

Vplyv prostredia vzniku sedimentu na niektoré fyzikálno-mechanické vlastnosti spraší

(18 obr. a 2 tab. v texte)

JÁN ŠAJGALÍK — IGOR MODLITBA*

L'influence du milieu de sédimentation sur les qualités physico-mécaniques des loess

Au point de vue architectonique, les loess sont considérés comme peu sûrs. Leur qualité courante et défavorable est la subsidence. Nous ne connaissons pas encore les conditions précises de son existence et les variations de sa qualité. Il y a encore beaucoup de problèmes ouverts, comme: rapport de subsidence à la genèse, géomorphologie, stratigraphie, minéralogie etc. Dans cet article, l'auteur s'efforce d'éclaircir l'influence du milieu de sédimentation sur les qualités géotechniques des loess (sédimentés dans le climat froid et humide).

Spraše patria k najrozšírenejším pokryvným útvarom na Slovensku. Z praxe vieme, že tvoria základovú pôdu značne nespoľahlivú a mnohokrát nevyspytateľnú. Na sprašových terénach sa často stretávame s fyzikálno-mechanickými procesmi typickými pre spraše, ako sú presadavosť, sufózia ap. Mnohokrát však zostáva nevysvetlené, prečo na tých istých sprašiach, makroskopicky sa vôbec nelišiacich, niekedy k spomínaným javom nedochádza.

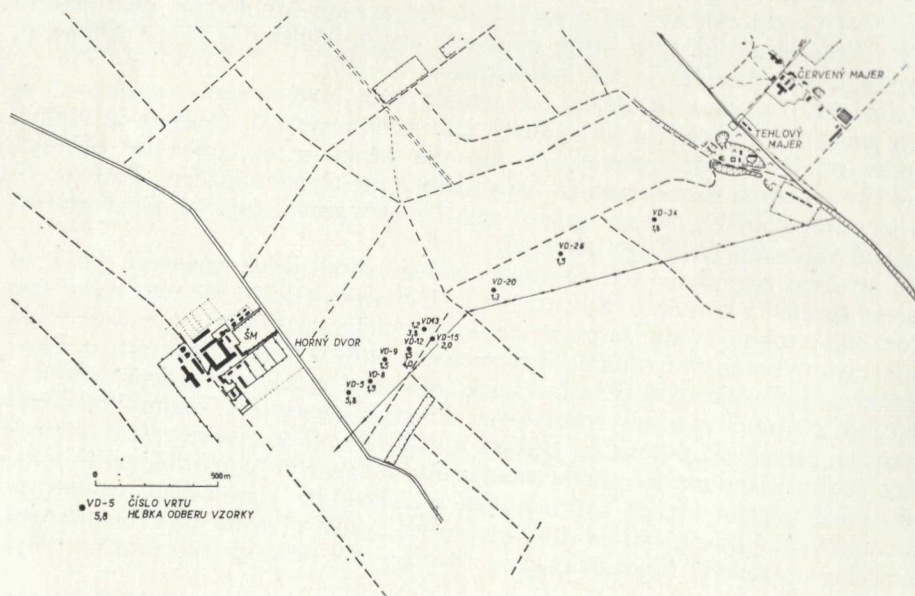
Veľmi ťažko sa na túto otázku odpovedalo vtedy, keď sa spraše považovali za jeden genetický komplex, a to eolitický, čiže naviaty vetrom. Dnes sa už väčšina autorov prikláňa k polygenetickému spôsobu vzniku spraší, treba len objasniť, ktoré sily a v akom rozsahu zohrali hlavnú úlohu pri ich nahromadení. Tento problém je veľmi dôležitý, pretože genéza spraší mnohokrát určuje ich fyzikálno-mechanické vlastnosti (J. Šajgalík 1966).

Na štúdium geotechnických vlastností sme si vybrali jeden genetický typ, a to „vlastné spraše“ v zmysle L. Sýkoru — L. Urbánka (1954). Pre túto voľbu sme sa rozhodli z toho dôvodu, že práve tento typ sedimentov sa často vyznačuje veľmi nepriaznivou vlastnosťou z hľadiska geotechniky, a to tzv. presadavosťou. I keď presadavosť považujeme za charakteristickú vlastnosť spraší, a to najmä typického eolického pôvodu, musíme konštatovať, že zatiaľ nepoznáme, najmä na území Slovenska, presné zákonitosti jej výskytu a variácií kvality. Nie sú zatiaľ vyčerpávajúco zodpovedané otázky vzťahu presadavosti ku genéze, geomorfológii, k stratigrafii, mineralógii a taktiež k fyzikálnym a chemickým vlastnostiam sedimentu. Zameraním našej pozornosti na uvedený typ sedimentu a hlavne jeho komplexným geologicko-technickým riešením snažíme sa prispieť k riešeniu tejto problematiky,

* doc. RNDr. Ján Šajgalík, CSc., Katedra geotechniky Stavebnej fakulty SVŠT, Bratislava, Tolstého 1. RNDr. Igor Modlitba, IGHP, n. p., Bratislava 12 — Prievoz.

GRAFICKÉ ZNAZORNENIE	NÁZOV ZEMINY	GENETICKÝ TYP
0	HUMUSOVÁ SPRÁŠ	PÔDOTVORNÝ
20	svetlohnedé spraše vápnité s hojnými sekundárnymi karbonátmi v podobe konkrécií	eolický. Sed. vznikali veter. činnosťou za würmských štádií. Vrstvicky iného genetického typu sú zanedbateľné
40		
60		
80	sprašové hliny nevápnité	pôdotvorný + deluviálny. Pôvodné eolické sedimenty boli pretvárané predovšetkým pôdotvornými procesmi počas teplého interglaciálneho obdobia
100	svetlohnedé spraše vápnité so zátekami Fe a Mn a sekundárnymi karbonátmi	eolický. Sed. vznikali veternou činnosťou v strednom alebo staršom pleistocéne

Obr. 1. Schematický profil sprašového súvrstvia Fig. 1. Schematic profile of the loess complex



Obr. 2. Situácia prieskumných prác

Fig. 2. Situation of exploratory workings

Senec tehelná			Lokalita	
9,5	7,0	3,5	Hĺbka odberu vzorky v m	
spraše.	spraše hliny	spraše	typ sedimentu	
19,5	5,8	25,4	granát	
2,5	7,8	7,1	epidot	
1,0	3,2	1,5	zoizit	
2,0	7,1	7,1	apatit	
28,1	16,2	14,2	zirkón	
—	0,3	—	silimanit	
3,0	3,2	2,0	rutil	
0,75	0,6	2,0	turmalín	
1,7	2,6	8,7	amfibol	
1,0	0,6	0,5	chlorit	
—	—	0,5	hyperstén	
—	—	0,25	augit	
—	—	0,25	muskovit	
—	0,6	1,0	distén	
0,25	0,9	0,5	titanit	
0,25	0,3	0,5	staurolit	
36,6	45,5	22,9	rudné min.	
3,25	4,9	5,4	zakalené min.	
55,8	49,7	68,1	KREMEŇ	
17,1	19,7	15,0	ŽIVCE	
2,6	0,3	1,8	SEUDY	
—	—	0,3	AGREGÁTY	
25,5	—	14,4	KARBONÁTY	
—	0,3	—	GLAUKONIT	

minerály ťažkej frakcie v %

minerály ľahkej frakcie v %

Tabuľka 1

a to v oblasti, v ktorej sa uvedený typ sedimentu zatiaľ komplexne neštudoval.

Podnet a tiež niektoré podklady pre prácu sme získali vďaka rozsiahlemu inžiniersko-geologickému prieskumu trasy diaľnice v úseku Bratislava—Senec—Trnava, ktorý vykonal Inžiniersko-geologický a hydrogeologický prieskum, n. p. Žilina, závod Bratislava, pod vedením Ing. J. Pisoňa a p. g. M. Žemberyho — v rokoch 1968 — 1969. Menovaným týmto vyslovujem vďaka za poskytnutie situačného náčrtu prieskumných diel a neporušených vzoriek sedimentov pre laboratórne spracovanie.

Genéza spraší

Genézu sedimentu a podmienky jeho vzniku sme určili na základe petrografických a paleontologických štúdií. Výsledky nám poskytol predovšetkým umelý odkryv Seneckej tehelne, ako i vzorky z vrtovej. Na základe petrografických výsledkov (tab. 1) môžeme spraše študovaného územia považovať za eolické, pretože sú zložené z minerálov (ide predovšetkým o obsah minerálov ťažkej frakcie), ktoré mohli byť na uvedené územie naviate len vetrom.

Netvorí však homogénny celok, ale sú do hĺbky faciálne členené, čiastočne s vrstvou textúrou, pretože vznikli za rôznych klimatických podmienok pleistocénneho podnebia, čo sa, prirodzene, odráža na sprašovom profile. Zo schematického profilu (obr. 1) vidíme, že dva horizonty eolických spraší sú oddelené pochovaným pôdnym horizontom, ktorý vznikol počas prerušenia sedimentácie na sprašiach za teplého interglaciálneho podnebia. Samotné sprašové (ozn. v profile 1, 2) horizonty vznikali v tzv. štádiách, t. j. za chladnej klímy. Avšak paleontologické rozbory nám ukazujú (Z. Schmidt 1969), že i tu sa klimatické podmienky pri tvorbe týchto sedimentov

tov líšili. Vrchný komplex spraší (1) vznikol síce za chladného, ale za vlhkého podnebia — würmských štádií; dokazujú to výskyty xerotherm-ných asociácií malakofauny, ako napr. *Succinea oblonga* (Drap.), *Pupilla sterri* (Vth.) ap. (Z. Schmidt 1969). Predpokladáme, že práve vlhkosť prostredia pri eolickej sedimentácii kladne ovplyvnila fyzikálno-mechanické vlastnosti spraší tohto genetického typu.

V odlišných genetických podmienkach prebiehal vývoj v spodnom sprašovom komplexe (2), kde výskyt veľmi chladného prvku *Vallenia tenuilabris* (A.Br.) do-voluje usudzovať na výrazne chladné klimatické podmienky vzniku tohto horizontu.

Je prirodzené, že hrúbka popísaných sprašových horizontov sa z miesta na miesto mení v závislosti od geomorfologickej predispozície územia. Nás bude interesovať vrchný sprašový komplex, ktorého hrúbka sa pohybuje od 3—8 metrov; poznajúc dôkladne zákonitosti jeho vzniku, chceme zistiť, ako bude genéza odrážať pôdo-mechanické vlastnosti sedimentu.

Celý sprašový pokryv, ktorého hrúbka dosahuje max. 14 m, tvorí nadložie lim-nicko-fluviálneho komplexu neogénneho veku.

Geotechnické vlastnosti sedimentov

Pre stanovenie geotechnických vlastností sedimentu použilo sa dvanásť neporušených vzoriek, odobratých z desiatich vrtov v rôznych hĺbkach tak, aby vybraný súbor vzoriek dostatočne cha-rakterizoval študovanú geologickú vrstvu. Celkovo sa na lokalite odobralo 39 neporušených vzo-riek, avšak pred vlastným laboratórnym spracovaním boli podrobené prísnemu vizuálnemu zhod-noteniu, a to z toho dôvodu, aby už v prvých fázach laboratórneho spracovania boli vylúčené vzorky, pri ktorých by boli pochybnosti o neporušenosti štruktúry, príp. textúry a zachovaní pri-rodzeného stavu. Ďalej boli vyradené vzorky, pri ktorých boli zistené anomálie v textúre a štruktúre, ako napr. prítomnosť veľkých zhlukov vápnitých konkrécií a pod., odobraté z vrstvičiek vzniknutých počas tzv. interštadiálnych (teplejších) období würmu, ktoré sa však vyskytujú v študovanom území len sporadicky. K tomuto prísnemu výberu sme pristúpili hlavne z toho dôvodu, že pri štatistickom spracovaní, ale najmä pri grafickom zisťovaní korelačných vzťahov geotechnických vlastností, práve nedôsledné vizuálne vytriedenie vzoriek spôsobuje ťažkosti pri vlastnom vyhod-nocovaní.

Na základe vyhodnotenia laboratórnych skúšok konštatujeme, že študovaný typ sedimentu — t. j. vrchný sprašový komplex — vyznačuje sa nasledovnými geotech-nickými vlastnosťami.

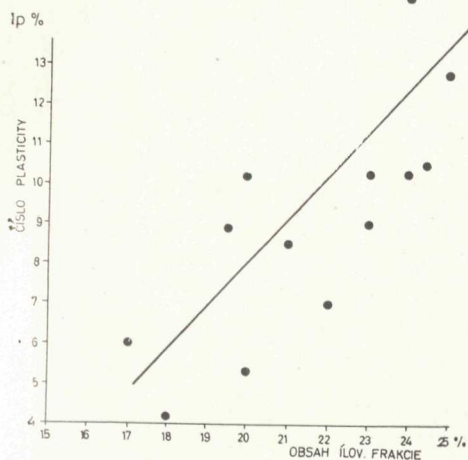
Granulometrické zloženie poukazuje na značnú rovnorodosť v obsahu jednotlivých frakcií, čo potvrdzujú i štatistické hodnoty, a to smerodajná odchýlka a variačný koeficient V_k . Variačné rozpätie frakcií piesku (0,063 mm), prachu (0,063 až 0,005 mm) a ílu (0,005 mm) — je 8—15 %. Obsah ílovitej frakcie prevyšuje obsah jemne piesčitej frakcie o 3 %, pričom obsah prachovitej frakcie, vyjadrený aritmetickým priemerom $\bar{x}$ je 68 %. Podľa trojuholníkového klasifikátora (ČSN 721001) zodpovedá zemine typu „hlina“.

Medián M_d sa nachádza v rozmedzí 0,014—0,019 mm. Stupeň vytriedenia, vy-jadrený formou koeficientu rozptylu $\sigma_\emptyset$, sa pohybuje v intervale 4,6 ~ 5,7 $\emptyset$ a vyjadruje nižší stupeň, ako sa všeobecne udáva pre spraše. Podľa Z. Kukala (1964) hodnota $\sigma_\emptyset$ pre spraše v celosvetovom meradle sa pohybuje od 1 $\emptyset$ do 3 $\emptyset$. Podobne i vzájomný vzťah medzi hodnotou koeficientu asymetrie, ktorý má zápornú hodnotu, a strednou veľkosťou zrna M , kde platí, že $M < M_d$, poukazuje na menší stupeň vytriedenia zrn, najmä v rozmeroch menších, ako je medián M_d .

Plastické vlastnosti, vyjadrené vlhkosťou na medzi tekutosti ($w_L\%$) (Casa-

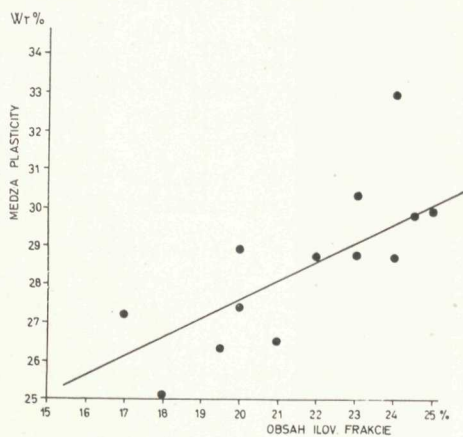
grande) a číslom plasticity (I_p %), sú charakteristické pre zeminy s nízkou až strednou plasticitou (ČSN 731001). Ich štatistické hodnoty sú uvedené na obr. 4.

Rozptyl plasticitných vlastností je do určitej miery podmienený existujúcou koreláciou s granulometrickým zložením, hlavne s obsahom ílovitej frakcie. Táto korelácia má priamkový charakter, avšak jednotlivé body vykazujú značný rozptyl od priamky vyjadrujúcej korelačný vzťah (obr. 4 a 5). Je zrejme ovplyvňovaný i ďalšími vlastnosťami sedimentu, ako je napr. mineralogické zloženie ílovitej frakcie, chemizmus pórovej vody a pod. Overovali sa i ďalšie korelačné vzťahy plasticitných vlastností, a to k objemovej tiaži a pórovitosti (obr. 6a—d). Ich priebeh možno taktiež označiť ako priamkový s nie príliš tesným sústredením hodnôt. Zaujímavý je „odskok“ štyroch hodnôt pri korelácii a objemovou tiažou prirodzene vlhkého i vysušeného sedimentu. Podrobnejšou analýzou dospejeme k názoru, že uvedené odskoky sú pravdepodobne spôsobené vyššou prirodzenou vlhkosťou. Pri týchto vzorkách bola stanovená prirodzená vlhkosť v intervale od 16 % do 19 %, kým



Obr. 4. Vzťah medzi číslom plasticity a obsahom ílovitej frakcie

Fig. 4. Relation between the plasticity number and the content of clay fraction

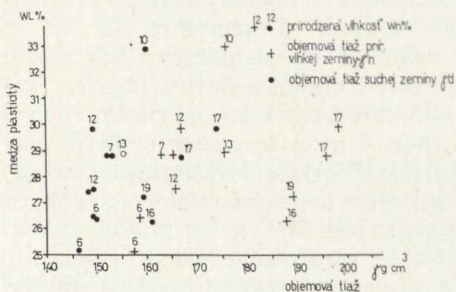


Obr. 5. Vzťah medzi medzou plasticity a obsahom ílovitej frakcie

Fig. 5. Relation between the limit of plasticity and the content of clay fraction

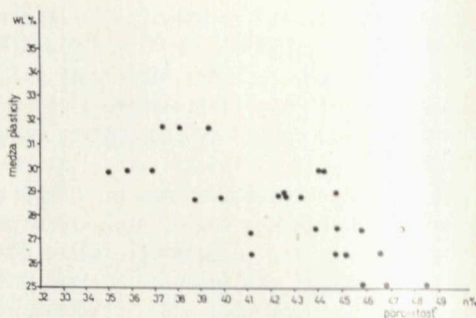
pri ostatných, ktoré sa nachádzajú v oblasti súboru, bola stanovená od 6 % do 12 %.

Vlhkosť v prirodzenom stave. Vzhľadom na výskyt hladiny podzemnej vody, ktorá nedosahuje bázu sprašového komplexu, zistili sme pomerne vysoké variačné rozpätie hodnôt prirodzenej vlhkosti (w_n %). Rozdiel medzi maximálnou a minimálnou hodnotou dosahuje až 15 %, pričom sa pohybuje v intervale od 6 % do 19 %. Je zaujímavé, že podobné variačné rozpätie, najmä so zreteľom na maximálnu hodnotu, uvádza celý rad autorov, ako napr. kol. autorov: I. M. Gorkova — N. A. Okina — N. A. Duškina — K. N. Rjabičeva (1964), ktorí okrem iného udávajú, že uvedené maximum variačného rozpätia predstavuje akúsi medznú hodnotu prirodzenej vlhkosti. Pri sedimentoch s vlhkosťou nad medznú hodnotu prebieha v prirodzených podmienkach vysušovanie podstatne rýchlejšie ako u sedimentov s nižšou vlhkosťou. Keď sediment dosiahne vlhkosť 15—18 %, intenzita vysychania sa spomaľuje — vlhkosť sa teda stáva stabilnejšou a mení sa v ďalších časových



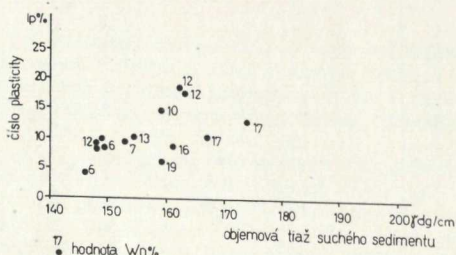
Obr. 6a. Vzťah medzi medzou plasticity a objemovou tiažou

Fig. 6a. Relation between the plasticity limit and volume gravity



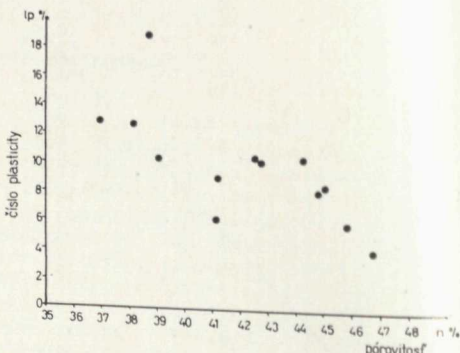
Obr. 6b. Vzťah medzi medzou plasticity a pórovitosťou

Fig. 6b. Relation between the limit of plasticity and porosity



Obr. 6c. Vzťah medzi číslom plasticity a objemovou tiažou suchej zeminy

Fig. 6c. Relation between the number of plasticity and volume gravity of dry earth

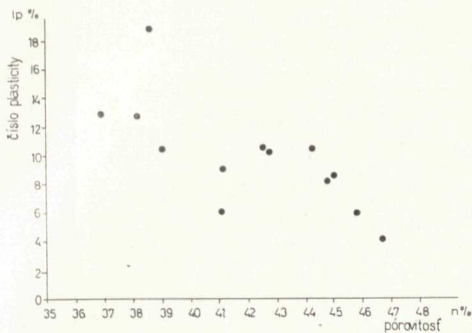


Obr. 6d. Vzťah medzi číslom plasticity a pórovitosťou

Fig. 6d. Relation between the number of plasticity and porosity

intervaloch. Uvedenú skutočnosť je možné vysvetliť ako vzájomné pôsobenie chemických a fyzikálnych väzieb molekúl vody s pevnou fázou sedimentu, a to postupným uvoľňovaním molekulárnych vrstiev adsorbovanej vody, ktorých energia pripútania vzrastá s klesaním ich vzdialenosti od centra pevnej fázy.

Dalej sme zistili, že na veľkosť variačného rozpätia hodnôt prirodzenej vlhkosti má istý vplyv aj variačné rozpätie hodnôt pórovitosti. Táto závislosť je znázornená na obr. 7, kde môžeme pozorovať zvyšovanie prirodzenej vlhkosti so znižovaním pórovitosti. Na prvý pohľad sa zdá, že uvedená závislosť je nelogická, a to z dôvodu, že zväčšený objem pórov mal by umožňovať úmerné zvýšenie vlhkosti. Musíme si však uvedomiť, že znižovanie pórovitosti nutne musí vyvolať i zmenšenie polomeru kapilár v sedimente, čím sa zvýši povrchové napätie v kapilárnej vode. Vyššie povrchové napätie potom spôsobuje, že sediment je schopný udržať si pri nižšej pórovitosti vyššiu prirodzenú vlhkosť ako pri vyššej pórovitosti. Z uvedeného môžeme usudzovať, že variačné rozpätie pórovitosti je v značnej miere podmienené početnosťou makropór, ktoré nemajú charakter kapilár. Je samozrejmé, že táto úvaha môže mať platnosť iba v úzko vyčlenenom type sedimentu, a to na základe



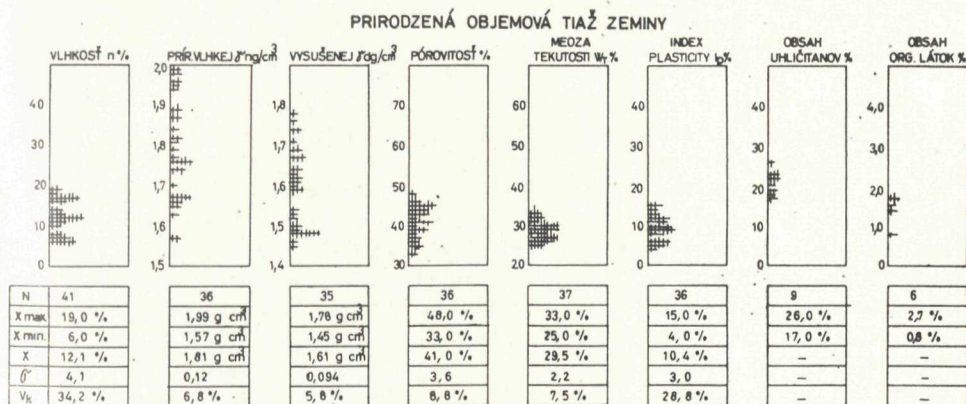
Obr. 7. Vzťah medzi pórovitosťou a vlhkosťou
Fig. 7. Relation between porosity and humidity

vlhkého sedimentu je $\gamma_n = 1,81 \text{ g/cm}^3$ s variačným rozptylom $0,42 \text{ g/cm}^3$, a to v intervale od $1,57 \text{ g/cm}^3$ do $1,99 \text{ g/cm}^3$ (obr. 3).

Hodnota mernej tiaže ($\gamma_s \text{ g/cm}^3$) sa pohybuje v intervale od $2,68 \text{ g/cm}^3$ do $2,73 \text{ g/cm}^3$, pričom priemerná hodnota (aritmetický priemer) je rovná $2,70 \text{ g/cm}^3$.

Enormné variačné rozpätie so značným rozptylom hodnôt od 20 % do 77 % — vykazuje stupeň nasýtenia (S_r).

Obsah uhličitanov, ako aj obsah organických látok sa pohybuje v medziach typických pre sprašové sedimenty Trnavskej tabule. (Uhličitaný: 17—26 %, organické látky: 0,8—2,7 %). Zaujímavá je zistená korelácia medzi obsahom uhličitanov a objemovou tiažou vysušeného i prirodzene vlhkého sedimentu, respektíve jeho pórovitosťou. Zreteľne poukazuje na priamkovú závislosť znižovania objemovej tiaže, prirodzene vlhkého i vysušeného sedimentu a zvyšovania hodnoty pórovitosti so zvyšovaním obsahu uhličitanov (obr. 8a, 8b). Zvýšenie obsahu uhličitanov z 18 % na 26 % vyvoláva zvýšenie pórovitosti cca až o 10 %. Uvedené korelácie sú prejavom pôsobenia uhličitanov na štruktúru študovaného sedimentu, a to spevňovaním štruktúrnych väzieb medzi zrnami.



Obr. 3. Štatistické spracovanie geotechnických hodnôt
Fig. 3. Statistical treatment of geotechnical values

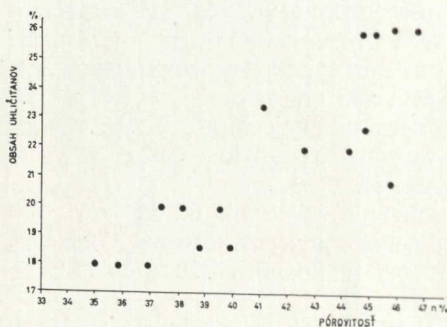
granulometrie alebo inej vlastnosti tesne súvisiacej s granulometriou, i to iba pre istý interval pórovitosti a vlhkosti. Ďalej musíme pripustiť, že platnosť tejto závislosti je možná iba v prírodných podmienkach, mimo priameho dosahu podzemnej vody a neuplatňuje sa pri umelom upravovaní vlhkosti v laboratórnych podmienkach.

Hodnota objemovej tiaže pre vysušené sedimenty ($\gamma_d \text{ g/cm}^3$) bola stanovená v rozmedzí $1,45 \text{ g/cm}^3$ — $1,78 \text{ g/cm}^3$ s priemernou hodnotou vyjadrenou aritmetickým priemerom $\gamma_d = 1,61 \text{ g/cm}^3$. Priemerná objemová tiaž prirodzene

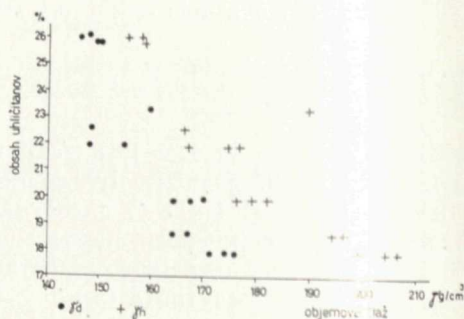
Pórovitosť (n %) sa pohybuje v intervale od 33 % do 48 %, pričom najväčšie sústredenie hodnôt je tesne nad 40 %. Priemerná hodnota vyjadrená aritmetickým priemerom je 41 % (obr. 3.).

Uvedené variačné rozpätie pórovitosti vzhľadom na prísne kvalitatívne vyčlenenie študovaného sedimentu je pomerne veľké. Porovnávaním získaných hodnôt s hodnotami pórovitosti udávanými v literatúre zisťujeme, že naše hodnoty reprezentujú nízke až stredné hodnoty, ktoré sú charakteristické pre sedimenty s mäkcou stlačitelnosťou a presadavosťou.

Stlačiteľnosť sa zisťovala na vzorkách s neporušenou štruktúrou rôznych



Obr. 8a. Vzťah medzi obsahom uhličitanov a pórovitosťou
Fig. 8a. Relation between the content of carbonates and porosity



Obr. 8b. Vzťah objemovej tiaže k obsahu uhličitanov
Fig. 8b. Relation of the volume gravity to the content of carbonates

vlhkostí. Skúšky sme robili jednak na vzorkách, ktoré počas skúšania boli v styku s vodou, a jednak na vzorkách bez prítomnosti vody so zabezpečovaním vzorky pred vysychaním.

Zistené hodnoty stlačiteľnosti, vyjadrené oedometrickým modulom pretvárnosti M_o (kp/cm²), sa pohybujú v pomerne širokom intervale a sú znázornené v tabuľke 2. Vzorky 674 a 678 reprezentujú skúšky vykonané na vzorkách zaliatych vodou. Počas skúšania došlo k zvýšeniu ich vlhkosti, i napriek narastajúcemu zaťažaniu, o 5 a 12 %. Vzorky 724, 782, 783 a 739 neboli počas skúšania zalievane vodou, ale boli chránené pred vysychaním. Pred započatím skúšky boli tieto vzorky podrobené pozvoľnému upravovaniu vlhkosti, a to vysychaním pri teplote cca 15 až 20 °C, resp. saturovaním v exikátoroch.

Na základe vzájomného porovnávania hodnôt oedometrických modulov pretvárnosti M_o pri jednotlivých vzorkách môžeme konštatovať, že hodnoty M_o majú zreteľne klesajúcu tendenciu so zvyšovaním pórovitosti, čo je pri vzorkách 739, 782, 782 a 724 zvýraznené stúpajúcou hodnotou vlhkosti. Oedometrické moduly pretvárnosti zistené na vzorkách zaliatych vodou (674 a 678) vykazujú isté nepodstatné zníženie hodnôt voči hodnotám zisteným na vzorkách nezaliatych vodou. Zo získaných hodnôt nie je však možné zistiť, ako sa podieľa na kvalite hodnoty vlhkosti a pórovitosť samostatne. Aby sme mohli tento problém riešiť, vyžadovalo by to a naopak, rovnakej vlhkosti s nerovnakou pórovitosťou, čo v našich podmienkach nebolo možné zabezpečiť.

Tab. 2

Vzorka číslo	Vlhkosť pred sk.	Vlhkosť po sk.	Oedometrický modul M pre zaťaženie kp/cm^2				
			0,5—1	1—2	2—3	0,5—3	
678	12,2	17,5	89	82	98	89	39,3
674	6,3	18,8	35	52	76	56	44,8
782	12,1	12,1	73	101	123	99	36,2
724	17,2	17,2	65	71	87	74	46,0
739	2,1	2,1	53	65	81	66	48,0

Ak si zaznačíme všetky hodnoty oedometrických modulov pretvárnosti M_0 zistených na vodou nezaliatých vzorkách do grafov v závislosti na počiatkovej pórovitosti (obr. 9), potvrdí sa korelácia medzi oboma hodnotami. Z vykreslených kriviek je zrejmé, že hodnoty M_0 začnú prudko narastať — t. j. stlačiteľnosť sa začne znižovať — pri pórovitosti okolo 35 % bez ohľadu na stupeň zaťaženia. Je zaujímavé, že táto hodnota pórovitosti zodpovedá najnižším pórovitostiam, ktoré sme stanovili na neporušených vzorkách v prirodzenom uložení. Toto zistenie môžeme považovať za dôkaz, že študovaný sediment sa vyznačuje vysokým stupňom uľahlosti.

Pôsobením jednotlivých zaťažovacích stupňov na vzorku nastáva úmerné znižovanie pórovitosti (obr. 10), ktorá sa pohybuje v nasledovných intervaloch:

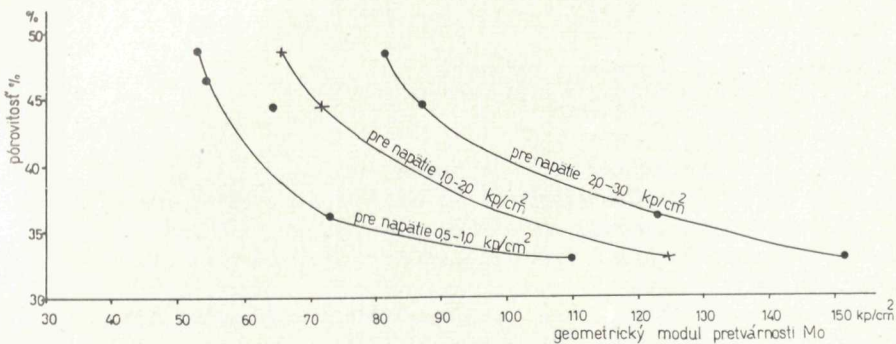
Pri napätí:

0,5—1,0 kp/cm^2 sa pórovitosť zníži na 97—99 % pôvodnej pórovitosti,

1,0—2,0 kp/cm^2 sa pórovitosť zníži na 94—98 % pôvodnej pórovitosti,

2,0—3,0 kp/cm^2 sa pórovitosť zníži na 93—97 % pôvodnej pórovitosti.

Je zaujímavé, že i v tom prípade, keď sa vplyv vody pôsobiacej na vzorku počas skúšky zreteľne neprejavil pri stanovovaní hodnôt M^0 , zistili sme jej značný význam

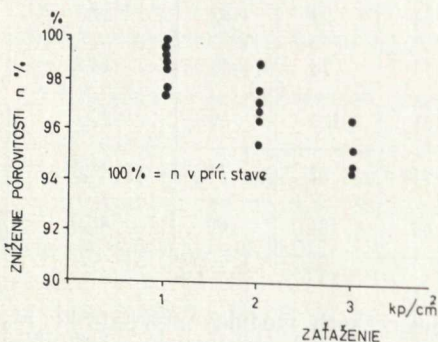


Obr. 9. Vzťah pórovitosti zeminy k oedometrickému modulu pretvárnosti
Fig. 9. Relation of porosity of earth to the oedometric modulus of strain

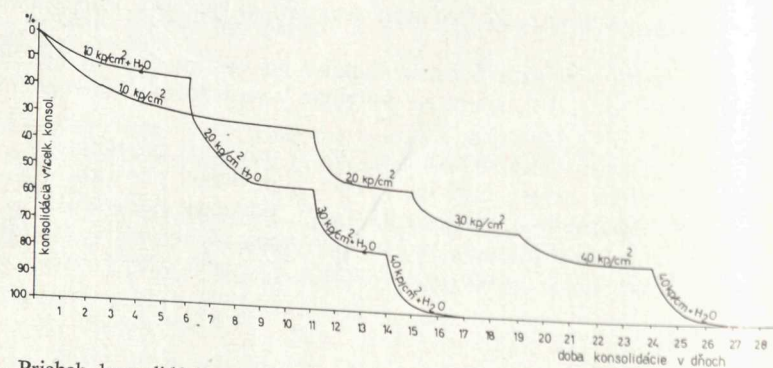
pri celkovej dobe konsolidácie. Pri vzorkách, ktoré sa konsolidovali vo vodnom prostredí, graf jednoznačne ukazuje (obr. 11), že sa celková konsolidácia do napätia $4,0 \text{ kp/cm}^2$ (vyjadrená v % celkovej konsolidácie) uskutočnila v priebehu cca 17 dní. Naproti tomu pri vzorkách nezaliatých vodou prebiehala konsolidácia pri tom istom postupe zaťažovania až 28 dní. Pod vplyvom vodného prostredia na sediment dochádza k porušeniu jej štruktúry podstatne rýchlejšie ako v sedimente

skúšanom bez vody. Nastáva tu zrejme spolupôsobenie mechanického a chemického rozrušovania štruktúrnych väzieb.

Súčasne so stlačiteľnosťou stanovila sa na 6 vzorkách i hodnota presadavosti P , ktorá udáva percentuálne vyjadrenie podielu dodatočného sadania po zavlhčení vzorky do pôvodnej výšky pri zaťaženiach $1,0 - 2,0 - 3,0 - 4,0 \text{ kp/cm}^2$. Zo získaných výsledkov sme sa pokúsili zostrojiť korelačné grafy hodnoty P k vlhkosti, pórovitosti a zaťažovacím stupňom (obr. 12, 13, 14). Ukázalo sa však, že zo zostavených grafov nemožno určiť jednoznačne korelačné vzťahy, a to jednak pre značný rozptyl



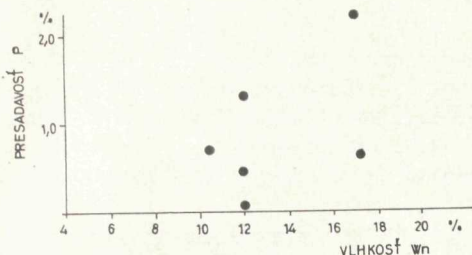
Obr. 10. Znižovanie pórovitosti pôsobením zaťažovacích stupňov v oedometri
Fig. 10. Decreasing porosity by the effect of loading degrees in the oedometer



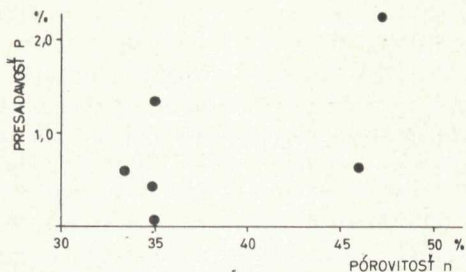
Obr. 11. Priebeh konsolidácie zeminy v oedometri
Fig. 11. Course of earth consolidation in the oedometer

hodnôt pri malom variačnom rozptyle, jednak pre malý počet hodnôt. Zdá sa, že presadavosť nie je funkciou iba jednej z uvedených vlastností, ale jej hodnotu podmieniajú i ďalšie, ako sú napr. štruktúrne väzby, obsah uhlíkatých a pod.; tieto sa zrejme navzájom prelínajú a je pravdepodobné, že ich závislosť nebude vždy možná vyjadriť priamkou.

Ako jediný korelačný vzťah, ktorý sa nám podarilo overiť, bol vzťah presadavosti P k zaťažovacím stupňom (obr. 14), ktorým bola vystavená vzorka pred zavlhčením. Uvedená korelácia má parabolický priebeh a poukazuje na skutočnosť, že pri väčšom zaťažení ako $2,0 \text{ kp/cm}^2$ narastá podiel mechanického na úkor chemického



Obr. 12. Vzťah presadavosti k vlhkosti
Fig. 12. Relation of resettling to humidity



Obr. 13. Závislosť presadavosti na pórovitosti
Fig. 13. Dependence of resettling on porosity

kého porušenia štruktúry práve v dôsledku zaťažovania. Na podobný korelačný vzťah poukázal i J. Šajgalík a J. Malgot (1969) pri štúdiu geotechnických vlastností spraší v Novom Meste nad Váhom.

Nami zistené hodnoty presadavosti P sa pohybujú od 0 % do 2,0 % a poukazujú na veľmi nízku schopnosť týchto sedimentov „presadať“. Zistená skutočnosť je v úplnom súlade s viacerými nepriamymi kritériami, ktoré rôzni autori odporúčajú na predbežné posúdenie veľkosti presadavosti sprašových sedimentov. Tak napr. podľa sovietskych autorov (in Mencl 1955) zemina nie je nebezpečne presadavá, ak obsahuje viac ako 10 % ílovitej frakcie (0,005 mm) a objemová tiaž vysušeného sedimentu sa rovná 1,50–1,60 g/cm³. V našom prípade sa obsah ílovitej frakcie pohybuje v rozsahu 18–28 % a hodnota objemovej tiaže vysušenej zeminy je v priemere 1,61 g/cm³.



Obr. 14. Závislosť presadavosti na -zaťažení
Fig. 14. Dependence of resettling on loading

Na kvalitu presadavosti možno usudzovať aj z pomeru maximálnej objemovej tiaže vysušenej zeminy, stanovenej skúškou zhutniteľnosti pri optimálnej vlhkosti, k objemovej tiaži vysušeneho sedimentu v prirodzenom uložení. Ak je optimálna vlhkosť zeminy blízka prirodzenej vlhkosti sedimentu a pomer objemovej tiaže vysušeneho sedimentu k maximálnej objemovej tiaži, stanovenej pri optimálnej vlhkosti, rovný, alebo blízky jednej, je zemina v prirodzenom stave dostatočne skonsolidovaná, resp. uľahnutá a netreba sa obávať vysokých hodnôt presadavosti. Zo študovaného

materiálu urobili sa metódou Proctor-štandard dve skúšky zhutniteľnosti, pri ktorých sme dosiahli $w_{opt} = 16–17\%$ a $\gamma_{nmax} = 1,71–1,76$ g/cm³. Ak uvažujeme s priemernými hodnotami vlhkosti sedimentu ($w_n = 12,1\%$) a objemovej tiaže vysušeneho sedimentu ($\gamma_n = 1,61$ g/cm³), potom pomer $\frac{\gamma_{max}}{\gamma_n} = 1,1$, čo poukazuje taktiež na veľmi nízke hodnoty presadavosti.

Záver

Uvedené poznatky o geotechnických vlastnostiach tzv. vlastných spraší majú úzko vymedzenú platnosť a sú prísne viazané na študovaný, úzko vyčlenený geneticko-litologický typ, ako aj na istú sedimentačnú oblasť a klimatické pomery, v ktorých sediment vznikal. Kým nebude potvrdená ich platnosť i pre iné genetické typy spraší, nemožno ich považovať za všeobecné, a preto je potrebné získané skúsenosti overovať aj na iných územiach.

LITERATÚRA

- GORKOVA, I. M. — OKNINA, N. A. — DUŠKINA, N. A. — RJABIČEVA, K. N. 1964: Priroda pročnosti i deformatciennye osobennosti ljossovych porod. Moskva, Vyd. Nauka, 147 s.
- GORKOVA, I. M. 1966: Teoretičeskije osnovy ocenki osadočnych porod. Moskva, Vyd. Nauka, 135 s.
- INMAN, D. L. 1952: Measures for describing the size distribution of sediments. *Menasha. J. sed. Petrology* (Tulsa), vol. 22, p. 125—145.
- KOVAČKA, M. — KONTŠEKOVA, O., 1965: Štatistické metódy. Bratislava, SVTL, 266 s.
- KRIST, J. 1967: Petrografické složení spraší Trnavské pahorkatiny. Diplomová práca, Manuscript — archiv Prírodovedeckej fakulty UK, Bratislava, 71 s.
- KRYLKOVA, J. V. 1965: Inženerno-geologičeskoe značenie vydelenija periglacialnej i ljossovoj formacij. Moskva, Vyd. Nauka, 162 s.
- KUKAL, Z. 1964: Geologie recentních sedimentů. Praha, NČSAV, 440 s.
- MENCL, V. 1955: Mechanika zemín. Praha, NČSAV, 255 s.
- MOROZOV, S. S. 1964: Materialy po regionalnomu gruntovedeniju. Moskva, Vyd. Moskovsk. Univerziteta, 86 s.
- SÝKORA, L. — URBÁNEK, L. 1954: Problémy zastavování spraší a sprašových pud. *Anthropozoikum IV* (Praha), ČSAV, s. 27—52.
- ŠAJGALÍK, J. 1966: Genéza spraší vo svetle súčasných výskumov. *Acta geol. geogr. Univ. Comen.* — *Geologica* (Bratislava), Nr. 9, s. 219—228.
- ŠAJGALÍK, J. — MALGOT, J. 1969: Geotechnické problémy výstavby na podkopaných spraších v Novom Meste nad Váhom. *Geol. průz.* (Praha), 11, č. 7, s. 197—199.
- ŽEMBERY, M. — PISOŇ, J. 1969: Diaľnica D—61, km 13—15, inžiniersko-geologický prieskum. Manuscript — Geofond Bratislava, 26 s.

Influence of the environment of sediment origin on some physical-mechanical properties of loess

JÁN ŠAJGALÍK — IGOR MODLITBA

Loess is a widespread covering formation in Slovakia, therefore it often forms foundation soil. As we know from practice, it forms a foundation soil considerably unreliable. Its property most common is re-settlement (figs. 12, 13, 14). However, many times remains unexplained for building engineers why in the same loess not differing at all megascopically the mentioned phenomena sometimes do not take place. We have supposed that this follows from the genesis of sediment. For the study not only of re-settlement but also of other geotechnical properties we have selected one genetic type of loess, eolian loess (originated under cold but humid climate). The genesis of the sediments and the conditions of their origin we have determined on the basis of petrographical and paleontological studies. Focusing our attention on the mentioned type of sediment and mainly with its complex geological-geotechnical solution we try to contribute to solution of this problem. Selection of samples for laboratory treatment was very strict in order to eliminate anomalies. The laboratory results were treated statistically and in graphical representation correlative relations of the geotechnical properties of the studied sediment are shown.

Translated by J. Pevný