

Poligeniza *glin* na stożkach fluwioglacjalnych Czarnego Dunajca w Kotlinie Orawskiej - streszczenie

Dna kotlin śródgórskich są naturalnym miejscem depozycji materiałów allochtonicznych. W nich gromadziły się utwory przeważnie pochodzenia glaci/fluwialnego, eolicznego i deluwialnego. Takie utwory występują w większości kotlin w Karpatach Zachodnich. Ich geneza i środowisko depozycji zostały zbadane (m. in. Stupnicka 1960, Butrym, Zuchiewicz 1985, Krysowska-Iwaszkiewicz, Wójcik 1990, Nawrocki, Wójcik 1995). Jedynie Kotlina Orawska, ze względu na jej tektoniczne założenia i sąsiedztwo wysokich gór, odznacza się osobliwym dla polskich Karpat typem wypełniających ją osadów i złożonym charakterem współczesnej rzeźby.

W dnie Kotliny Orawskiej zalegają osady ilaste i piaszczysto-żwirowe neogenu. Na nich zostały złożone żwiry fluwioglacjalne w postaci stożków plejstocenijskich Czarnego Dunajca. Pokrywę tych stożków tworzy warstwa *osadów gliniastych* o miąższości 1-3,5 m (Watycha 1977, Baumgart-Kotarba 1983, 1991-1992).

Pomimo licznych badań geologicznych, geomorfologicznych i paleogeograficznych prowadzonych w Kotlinie, *gliny orawskie* nie były dotąd przedmiotem szczegółowych analiz. Ich złożona budowa geologiczna była podstawą różnych hipotez dotyczących powstania *osadów gliniastych*. Jak dotychczas geneza *osadów gliniastych* Kotliny Orawskiej nie została ostatecznie rozstrzygnięta.

Głównym celem badań było ustalenie genezy tych *glin* na drodze weryfikacji następujących hipotez:

(1) **eoliczna**, która zakłada, przyjmując sugestię Baumgart-Kotarby (1991-1992), że badane osady mogą być materiałem allochtonicznym, który pochodzi z otaczających Kotlinę pasm górskich (Tatry, Beskid Wysoki) jako efekt działalności procesów eolicznych w schyłkowej fazie okresów chłodnych późnego plejstocenu i wczesnego holocenu.

(2) **fluwialno-eoliczna** zakładająca, że *osady gliniaste* są efektem wielokrotnego przerabiania osadów w środowiskach rzek proglacjalnych i roztokowych. Przesuszony, drobny materiał z łąch korytowych rzek proglacjalnych lub roztokowych mógł być wywiewany i przenoszony przez wiatr do innej części koryta (Gibb 1994, Gurnell i in. 2008).

(3) **wietrzeniowa** - *gliny* mogą być pochodzenia miejscowego, jako efekt długotrwałego wietrzenia osadów wodnolodowcowych w warunkach klimatu chłodnego i słabej osłony roślinnością. Potwierdzeniem zwietrzenia otoczaków w podobnych warunkach środowiska są m. in. „gliny pogranitowe” występujące na Domańskim Wierchu i w Suchej Górze (Kukulak 2001).

Wskazanie czynników i procesów decydujących w genezie badanych osadów wymagało wielokierunkowego podejścia badawczego, dlatego dla realizacji założonego celu przeprowadzono szereg specjalistycznych analiz granulometrycznych, mineralogiczno-petrograficznych

i malakologicznych. Badano *osady gliniaste* (16 stanowisk) w słowackiej i polskiej części stożków Czarnego Dunajca. Z pobranych próbek osadów (łącznie 67) wykonano laboratoryjnie analizy sedymentologiczne (uziarnienia osadów, obtoczenia i zmatowienia ziaren kwarcu o frakcji 0,8 - 1,0 mm, mikromorfologii powierzchni ziaren kwarcu w skaningowym mikroskopie elektronowym SEM) oraz analizy minerałów ciężkich i malakologiczną.

Mięszość *osadów gliniastych* jest lokalnie różna (1,0 m - 3,5 m). Bardziej miększe są one na szerokich i słabo nachylonych wierzchowinach garbów lub na ich płaskich podnóżach, niezależnie od wieku stożków, na których te utwory zalegają. Na kilku garbach pomiędzy Chyżnem a Jabłonką Orawską, pokrywa „nażwirowych” *glin* traci ciągłość i odsłaniają się na powierzchni zwietrzałe ily neogeńskie. Zaznacza się tendencja polegająca na tym, że im dalej od nasady stożków tym *osady gliniaste* są drobniejsze i bardziej jednorodne pod względem uziarnienia. W najwyższych częściach stożków *gliny* mają strukturę masywną, na niższych terasach Czarnego Dunajca zaznacza w nich się słaba laminacja.

W uziarnieniu osadów dominuje frakcja pyłasta (5 - 9 phi) (przeciętnie 54 - 85%). Wartości średniej średnicy ziarna (M_z) wahają się w przedziale 4 - 6,5 phi. Frakcjami akcesorycznymi są piaski (śr. 15%), ily (śr. 7%) i żwiry (śr. 2%). Osady mają słabe lub bardzo słabe wysortowanie. W większości pionowych profili *glin* rozkład uziarnienia jest normalny, z tendencją wzrostową udziału frakcji pyłowych ku stropowi a malejącą w tym kierunku udziału frakcji piaszczystej i żwirowej. W części profili udział frakcji pyłastej jest stały. Na wykresie zależności średniej średnicy ziarna (M_z) i wysortowania (σ_1) zaznacza się tendencja zmniejszania się średniej średnicy ziarna wraz ze wzrostem wysortowania osadu. Analiza litodynamiczna sposobu ruchu ziaren przed ich depozycją, w oparciu o krzywe kumulacyjne uziarnienia w skali prawdopodobieństwa wg metody Mossa (1962/63) i Vishera (1969) wykazała, że ziarna były deponowane głównie w saltacji i były to ziarna o średniej średnicy (M_z) od 4 phi do 7 phi.

Analiza obtoczenia i zmatowienia powierzchni ziaren kwarcu wykonana metodą Cailleux (1942) z późniejszymi modyfikacjami (Goździk 1980, Mycielska-Dowgiałło, Woronko 1998) wykazała, że wśród ziaren frakcji 0,8-1,0 mm w badanych *osadach gliniastych* dominują ziarna typu INNE (średnio 54%), których powierzchnia kształtowana była przez procesy wietrzenia chemicznego i fizycznego, bez wyraźnych śladów transportu w środowiskach prądowych. Domieszką są ziarna pęknięte (C) (średnio 33%), powstałe w wyniku niszczenia ziaren typu INNE oraz ziarna świeże, bez obróbki (NU) (przeciętnie 13%). W trzech stanowiskach są ziarna pośrednie błyszczące (EM/EL), które są utożsamiane z wysokoenergetycznym środowiskiem wodnym. Ich udział w badanych osadach jest jednak znikomy. *Osady gliniaste* cechują się złym stopniem obtoczenia ziaren kwarcu (0,1-0,4 wg skali Krumbein'a 1941).

Z analizy mikromorfologicznej powierzchni ziaren kwarcu w skaningowym mikroskopie elektronowym (SEM) wynika, że na powierzchni prawie wszystkich ziaren występują mikrostruktury typowe dla procesu wietrzenia chemicznego. Pojawiają się one w formie intensywnego trawienia (rozległe mikroformy typu *caverns*; punktowe formy wklęsłe *solution pits*, nierówna, chropowata powierzchnia określana mianem *dissolution surface*) oraz oskorupienia glinokrzemianami (*amorphous ppt*). Stopień oskorupienia wszystkich ziaren był bardzo podobny. Na powierzchni ziaren kwarcu zanotowano również mikrostruktury abrazyjne, tj. rozległe świeże, płaskie przełamy typu *fracutre features*, duże ($>10\mu\text{m}$) i małe ($<10\mu\text{m}$) przełamy muszlowe (*conchoidal fractures*), mikroformy typu *arc-shaped* oraz linijne mikrostopnie tj. *linear steps* i *paralell ridges*, które to urozmaicają powierzchnię tych przełamów. Mikroformy związane z niszczeniem mechanicznym występują głównie na ziarnach świeżych, bez obróbki (NU). Ponadto na powierzchni analizowanych ziaren kwarcu występują mikroformy utożsamiane z wietrzeniem mrozowym (Hoch, Woronko 2007, Woronko, Pisarska-Jamroży 2015) typu *breakge blocks*.

Analiza minerałów ciężkich (we frakcji 0,2-0,1 mm i 0,1-0,06 mm) wykazała, że zespoły tych minerałów nie różnią się istotnie w profilach pionowych każdego ze stożków Czarnego Dunajca, tak pod względem jakościowym, jak i ilościowym. Zdecydowanie różni się udział minerałów ciężkich i ich rodzaj w ujęciu wiekowym stożków. W *osadach gliniastych* stożka najstarszego i najwyższego (z glaciału mindel) dominuje granat, a towarzyszą mu turmalin, rutil i cyrkon. W *osadach gliniastych* na stożku młodszym (z glaciału riss) wyróżniają się: turmalin, rutil i cyrkon, a ich domieszką są granat, hornblenda i staurolit. Na stożku najmłodszym, najniższym (z glaciału würm) charakterystyczna jest hornblenda i apatyt.

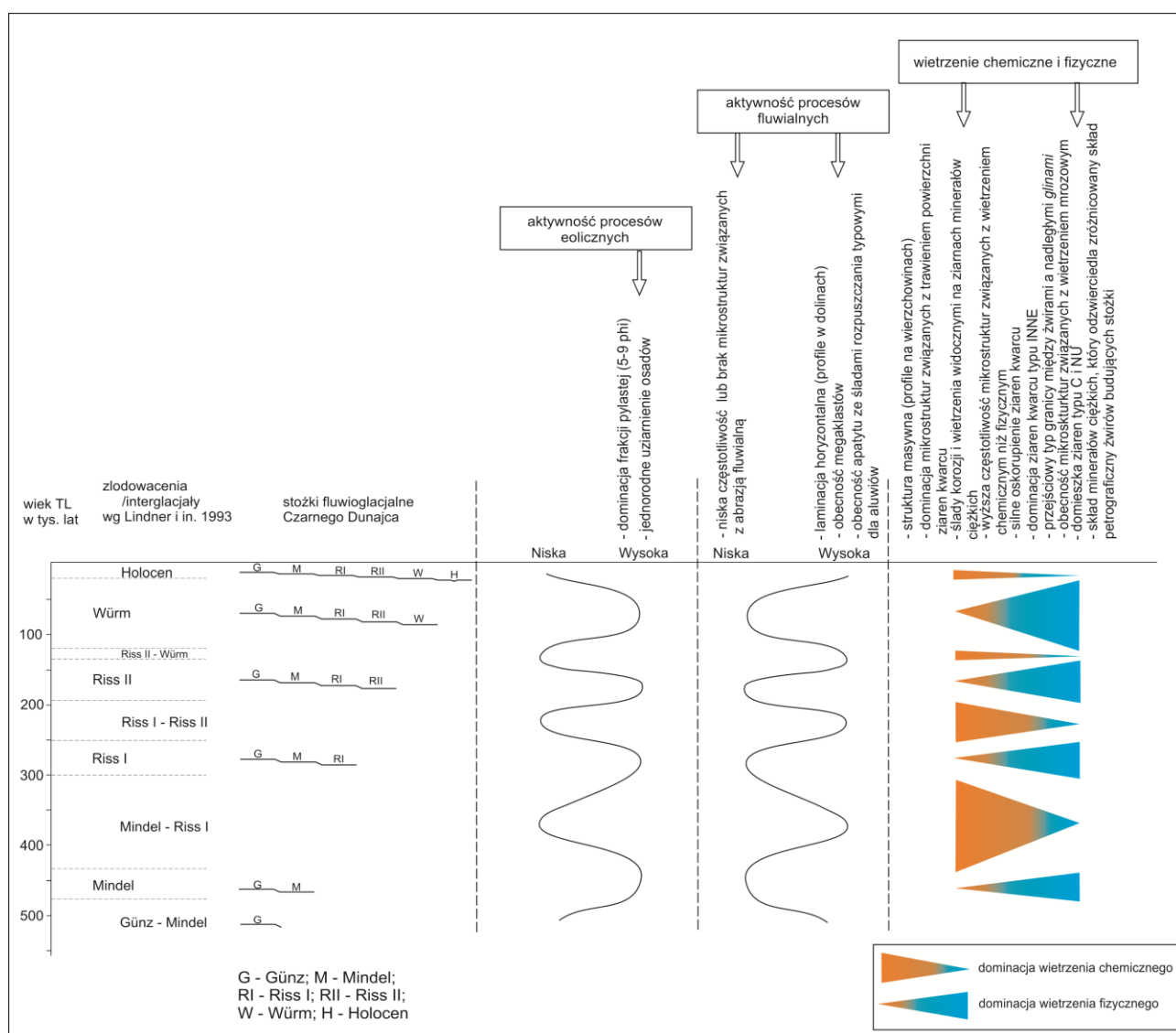
W *osadach gliniastych* nie stwierdzono występowania fauny mięczaków.

Wyniki wielokierunkowych analiz *osadów gliniastych* nie wskazały tylko jednego typu środowiska sedymentacyjnego (ryc. 1). Najbardziej prawdopodobna jest złożona geneza tych osadów - fluwialno-eoliczna, przy współdziałaniu procesów wietrzenia (fizycznego i chemicznego). Wyniki analiz minerałów ciężkich potwierdzają hipotezę o bliskim źródle pochodzenia badanych osadów. Ich podłożem macierzystym był materiał pochodzący z Tatr zdeponowany w postaci pokryw żwirowych w stożkach fluwioglacjalnych. *Gliny* zalegające na niższych (młodszym) stożkach mogły być wzbogacane zwietrzeliną z wyższych (starszych) stożków Czarnego Dunajca.

Cechy badanych osadów są zapisem synchronicznie działających kilku procesów (ryc. 1), które w plejstocenie działały w sposób ciągły, lecz z różnym natężeniem. W okresach zimnych (glacjalach) dominowało wietrzenie fizyczne i procesy eoliczne, natomiast w okresach ciepłych (interglacjalach) główną rolę odegrały procesy fluwialne i wietrzenie chemiczne (ryc. 1). Wyniki analiz dowodzą również że, w kolejnych cyklach glacialno-interglacialnych powierzchnia stożków była przekształcana głównie przez procesy wietrzenia *in situ*. Rozmywanie i redepozycja materiału

gliniastego z powstających kolejno poziomów odbywała się cyklicznie. To znaczy, że materiał z wyższych poziomów transportowany był na niższe poziomy przede wszystkim w momencie jego formowania się, czyli w jednym cyklu glacialno-interglacialnym, w późniejszym czasie na powierzchniach wyższych stożków nie gromadził się już materiał klastyczny a jedynie ulegał on wietrzeniu. Transport eoliczny materiału odbywał się na wszystkich stożkach, głównie w okresach zimnych, ale nie wpłynął istotnie na zmiany ich morfologii i cechy tekstualne *osadów gliniastych*.

Dominacja frakcji pylastej, znikomy udział zwirowej, niski frakcji ilastej i piaszczystej sprawiają, że badane osady nie są glinami w ujęciu tekstualnym. Pod względem uziarnienia należy je uznać za osady pylaste (mułki). Osadom tym, nie można również przypisać cech typowych dla lessów ponieważ nie posiadają wszystkich wymaganych dla lessów cech diagnostycznych (Cegła 1972, Maruszczak 1991, 2000, Pesci, Richter 1996).



Ryc. 1. Schemat współwystępowania procesów morfologicznych w kolejnych okresach czwartorzędu w oparciu o cechy dominujące *osadów gliniastych* w Kotlinie Orawskiej

Polygenesis of the *loams* on the glacialfluvial fans of the Czarny Dunajec River in the Orava Basin - summary

Floors of intra-mountain basins form natural sinks for allochthonic material of glacialfluvial, aeolian and slope origin. The origin and sedimentary environment of such sediments, common in most basins of the Western Carpathians, has been well recognized (e.g. Stupnicka 1960, Butrym, Zuchiewicz 1985, Krysowska-Iwaszkiewicz, Wójcik 1990, Nawrocki, Wójcik 1995) with the exception of the sediments filling the floor of the Orava Basin. This basin, tectonic in origin and surrounded by relatively high mountain ranges, differs from other basins of the Polish Carpathians by its complex contemporary relief and unique character of the sediments present on its floor.

The floor of the Orava Basin is covered with clayey and sandy-gravelly Neogene sediments which underlie glacialfluvial gravels of the Pleistocene fans of the Czarny Dunajec River. In turn, these gravels are covered with a 1-3.5 m thick layer of loam (Watycha 1977, Baumgart-Kotarba 1983, 1991-1992).

Geological, geomorphological or paleogeographic studies carried out so far in the Orava Basin have not focused specifically on the loamy deposit, although based on its complex structure a range of hypotheses on its origin has been formulated. However, to date the origin of the loams has not been determined.

The main aim of this thesis is to determine the origin of the loams of the Orava Basin by testing the hypotheses proposed so far:

- (1) Hypothesis on the “aeolian” origin, suggested by Baumgart-Kotarba (1991-1992), holds that the loams are allochthonic material transported by wind to the Orava Basin from the surrounding mountain ranges (the Tatra Mountains, the Beskid Wysoki Mountains) during the final phases of the cold periods of the Late Pleistocene and early Holocene
- (2) Hypothesis on the “fluvial-aeolian” origin assumes the loam to be the effect of repeated sediment reworking by proglacial braided rivers. Dry, fine sediment eroded by wind from the channel bars of these rivers could have been deposited elsewhere on the braidplain (Gibb 1994, Gurnell i in. 2008).
- (3) Hypothesis on the “weathering” origin assumes the loams to have been formed *in situ* as a result of long-term weathering of glacialfluvial material under the conditions of cold climate and poor vegetation cover. “Post-granite loams”, reported from Domański Wierch and Sucha Góra (Kukulak 2001) seem to prove the effects of weathering of glacialfluvial material in similar conditions.

To indicate the factors and processes decisive in the formation of studied sediments, a broad approach was employed that included a range of grain-size, mineralogical, petrographic and

malacological analyses. The *loams* were studied at 16 sites in Polish and Slovak parts of the glacial fans of the Czarny Dunajec River. In total, 67 sediment samples were collected in the field to perform sedimentological, malacological and heavy mineral analyses in the laboratory. Sedimentological analyses were carried out to determine: sediment grain-size distribution and characteristics, rounding and frosting of 0,8 - 1,0 mm quartz grains and their surface micromorphology (surface textural analysis by SEM - scanning electron microscopy).

The thickness of the studied loams ranges from 1.0 to 3.5 m. Thicker covers are typical of the wide hilltops with low inclination and of the relatively flat slope toes, irrelevant of the age of the underlying surface. On some of the hills between Chyżne and Jabłonka Orawska, the loam cover is discontinuous exposing weathered Neogene clays. With increasing distance from the fan apex, the loams become finer and more homogeneous in terms of grain-size. The loams covering the highest parts of the fans have massive structure, whereas weak lamination is discernible in the loams present on the lower terraces of the Czarny Dunajec

Silt (5-9 phi) was the most dominant fraction (54-84% on average), while mean grain-size (Mz) ranged from 4 to 6.5 phi. Additional fractions were sand, clay and gravel particles (on average 15%, 7% and 2%, respectively). The sediment is poorly or very poorly sorted. Most studied vertical sediment profiles exhibit normal grading with upward-increasing proportion of silt and decreasing proportion of sand and gravel particles. At some study sites the proportion of silt within the profile was even. Mean grain size (Mz) was found to decrease with increasing sediment sorting (σ_1). Lithodynamic analysis of the mode of grain transport based on cumulative probability curves of the sediments (Moss 1962/63, Visher 1969) indicated most of the grains to be transported in saltation, with Mz of this grain population in the range 4-7 phi.

The Cailleux (1942) analysis of quartz frosting and rounding with later modifications (Goździk 1980, Mycielska-Dowgiałło, Woronko 1998) showed grains of OTHER type to be predominant (54%) among the 0.8-1.0 mm fraction in studied deposits. Grain surfaces showed evidence of chemical and frost weathering but no evident traces of transportation in high-energy environments. On average, broken grains (C) resulting from the breakage of OTHER grains constituted 33% of the samples, while 13% were fresh grains (NU). Samples from three sites contained transitional shiny grains (EM/EL) that are associated with high-energy fluvial environment. However, their overall percentage in the studied deposits is negligible. The *Orava loams* are typified by low degree of quartz grain rounding (0.1-0.4 on Krumbein scale, 1941)

Quartz grain microtextures analysis using scanning electron microscope (SEM) indicated that nearly all grain surfaces have microstructures typical of chemical weathering. The microstructures of intense etching (large *caverns*, point concave *solution pits*, uneven rough *dissolution surface*) and aluminosilicate coating (*amorphous ppt*). The degree of coating was

similar on all grains. Abrasion microstructures were also recorded: large, fresh flat fractures *fracture features*, large (>10µm) and small (<10µm) conchoidal fractures, arc-shaped microforms as well as additional linear steps and parallel ridges. Microstructures associated with mechanical fracturing occur mostly on fresh grains (NU). *Breakage blocks* – microstructures associated with frost weathering (Hoch, Woronko 2007, Woronko, Pisarska-Jamroży 2015) – were also found on the analyzed quartz grains.

Analysis of heavy minerals (in the grain size ranges of 0,2-0,1 mm and 0,1-0,06 mm) showed that the groups of these minerals sampled from profiles in particular fans of the Czarny Dunajec do not significantly differ either in terms of quantity or quality. *Loam deposits* on the highest and oldest fan (Mindel) contain mostly garnets with accessory tourmaline, rutile and zircon. Deposits on the younger fan (Riss) contain tourmaline, rutile and zircon with the accessory garnet, hornblende and staurolite. In turn, the *loamy deposits* on the youngest and the lowermost fan (Würm) are typified by the occurrence of hornblende and apatite.

No mollusc fauna was found in the sampled *loam* deposits.

The results of the range of performed analyses of the *loamy deposits* point to multiple sedimentary environments (Fig. 1). Thus the most probable is their complex origin with the deposits being the effect of the operation of fluvial and aeolian processes with both chemical and frost weathering. Heavy mineral analysis confirmed the hypothesis on the local provenance of the studied sediment: gravelly material from the Tatra Mountains deposited as the glacialfluvial fans in the Tatra Mountains foreland. The loams on lower (younger) fans could have been supplemented with weathered material from the higher (older) fans of the Czarny Dunajec River.

The characteristics of the studied deposits provide a record of synchronous processes (Fig. 1) that operated simultaneously but with differing intensity during the Pleistocene. Mechanical weathering and aeolian processes dominated during cold periods (glacials), whereas fluvial processes and chemical weathering were dominant during the warm periods (interglacials). The results also indicate that in the successive glacial-interglacial cycles fan surfaces were mostly subject to *in situ* weathering. Repeated erosion and redeposition took place during the formation of particular fan levels, that is the transfer of the material from the higher to lower fan levels occurred mostly during its formation in a single glacial-interglacial cycle. After that, no clastic material was deposited on the higher level and the material was only subject to weathering. Aeolian transportation occurred on all fan levels mostly during the cold periods but did not largely affect the morphology or textural characteristics of *loams*.

Predominance of silt fraction, low percentage of clay and sand and nearly complete lack of gravels within the studied deposits indicate that in terms of texture they cannot be classified as *loams* and that according to their grain-size characteristics, they should be termed as *silt*. However,

the deposits do not have all diagnostic features representative of *loess* (Cegła 1972, Maruszczak 1991, 2000, Pesci, Richter 1996).

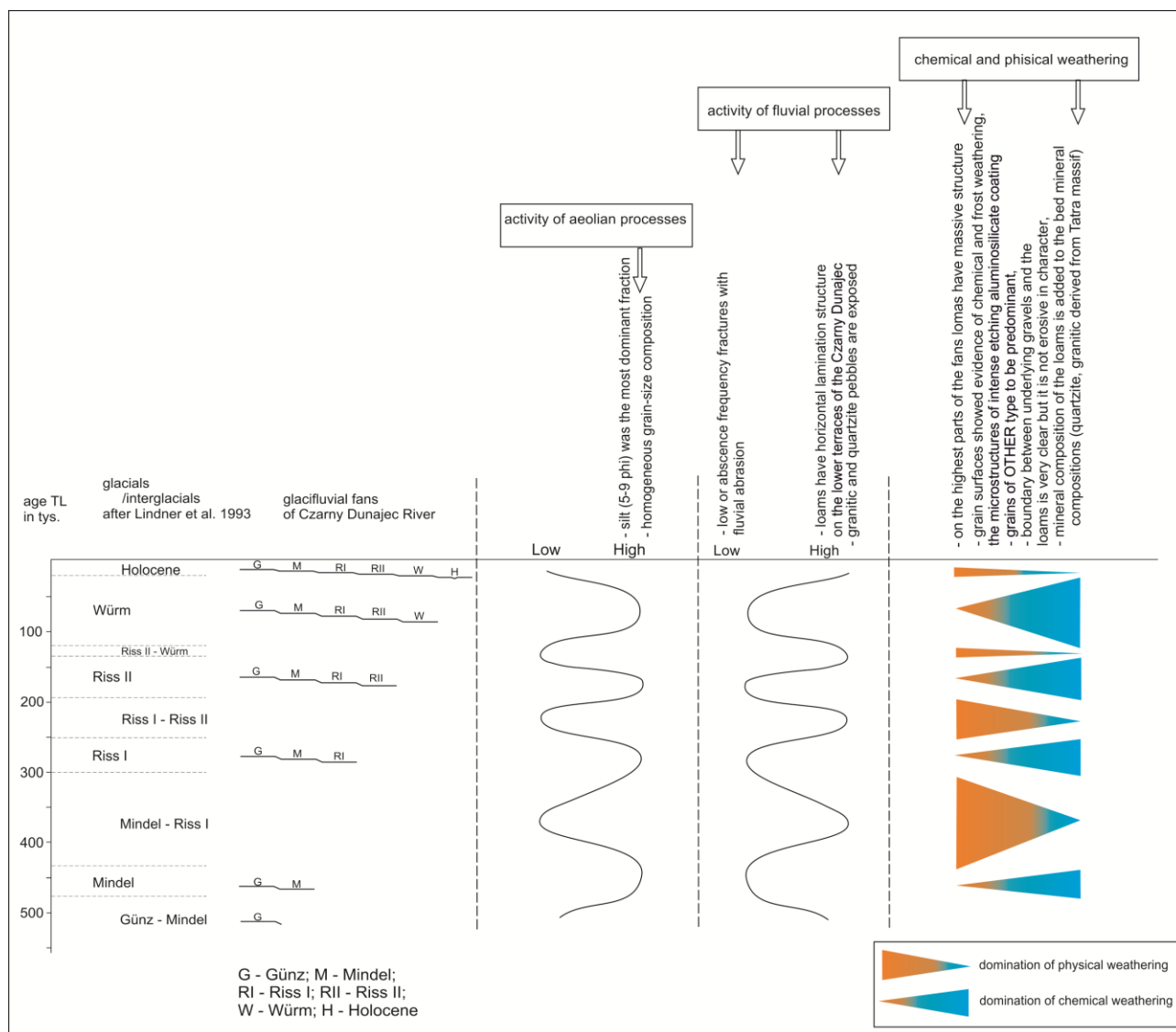


Fig. 1. Scheme of co-occurrence of morphological processes in subsequent of Quaternary periods based on the dominant features of the loamy deposits in the Orava Basin.