

Inž. Vlastimil K o n e č n ý CSc, inž. Zdeněk F o r m á n e k , VÚHU :

ZRNITOST ZEMIN A JEJÍ AUTOMATICKÉ MĚŘENÍ

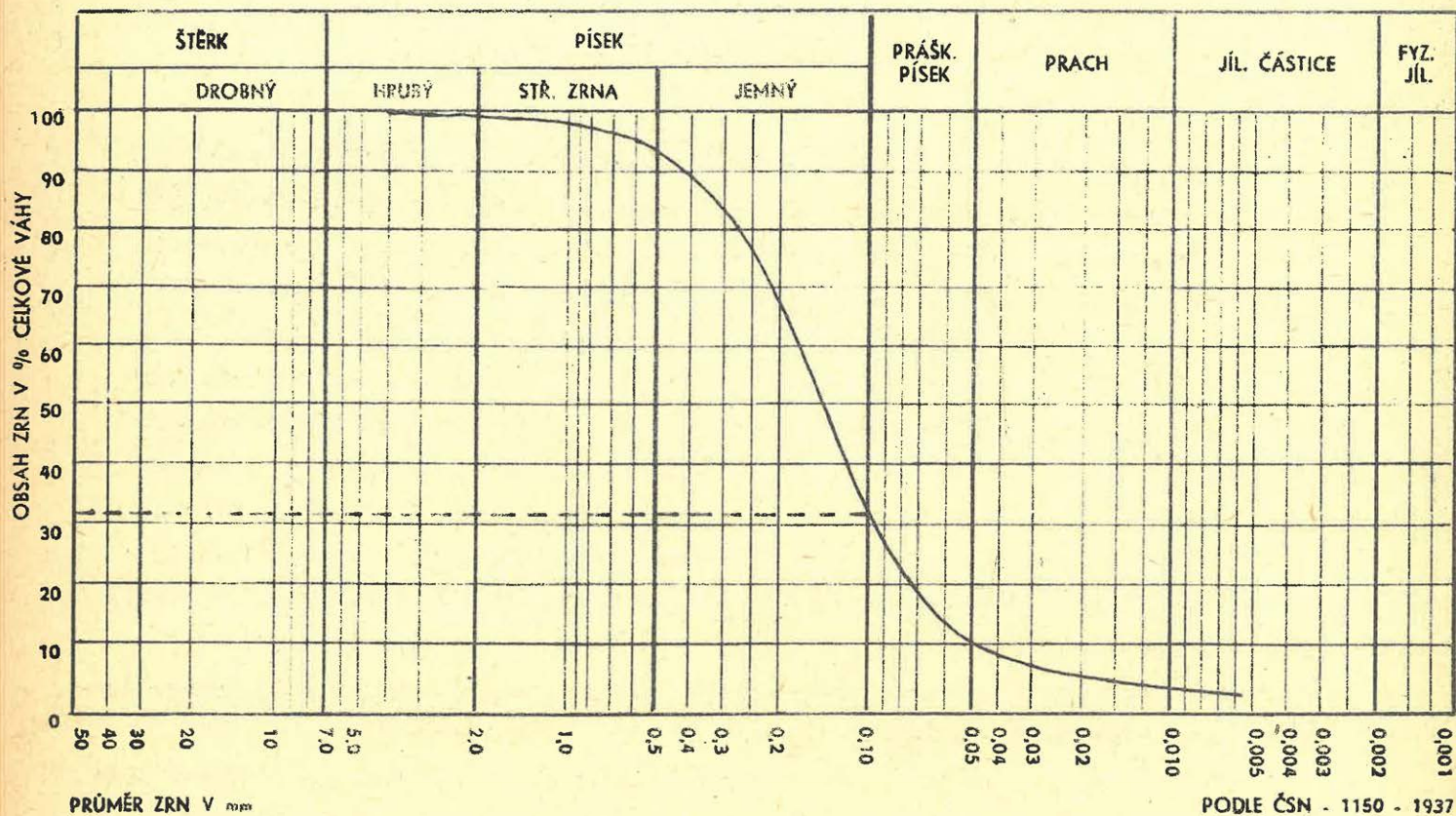
Každá zemina je tvořena úlomky krystalů minerálů nebo hornin, které ze zvětralé matečné horniny byly nějakým způsobem, např. větrem nebo vodou, přeneseny na jiné místo, kde se usadily a vytvořily novou hmotu. Tyto krystaly nebo jejich zlomky či kousky hornin jsou nejrůznější kvality i velikosti a nazýváme je zrna. Velikost zrn není prakticky shora ani zdola omezena. Známe z praxe, že některé sedimenty obsahují i několikametrové kusy hornin např. sutě nebo usazeniny horních toků řek a jiné, např. naše severočeské terciérní jíly, zrna o velikosti 0,0001 mm i menší. Jen zřídka se stává, že zemina obsahuje pouze zrna stejné velikosti. Zpravidla je zemina shluk zrn nejrůznějších velikostí odpovídajících náhodným podmínkám sedimentace a větrání. Při výzkumu vlastností zeminy třídíme pak tato zrna podle velikosti do jistých velikostních skupin - frakcí, např. od 50 mm do 7 mm, nebo od 7 mm do 0,1 mm atd. Každá tato kategorie nese pak svůj název, jak je patrné z přiloženého formuláře křivky zrnitosti.

Křivka zrnitosti je pak procentuálním vyjádřením podílu jednotlivé frakce v zemině. Z křivky zrnitosti můžeme pak snadno odečíst, kolik procent zrn v zemině je menších než zvolený průměr. U nás je zvykem vykreslovat křivky zrnitosti do semilogaritmického měřítka, v němž pak křivka zrnitosti má zpravidla tvar písmene S (viz tabulka). V tabulce je rovněž znázorněno, že v zemině je 32 % zrn menších než 0,1 mm.

Zrnitost zemin vyjádřená křivkou zrnitosti má při studiu zemin, jejich původu, vzniku, tvorbě a vývoji poměrně dosti značný význam. Velmi podrobně lze se s tímto seznámit např. v knize " Geologie recentních sedimentů " - (Kukal - NČSAV - 1964). Vedle řady úseků geologických věd lze z křivky zrnitosti zemin usuzovat i na mnohé fyzikální vlastnosti zemin. Např. u suchých zemin na úhel vnitřního tření nebo u vlhkých zemin na náchylnost k nalepování apod. Největšího uplatnění dosáhla však zrnitost zemin při posuzování jejich propustnosti pro vodu.

Vodopropustnost je pro technickou praxi velmi důležitá vlastnost zemin, ať již to chápeme ve smyslu pozitivním, např. jímání vodních zdrojů pro záso-

KŘIVKY ZRNITOSTI ZEMIN

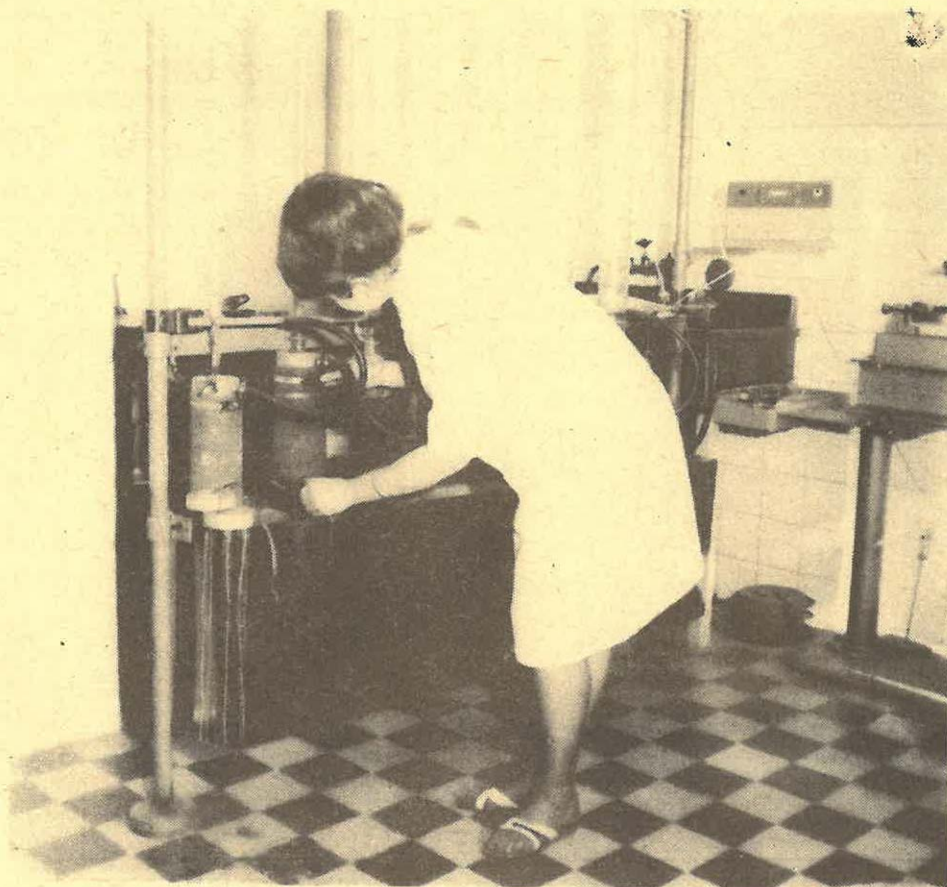


bování obyvatelstva je závislé na vhodné propustnosti zemin, nebo ve smyslu negativním, např. při odvodňování důlních polí, je čas potřebný na čerpání, počet vrtů, studní, chodeb atd. rovněž přímo závislý na schopnosti zeminy propouštět vodu apod.

Určování propustnosti zemin provádí se buď přímo v terénu z výsledků čerpacích a stoupacích pokusů nebo v laboratořích na přístrojích zvaných propustoměry a definujeme tyto tak zvaným koeficientem filtrace, který má rozměr rychlosti [cm/sec].

Pokud jsou zkoušky v terénu prováděny objektivně správně, považujeme je za nejvěrohodnější, neboť vyplývají z přirozených podmínek ulehlosti, proudění podzemní vody a ostatních hydrogeologických podmínek. Nevýhodou těchto zkoušek je jejich vysoká cena, dlouhá doba a nakonec stejně jen lokální platnost.

Laboratorní zkoušky propustnosti na propustoměrech pracují s odebranými vzorky zemin z vrtů a tímto již zatěžují zkoušku chybou, nehledě na další chyby vlastní přístroji, subjektu apod. Zkouška navíc je rovněž dosti nákladná, hlavně časově. Přístroj, který je používán ve VÚHU, je na obrázku.



Zkoumáme-li hlouběji hodnotu koeficientu propustnosti zejména z hlediska potřeb odvodňování, zjistíme, že není pro tyto účely tak citlivá a její přesnost je potřebná tak v řádových diferencích. Je podstatně důležitější znát ze zájmové oblasti spíše mnoho méně přesných a relativně srovnatelných hodnot koeficientu propustnosti s dobou určení co nejkratší, než sice velmi spolehlivé, ale jen ojedinělé hodnoty. Získaná data musí totiž více vyhovovat potřebám statistického zpracování a vyhodnocení než exaktního řešení.

Tato skutečnost tedy vedla k hledání jiných cest určení koeficientu propustnosti a z tohoto hlediska k hlubšímu studiu křivek zrnitosti.

Ukázalo se později, že lze nalézt jakousi přímou relaci mezi křivkou zrnitosti zemin a jejich propustností a byla vytvořena řada vzorců, diagramů a tabulek, podle nichž lze z tvaru křivky zrnitosti určit koeficient filtrace. Nutno však zdůraznit, že žádná z těchto metod nemá teoretické zdůvodnění, nýbrž vesměs mají empirický charakter. Opírají se vždy o jakýsi charakteristický průměr zrna např. d_{10} , d_{20} , d_{60} apod. nebo jejich poměrem, např. d_{60}/d_{10} , tzv. číslem stejnorodosti.

Studie o srovnání některých těchto metod byla provedena ve VÚHU pod názvem "Posouzení metod výpočtu součinitele propustnosti z křivek zrnitosti" - 1963.

Ukázalo se, že snaha některých autorů dosáhnout co nejpřesnějších výsledků tím, že do výrazů zaváděli několik opravných koeficientů, vede nakonec opačným směrem a že nejsrovnatelnější a přitom nejefektivnější jsou ty nejjednodušší.

Z nich pro ilustraci uvádíme následující :

Hazen :

$$k = 100 d_{10}^2 \quad \left[\text{cm/sec} \right]$$

k - koeficient propustnosti

d_{10} - efektivní průměr zrna na 10 % v cm

Mallet - Pacquant :

Pro určení koeficientu propustnosti udávají přímo tabulku, v níž jako efektivní průměr je uvažován d_{20} .

Koeficient propustnosti podle zrnitosti (Ch. Mallet, J. Pacquant)

20 % zrn průměrné velikosti mm (d20)

koeficient propustnosti $\cdot 10^{-4}$ cm/s

0,005	.....	0,03	jíl
0,01	.....	0,1	jemný silt
0,02	.....	0,4	jemný silt
0,03	.....	0,9	hrubý silt
0,04	.....	1,7	hrubý silt
0,045	.....	2,3	hrubý silt
0,05	.....	2,8	hrubý silt
0,06	.....	4,5	velmi jemný písek
0,07	.....	6,5	velmi jemný písek
0,075	.....	7,75	velmi jemný písek
0,08	.....	9,0	velmi jemný písek
0,085	.....	11,0	velmi jemný písek
0,09	.....	13,0	velmi jemný písek
0,095	.....	15,5	velmi jemný písek
0,10	.....	18,0	velmi jemný písek
0,11	.....	21,5	velmi jemný písek
0,12	.....	25,0	jemný písek
0,13	.....	30,0	jemný písek
0,14	.....	35,0	jemný písek
0,15	.....	42,5	jemný písek
0,16	.....	50,0	jemný písek
0,17	.....	60,0	jemný písek
0,18	.....	70,0	jemný písek
0,19	.....	80,0	jemný písek
0,20	.....	90,0	jemný písek
0,225	.....	115,0	jemný písek
0,25	.....	140,0	jemný písek
0,275	.....	180,0	jemný písek
0,30	.....	220,0	jemný písek
0,325	.....	270,0	jemný písek
0,35	.....	320,0	střední písek
0,375	.....	385,0	střední písek
0,40	.....	450,0	střední písek
0,425	.....	525,0	střední písek
0,45	.....	600,0	střední písek
0,50	.....	750,0	střední písek
0,55	.....	925,0	střední písek
0,60	.....	1100,0	hrubý písek
0,65	.....	1350,0	hrubý písek
0,70	.....	1600,0	hrubý písek
0,75	.....	1900,0	hrubý písek
0,80	.....	2200,0	hrubý písek
0,85	.....	2550,0	hrubý písek
0,90	.....	2900,0	hrubý písek
0,95	.....	3300,0	hrubý písek
1,00	.....	3700,0	hrubý písek
1,50	.....	11850,0	hrubý písek
2,00	.....	20000,0	drobný štěrk

Nutno poznamenat, že tyto a podobné metody nepracují z matematického hlediska se správnými rovnicemi. Jejich levé a pravé strany nejsou z hlediska rozměru stejnorodé. Např. u Hazenova výrazu má pravá strana rozměr cm^2 , avšak levá strana cm/sec .

Přes veškeré uvedené důvody proti, ukazují se však tyto metody nejvhodnější pro praktickou potřebu určení koeficientu propustnosti s ohledem na jejich nenáročnost, únosnou přesnost a zejména rychlost.

Než však můžeme z křivky zrnitosti určit hodnotu koeficientu propustnosti, je třeba tuto křivku zhotovit. Toto provádíme zpravidla v laboratorii z odebraného vzorku zeminy. Neexistuje zatím taková metoda granulometrické analýzy, jíž bychom dokázali určit podíl všech zrn bez ohledu na jejich velikost. Není např. v laboratorních podmínkách technicky možné separovat zrna řádově decimetry velká apod. Existuje proto více metod, které na sebe navzájem navazují a separují vždy jen určité intervaly.

Nejznámější a nejužívanější metodou pro separaci frakcí středně velkých zrn zemin, to znamená asi od 10 mm do 0,1 mm, je síťová analýza. Její princip je evidentní. Určité navážené množství zeminy se proseje sadou sít, zbytek na každém sítu se zváží, vyjádří v % původní navážky a vynese do diagramu. Je zřejmé, že lze tak zpracovávat zeminy pouze sypké - písky, pokud možno s minimálním podílem zrn menších než 0,1 mm, neboť v této oblasti je síťová analýza za sucha zatížena již značnou chybou (ulpívání zrn, prášení apod.). Pro analýzu zrn menších než 0,1 mm existuje pak opět řada metod, z nichž nejznámější je tzv. metoda hustoměrná. Bližší rozbor těchto analýz je popsán níže.

Je jistou výhodou, že v oblasti SHR, kde nás nejvíce zajímají hydrogeologické vlastnosti zvodněných souvrství (tzv. kuřavková oblast), obsahují tyto zeminy jen výjimečně větší množství frakcí pod 0,1 mm. Z toho vyplývá, že převážná část zkoumaných zemin je analyzována pouze síťovou analýzou. A tady teprve, při větších sériích vzorků, projevuje se velmi úzký profil celého procesu. Síťová analýza se ukazuje jako velmi konzervativní, nehygienická a těžkopádná a v některých případech téměř neúnosná. S ohledem na rozsáhlý průzkum a perspektivy komplexního odvodňování zvodněných oblastí SHR jsme byli nuceni zabývat se otázkou zjednodušení a zefektivnění rozboru zrnitostí písčitých zemin. Rozkladem celého procesu analýzy a studiem jednotlivých fází jsme došli k závěru, že mechanizace resp. dále i

automatizace současného systému by nepřinesla takového zefektivnění, jakého bylo nutno dosáhnout a navíc se pak ukazovala řada neřešitelných nebo komplikovaných míst. Abychom v co největší míře vyhověli vytčenému požadavku, tj. maximální mechanizace event. automatizace procesu za zlepšených hygienických podmínek s minimem potřebného času, byli jsme nuceni současný systém zcela opustit a pokusit se o věc sice velmi neobvyklou, avšak technicky reálnou, měření zrnitosti písků na principu sedimentace ve vodním prostředí s použitím přímého zápisu křivky zrnitosti, se současně prováděnou zkouškou. Takže po skončení sedimentace je rovněž ihned vykreslené procentuální rozdělení frakcí.

Problém automatické aparatury pro měření zrnitosti se skládá ze tří dílčích problémů : Stanovení velikosti částic, stanovení množství částic určité velikosti, zápis naměřených hodnot.

Stanovení velikosti částic naráží na jednu zdánlivě velmi jednoduchou, ve skutečnosti však dosti obtížnou otázku - definici velikosti částice. Pokud jsou částice isometrické, tj. jejich rozměry vzhledem ke všem osám jsou stejné (koule, krychle, pravidelný mnohostěn), pak je definice rozměru skutečně jednoduchá (průměr koule, hrana krychle, tělesná uhlopříčka mnohostěnu). Jde-li však o částice, jejichž tvar je blízký obecnému hranolu, elipsoidu, destičky, nebo je dokonce zcela obecný, pak k popisu částice je třeba dvou, tří, nebo ještě více rozměrů. Pokud bychom chtěli podobným způsobem popsat zeminu, znamenalo by to takovou řadu čísel, že popis zeminy by se stal nepřehledným a ztratil praktický význam.

Proto byla zavedena aproximace, která sice nedává přehled o tvaru částice, ale zato její velikost popisuje jedním číslem. Je to průměr ekvivalentní koule, což je průměr koule, jejíž objem je stejný jako objem částice. U geometricky definovaných tvarů částic je možno průměr ekvivalentní koule vypočítat, např. u krychle o hraně a se rovná $1,24 a$, u kruhové destičky o průměru a a výšce b se rovná $1,145 \cdot \sqrt[3]{\frac{a^2}{b}}$, u obecného hranolu o hranách a, b, c se rovná $1,24 \cdot \sqrt[3]{a \cdot b \cdot c}$. U částic nepravidelného tvaru je nutné jej zjistit měřením - buď přímým měřením objemu nebo vážením a výpočtem. V praxi se zpravidla zjistí určitou metodou rozměr, který se mlčky pokládá za průměr ekvivalentní koule, ve skutečnosti se však od něj často podstatně liší. V některých případech se doplňuje ještě koeficientem ostrohrannosti, který číselně charakterizuje odchylku tvaru částice od kulového.

Pro vlastní měření velikosti částic existuje několik metod, využívajících buď přímého měření za různých okolností nebo různých fyzikálních jevů, záviselých na velikosti částic. Každá metoda má své uplatnění pro částice určité velikosti.

Přímé měření se uplatňuje u všech velikostí zrn. U zrn větších než 5 mm se měří zrna např. posuvným měřítkem. U zrn menších než 5 mm se měří opticky - zrna se nasypou na skleněnou desku, která se zespodu prosvítí a vyfotografují. Na snímku se pak pomocí šablony počítá množství zrn určité velikosti. Vzhledem k tomu, že snímek se může získat jak v přirozené velikosti tak ve zvětšení prakticky neomezeném, sahá použitelnost této metody do nejmenších velikostí částic. Firma Zeiss vyrábí přístroj, který snímky automaticky vyhodnocuje - zrna třídí do pěti kategorií a sečítá. Podle popsanych výhod vypadá metoda velmi slibně; ve skutečnosti má dvě podstatné nevýhody - zrna, rozprostřená na desce se uspořádají tak, aby jejich nejmenší rozměr byl kolmo na podložní desku. Protože směr pohledu je také kolmý na desku, tento rozměr se na snímku neprojeví a zrna jsou určena jako větší. Tato chyba je zvláště markantní u destičkovitých částic. Další chyba spočívá v tom, že se jen obtížně podaří rozprostřít zrna tak, aby netvořila shluky. Shluk několika částic je pak chybně stanoven jako jedna velká částice. Pro popsané nevýhody je tato metoda používána jen tam, kde ostatní selhávají (příliš málo materiálu, extrémně malé rozměry). Velmi oblíbené je dělení zrn na sítích. Tato metoda je vhodná od největších rozměrů, kdy je síto nahrazováno roštem z ocelových tyčí, až po jemný písek o velikosti zrn 0,04 mm. Běžné je použití sít u rozměrů 0,1 - 10 mm. Síta o menších rozměrech jsou již příliš choulostivá a zrna o větším rozměru se v laboratoři nevyskytují v dostatečně velkém množství.

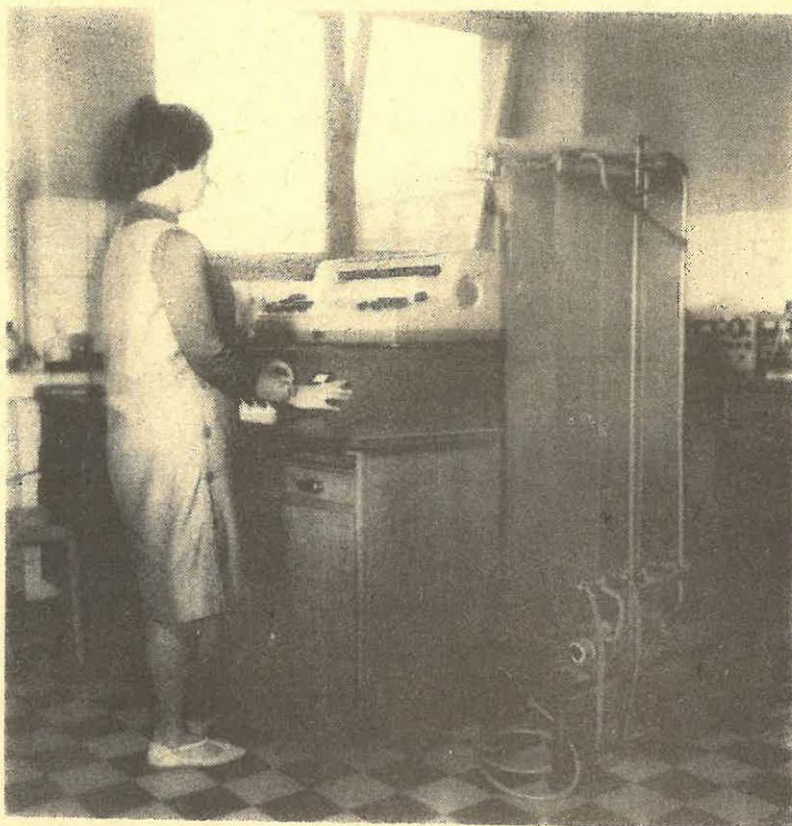
U anizometrických částic nastává opět chyba, zejména u částic tyčinkovitého charakteru. U takové částice záleží na tom, jak dopadne na síto - zda ve směru svého největšího nebo nejmenšího rozměru a podle toho projde nebo neprojde otvorem. Proto záleží na době síťování vzorku, kolik částic dostane příležitost projít sítí a jak bude stanovena jejich velikost. Aby byla zaručena reprodukovatelnost výsledků, je třeba dodržet způsob a dobu prosévání (k tomu jsou vyráběny síťovací strojky např. československý AP 2). Tím se získají výsledky reprodukovatelné, ale jejich přesnost není absolutní. U vzorku s větším obsahem jílu je nebezpečí slepování zrn, proto je nutno takové vzorky zpracovávat za mokra, což značně zvyšuje pracnost metody.

Pro částice o rozměrech 0,1 - 0,001 mm je v současné době nejběžnější sedimentační analýza (hustoměrná). Využívá závislosti rychlosti pádu částice v tekutině na velikosti. Pro sedimentaci kulových částic v kapalném prostředí platí Stokesův zákon - $v = k \cdot d^2$, kde k je konstanta, jejíž hodnota závisí na viskozitě kapaliny a specifické hmotě kapaliny i částice. Tato rovnice platí jen při laminárním proudění kapaliny kolem částic. Při čistě turbulentním proudění se mění ve tvar $v = k' \cdot d$. Čistě laminární proudění nastává u částic menších než 0,05 mm, čistě turbulentní u větších než 10 mm. V přechodném rozmezí lze rychlost pádu vypočítat podle empirických rovnic, ve kterých je důležitým faktorem tvar částic. Proto je lepší stanovit rychlost pádu zcela empiricky - měřením rychlosti pádu částic, jejichž průměr ekvivalentní koule byl zjištěn vážením. Při měření písků je možno specifickou hmotu pokládat za rovnou 2,65 - písek totiž obsahuje 99 % křemene. Protože tvar částic písků záleží na stupni opracování, jsou doby pádu různé pro váaté písky, říční písky nebo mořské sedimenty a musí být pro každý stanoven zvlášť. Přes uvedené komplikace byla sedimentační metoda zvolena pro automatický přístroj pro rychlost a vhodnost k automatizaci. Pokud jsou měřené písky stejného litologického charakteru, je chyba způsobená různým stupněm opracování zanedbatelná.

Způsob určení hmoty částic o určité velikosti záleží na použité metodě měření velikosti. Při přímém měření se stanoví výpočtem z počtu nalezených částic, přičemž chyby ve stanovení velikosti se přenášejí i do stanovení hmoty - zejména u destičkovitých částic. U síťové analýzy se zastoupení částic zjistí vážením zbytků na sítích. Zde se již další chyba do analýzy nezavádí, nevýhodou je nepohodlná manipulace a prašnost. U sedimentační analýzy záleží způsob měření množství částic na jejich velikosti. Pro jemnější částice je vhodná metoda, při níž je mícháním připravena homogenní suspenze ze vzorku a vody a pak v určitých časových intervalech měřena hustota suspenze ve zvolené hloubce. Hustotu je možno měřit hustoměrem, odebráním vzorků s následujícím vysušením a vážením, nebo prozařováním x-paprsky. Pro hrubší částice je vhodnější vzorek před měřením rozprostřít do tenké vrstvy na povrch sloupce vody a pak měřit průměrnou specifickou hmotu sloupce suspenze nebo hmotu částic, které prošly určitým průřezem. Měření specifické hmoty sloupce suspenze se provádí srovnáváním tlaku sloupce s tlakem srovnávacího sloupce čisté vody. Rozdíl tlaku je úměrný koncentraci částic a měří se diferenciálním

mikromanometrem nebo se měří posun hladiny srovnávacího sloupce vody. Při zjišťování hmoty částic se do zvoleného průřezu zavěsí plochá miska, která se v určitých intervalech nebo kontinuálně váží. Je to metoda přesná, ale choulostivá na manipulaci. Obě popsané metody je možno použít i pro měření jemných částic v homogenní suspenzi, ale vyhodnocování je obtížnější - získanou křivku je třeba graficky derivovat.

Vyhodnocení u přímého měření a síťové analýzy je možné jen manuální - zápis - výpočet a vynesení do grafu. U sedimentační metody, která je kontinuálním procesem, je kromě manuálního postupu možná částečná nebo úplná automatizace. Při částečné automatizaci se ve zvolených časových intervalech automaticky zapisuje naměřená hodnota, která se pak vynese do grafu, při úplné automatizaci zapisuje přístroj přímo křivku zrnitosti v obvyklých souřadnicích χ - logaritmus velikosti částic.



Granulometr

Popisovaný přístroj je určen pro analýzu písku v rozmezí velikosti zrn 0,1 - 5 mm, proto byla jako princip zvolena sedimentační analýza v nepohyblivém sloupci vody o výšce 1 m. Vzorek je před měřením uložen na žaluziovém uzávěru a průběh sedimentace je měřen na základě pohybu hladiny srovnávacího sloupce vody. Byly prováděny zkoušky také s mikromanometrem, ale bylo zjištěno, že pro denní provoz laboratoře je příliš choulostivý.

Přístroj se skládá ze tří částí : měřících nádrží, elektronické části a zapisovače (viz schéma).

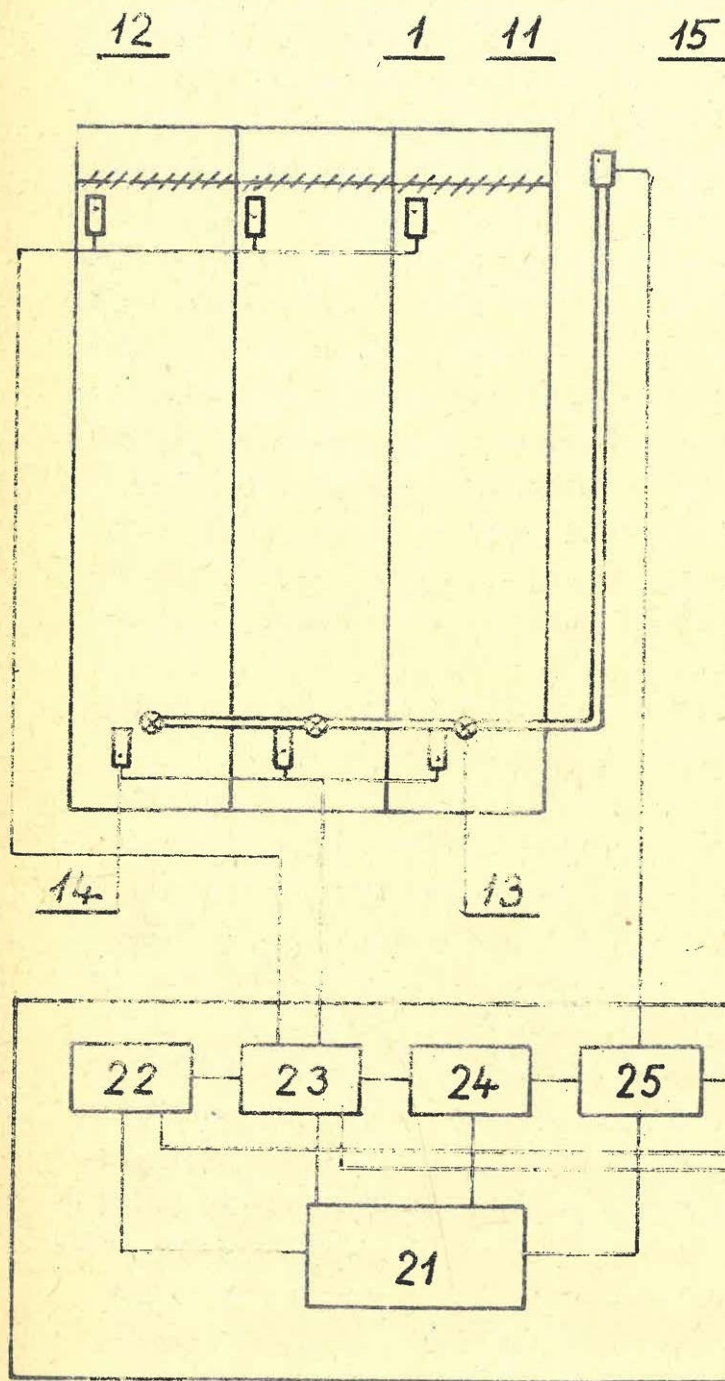
Měřící nádrže jsou tři o průřezu 150 x 150 mm a jsou určeny pro střídavý provoz - při větším obsahu jílových podílů v písku má jílový podíl čas se usadit, zatím co se měří v dalších dvou nádržích. V horní části jsou samostatné žaluziové uzávěry, skládající se z 20 bronzových lamel. Ovládání je elektromagnetické. Na měrnou sondu se nádrže připojují pomocí kohoutů, na nichž jsou umístěny vačky, ovládací spínače, které (prostřednictvím relé elektronické části) zapojují elektromagnety žaluzií. V dolní části nádrží jsou výpustné kohouty na vodu a otvory uzavřené zátkou pro odpad písku. Měřící sonda je vodivostní, schopná měřit změny hladiny s přesností 0,01 mm a s odezvou kratší než 2 vteřiny.

Elektronická část se skládá z 5 částí - zdrojové, měrného obvodu, obvodu automatického řízení zisku, časové základny a reléových obvodů.

Měrná část pracuje jako fázově citlivý můstek. Odpor čidla je srovnáván se standardním odporem v můstku, napájeném frekvencí 120 s^{-1} a rozdílové napětí je po zesílení vedeno na demodulátor s výkonovým výstupem. Citlivost systému je taková, že posuv hladiny o 1 mm vyvolá napětí 30 V (na odporu $8\text{ K}\Omega$). Napětí na výstupu je (za daných podmínek) úměrné posuvu hladiny a tedy množství vzorku s přesností lepší než 2 %.

Obvod automatického řízení citlivosti je určen k tomu, aby změnou zesílení odstranil chyby způsobené nepřesností navážky vzorku. Po první tři vteřiny analýzy srovnává výstupní napětí se standardním, případný rozdíl po zesílení ovládá elektronický potenciometr, jehož dělicí poměr se mění tak dlouho, až rozdílové napětí klesne k 0. Pak se obvod odpojí a dělicí poměr potenciometru zůstane neměnný. Po spuštění se tedy přístroj automaticky seřídí tak, aby nakreslil správnou křivku (začínající u 100 %), i když navážka vzorku kolísá v mezích $\pm 50 - 20\%$.

Časová základna je zdroj nelineárně stoupajícího napětí, jehož průměr je volen tak, aby v každém okamžiku bylo písátka zapisovače v bodě grafu,



1	měřicí nádrže
11	žaluziový uzávěr
12	ovládací elektromagnety
13	připojovací kolinky
14	spínač
15	měřicí sonda
2	elektronická část
21	zdroj
22	časová základna
23	releové obrody
24	automatické řízení
	citlivosti
25	měrný obvod
3	zapisovač

odpovídající velikosti částic, které právě vypadávají z měřeného prostoru. Obvod je tvořen trojstupňovým zesilovačem s integrační zpětnou vazbou z anody třetí elektronky na mřížku první. V katodě třetí elektronky je nelineární odpor tvořený pěti diodami, které při stoupajícím napětí připojují paralelně další odpory. Teoretický průběh křivky je tedy aproximován šesti lineárními částmi. Všechny odpory obvodu jsou proměnné a je tedy možno časovou základnu v širokých mezích přizpůsobit měřenému materiálu.

Reléová část řídí a koordinuje činnost ostatních částí - zprostředkuje zapojení elektromagnetu žaluzie té nádrže, která je připojena k sondě a současně blokuje připojení dvou nádrží najednou, spouští časovou základnu, v předepsaném čase odpojuje obvod automatického řízení citlivosti a po skončení analýzy vrací přístroj do klidového stavu.

Zdrojová část zajišťuje napájení ostatních obvodů - nestabilizovaným napětím + 300 V, - 300 V, 24 V a stabilizovaným + 150 V, - 150 V a 12 V. Přístroj je osazen elektronkami i polovodiči - podle charakteru obvodů.

Zápis je prováděn souřadnicovým zapisovačem BAK II o rozměru zápisu 300 x 400 mm, na jeden papír se tedy vejde řada křivek.

Přístroj byl vyzkoušen několika stovkami kontrolních analýz, při kterých byly srovnávány křivky zrnitosti, získané síťovou analýzou a granulometrem. Pokud písky obsahovaly jen malou příměs jílové frakce, křivky se velmi dobře shodovaly. Se stoupajícím obsahem jílovité frakce narůstal rozdíl. Při hledání příčin bylo zjištěno, že na sítích jsou zrna slepená z několika menších jílovým tmelem a byla tedy stanovena jako větší. Naproti tomu při sedimentační analýze vzorek s větším obsahem jílové frakce je velmi citlivý na rovnoměrné rozložení po žaluzii. Při sebemenší chybě vzorek vytvoří shluk působící víření, takže sedimentuje pomaleji - částice jsou stanoveny jako menší. Chyby mají tak opačné znaménko a přibližně stejnou velikost, do 10 % jílové frakce však nejsou pozorovatelné, do 20 % je možno je zanedbat. Při měření sedimentačních rychlostí písků z několika oblastí SHR nebyly nalezeny podstatné rozdíly, časová základna pro ně tedy vyhovuje. Vzhledem k automatickému řízení citlivosti není nutno písek odvažovat, stačí odměřit odměrkou a může být tedy i vlhký tak, jak byl přivezen z vrtu.

Rychlost analýzy : vlastní analýza trvá 70 vteřin, s přípravnými pracemi 2 - 3 minuty. Připočteme-li podíl času na údržbu, odstraňování starých vzorků a prostoj, činí celkový čas asi 5 minut. Získané křivky jsou kresleny kuličkovým pisátkem na papír, takže na pauzovací papír k rozmnožení je

třeba je překreslit (prosvícením). Ve srovnání s klasickou síťovou analýzou, kde je třeba vzorek sušit, vážit, síťovat, znovu několikrát vážit, počítat a kreslit, znamená tedy přístroj zvýšení produktivity řádu tisíce procent. Malé množství vzorku potřebné pro analýzu (50 g) je výhodné, je-li vzorku nedostatek; je však třeba větší péče při jeho odběru, aby nedošlo ke zkreslení.

Závěr

Byla zkonstruována automatická aparatura, která s vyhovující přesností provádí zrnitostní analýzy písků v rozsahu velikosti zrn 0,01 - 5 mm. Výsledky jsou automaticky zakresleny do obvyklého grafu. Kapacita přístroje je vyšší než 10 vzorků za hodinu.

S h r n u t í

Autoři se zabývají zrnitostí zemin a jejího využití při určování propustnosti zemin. Dospěli k názoru, že pro technickou praxi, zejména odvodňování dolů, je určení koeficientu filtrace z křivky zrnitosti nejen postačující, ale i výhodné. Jako nevýhodné se však ukazují způsoby určení křivky zrnitosti. Z naléhavé potřeby zpracovávat série písčitých zemin s velikostí zrn od 5 do 0,1 mm byl vyvinut přístroj s automatickou registrací křivky. Přístroj pracuje na principu sedimentace ve vodním prostředí s vysokými parametry efektivnosti.

Р е з ю м е

ЗЕРНИСТОСТЬ ГРУНТОВ И ЕЁ АВТОМАТИЧЕСКОЕ ИЗМЕРЕНИЕ

Авторы занимаются зернистостью грунтов и её использованием при определении проницаемости грунтов. Они пришли к заключению, что для технической практики, в особенности для водоотлива шахт, определение коэффициента фильтрации из кривой зернистости является не только хватким, но и выгодным. Однако невыгодными показываются способы определения кривой зернистости. Из-за неотложной потребности обрабатывать серии песчаных грунтов размером зерн от 5 до 0,1 мм разработан прибор с автоматической регистрацией кривой. Прибор работает на принципе седиментации в водяной среде с высокими параметрами эффективности.