

## Negyedidőszaki szárazföldi és mélytengeri üledékek korrelációja Duna-menti löszök komplex sztratigráfiai vizsgálata alapján

(Correlation of terrestrial and deep sea Quaternary deposits on the basis of complex stratigraphic investigation into loesses along the Danube)

Kutatásainknak az volt a célja, hogy részletesen vizsgáljunk olyan lösz-paleotalaj sorozatokat, amelyek a lehető legjobban tükrözik a Thetysnek a Fekete-tengertől a Vaskapun át a Pannon-medence Ny-i részéig húzódó vízrendszere (Pannon-tó, Havasalföldi-tó) visszahúzódását követően a Kárpát-medence és az Al-Duna környezetének feltöltődését, a Duna és vízrendszere megjelenését, folyóvízi teraszok kialakulását.

Őskörnyezet-változásokat és a fejlődéstörténetre vonatkozó változásokat vizsgáltunk Duna menti és vízrendszeréhez tartozó löszök típusfeltárásai alapján. Negyedidőszaki pleisztocén szárazföldi üledékeket hasonlítottunk össze mélytengeri és jégfúrások üledéksorai értékeivel. Arra kerestük a választ, hogy az izotóp sztratigráfiai módszerével vizsgált mélytengeri üledékek hideg és meleg klímaszakaszainak ciklusai milyen hatást gyakoroltak a szárazföldi paleogeográfiai és paleoklimatológiai környezetre és hogy hogyan lehet a mélytengeri klímaszakaszokat a szárazföldi üledékekben is kimutatni, valamint hogy mely szárazföldi üledékekben figyelhetők meg a pleisztocén eljegesedések hatásai. A kontinentális és a tengeri pleisztocén üledéksorok kialakulása egyforma, azonos klímaváltozások eredményei. A klímaváltozás hatása azonos módon vehető figyelembe a szárazföldek és a tengerek üledékeiben.

Jellemző általánosított típusszelvények feldolgozását terveztük különböző részszelvényezések (pl. Krems környéke) során. A munka a tervezettnél megfelelően elkészült. Olyan nagy rétegvastagságú szelvényeket dolgoztunk fel és jellemeztünk, amelyek Közép- és Délkelet-Európa „mintaszelvényei”, rétegei szinte hiánytalanok, hűen tükrözik a Pannon-tó visszahúzódását követő fejlődéstörténetet.

Kutatott szelvényeink részben az egykori Pannon-tó Ny-i elvégződéseinél – a kremsi-öblözet különböző feltárásaiból összeállított szelvény, a Mistelbach környéki kavicstakaró rétegei, a Červený kopec-i feltárás – találhatók, részben Szulimán környékiek, illetve közép-dunai és al-dunai feltárások.

Az üledékeket az általunk kidolgozott új környezetjelző kiértékelő módszerrel (a hagyományos mutatószámokon kívül az általunk bevezetett finomsági értékkel  $/F_G/$  és a mállási fokkal  $/K_d/$ , a  $\text{CaCO}_3$ -tartalommal, valamint az agyag-, iszap-, lösz-, homok

százalékos részesedése arányával, illetve a kapott oxigén-izotóp értékekkel /MTA Atommagkutató Intézet, Debrecen/) jellemeztük. Ezen értékeket vetettük össze a mélytengeri fúrások és a jégfúrások eredményeivel. Újdonságnak számít, hogy ezen feltárások oxigén-izotóp értékeit még senki sem határozta meg és értékelte ki és hasonlította össze a mélytengeri izotóp-stádiumokkal a viszonylagos kormeghatározások miatt.

A kutatások e nagy feltárások környezetében igen nagy idő- és költségigényűek (a terepbejárások, a geológiai és geomorfológiai viszonyok felvételezései, a mintavételezések, a rétegleírások, a minták hazaszállítása a laboratóriumokba, sokszor többnapos kiszállások a kontroll mintavételezésekkel együtt, a távolság miatti magas gépkocsi költség, a szállásköltség, mintavételezésekkor 4–6 ember egy időben történő munkája).

Mintavételezéseink során begyűjtött anyagainkat az MTA FKI Kőzet-és Talajvizsgáló Laboratóriumában dolgozzuk fel 9 szemcsenagyság-tartományban lézerdiffrakciós szemcseméret-elemzéssel (FRITSCH ANALYSETTE 22 MicroTec plus), az oxigén izotóp ( $\delta^{18}\text{O}$ ) mérések az MTA Atommagkutató Intézet Hertelendi Ede Környezetanalitikai Laboratóriumában készültek (Thermo Finnigan Delta<sup>PLUS</sup> XP stabil izotóp tömegspektrométerrel).

Az alkalmazott környezetjelző-kiértékelő módszerünk bevált. A szelvényen belüli és a szelvények közötti rétegek párhuzamosítását nagyban elősegíti. A mintegy 12 mutatószám értékeinek egymás mellett történő ábrázolása során egyértelműen elkülöníthetők egymástól a rétegek, látszanak azok pontos határai, a rétegeken belüli változások összehasonlításával azok beazonosíthatók. A szelvény bármely mélységéhez húzott vízszintes vonal mentén a rá vonatkozó összes információ azonnal leolvasható. Jól látszanak a rétegen belüli különbségek is. Legtöbb információt a  $\delta^{18}\text{O}$ , a MIS (mélytengeri izotóp stádiumok), a lösz/paleotalaj ciklusok, a  $\text{CaCO}_3$  tartalom, az  $F_G$  és  $K_d$  értékek, valamint az agyagtartalom hordoz. Lehetőség szerint érdemes mindezen információt valamelyik jégfúrással összevetni.

Feltárásain többsége a jégkorszak utáni kéregmozgások következményeként, ún. „kiemelt helyzetben” van. Emelkedő hegy vagy hegység előterében. Esetünkben a lösz-paleotalaj sorozatok szép teraszrendszeren húzódnak, mint pl. a Červený kopec-i rétegeink öt gyönyörű teraszra települtek. A legidősebb üledékek idősebbek a Jaramillo paleomágneses eseménynél (~1,1 millió év), mintegy 1,3 millió évesek. Hasonló a helyzet a közel azonos földrajzi szélességen fekvő kínai (Lanzhou) löszfeltárással a jelenleg is emelkedő Tibet előterében. Ott hat terasz hordozza a hatalmas lösz és paleosol sorozatot, a legidősebb terasz kora mintegy 1,45 millió év. Van medencehelyzetben lévő feltárásunk is, ilyen az aldunai. Mintegy 5 millió év földtörténeti és öskörnyezeti, őségajlati változásait tükrözi.

A Červený kopec-i feltárás szelvényének különös jelentősége van a negyedidőszaki kutatásokban. A szárazföldi üledékképződés során szinte megszakítatlan rétegsorral rendelkezik. Az un. „Morva kapuban” található és közvetíti mind az észak-európai szárazföldi, mind a hegységi (alpi) eljegesedés összes „rezdülését”.



A feltárás csak mintegy 50 km-re húzódik az egykori európai szárazföldi jégtakaró peremétől, közel fekszik a Dunához, illetve a jégkorszak alatt szintén eljegesedett Alpok előteréhez. A glaciálisokat követő kéregmozgások során felszíne fokozatosan emelkedik, a bevágódó folyó egykori terasza (V. sz. terasz) ma mintegy 280 m-es tengerszint feletti magasságban található. A löszös teraszok a kéregmozgások legjobb bizonyítékai. A feltárás nem csak a szinte hiánytalan üledékképződés miatt különleges, hanem azért is, mert a teraszrendszer képződés iskolapéldája. A lösz/paleosol sorozatban ismert a Brunhes-Matuyama és a Jaramillo paleomágneses határ is. Ez azért fontos, mert ismert, hogy a híre kremsi feltárás „teteje” hiányzik, rajta a B/M paleomágneses határ feletti részben csupán egy ciklus, mintegy 100000 évnek megfelelő lösz/paleosol sorozat található. A kéregmozgások során róla mintegy 700000 évnek megfelelő üledékanyag hordódott le. A kremsi szelvény „tetejére” illesztett Červený kopec B/M feletti részével Közép-Európa egyik leghiánytalanabb általánosított szelvényéhez jutunk.

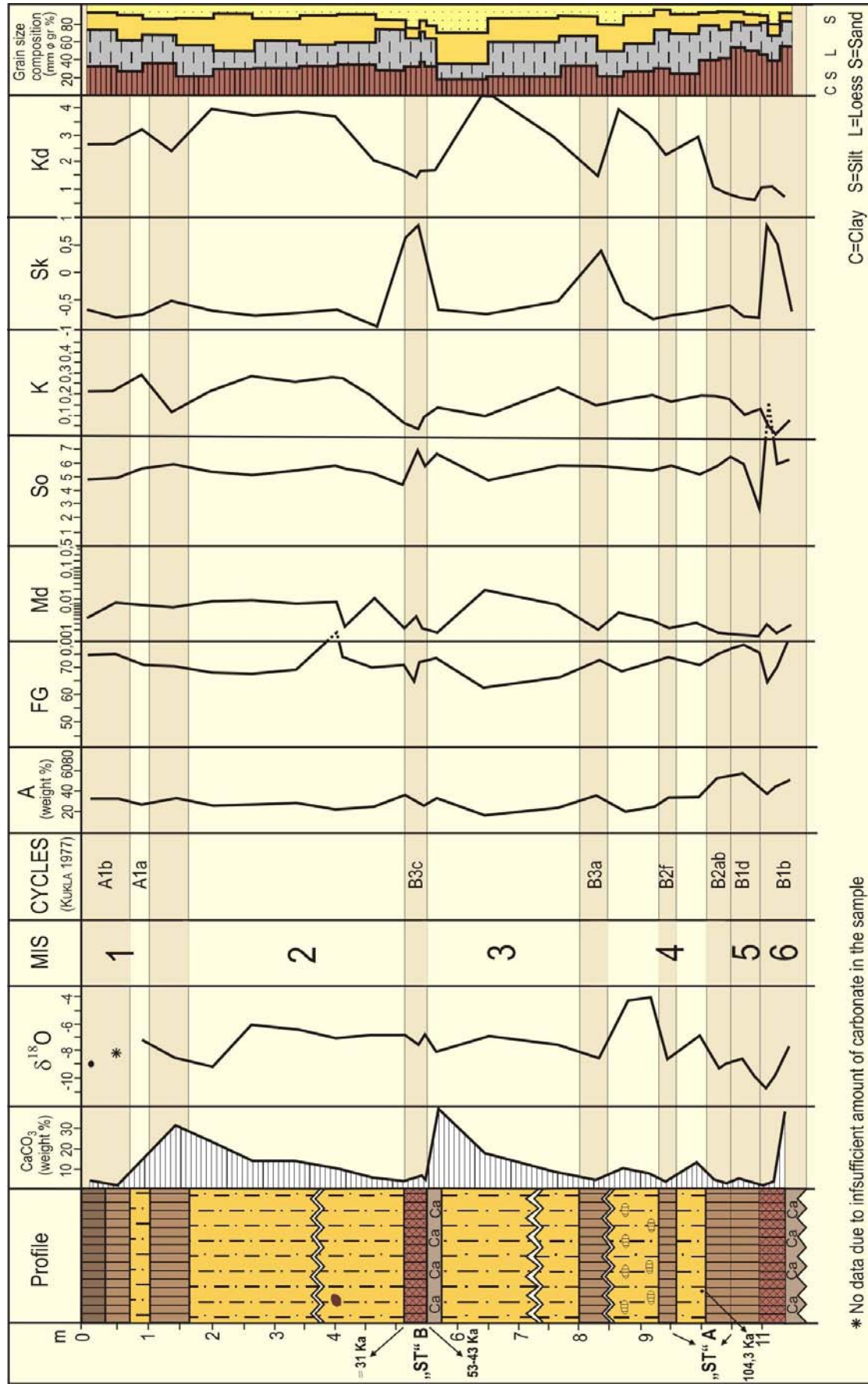
A feltárás aljzatát alsó-devon homokkő, konglomerátum és arkóza képezi, mely utolsó az alsó-devon kaledóniai hegységrendszer lepusztult gránitjának mállásából keletkezett. A konglomerátum fölött helyenként miocén mészkő húzódik. Felette az idős kavicsstakaró (Older Gravel Cover), majd a fiatal kavicsstakaró és folyóvízi teraszok húzódnak, köztük lösz- és fosszilis talajrétegekkel. A kavicsos homokfelszíneken ferreto-típusú őstalajok képződtek.

A vizsgált I. és II. lépcső üledéksora az utolsó glaciális-interglaciális ciklust, mintegy 120 ezer évet (OIS 5/ODP-677; B lösz-paleotalaj ciklus) foglalja magába. A B subciklus 3 talajsorozatot tartalmaz. A feltárás aljzatában található miocén terasz kavicsra települt

összletek kora igen magas, átlépheti a M/G paleomágneses határt. A B/M és a Jaramillo paleomágneses határt Zeman, A. találta meg. A B/M határ a jelenlegi PC-X feletti és a PC-X talaj alatti löszben található.

Feltárásunkban 7 talajszerkezetet és 5 löszréteget különíthetünk el. A rétegsort a különböző paraméter-értékek alapján párhuzamosíthatjuk a stillfriedi és a Dolní věstonice-i feltárás hasonló üledékeivel. A feltárásban a mi MF<sub>1</sub> talajunknak megfelelő felső csernozjom és alsó erdei talaj („Stillfried B” talajkomplexum) egyidejűleg csak nagyon kevés helyen található meg (pl. Stillfried), a többi hasonló helyzetű fúrásban vagy a felső van meg és az alsó hiányzik (pl. Dolní Věstonice) vagy az alsó van meg és a felső hiányzik (pl. Červený kopec – Bohunice típus). A szelvény aljzatában lévő MF<sub>2</sub> talajkomplexum felső része még a glaciális sorozathoz tartozik, míg az alsó, erdei talaj a R/W interglaciális rész.





Az al-dunai feltárások (*Vetovo* környezete) rétegtanilag szintén az egyik leghiánytalanabb feltárások közé tartoznak. Rétegtanilag talán a dunakömlődi feltáráshoz lehetne hasonlítani, de annyi különbséggel, hogy a vörösayag rétegek itt nem fúrásokból ismertek, hanem a felszínen láthatók. Vastagságuk mintegy 6 méter. A szelvény aljzatát képező jura őskarszt a saját elmállott anyagába temetkezett. A mállott anyagból különböző fajtájú kaolin keletkezett. A mintegy 70 méteres feltárás vörösayaga felszínén kavicsos homok található. A feltárás felső és középső részén 6 őstalaj és 7 lözszorozat húzódik. A kapott oxigén-izotóp értékeink jól korrelálnak a mélytengeri fúrások görbéivel.



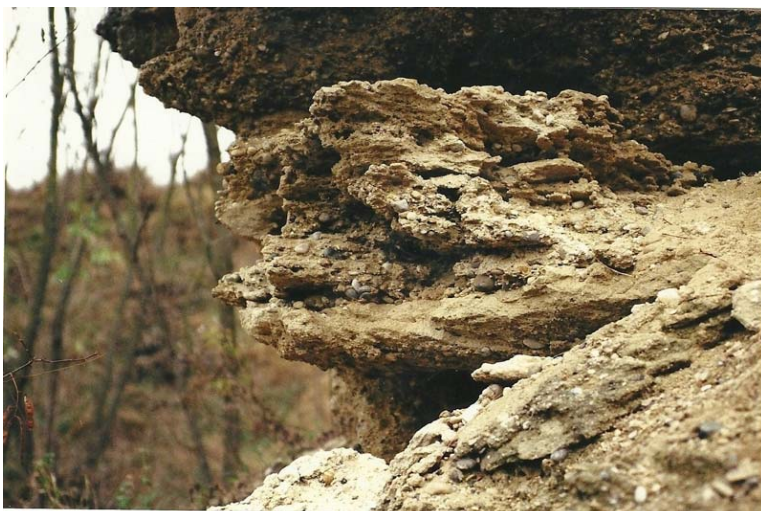
A *szulimáni* szelvényünk bázisát pannon homok és agyag képezi. A két vöröses barna fosszilis talaj a 0,60–1,30 m-es, illetve 2,20–5,30 m-es szintekben található. A feltárás felső része lehordódott. Az alsó vörös talaj nagyon durvaszemű, a felső vöröses barna lényegesen finomabb szemcsézetű.



Kutatásaink egyik fontos része volt a mindel/riss interglaciális tanulmányozása a teraszüledéken a *göttweigi* feltárásban, a kreamsi öblözetben, a Duna jobb partján. Kevés helyen lehet tanulmányozni völgybevágódásban ezt az interglaciálist. Jelen feltárásban a felette lévő löszréteg tetején hiátus van, a riss/würm interglaciális anyaga lehordódott.



Veinviertel környéki löszfeltárásaink (köztük a kreamsi és a Červený kopec-i), alsóbb, idősebb rétegeinek párhuzamosításakor nehézséget jelentett számunkra, hogy a feltárások különböző törésvonalak mentén és különböző mértékben „belesüllyedtek” az aljzatot képző kárpáti molaszt, illetve Pannon-tenger ÉNy-i nyúlványának üledékeit fedő *Hollabrunn-mistelbachi kavicsstakaróba*. Így a kutatásaink legfontosabb feladata feldolgozott szelvényeink párhuzamosíthatósága szempontjából az adott területen a szerkezeti és tektonikai viszonyok tisztázása, a feltárások aljzatának, a rá települt kavics jellegének a meghatározása volt. Mindezekhez kapcsolódtak a szükséges kiegészítő szelvényezések.



Kutatásaink kiterjedtek a Krems környéki teraszrendszer és a rájuk települt lösz/paleosol sorozat vizsgálataira is. Az általánosított szelvényt 5-6 részszelvényből tudtuk összeállítani. Ide tartozott még a pandorfi, a neurussbachi, az unterparchenbrunni feltárás is, valamint a pandorfi feltárás kiegészítéseként a göllersdorfi szelvényezés is.



Kutatási eredményeinkből számos előadást tartottunk különböző külföldi és belföldi konferenciákon. Braziliában 2 előadást a Goianai egyetemen megszervezett VI. simposio Naciona de Geomorphologia-n, szintén két előadást az indiai Kalkuttában megszervezett geomorfológiai szimpóziumon, 3 előadást az IAG Carpato-Balkan-Dinaric Geomorfológiai Konferencián Pécsen, 1 előadást a Tunisban megszervezett Nemzetközi Geomorfológiai Kongresszuson, 3 előadást a 2009-es ausztráliai Nemzetközi Geomorfológiai Konferencián (ANZIAG) Melbourne-ben, valamint 2008-ban az akadémia éves közgyűlése tudományos napján a felolvasó teremben.



## Correlation of Quaternary terrestrial and deep-sea deposits on the basis of complex stratigraphic investigation loesses along the Danube

The aim of our studies was the detailed investigations loess-paleosol sequences, which best reflect the upfilling of the Carpathian Basin and the environs of the Lower Danube, the formation of the drainage and terrace systems after the regression of the Central Paratethys from the western fringes of the Pannonian Basin to the Black Sea across the Iron Gate.

We have investigated the paleoenvironmental changes on the basis of the stratotype loess sequences along the River Danube and its drainage system. We have compared the Quaternary terrestrial deposits with the data of deep-sea sequences and ice cores. An answer is sought to the question: how have the cold and warm climatic cycles known from deep-sea sediments studied by the methods of isotope stratigraphy affected terrestrial paleogeographic environment and paleoclimatic conditions, how can be the climatic cycles of the deep-sea sediments determined in the terrestrial deposits, and in which terrestrial deposits can we find the effects of Pleistocene glaciations. The sequences of the terrestrial and deep-sea sediments show similar variations caused by global climate changes, so with their correlation we can get important information about the manner of these environmental changes.

We have planned the study of the typical generalized stratotype sequences and the investigations of the surrounding sections. The work completed as planned. We have worked up the most complete and longest sequences on Central and Southeastern Europe, which reflect most precisely the climatic and environmental history after the regression of the Lake Pannon.

The investigated sections are from the western fringe of the Lake Pannon (the generalized section combined from the sites of the Krems Embayment, from the strata of the Mistelbach gravel and the outcrop of Červený kopec), from Szulimán and from several locations of the Middle and Lower Danube.

The sediments were characterized by our own new environment-discrimination proxies, which include beyond the traditional sedimentary parameters our newly introduced indices (fineness grade:  $F_G$  and degree of weathering:  $K_d$ ),  $\text{CaCO}_3$  content, granulometric parameters (clay, silt and sand percentages) and  $\delta^{18}\text{O}$ -values (data from the Institute of Nuclear Research of the Hungarian Academy of Sciences, Debrecen). These values were compared with the data of deep-sea sediments and ice cores. The investigated sections were not studied in any previous works by the methods of oxygen-isotope stratigraphy and their relative ages were not determined by correlation with marine isotope stages.

The research of these large outcrops is very time-consuming and expensive (e.g. field works, geological and geomorphological surveys, samplings, stratigraphic descriptions, transport of the samples to the laboratories, taking control-samples, fares, accommodation fees, the wages of 4-6 persons during sampling).

The grain-size of the samples was measured using a Fritsch Analysette Microtec 22 laser grain-size analyzer in the Laboratory for Sediment and Soil Analysis in the Geographical Research Institute of the Hungarian Academy of Sciences (HAS). The oxygen-isotope ( $\delta^{18}\text{O}$ ) values were determined in the Hertelendi Laboratory of Environmental Studies in the Institute of Nuclear Research (HAS) using a Thermo Finnigan Delta<sup>PLUS</sup> XP stable isotope mass spectrometer.

Our new environment-discrimination method worked well in the demarcation of the stratigraphic units and even during the correlation of the different sections. Using the twelve side by side plotted parameters, the layers can be easily separated from each other and the boundaries seem well defined. All data of a given depth can be directly read from the figure. The differences inside the layers are also apparent. The most informative ones are the  $\delta^{18}\text{O}$ , the MIS (Marine Isotope Stage), the loess/paleosol cycle,  $F_G$  and  $K_d$  and the clay content curves. It is worthy to compare them with the data of ice cores.

Most of our investigated outcrops can be find in an elevated position due to postglacial uplift or in the foreground of an uplifted mountain. In our case, the loess-paleosol sequences were deposited on terrace-systems (e.g. the Červený kopec section on five terraces of the Svrtka River). The oldest deposits (1,3 My BP) are older than the Jaramillo paleomagnetic event (~1,1 My BP). The sequence of Lanzhou (Chinese Loess Plateau) in the foreland of Tibet is very similar to the Červený kopec section. Its thick loess-paleosol series is situated on six river terraces (the age of the oldest terrace is ~1,45 Ma BP). Some of our sections are located in basins. The section in the Lower Danube basin reflects the paleoenvironmental and paleoclimatic variations of the last 5 million years.

The *Červený kopec* section has especially significance in the Quaternary studies. Its terrestrial sequence is almost complete, and due to its location in the so called “Moravian Gate” all of the variations of the North European and the Alpine glaciations could be examined in the outcrop.



It is situated at the southeastern fringe of the Bohemian Massif, 50 kilometers to the one-time southernmost limit of the Pleistocene inland ice sheet and also close to the Danube and to the foreland of the glaciated Alps. The uplift of the area was caused by postglacial gradual crustal movements, so the height of the uppermost, fifth (V.) river terrace is 280 m above sea level. The loess-covered terraces are the most reliable evidences of the uplifting.

The importance of the section is not only the result of its almost complete loess-paleosol sequence, but it is also the typical instance of the river-terrace formation. The location of the Brunhes/Matuyama paleomagnetic boundary and the Jaramillo event is known in the series. It is important because the upper part of the long section of Krems is missing, and it consists almost only from loess-palaeosol series older than B/M (only one younger loess cycle is present in the section). In the course of the crustal movements in the last 700 thousand years vast amount of sediments were eroded. The generalized section from the series of the Krems site joined with the series of Červený kopec can be regarded as the most complete loess-palaeosol sequence in Central Europe.

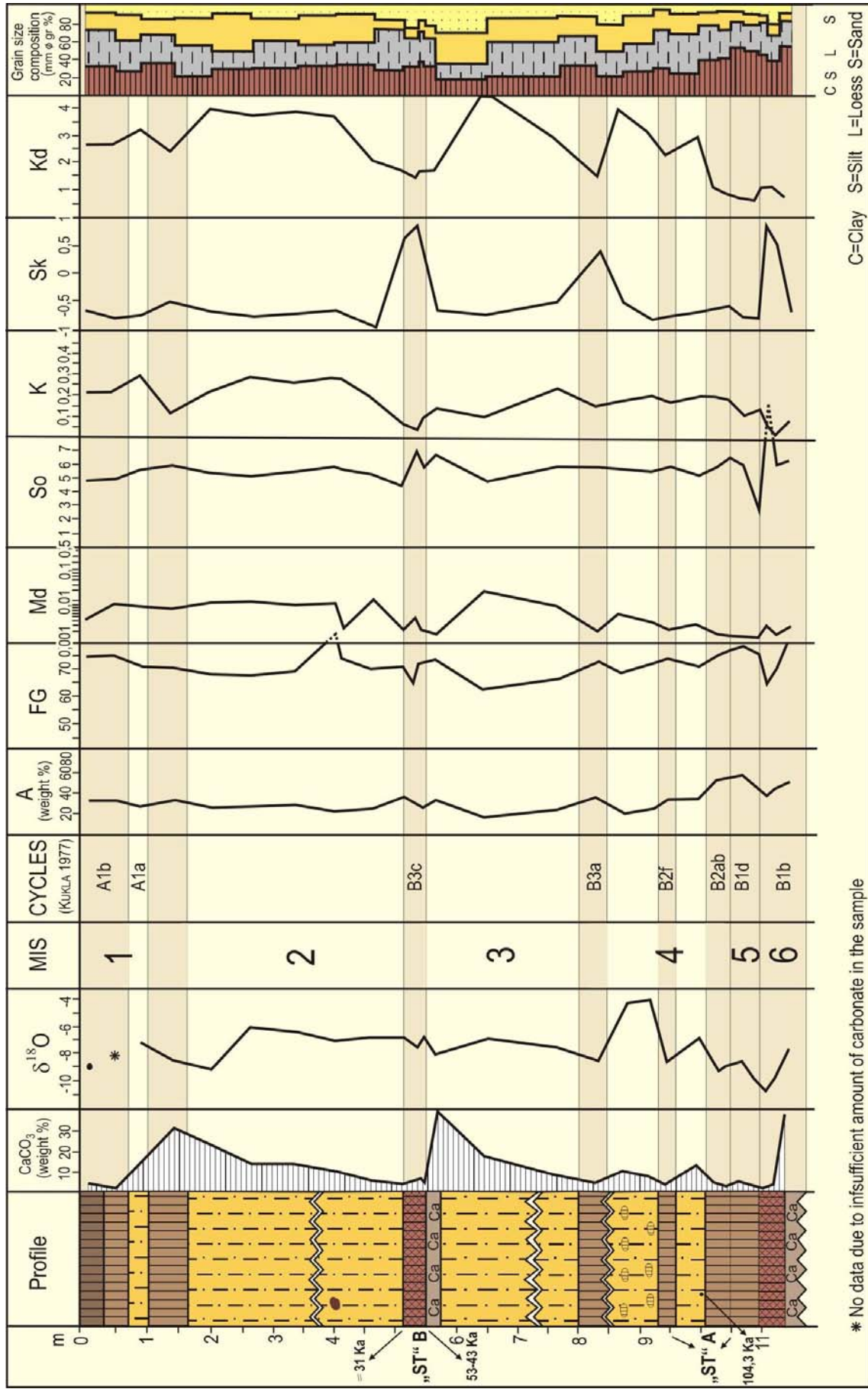
The loess-palaeosol series is underlain by Lower Devonian red sandstone with high quartz-content, conglomerate and arcose, formed from the weathering of the granite of the Lower Devonian Caledonian Mountains. The conglomerate is locally overlain by Miocene limestone. Above the pre-Quaternary strata fluvial river terraces (covered by Younger and Older Gravel) and loess-palaeosol series can be found. On the gravelly sand layers ferretto-like soils were formed. The section on the investigated I. and II. steps covers the last glacial-interglacial cycle (~120 ky; OXY Stage 5/ODP-677 record, benthic  $\delta^{18}\text{O}$ , the B loess/paleosol cycle). The B subcycle contains three soil-series.

The age of the lowest deposits (overlying the Miocene terrace gravels) is quite high; it could be more than the Matuyama/Gauss paleomagnetic boundary. The B/M and the Jaramillo

event was reached by several drills (e.g. 830 and 831 by ZEMAN, A.). The B/M can be found in the loess between the PC-Xa and the PC-X paleosoils.

Seven paleosoils and 5 loess layers can be separated in the section. The units based on its parameter values can be correlated with the similar sediments of the Stillfried and the Dolní Věstonice sections. The two parts (the upper chernozem and lower forest soil) of paleosoils equivalent with our MF<sub>1</sub> soils can be found together only in some places (e.g. Stillfried). In most of the sections only one part of the complex remained (e.g. the chernozem soil in Dolní Věstonice; the forest soil in Červený kopec – Bohunice-type culture). The MF<sub>2</sub> soil in the lower part of the section consists from two parts too; its upper chernozem soil was formed during the glacial, while the lower forest soil belongs to the R/W interglacial.





The outcrops in the Lower Danube basin (in the environs of *Vetovo*) can be regarded also as almost complete sections. The sequence is very similar to the Dunakömlőd sections, but the lowest red clay deposits can be observed here in the outcrop not only in boreholes. The thickness of the red clay strata is ca. 6 meters. The underlying Jurassic paleokarst system was covered in by its own material, and different types of kaolinites were formed from the weathered deposits. Gravelly sand can be found on the red clay strata of the ~70m thick section. 6 paleosoils and 7 loess layers are situated in the upper and middle part of the outcrop. The oxygen isotope values correlate well with the data of deep-sea sediments.



The section of *Szulimán* is underlain by Pannonian sand and clay deposits. The two reddish brown paleosoils are situated in the 0,60–1,30 m, and in the 2,20–5,30 m level. The upper part of the section was eroded. The lower red soil has a significantly coarse grain-size, while the upper reddish brown soil is fine-grained.



An important part of our research was the study of the Mindel/Riss interglacial period at *Göttweig* in the Krems Embayment on terrace deposits (along the right bank of the River Danube). The sediments of this interglacial can be investigated only at some places in the river valley. In the upper part (above the Riss loess) of the *Göttweig* section, there are several hiatuses; the material of the Riss/Würm interglacial has eroded.



The lower, older part of the loess sequences in the Veinviertel (e.g. Krems and Červený kopec) can be correlated only with the observance of the vertical movements. The sections have dipped differently in the *Hollabrunn-Mistelbach gravel cover* (overlying the Carpathian molasse deposits and the Pannonian sediments). So, the structural and tectonic conditions had to be clarified, we had to determine the characteristics of the gravel cover during our collateral field works.



Our work was expanded to the investigations of the terrace system and its overlying loess-paleosoil sequence at *Krems*. The generalized sequence was compiled using 5-6 sections. The Pandorf, Neurussbach, Unterparchenbrunn and the Göllersdorf sections belong also to this area.



We have taken several presentations on our results at Hungarian and at foreign conferences. We have 2 presentations in Brazil at the VI. Simposio Nacional de Geomorfologia (Goiana University), 2 presentations at the geomorphological symposium in Calcutta, India, 3 presentations at the IAG Carpatho-Balkan-Dinaric Geomorphological Conference (Pécs, Hungary), 1 presentation in 2009 at the International Geomorphological Conference (ANZIAG – Melbourne, Australia), and 1 presentation in 2008 at the Hungarian Academy of Sciences.