Katedra Geologii i Ekonomiki Złóż  
Uniwersytetu Warszawskiego  
Warszawa, w styczniu 1962 r.*

## LITERATURA CYTOWANA

- ALEXANDROWICZ S. & SIEDLECKI S. 1960. Osady pstręgo piaskowca w okolicach Rybnika (Bunter deposits in the vicinity of Rybnik, Upper Silesia). — Roczn. P. T. Geol. (Ann. Soc. Géol. Pol.), t. XXX. Kraków.
- ANDRUSOV N. 1904. O glinianych wałunach (Ueber Thongerölle). — Eżegodnik Geol. i Min. Rossiji (Ann. Géol. Min. Russie), 6. Novo-Aleksandrija (Puławy).
- BALUKOWA A. 1960. Zdjęcie geologiczne zachodniego zbocza Kotliny Sądeckiej ze szczególnym uwzględnieniem występowania glin zboczowych oraz określeniem ich przydatności dla ceramiki. Praca magisterska nie publikowana. Archiwum Wydz. Geologii. U.W. Warszawa.
- BELL H. 1940. Armored mud balls — their origin, properties, and role in sedimentation. — J. Geol., vol. 48. Chicago.
- CARTWRIGHT L. 1928. Sedimentation of the Pico formation in the Ventura Quadrangle, California. — Bull. Amer. Ass. Petrol. Geol., vol. 12. Tulsa.
- CIRVINSKI V. 1924. Gliniannyje katuny i siderity iz okrestnostej Kaniewa i Traktirowa kijewskoj gub. (Les „pierres ronds d'argile“ et les spherosiderites des environs de Kaniew). — Vistn. Ukr. Vid. Geol. Kom. (Bull. Sect. l'Ukraine du Com. Géol.) 1924. Kijiv.
- FEDOROVSKI A. S. 1929. Ovražnyje gliniannyje katyši iz okrestnostej Charkova i charkovskoj gubernii. — Trudy Chark. Tov. Dosl. Prirody (Trav. Soc. Natur. de Charkov), vol. 51. Charkov.
- FENTON C. L. & FENTON M. A. 1937. Belt series of the North: stratigraphy, sedimentation, paleontology. — Bull. Geol. Soc. Amer., vol. 48. Washington.
- 1945. The rock book. New York.
- FRAAS O. 1872. Heuglin's geologische Untersuchungen in Ost-Spitzbergen. — Mitth. J. Perthes Geogr. Ans., Bd. 18. Gotha.
- GARDNER J. 1908. The physical origin of certain concretions. — J. Geol., vol. 16. Chicago.
- GLĄZEK J. & RADWAŃSKI A. 1962. Toczeńce uzbrojone w Kamecznicy Podmachocickiej (Armored mud balls in the Podmachocice ravine, Holy Cross Mts., Central Poland). — Acta Geol. Pol. vol. XII/3. Warszawa.
- GOŁĄB J. 1934. Toczeńce z gliny morenowej w Szelagu pod Poznaniem (Rollsteine aus dem Moränenton von Szelag bei Poznań). — Roczn. P. T. Geol. (Ann. Soc. Géol. Pol.), t. X. Kraków.
- GRABAU A. 1932. Principles of stratigraphy. 3d ed. New York.
- GRADZIŃSKI R. 1957. Uwagi o sedimentacji miocenu w okolicy Proszowic (Notes on the sedimentation of the Miocene in the environs of Proszowice). — Roczn. P. T. Geol. (Ann. Soc. Géol. Pol.), t. XXVI. Kraków.
- GRZYBEK K. & HALICKI B. 1958. Osuwiska podmorskie we fliszu podhalańskim (Submarine slides in the Podhale flysch, Carpathians). — Acta Geol. Pol., vol. VIII/3. Warszawa.
- HAAS W. 1927. Formation of clay balls. — J. Geol., vol. 35. Chicago.
- JONES T. & KING C. 1875. On some newly exposed sections of the „Woolwich and Reading beds“ at Reading, Berks. — Quart. J. Geol. Soc. London, vol. 31. London.
- KLIMASZEWSKI M. 1937. Morfologia i dyluwium doliny Dunajca od Pienin po ujście (Morphologie und Diluvium des Dunajctales von den Pieninen bis zur Mündung). — Prace Inst. Geogr. U.J. (Trav. Inst. Géogr. Univ. Cracovie), z. 18. Warszawa.

- KOBENDZA J. & KOBENDZA R. 1958. Rozwiewane wydmy puszczy Kampinoskiej (Les dunes éparpillées de la forêt de Kampinos). In: Wydmy śródlądowe Polski, część I. Warszawa.
- KOZIKOWSKI H. 1956. Geologia płaszczowiny magurskiej i jej okien tektonicznych na południowy zachód od Gorlic (Geology of the Magura nappe and its tectonic windows to the SW of Gorlice). — Biul. I. G. (Bull. Inst. Géol. Pol.) 110. Warszawa.
- KRISTAFOVIĆ N. 1904. O „glinianych wałunach“ profesora N. I. Andrusowa (Ueber „Thongerötle“ von Professor N. I. Andrusov). — Ezegodnik Geol. i Min. Rossiji (Ann. Géol. Min. Russie), 6. Novo-Aleksandrija (Puławy).
- 1910. Pribrėžnyje glinianyje katuny r. Wisły, a także woobščę o pribrėžnych (rečnych, ozernych i morskich) glinianykh katunach, sovremennykh i iskopaemykh (Les blocs d'argile roulés des bords de la Vistule et de même en général les blocs d'argile roulés riverains (fluviaux, lacustres et marins) contemporains et fossiles). — Ibidem, 11.
- KRUMBEIN W. 1941. Measurement and geological significance of shape and roundness of sedimentary particles. — J. Sedim. Petrol., vol. 11. Tulsa.
- KSIAŻKIEWICZ M. 1958. Osuwiska podmorskie we fliszu karpackim (Submarine slumping in the Carpathian flysch). — Roczn. P. T. Geol. (Ann. Soc. Géol. Pol.), t. XXVIII. Kraków.
- KUGLER H. & SAUNDERS J. 1959. Occurrence of armored mud balls in Trinidad, West Indies. — J. Geol., vol. 67. Chicago.
- LENEY G. & LENEY A. 1957. Armored till balls in the Pleistocene outwash of southeastern Michigan. — Ibidem, vol. 65.
- PATTON L. 1922. In support of Gardner's theory of the origin of certain concretions. — Ibidem, vol. 30.
- PETTJOFEN F. 1957. Sedimentary rocks. 2nd ed. New York.
- RADWAŃSKI A. 1960. Osuwiska podmorskie w małmie i senonie mezozoicznego obrzeżenia Gór Świętokrzyskich (Submarine slides of epicontinental Upper Jurassic and Upper Cretaceous margins of the Holy Cross Mts., Central Poland). — Acta Geol. Pol., vol. X/2. Warszawa.
- RICHTER R. 1926. Die Entstehung von Tongeröllen und Tongallen unter Wasser. — Senckenbergiana, Bd. 8. Frankfurt a. M.
- RONIEWICZ P. 1959. Zmarszczki i pręgi jako wskaźnik środowiska sedymentacji. — Kosmos B, t. V. Warszawa.
- SAWICKI L. 1955. Stratygrafia interglacjału Szelaga pod Poznaniem (Stratigraphy of the interglacial stage of Szeląg near Poznań). — Acta Geol. Pol., vol. V/1. Warszawa.
- STUPNICKA E. 1960. Geneza glin lessowatych Pogórza Cieszyńskiego i Beskidów Śląskich (Origin of the loess-like clays in the Cieszyn Upland and the Beskidy Śląskie Range). — Ibidem, vol. X/2.
- TWENHOFEL W. 1932. Treatise on sedimentation. London.
- 1950. Principles of sedimentation. 2nd ed. New York—Toronto—London.
- UNRUG R. 1956. Preferred orientation of pebbles in recent gravels of the Dunajec river in the Western Carpathians. — Bull. Acad. Pol. Sci., Cl. III, vol. IV. Warszawa.
- 1957. Współczesny transport i sedymentacja żwirów w dolinie Dunajca (Recent transport and sedimentation of gravels in the Dunajec valley, Western Carpathians). — Acta Geol. Pol., vol. VII/2. Warszawa.
- WENTWORTH C. 1935. The terminology of coarse sediments. — Bull. Nat. Res. Council, nr 98. Washington.

- WÓJCIK Z. 1959. Serie wierzchowe południowych zboczy Bobrowca (High-tatric series in the south side of Mt. Bobrowiec, Western Tatra Mts.). — Acta Geol. Pol., vol. IX/2. Warszawa.
- ZINGG T. 1935. Beitrag zur Schotteranalyse. — Schweiz. Min. Petr. Mitt., Bd. 15. Zürich.

В. БАЛУК и А. РАДВАНЬСКИ

**ОБЛЕПЛЕННЫЕ ГРАВИЕМ КАТУНЫ В ПОТОКАХ  
СОНДЕЦКОЙ КОТЛОВИНЫ**

(Резюме)

В пойменном аллювии многих потоков Сондецкой котловины (окрестности города Новы Сонч в польских Карпатах, фиг. 1) встречаются характерные формы облепленных гравием катунов (пл. XVIII—XXIII). Они образуются во время летних разливов из вырывающихся бурным течением с берегов или со дна глыб разнообразных глин. Это преимущественно глинистые продукты выветривания флишевых слоистых глин, реже склоновых и лессовидных глин.

Вырванные глыбы во время недолгого транспорта подвергаются обработке и принимают форму шарообразных катунов облепленных на поверхности гравием.

Наибольшее количество их, почти тысяча, находится на поверхности образовавшегося во время разливов конуса потока Вжезной (фиг. 2), где были проведены точные измерения их величины и формы (фиг. 3 и таб. 1 и 2), а также наблюдения над их строением (фиг. 4 и 5). В других потоках они встречаются в количестве нескольких, до нескольких десятков и только в Бичицком потоке до нескольких сот экземпляров (фиг. 6 и таб. 1 и 2).

W. BALUK & A. RADWAŃSKI

**ARMORED MUD BALLS IN STREAMS IN THE VICINITY OF NOWY SĄCZ  
(POLISH CARPATHIANS)**

(Summary)

ABSTRACT: Recent armored mud balls from a number of streams cutting the western slopes of the Sadecka Depression are described. These forms develop during summer floods from lumps of various clays eroded in the banks or the bottom of streams. In the course of their short transport these lumps are shaped into spherical balls, and their surface is at the same time armored with pebbles.

## INTRODUCTION

During field investigations conducted in the Polish Carpathians through 1959-1960 numerous armored mud balls have been found within alluvial deposits of many streams which cut the western slopes of the Sądecka Depression. In 1960 it was established that these balls had not been formed during the spring floods but during a strong flood that occurred at the end of July and the beginning of August of 1960. At that time a number of balls found in the particular streams ranged from a mere few to some tens and far more specimens. Several hundred of them were collected in the Biczycy stream, and nearly one thousand in the Brzezna stream. This enabled a more accurate examination to be made of the size and sphericity of the balls collected at these two sites. The balls from all the streams under consideration were found within the gravel deposits on flood fans, distributed at random among pebbles and sand, or within longitudinal ripples formed behind local obstacles.

The occurrence sites of the armored balls in streams of the Sądecka Depression are shown in fig. 1.

Before describing the collected forms the writers made an up-to-date review of papers concerning armored mud balls. Among the 30 items they reviewed, from Polish, British, American, Russian and German literature, there are extensive works (Haas 1927, Fedorovski 1928, Bell 1940), short reports dealing exclusively with that subject or contained in stratigraphic and regional papers, and finally brief notes from handbooks (Twenhofel 1932, 1950; Fenton & Fenton 1945, Pettijohn 1957). It may be said that at present armored mud balls are widely distributed throughout the globe.

In what shape is concerned, armored balls from the vicinity of Nowy Sącz come nearest to the specimens described by H. Bell (1940) from the Las Posas barranca in Ventura County, California, and to those of H. Kugler and J. Saunders (1959) from the bluffs of Trinidad. Hence, it is seen that similar balls may be formed under totally different environmental conditions.

The term "armored balls" has been introduced by H. Bell (1940) and is now in common use (Pettijohn 1957, Leney & Leney 1957, Kugler & Saunders 1959 and others).

## ARMORED MUD BALLS WITHIN STREAMS OF THE SADECKA DEPRESSION

Armored mud balls in the streams of the Sądecka Depression are formed mainly of clayey weathering waste from Eocene variegated shales of the Magura nappe, to a smaller extent of clayey waste from Eocene

shales of the so called sub-Magura group belonging to that nappe, locally also from Quaternary slope- and loess-like clays. The colour of the armored balls depends on their origin. Those formed from variegated shales are bluish or cherry-red, from Eocene shales of sub-Magura group are of a steel-blue tint, while from Quaternary clays are a yellow-grey colour.

More accurate observations of the armored balls have been made in the Brzezna stream (pl. XVIII-XXI). They occurred there on an alluvial flood fan (fig. 2) which accumulated along the last 310 m. of the stream before it reached the site of an artificial dam completely barring the stream bed. The balls were collected from three successive segments of the most distinct flood fan, over a length of 240 m. Over the last 70 m. before the dam the number of armored balls was very small. One hundred of the best preserved specimens were measured from each lot collected from the three segments (I, II, III) of 80 m. each.

The diameter measurements of these balls (chart 1 and fig. 3) show that those collected from segments I and II are very much the same in size, while those from segment III, i. e. in the most downstream part of the fan, are distinctly larger.

The sphericity measurements (chart 2 and fig. 3) show that by far the greater number of balls are of spherical shape. In this character balls from segments I and II are closely similar, too, while in the most downstream part of the fan (III) the sphericity of balls slightly increases.

As a rule the nuclei of the armored balls are homogeneous. Specimens with the so called "kneaded" structure are, however, encountered, too (fig. 4; pl. XXII, fig. 1). Most probably this structure did not develop in the course of the stream transport of the clay lumps, but it is the original structure formed by the slumping of clays from banks of streams into the stream bed.

The surface of all the balls is uniformly and rather tightly armored with pebbles. The armour clings closely onto the nucleus. The size of the armoring pebbles does not, as a rule, depend on the size of the armored balls.

Balls in the Biczyci stream (pl. XXII, fig. 3), are distinctly smaller than those in the Brzezna stream (chart 1 and fig. 6) and they are practically all of spherical shape (chart 2 and fig. 6). Their nuclei and armors display features similar to those in balls of the Brzezna stream.

The variability of balls from other streams, e. g. the Juraszowski stream (pl. XXIII, fig. 1) and the Trzetrzewiński stream (pl. XXIII, fig. 2) fits into the variability range of specimens from the Brzezna or Biczyci streams. Slight differences are observable only in the rather characteristic small balls, 2 cm. in diameter (pl. XXII, fig. 2) from an unnamed creek.

which rises in the Naszczowska Góra — Lazy hill (fig. 1). These consist of yellowish slope clay and are armored with pebbles 0.5 to 1.5 cm. in diameter, i.e. only negligibly smaller than the diameter of the armored balls themselves (left specimen in pl. XXII, fig. 2).

#### CONCLUSIONS

The armored mud balls from the Sądecka Depression are formed during summer floods from lumps of softened shales, eroded and torn out of the banks or the bottom of streams, or from clayey weathering waste of these shales which creeps down as small slides plugging up the stream ravines. The lumps that were torn out and sometimes were "kneaded" more than once during the creeping down and sliding, are shaped into spherical balls. This results from the gradual outwash of projecting corners, the kneading and smoothing out of the surface which, at the same time, picks up a coating of pebbles. The process of the formation of balls may be said to stop with the completion of the armor.

Measurements of specimens from the Brzezna stream show that the size (chart 1) and sphericity (chart 2) of balls increase in the most downstream part of the flood fan. The mode of transport of balls must have differed, at least partly, from that of gravels whose diameter downstream the flood fan decreases so rapidly that finally the pebbles are encountered within the finest fraction of the gravel deposits or even in the sand. Most probably the gravel is transported only by the force of the current, while the balls, displaced by the current from the place of their temporary rest may roll on independently, partly even not affected by the diminishing transport capacity of the current. Thus the more spherical forms may have rolled on farther downstream than those less spherical.

In the case of most streams it is hardly possible to determine the length of transport of the lumps of clayey waste to which they were subjected before being formed into balls, or of the transport of the balls themselves, since these streams flow over outcrops of the same layers, almost subsequentially to their strike. In the Brzezna stream which intersects various series, the minimum length transport — from the uppermost flood fan deposits to the nearest Eocene variegated shale outcrops — is circ. 300 m., while the maximum length — from the farthest shale outcrops to the most downstream flood fan deposits — is circ. 1,300 m. It may be reasonably estimated that the length of transport in the Trzetrzewiński stream is very much the same. The shortest transport, scarcely exceeding some tens of metres, occurred in a small tributary creek of the Bicznycki stream.



The armored mud balls are rather resistant forms. The seasonal summer showers do not destroy them. They desintegrate owing to the autumn rains, the freezing and melting processes in winter time, or the spring thaws of the next year. Upon desintegration all that remains of the balls are small flat heaps of the armoring pebbles that rest on the clay residuum of the nuclei of our balls.

*Laboratory of Dynamic Geology  
and Laboratory of Geology and Economics of Deposits  
of the Warsaw University  
Warszawa, January 1962*

OBJAŚNIENIA DO PLANSZ XVIII—XXIII

DESCRIPTION OF PLATES XVIII—XXIII

PL. XVIII

Fig. 1

Nieuzbrojona bryła zwietrzeliwy pstrych łupków (a) i dwa toczeńce uzbrojone (b, c) na kamieńcu powyżej stożka powodziowego Brzeznej. Skala przy toczeńcu b pokazuje 50 cm

Unarmored lump of variegated shale waste (a) and two armored balls (b, c) on gravel deposits upstream of the Brzezna flood fan. As measured by scale-ruler armored ball b is 50 cm. in length

Fig. 2

Ogólny widok kamieńca na stożku powodziowym potoku Brzeznej (II odcinek). Toczeńce uzbrojone pokazano strzałkami

General view of gravel deposits on flood fan in the Brzezna stream (segment II). Armored balls indicated by arrows

PL. XIX

Fig. 1

Toczeńce uzbrojone na kamieńcu stożka powodziowego Brzeznej (odcinek III)

Armored balls on gravel deposits of flood fan in the Brzezna stream (segment III)

Fig. 2

Grupa toczeńców zebranych na III odcinku stożka

Group of armored balls collected from segment III of flood fan

## PL. XX

## Fig 1

Toczeniec uzbrojony o kształcie wrzecionowatym. Najdłuższa oś 16 cm. Potok Brzeznej (III odcinek)

Armored ball of fusiform shape. Greatest axial length 16 cm. Brzezna stream (segment III)

## Fig. 2

Toczeniec uzbrojony o kształcie kulistym. Średnica 14 cm. Potok Brzeznej (III odcinek)

Armored ball of spherical shape, 14 cm. in diameter. Brzezna stream (segment III)

## PL. XXI

1-6 — Małe toczeniec uzbrojone z potoku Brzeznej (III odcinek) w.n.  
Small armored balls from the Brzezna stream (segment III) nat. size

## PL. XXII

1 — Rozbity na pół toczeniec uzbrojony z potoku Brzeznej (III odcinek). Widać strukturę ugniataną gliny zwietrzelinowej pstrych łupków w jądrze i słabe uzbrojenie przy powierzchni w.n.

Broken up armored ball from the Brzezna stream (segment III), showing kneaded structure of the nucleus which consists of clayey waste of variegated shales, also poor armoring at surface of ball nat. size

2 — Toczeniec uzbrojone z bezimiennego potoku wypływającego spod wzgórza Naszczowska Góra — Łazy w.n.  
Armored balls from unnamed creek which rises in the Naszczowska Góra — Łazy hill nat. size

3 — Toczeniec uzbrojone z Potoku Biczyckiego w.n.  
Armored balls from the Biczyccki stream nat. size

## PL. XXIII

1 — Toczeniec stosunkowo słabo uzbrojony z Potoku Juraszowskiego w.n.  
Rather poorly armored ball from the Juraszowski stream nat. size

2 — Toczeniec uzbrojony z Potoku Trzetrzewińskiego w.n.  
Armored ball from the Trzetrzewiński stream nat. size

Pl. XVIII—XIX fot. A. Radwański, pl. XX—XXII fot. J. Błaszyk, pl. XXIII fot. B. Drozd

Pl. XVIII-XIX by A. Radwański, pl. XX-XXII by J. Błaszyk, pl. XXIII by B. Drozd

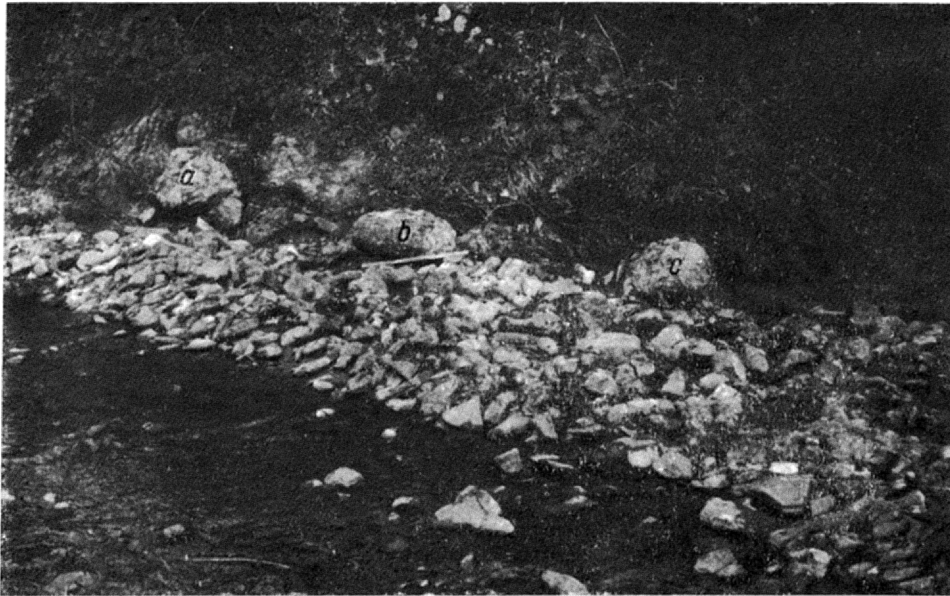


Fig. 1



Fig. 2

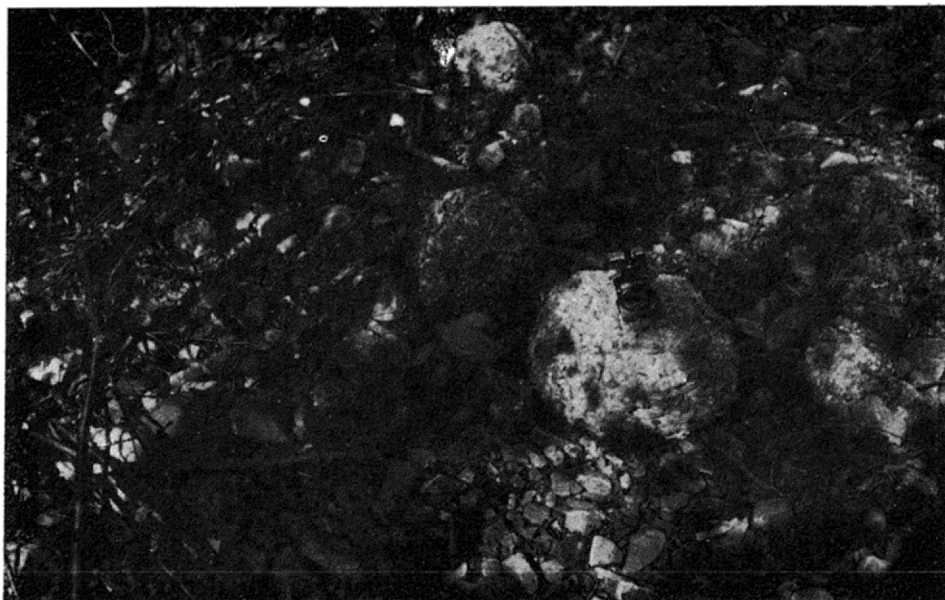


Fig. 1

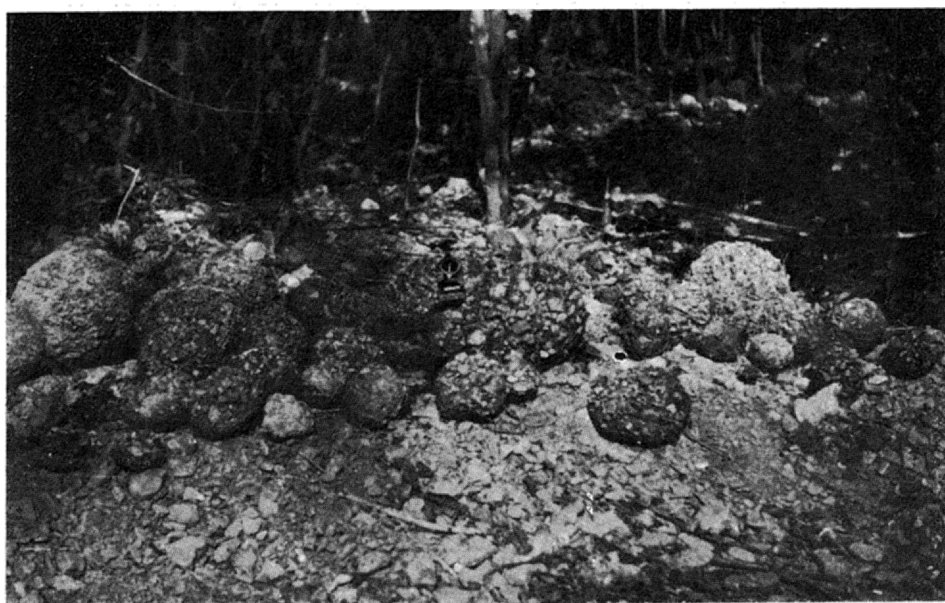


Fig. 2

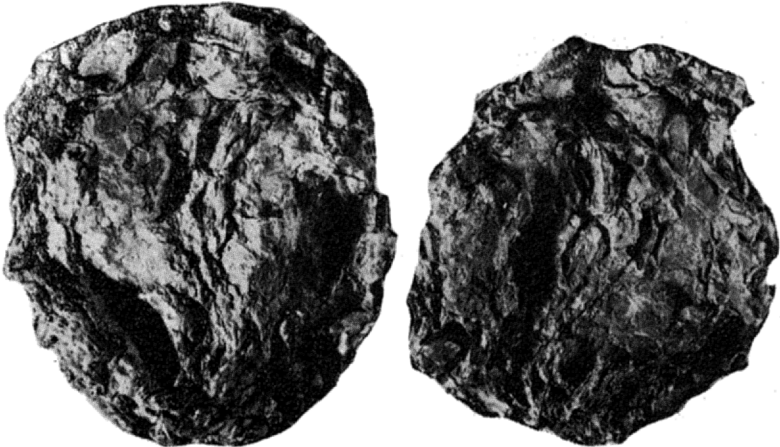


Fig. 1



Fig. 2





1



2



3

