

FORMY SZCZELINOWE I INWOLUCYJNE W PIASKACH I ŻWIRACH DOLINY WISŁY KOŁO TARNOBRZEGA

Zarys treści

Formy szczelinowe i inwolucyjne zostały rozpoznane w serii żwirowej budującej terasę powodziową doliny Wisły, w strefie leżącej w granicach od 6 do 14 m poniżej współczesnej powierzchni. Ze względu na rozbieżne wyniki analizy: pyłkowej, makroszczątków i C^{14} nie można jeszcze definitywnie ustalić wieku bezwzględnie osadu. Analizy pyłkowe i makroszczątków wskazują na, schyłek zlodowacenia bałtyckiego, natomiast analiza C^{14} (GrN 4868, Piaseczno nr 1) datuje osad na 40700 ± 2000 lat, czyli na schyłek starszego Würmu (stadiał szczeciński). Charakter zespołu roślinnego stwierdzony w analizach pyłkowych i makroszczątków świadczy o dość ciepłym klimacie zbliżonym do preborealnego. Jednoczesne istnienie struktur szczelinowych i inwolucyjnych wskazuje na obecność w tym okresie wiecznej zmarzliny. Wyraźne wykształcenie form mrozowych tłumaczy autorka warunkami lokalnymi (silne nawilgocenie osadu).

Struktury, które poniżej zostaną omówione zanotowano w sierpniu 1965 roku, w ścianie wschodniej kopalni siarki w Piasecznie¹ oraz pomierzono je i przebadano we wrześniu tego samego roku. Są one wykształcone w osadach żwirowych i piaszczysto-żwirowych wypełniających dno współczesnej doliny Wisły. Strefa, w której występują, jest zawarta w granicach od 6 m od współczesnej powierzchni terasy powodziowej Wisły, aż po spąg osadów żwirowych, które w omawianym rejonie sięgają głębokości 13—14 m od powierzchni.

Charakterystyka osadów wypełniających współczesną dolinę Wisły została już w zarysie omówiona osobno (A. Krauss, E. Mycielska-Dowgiałło, K. Szczepanek 1965). Na podstawie analizy szczątków roślinnych, które są częste i obfite we wspomnianych osadach określono ich wiek na schyłek Würmu (Alleröd, Młodszy Dryas) oraz holocen.

Brak wyraźnych granic między seriami żwirową i piaszczysto-żwirową, a wyżej leżącą piaszczystą, utrudnia ściśle oddzielenie ich od siebie. Wykonane w roku 1965 szczegółowe pomiary kierunku spływu wód (na jednolitych w obrębie całej kopalni, trzech różnych głębokościach) pomogły w rozpozniomowaniu osadu². Mimo tego natrafia się czasem na

¹ Zwrócił na nie moją uwagę doc. dr H. Maruszczak w czasie Zjazdu geologicznego w Tarnobrzegu, za co mu dziękuję.

² W zbieraniu materiałów pomagał mi mgr G. Węclawowicz, któremu dziękuję za pomoc.

duże trudności jak zaklasyfikować dany osad, czy zaliczyć go jeszcze należy do serii żwirowej, czy już do górnej piaszczystej.

Granica między wspomnianymi dwiema seriami nie jest pozioma. Górna seria piaszczysta wchodzi niekiedy głębokimi, erozyjnymi korytami w obręb dolnej serii żwirowej (maksymalna zauważona głębokość rozcięcia sięga 10 m od powierzchni współczesnej) i na odwrót, dolna seria żwirowa podchodzi niekiedy wysoko (5 do 6 m) pod powierzchnię współczesną terasy powodziowej.

Nie analizując obecnie całości zagadnień sedymentacyjnych zatrzymamy się jedynie na scharakteryzowaniu serii żwirowej i piaszczysto-żwirowej, w której występują struktury mrozowe. Seria ta w obrębie ściany wschodniej osiąga miąższość sumaryczną 6 do 7 m. Wyrobisko kopalni tnie ją dwiema pionowymi ścianami, przedzielonymi poziomym, 130 m szerokości stopniem.

Ściana pierwsza (górna) jest wysokości 9—10 m, dolna 3—4 m. Osady piaszczyste widoczne w ścianie górnej są przykryte 1,5—2 m grubości piaszczem mady (fot. 1). Do głębokości 5—6 m od powierzchni, w obrębie tego poziomu, spotyka się świetnie zachowane pnie drzew (na ogół dębów). Największe ich zagęszczenie jest bezpośrednio pod osadem madowym. Warstwowanie w tej serii mierzone na granicy lamin w obrębie ławic, wykazuje dużą zmienność spływu wód (rzeka dzieliła się na szereg ramion, tworzyła zakola i meandry). Najczęściej powtarzającymi się w tej serii kierunkami spływu są: NE, E, SE.

Niżej leżąca seria żwirowa i piaszczysto-żwirowa jest widoczna w obu ścianach odkrywki. Obejmuje ona całą dolną ścianę i 2—3 m dolnej części ściany górnej. Domieszka żwirów jak i grubość ich ziarna zmniejsza się ku górze. Cała seria jest krzyżowo warstwowana. Kierunki płynięcia mierzone tak jak poprzednio w obrębie lamin ławic żwirowych i piaszczysto-żwirowych, wykazują maksimum odpływu wód ku NW i NE (fig. 1).

Analiza granulometryczna osadu żwirowego (z poziomu 11 m od powierzchni współczesnej) wykazała 56% ziarn we frakcji powyżej 2 mm i 28% we frakcji 0,4 mm do 1 mm. Frakcji pylastej (poniżej 0,1 mm) jest 0,3%.

W obrębie tej serii spotkano dwa typy zaburzeń: formy szczelin mrozowych i struktury inwolucyjne.

Rozdzielenie dwóch pionowych ścian odkrywki szerokim stopniem poziomym, uniemożliwiło niestety pomiary rozpiętości pionowej poszczególnych struktur. Szczególne zagęszczenie form mrozowych notuje się w dolnym odsłonięciu w gruboziarnistej serii żwirowej. Na przestrzeni około 0,5 km zanotowano tu kilkanaście dużych form szczelin mrozowych oraz szereg drobnych, a w wydłużonych soczewkach i wkładkach materiału

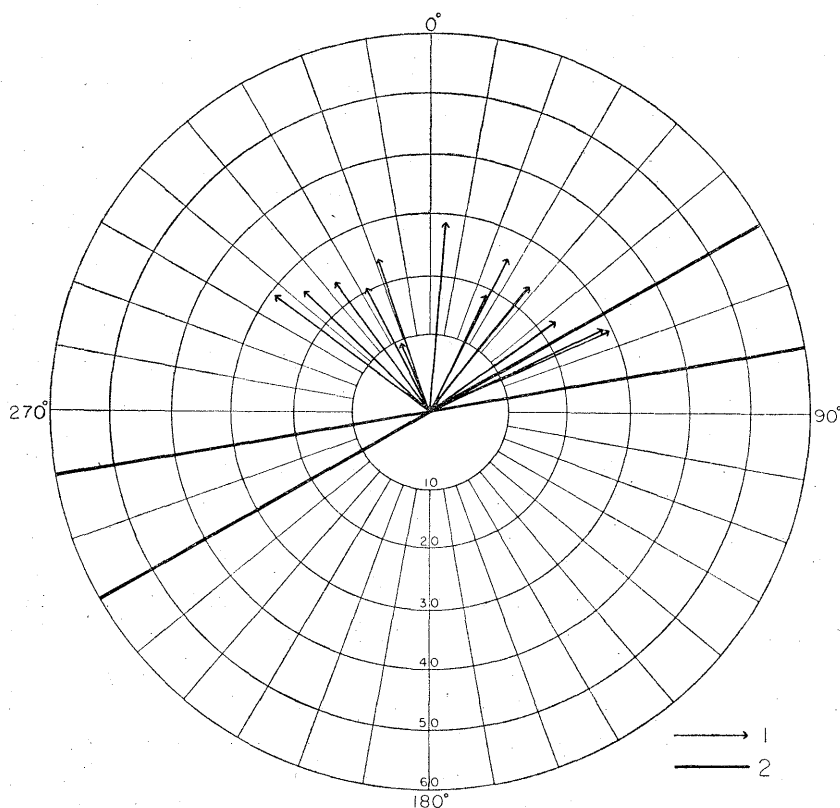


Fig. 1. Kierunek splotu wód w obrębie serii żwirowej oraz kierunki osi dłuższych form inwolucyjnych

1. kierunki i wartości upadów lamin w ławicach dolnej serii żwirowej (kierunki splotu wód); 2. kierunki osi dłuższych w formach inwolucyjnych

piaszczystego i ilastego są widoczne liczne i długie pasma struktur inwolucyjnych. Podobne formy zauważono również w spągowej części górnego odsłonięcia, jednak ze względu na trudności techniczne obserwacje z tej ściany są znacznie uboższe (w ciągu okresu badań na tym poziomie zbierała nadkład wielka koparka, która formując wysoką, pionową ścianę stwarzała duże niebezpieczeństwo obrywu lub obsunięcia). Zanotowano tu jedynie jedną formę (około 0,7 m szerokości i 2 m długości) szczeliny mrozowej, która stropem sięgała poziomu 6 m od powierzchni współczesnej³ oraz drobne zaburzenia inwolucyjne w soczewce piasku drobno-

³ W sezonie letnim 1966 roku zanotowano następne 2 szczeliny mrozowe tnące osady w granicach od 8 m do 10 i 11 metrów od powierzchni terasy.

Drugą grupą form mrozowych rozpoznanych w odsłonięciach kopalni w Piasecznie są struktury inwolucyjne. Wytworzyły się one tam, gdzie w obrębie serii żwirowej występują soczewki lub warstwy piasku drobnoziarnistego i łu (fot. 6). Analiza składu granulometrycznego piasku wykazała duży udział frakcji 0,1—0,2 mm (ponad 40%) oraz 4% frakcji poniżej 0,1 mm. Warstwa ilasta tworzy pasmo regularnych fałdów z silnie wydłużonymi pionowymi strefami połączeń. Często pionowa forma ilastego słupa jest zakończona kulistym rozszerzeniem w kształcie kropki (fot. 7). Wielkość antyklinalnego wygięcia warstw rośnie od spągu serii piaszczystej aż do stropu przykrytego łem. W wyżej leżącej, następnej piaszczystej serii wygięcie zanika powoli ku górze. Nadległy nad nią łu jest zaburzony jedynie pionowymi pęknięciami i uskokami. W niektórych przypadkach w piaskach leżących ponad łem zaburzonym widać drugą generację inwolucji (fot. 7).

W profilu poziomym opisane struktury inwolucyjne tworzą wydłużone elipsy (fot. 8). Kierunek osi form jest podobny do kierunku spękań mrozowych i ukośny do ogólnego kierunku płynięcia wód (fig. 1). Zaskakująca jest regularność form inwolucyjnych. Odległość pozioma między pionowymi, łuowymi słupami jest prawie jednolita. Waha się ona w granicach 10—15 cm.

Przeprowadzona analiza form inwolucyjnych sugeruje pogląd, że są to struktury pęcznienia mrozowego powstałe w strefie czynnej zmarzliny. Przypominają one formy opisane przez A. Jahna z Charłężą (1951), gdzie zaburzone są piaski i leżące powyżej nich ły jeziorne. W masę spęczniałych piasków dostają się od góry ły wypełniając obniżenia i tworząc soczewki lub pionowe słupy. Intensywność zaburzeń zanika ku górze. A. Jahn tłumaczy powstanie struktur stłoczeniem mrozowym warstw będących w stanie płynnym, między powierzchnią wiecznej zmarzliny a warstwą górną już zamarzniętą.

Wydaje się, że większe znaczenie w formowaniu opisanych form mogło mieć powiększanie masy piasku drobnoziarnistego i pylastego przez pęcznienie mrozowe. Woda podciągana od dołu ku górze w procesie powolnego zamarzania powodowała znaczne powiększenie masy zamarzającego osadu (Taber 1930) i powodowała powstawanie form inwolucyjnych.

W obrębie osadów wiślanych widocznych w kopalni w Piasecznie, najsilniejsze ślady struktur inwolucyjnych wywołanych pęcznieniem mrozowym notuje się w piaskach drobnoziarnistych. Ich skład granulometryczny odbiega nieco od wskaźnikowych wartości podanych przez S. Tabera (1930), G. Beskowa (1947) i A. Dückera (1939) dla frakcji ulegającej największym zmianom w procesie pęcznienia. Autorzy ci uważają, że najbardziej podatną na deformację mrozowe jest frakcja 0,1—0,06 mm

(Taber 1930; Beskow 1947) lub 0,1—0,02 mm (Dücker 1939). Podobnie J. Olchowik-Kolasińska (1962) badając osady zaburzone peryglacialnie w okolicach Łodzi podaje, że materiał strefy zaburzonej cechuje duży udział frakcji pylastej (10—30% ziarn poniżej 0,02 mm). W Piasecznie, jak już wspomniano wyżej, zaburzenia inwolucyjne notuje się w piasku, gdzie 43% stanowi frakcja 0,1—0,2 mm, a tylko 4% ziarn jest mniejszych niż 0,1 mm.

W obrębie zaburzeń inwolucyjnych powyżej piasku leży warstwa iłu. Ił późno zamarzający i dzięki temu najdłużej płynny (Grim 1952; Szu-szerina 1959) wypełniał zakłębłości między pęczniącą masą piasku. To spływanie w dół płynnego, ilastego materiału było hamowane w pewnej strefie. Tworzyły się nabrzmiałe wypukłości w kształcie kropli. Strefą hamującą był przypuszczalnie strop wiecznej zmarzliny. Zamarznięta powierzchnia, ponad strefą inwolucyjną, ulegała tylko lekkiemu zafalowaniu.

Niekiedy struktury inwolucyjne dochodzą do formy szczelinowej i są przez nią przecięte. Świadczy to o postępującym procesie zamarzania. W okresie początkowym tworzyły się więc formy inwolucyjne, gdy natomiast cały osad zamarzł, przy gwałtownych spadkach temperatury kurczył się, co sprzyjało powstawaniu szczelin.

Dużą i rozległą strefę zaburzeń zanotowano w północnej części dolnego stopnia wyrobiska kopalni (fot. 9). W obrębie żwirów widoczna jest tu seria mulów z dużą ilością materiału organicznego (warstwa A), podścielona warstwą iłu (warstwa B) i przedzielona soczewką piasku drobnoziarnistego (warstwa C). Cała ta seria wygląda na fragment strefy korytowej, zniszczonej od góry akumulacją żwiru. W obrębie całego tego kompleksu notuje się różne formy struktur mrozowych. W północnej części odsłonięcia widać szczelinę mrozową idącą od górnej serii żwirowej, przez iły, aż do serii żwirowej dolnej. Część centralna odsłonięcia jest zaburzona wielką wypukłą formą, której jądro stanowią piaski drobnoziarniste. Wzdłuż tej formy wygięta jest również warstwa mulów organicznych. Na tych ostatnich leży warstwa piasku drobnoziarnistego, analogicznego do piasków warstwy C. Sugeruje to pogląd, że jest to forma bugra, w którym na skutek pęcznienia mrozowego piaszczystego jądra mineralnego, została przerwana pokrywa z zamarzniętych już mulów organicznych i masa piaszczysta wylała się na powierzchnię. Erozja i akumulacja nowej serii żwirowej zniszczyła pierwotny układ powierzchni, zachowanej jedynie w fragmentach.

Podobna mała forma „antyklinki”, powstała najprawdopodobniej też na skutek pęcznienia mrozowego, jest widoczna w południowej części odkrywki.

Ciekawy typ zaburzeń notuje się w spągowej części ilastego osadu.

Warstwa łu wchodzi w obręb głębokich, pionowych pęknięć (obok łopatki na fot. 9). Warstwy piaszczysto-żwirowe sąsiadujące z formą klina są podgięte ku górze. Taki układ warstw wydaje się świadczyć, że bezpośrednio po utworzeniu szczeliny została ona przykryta osadem ılowym związanym z akumulacją okresu zimowego. Ciepłszy okres roku spowodował rozmarzanie warstw piaszczysto-żwirowych, które napotykając opór mineralnego wypełnienia szczeliny, wyginały się ku górze. Z tym też okresem była przypuszczalnie związana akumulacja piasku drobno-ziarnistego (warstwa C) i mułów z detrytusem roślinnym (warstwa A). Następny zimny sezon spowodował powstanie struktury bugra i szczeliny mrozowej (w północnej części odkrywki).

Wykonana analiza pyłkowa⁴ mułu z detrytusem roślinnym (warstwa A) uzupełniła poprzednie wyniki analiz makroszczątków wykonanych przez K. Szczepanka (Krauss, Mycielska-Dowgiało, Szczepanek 1965).

Zestaw pyłków i spor określonych z warstwy mułów z detrytusem roślinnym, z głębokości 11 metrów, z osadów doliny Wisły w Piasecznie (próbkę do analizy przygotowano stosując flotację i acetolizę):

Ilość oznaczonych pyłków i spor

<i>Pinus</i>	150
<i>Betula</i>	49
<i>Corylus</i>	6
<i>Quercus</i>	1
<i>Ulmus</i>	1
NN.	4
<i>Gramineae</i>	8
<i>Filicinae</i>	32
<i>Myriophyllum</i>	3
<i>Chenopodiaceae</i>	2
<i>Ericaceae</i>	2
<i>Artemisia</i>	2
<i>Lycopodium</i>	1
<i>Ranunculus</i>	1
<i>Nuphar</i>	2

W przedstawionym zestawieniu uderza duży udział sosny (67%). Wartość brzozy wynosi 22%. Stosunkowo znaczny jest również udział leszczyny (2,7%). Ponadto liczne są spory paproci, jak też inne fragmenty tej rośliny (zawijki, wiązki przewodzące itd.), stanowiące obok fragmentów mchów główny skład szczątków.

⁴ Analizę wykonała dr J. Stasiakowa, za co jej bardzo ądzikuje.

Zarówno analiza makroszczątków opracowana przez K. Szczepanka jak i analiza pyłkowa wykonana przez J. Stasiakową wiąże okres akumulacji żwirowej ze schyłkiem ostatniego zlodowacenia.

Ostatnio otrzymane wyniki analizy C^{14} wykonanej na podstawie fragmentów drewna pobranego z warstwy A (fot. 9) określają wiek tego osadu na 40700 ± 2000 lat (próbka GrN 4868, Piaseczno nr 1)⁵.

Duża rozbieżność wyników nie pozwala z całą pewnością określić okresu akumulacji serii żwirowej. W oparciu o stwierdzony typ roślinności, jak i zanikanie form mrozowych ku górze, można sądzić, że seria żwirowa osadzała się w okresie schyłkowym zimnej fazy klimatycznej i na początku cieplej. Czy był to jednak schyłek Starszego Würmu (stadiał szczeciński) i początek interstadiału Brörup⁶ jak sugeruje analiza C^{14} , czy też schyłek glacialu bałtyckiego (Alleröd, Młodszy Dryas) i początek holocenu, o czym wydają się świadczyć analizy paleobotaniczne, jest sprawą dalej otwartą. Niemniej jednak zespół roślinny określony z Piaseczna, z dużym udziałem sosny, pewnym udziałem leszczyny, dębu i wiązu oraz dużą ilością spor paproci, przypominający typem florę preborealną (Wasylikowa 1964), wydaje się wskazywać na dość już ciepły klimat tego okresu. Z drugiej jednak strony głębokie i szerokie szczeliny mrozowe jak i formy inwazyjne świadczą o istnieniu w tym okresie wiecznej zmarzliny.

Pewnych sugestii dla wyjaśnienia faktu współistnienia form mrozowych z umiarkowanie ciepłolubną szatą dostarczają obserwacje z współczesnej strefy wiecznej zmarzliny. J. Olchownik-Kolasińska (1962) notując obserwacje z półwyspu Kola i z obszaru Zabajkalskiego, zauważyła, że formy pęcznienia mrozowego tworzą się tylko tam, gdzie poziom wód gruntowych jest blisko powierzchni (na powierzchniach podmokłych, wokół zagłębień jeziernych, dnach dolin itd.). Podobne obserwacje przytacza A. Jahn z Alaski (1961).

Również kopalne struktury mrozowe notuje się najczęściej w osadach terasowych, które współcześnie z tworzeniem się struktur były silnie nawodnione (Goździk 1964; Maarleveld 1964; Pécsi 1964).

Wielkość form mrozowych, jak i materiał w którym powstawały, są często uważane za kryteria klimatyczne (Dostowałow 1952, 1960; Szumskij 1960). Wydaje się jednak, że obraz tych zależności może być znacznie zaburzony warunkami lokalnymi, które niekoniecznie muszą świadczyć o złagodzeniu czy zaostrzeniu klimatu.

⁵ Analiza C^{14} została wykonana w sierpniu 1966 w laboratorium Fizyki Doświadczalnej w Groningen dzięki wielkiej uprzejmości prof. dr J. P. Bakkera oraz kierownika laboratorium dr J. C. Vogel'a, którym w tym miejscu składam gorące podziękowanie.

⁶ Zgodnie z datowaniem bezwzględnym podanym przez M. Książkiewicza, J. Samsonowicza i E. Rühlega w *Zarysie geologii Polski*, 1965.

Osady wiślane z Piaseczna (żwirowe i piaszczysto-żwirowe) tworzyły współcześnie dno doliny Wisły (świadczą o tym zachowane fragmenty facji korytowej z detrytusem roślinnym). Były więc niewątpliwie w zasięgu płytkiego poziomu wody gruntowej, który utrzymując się w okresie letnim na stropie wiecznej zmarzliny, silnie nawilgał osady żwirowe.

Tak więc wydaje się, że występowanie i wykształcenie form mrozowych w obrębie strefy wiecznej zmarzliny zależy w dużym stopniu od warunków lokalnych (położenie i warunki wodne danego rejonu). Duża ilość wody ułatwiała w początkowym okresie zamarzania tworzenie się form pęcznienia mrozowego, w dalszym zaś etapie, przy gwałtownych spadkach temperatury, nagle i duże w rozmiarach kurczenie się masy mineralnej i lodowej i formowanie się szczelin.

*Katedra Geografii Fizycznej
Uniw. Warszawskiego*

Literatura

- Beskow, G. 1947 — Soil freezing and frost heaving with special application to roads and railroads. *Northwestern Univ. Techn. Inst.*
- Dostowałow, B. N. 1952 — O fizycznych usłowijach obrazowania morozobojnych trieszczin i razwitija trieszczinnych ldow w rychłych porodach (On physical conditions of frost-fissure origin and of fissure-ice development in soils). *Sbornik Issled. Wieczn. Mierzl. w Jakuck. Resp.*; Akad. Nauk SSSR.
- Dostowałow, B. N. 1960 — Zakonomiernosti razwitija tietragonalnych sistem ledianych i gruntowych żył w dispersnych porodach (Rules of development of tetragonal ice- and soil-veins in loose rocks). *Pieriglacialnyje jawlenija na tierritorii SSSR*; Moskwa.
- Dücker, A. 1939 — Untersuchungen über die frostgefährlichen Eigenschaften nicht-bindiger Böden. *Forschungsarbeiten aus dem Strassenwesen*, Bd. 17.
- Dylik, J. 1963 — Nowe problemy wiecznej zmarzliny plejstocenijskiej (résumé: Nouveaux problèmes du pergélisol pléistocène). *Acta Geogr. Lodziensia*, nr 17.
- Gallwitz, H. 1949 — Eiskeile und glaziale Sedimentation. *Geologica*, 2.
- Goździk, J. S. 1964 — L'étude de la répartition topographique des structures périglaciaires. *Biuletyn Peryglacjalny*, no. 14.
- Grim, R. E. 1952 — Relation of frost action to the clay mineral composition of soil materials. *Highway Research Board, Spec. Report no. 2: Frost action in soils*, Symposium A. no. 8.
- Jahn, A. 1951 — Zjawiska krioturbacyjne współczesnej i plejstocenijskiej strefy peryglacjalnej (summary: Cryoturbate phenomena of the contemporary and of the Pleistocene periglacial zone). *Acta Geol. Polonica*, vol. 2.
- Jahn, A. 1961 — Problemy geograficzne Alaski w świetle podróży naukowej odbytej

- w 1960 roku (summary: Geographical problems of Alaska in the light of a research journey made in 1960). *Czas. Geogr.*, t. 32.
- Kaplina, T. N., Romanowskij, N. N. 1960 — O psiewdomorfozach po poligonalno-żyłnom ldu (Pseudomorphosis of polygonal vein ice). *Pieriglacjalnyje jawlenija na tierritorii SSSR*; Moskwa.
- Krauss, A., Mycielska-Dowgiałło, E., Szczepanek, K. 1965 — Wstępne wyniki badań nad wiekiem osadów doliny Wisły pod Tarnobrzegiem (Preliminary results of investigations of age of deposits in Vistula river near Tarnobrzeg). *Przegl. Geol.*, nr 6.
- Maarleveld, G. C. 1964 — Periglacial phenomena in the Netherlands during different parts of the Würm time. *Biuletyn Peryglacjalny*, no. 14.
- Olchowik-Kolasińska, J. 1962 — Genetyczne typy struktur czynnej strefy zmarzliny (résumé: Classification génétique des structures de mollisol). *Acta Geogr. Univ. Lodziensis*, nr 10.
- Pécsi, M. 1964 — Chronological problems of the patterned soils of Hungary. *Biuletyn Peryglacjalny*, no. 14.
- Szumskij, P. A. 1960 — K woprosu o proischozhdienii żylnogo lda (On the problem of vein ice origin). *Inst. Mierzlot. im. W. A. Obruczewa*, t. 16.
- Szuszerina, E. P. 1959 — Izmienienija fiziko-miechaniczeskich swojstw gruntow pod diejstwijem promierzanija i posledujuszczego ottaiwanija (Changes of ground structure due to freezing and thawing). *Mat. po fiz. i mech. mierzłych gruntow*; Międz. wiadomost, Sowieszczanie po mierzłotowiedieniju.
- Taber, S. 1930 — The mechanics of frost heaving. *Jour. Geol.*, vol. 38.
- Wasylikowa, K. 1964 — Roślinność i klimat późnego glaciału w środkowej Polsce na podstawie badań w Witowie koło Łęczycy (summary: Vegetation and climate of the Late-glacial in Central Poland based on investigations made at Witów near Łęczycza). *Biuletyn Peryglacjalny*, no. 13.

FROST FISSURES AND INVOLUTIONS
IN SANDS AND GRAVELS
OF THE VISTULA VALLEY NEAR TARNOBRZEG

Summary

The structures further discussed in the present paper have been found in one of the faces of the sulphur surface mine of Piaseczno. They are developed in gravel and sandy-gravel sediments filling up the pre-Vistula valley near Tarnobrzeg. The zone of their occurrence lies within limits ranging from 6 m. below the present surface of the flood terrace down to the bottom of gravel sediments (at a depth of 13—14 m.).

The gravel sediments filling the Vistula valley are of cross-bedded type, thus indicating a predominant NW, N and northeastward flow (fig. 1). The gravel sediments are overlain by sandy-gravel and sandy series. In its highest, top part trunks of black oak are found (pl. 1). Within this series a wider diversity of flow may be seen, with NE, E and southeastward prevailing directions.

Within the gravel series two forms of disturbances were encountered: ice-wedges and involution structures.

The whole gravel sediment complex is cut by numerous frost-cracks (pl. 2). Some of them have changed into frost-fissures, with typical downward bends of strata evidencing vertical ice veins filling the fissures during their development (Galwitz 1949; Dylik 1963). The upper parts of some fissures were cut by the accumulation of the later following gravel sets (pl. 3), which indicates that those forms developed syngene- tically with the accumulation of the sediment (Galwitz 1949; Dosto- valov 1960). In the axial parts of many fissures, traces of secondary cracks may be seen. This is marked by a streak of some other material (pl. 4), or by a vertical arrangement of the sediment filling the axis of the form (pl. 5). In the fissure contact-zone numerous faults and cracks are often visible (pl. 5). They are characteristic of fissures with a prima- rily ice filling (Kaplina, Romanovskiy 1960; Dylik 1963). As exemplified on the Piaseczno forms it may be seen that these forms are particularly well developed wherever within the cracked zone may be

found a layer of silt or mud. After cleaning the upper part of the fissures it appeared that they form a polygonal system.

The second group of frost caused forms is constituted by involution structures. They develop wherever fine-grained sand and silt lenses occur within the gravel series (pl. 6). The granulometric analysis of the sand revealed an important part of 0.1—0.2 mm grain size (more than 40%), as well as 4% of fraction lower than 0.1 mm. The silt layer forms a zone of regular folds with strongly elongated vertical columns, which in their lower parts are drop-shaped (pl. 7). In some cases within the sands overlying the disturbed silt a second involution zone may be seen (pl. 7). In the horizontal section the involutions form elongated ellipses (pl. 8). The trend of the axes of forms is similar to that of frost cracks and oblique to the general direction of water flow (pl. 1).

The performed analysis of involutions suggests the opinion that they are structures of frost heaving, developed within the active layer of permafrost.

The involution structures reach sometimes the fissure form and are sectioned by it. This indicates a progressing freezing process. In the first period, involutions developed, but when the whole sediment was frozen during further and violent drop of temperature, the sediment cracked and fissures developed.

Organic muds of the trough facies are also included in the disturbance zone (pl. 9).

A pollen analysis of plant detritus of mud (layer A, pl. 9), completed the earlier results of macrovestige analysis carried out by K. Szczepanek (Krauss, Mycielska-Dowgiałło, Szczepanek 1965). These analyses point out to the decline of the Baltic glaciation, whereas the result of determination of C^{14} (GrN 4868, Piaseczno nr 1) suggests the age of the sediment to be of 40700 ± 2000 years i.e. that of the decline of the oldest Würm¹.

The character of the plant association as indicated by pollen and macrovestige analysis enables to suppose a rather warm climate, nearing a preboreal one. The simultaneous occurrence of frost fissures and involution structures indicates the existence of permafrost at that time.

The development type of the described structures (large and distinct forms) is interpreted by the author as the effect of local conditions within the degradation zone of permafrost. This kind of forms could develop

¹ The analysis for C^{14} was carried out at the Laboratory of Experimental Physics at Groningen, owing to the kindness of Professor J. P. Bakker and of Doctor J. C. Vogel, head of the Laboratory. I wish to acknowledge gratefully their helpful arrangements.

there only where the sediment was sufficiently saturated (valley bottom, low flood terraces). In sediments of the same period, but covering slopes and inter-valley surfaces, no such forms could be observed.

List of illustrations

Figure

	Page
1. Direction of water-flow within the gravel series (1) and the direction of the longer axis of involution forms (2)	205

Plates

1. Upper face of exploited area. Sandy series (with tree-trunks) covered by 1.5—2 m thick mud
2. Gravel series visible in the lower face of the exploited area. The whole complex of layers is dissected by numerous cracks. Two of them have changed into narrow fissures
3. Form of frost fissure visible in the lower face of the exploited area. Top truncated by accumulation of the successive sedimentation
4. Frost fissure with streak of lighter sand in the axis of the form, evidencing a secondary crack
5. Large form of frost fissure (about 1.2 m. wide). Numerous cracks and faults are visible in the contact zone. The vertically arranged material in the axis evidences secondary frost cracks along the earlier lines
6. Involution disturbances in fine-grained sands and thin silt layer, in the lower face of the exploited area
7. Two generations of involutions. Vertical silt columns, drop-like widening at the bottom
8. Horizontal cross-section of involutions, showing elongated ellipses
9. Involution zone in the lower face of the exploited area

A — muds with numerous organic remains, B — silt underlying the whole series of disturbances, penetrating into the frost fissures, C — intercalations and lenses of fine-grained sand

Translation by T. Potulicka



fot. autorka

Fot. 1. Górna ściana wyrobiska. Serię piaszczystą (z pniami drzew) przykrywa 1,5—2 m grubości mada



fot. autorka

Fot. 1. Górna ściana wyrobiska. Serię piaszczystą (z pniami drzew) przykrywa 1,5—2 m grubości mada



fot. autorka

Fot. 2. Seria żwirowa widoczna w dolnej ścianie wyrobiska. Cały kompleks warstw jest potrzaskany licznymi pęknięciami. Dwa z nich przekształciły się w wąskie formy szczelinowe



fot. autorka

Fot. 3. Forma szczeliny mrozowej widoczna w dolnej ścianie wyrobiska kopalni. Od góry jest ona ścięta przez akumulację następnej ławicy osadów



fol. G. Węclawowicz

Fot. 4. Szczelina mrozowa ze smugą jaśniejszego piasku w osi formy, świadczącą o wtórnym pęknięciu



fol. autorka

Fot. 5. Duża forma szczeliny mrozowej (szerokości około 1,2 m). W strefie kontaktowej widać liczne pęknięcia i uskoki. W osi formy materiał ułożony pionowo świadczy o wtórnych pęknięciach mrozowych wzdłuż dawnych linii



fol. autorka

Fot. 6. Zaburzenia inwolucyjne w piaskach drobnoziarnistych i warstewce łu, w dolnej ścianie wyrobiska



fol. autorka

Fot. 7. Dwie generacje zaburzeń inwolucyjnych. Pionowe, ilowe słupy zakończone rozszerzeniami w kształcie kropli



fol. autorka

Fot. 8. Przekrój horyzontalny przez formy inwolucyjne tworzące wydłużone elipsy



fol. autorka

Fot. 9. Strefa zaburzeń inwolucyjnych w dolnej ścianie wyrobiska

A — muły z dużą zawartością szczątków organicznych, B — il podścielający całą serię zaburzeń i wchodzący w szczeliny mrozowe, C — wkładki i soczewki piasku drobnoziarnistego