

MILAN MATULA*

ÜBERSICHT DER INGENIEURGEOLOGISCHEN RAYONIERUNG IN DEN WESTKARPATEN

(Abb. 1—4)

Zusammenfassung: Ausgehend von dem Beschluss des VII. Kongresses der KBGA über die Zusammenstellung einer übersichtlichen ingenieurgeologischen Karte des Karpaten-Balkan-Gebirgssystems berichtet der Autor über die Ergebnisse der bisherigen regionalen Forschung auf dem Landgebiete der tschechoslowakischen Karpaten. In der Hauptsache gibt er einen Entwurf der ingenieurgeologischen Rayonierung dieses Territoriums und der vergleichenden Charakteristik der ausgegliederten Regionen und Gebiete.

Die Zusammenstellung einer ingenieurgeologischen Übersichtskarte des Karpaten-Balkan-Gebirgssystems wurde bereits im Jahre 1960 im Programm der hydrogeologischen und ingenieurgeologischen Sektion der Karpaten-Balkan-Geologischen Assoziation an die allererste Stelle gestellt. Der VII. Kongress der KBGA (Sofia 1965) bestätigte die Wichtigkeit dieser Aufgabe und verfügte, dass eine Karte im Massstab 1 : 500 000 ausgearbeitet werden soll, auf Grund der unifizierten Methodik, die im Jahre 1965 durch die Mitglieder des Rates für gegenseitige Wirtschaftshilfe (RGW — Beständige Kommission für Geologie 1965) angenommen wurde.

In vorliegendem Beitrag liefert der Autor eine kurze Übersicht der Ergebnisse der I. Etappe einer systematischen regionalen ingenieurgeologischen Erkundung auf dem Landgebiete der tschechoslowakischen Karpaten (1958—1965). Im Rahmen dieser Forschung wurde an folgenden Problemen eingehend gearbeitet: a) Methodische Grundfragen (ingenieurgeologische Auswertung der Hierarchie der Komponenten des geologisch-geographischen Milieus, Prinzipien der regionalen ingenieurgeologischen Gesteinsklassifikation, Prinzipien der Rayonierung des untersuchten Gebietes u. a.), in engster Beziehung zu unseren Naturverhältnissen; b) allgemeine Übersicht der ingenieurgeologischen Verhältnisse auf dem Gebiete der tschl. Karpaten, insbesondere die Widerspiegelung der geologisch-tektonischen Entwicklung in der Gestaltung der genetischen und technischen Gleichartigkeit der Gesteinskomplexe (geologischer Formationen, faziell-genetischer Komplexe sowohl wie der grundlegenden petrographischen Typen), Charakteristik ihrer ingenieurgeologischen Eigenschaften und Auswertung der technisch bedeutenden gegenwärtigen geologischen Prozesse; c) ingenieurgeologische Rayonierung der Slowakei mit einer Charakteristik der Verhältnisse in den einzelnen ausgegliederten Regionen und Gebieten; d) eine mustermässige Bearbeitung eines Gebietes (M. Matula 1965), mit der Charakteristik der Verhältnisse in den einzelnen Rayons und Subrayons (mit Karten der ingenieurgeologischen Verhältnisse, hydrogeologischen Verhältnisse, der ingenieurgeologischen Rayonierung im Massstab 1 : 25 000); e) eine mustermässige Detailbearbeitung eines charakteristischen Rayons mit einer Analyse der Verhältnisse in den ausgeteilten Subrayons und ingenieurgeologischen Bereichen (mit einem Kartenkomplex im Massstab 1 : 10 000). Die übersichtliche ingenieurgeologische Karte der Slowakei im Massstab 1 : 500 000 (Arbeitsmassstab 1 : 200 000) wurde unter maximaler Berücksichtigung der unifizierten Richtlinien der RGW zusammenge-

* Prof. Dr. Ing. M. Matula, Lehrstuhl für Ingenieurgeologie und Hydrogeologie der Komenský-Universität, Bratislava, Gottwaldovo nám. 2.

stellt. In Bezug auf den beschränkten Umfang dieses Beitrags ist im Weiteren nur das Schema der Rayonierung und eine übersichtliche ingenieurgeologische Charakteristik der Verhältnisse in den ausgegliederten Regionen und Gebieten angeführt.

Schema der Rayonierung

Die ingenieurgeologischen Verhältnisse in den tschechoslowakischen Karpaten sind sehr bunt und kompliziert. Das ergibt sich hauptsächlich aus dem komplizierten geologisch-tektonischen Aufbau und der intensiven neotektonischen Entwicklung, deren Widerspiegelung das stark gegliederte Relief des Landes und die bunten klimatisch-geographischen Verhältnisse (D. Andrusov 1958, 1959, 1965, J. Hromádka 1956, M. Lukniš und P. Plesník 1961, Z. Roth 1966 u. a.) sind. Darum sind hier auch erschwerte Bedingungen für ein systematisch-regionales Studium der ingenieurgeologischen Verhältnisse, dessen Grundaufgabe es ist, nach dem Beispiel anderer naturwissenschaftlicher Fachzweige in dieser scheinbar chaotischen Mannigfaltigkeit Ordnung und Gesetzmässigkeit zu finden und endlich — auf Grund festgestellter Ähnlichkeit und Gleichartigkeit — die Klassifikation der einzelnen Erscheinungen durchzuführen.

Mit der Bestimmung und Begründung der Kriterien der Rayonierung des Gebietes der tschechoslowakischen Karpaten begannen wir nach gründlicher Analyse der bautechnischen Bedeutung der einzelnen Komponenten des geologisch-geographischen Milieus und ihrer gegenseitigen Subordination in den Entwicklungsprozessen der Erdkruste. Durch die Analyse wurde eindeutig bestätigt, dass auch hier geologische Zusammensetzung und Aufbau der Erdkruste die allgemeinste und grundlegende Bedeutung hat. Darum teilen wir nach den Kriterien der Gleichartigkeit der geotektonischen Entwicklung und des Aufbaues der einzelnen Teile der Westkarpaten die vier nachfolgenden *ingenieurgeologischen Regionen* (Abb. 1) als Territorialeinheiten I. Ordnung ab:

- A — Region der Kerngebirge
- B — Region des Karpatenflysches
- C — Region der neogenen Vulkanite
- D — Region der neogenen tektonischen Senkungen

Wie wesentlich verschieden die Verhältnisse in diesen einzelnen Regionen sind, geht aus der nachfolgenden Charakteristik hervor.

Die Westkarpaten stellen vom geomorphologischen Gesichtspunkt eine ausgebreitete, gehobene Bruchfalten-Megastruktur dar; diese bildete sich während einer allgemeinen etappenmässigen Hebung des karpatischen Gebirgssystems im Neogen (vor allem im Pliozän). Infolge einer starken lithologisch-strukturellen Heterogenität, aber hauptsächlich durch den Einfluss differenzierter (Hebungs-Senkungs-) Bewegungen der einzelnen Teile der Megastruktur, entstand im inneren Teil der Westkarpaten ein charakteristisches Makrorelief: ausdrucksvoll individualisierte, hervortretende Gebirgsformen wechseln mosaikartig mit tektonisch bedingten Depressionen zahlreicher innenkarpatischer Becken und Niederungen (J. Hromádka 1956, M. Lukniš und P. Plesník 1961, E. Mazúr 1964) ab.

Lebhafte neotektonische Bewegungen, die hauptsächlich während der rhodanischen Phase ihre grösste Intensität erreichten, bestimmten auf entscheidende Weise die Richtung der ganzen weiteren, komplizierten geologisch-geographischen Entwicklung unseres Gebietes. Die starke Höhengliederung des Makroreliefs führte zur Entstehung einer komplizierten vertikalen klimatischen Zonalität, die auf sehr differenzierte Weise

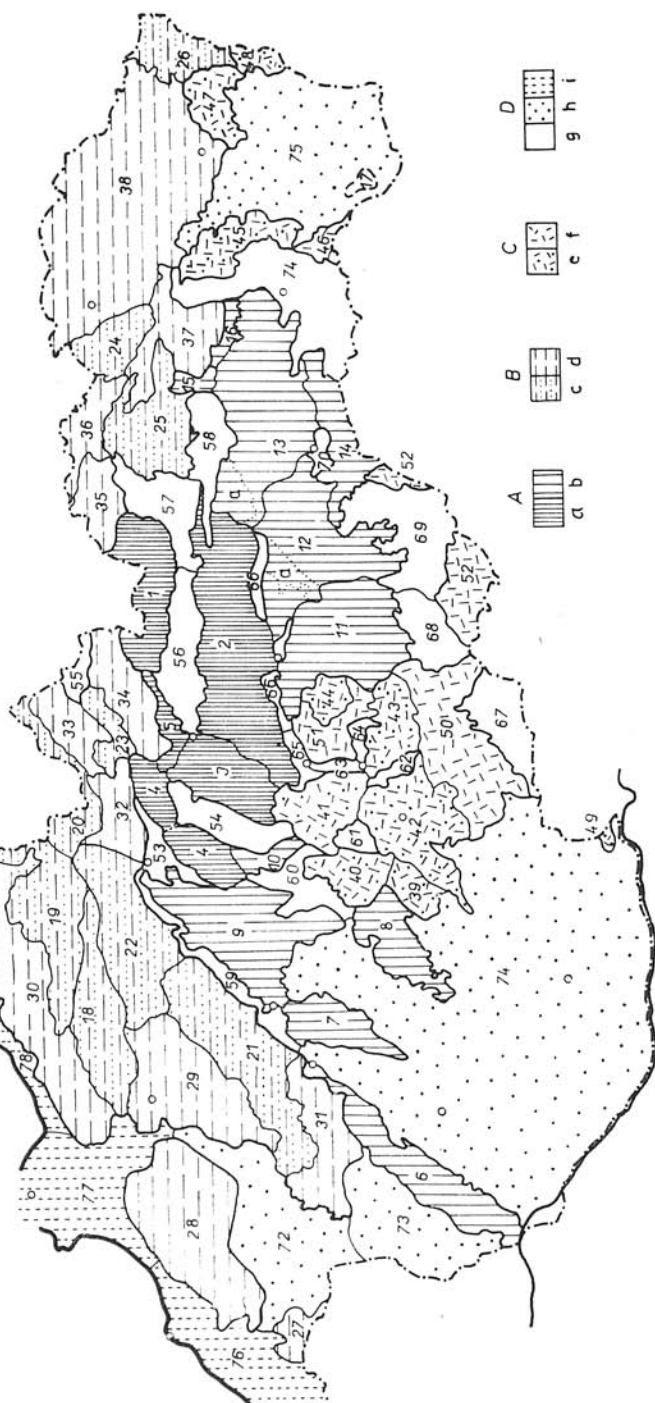


Abb. 1. Ingenieurgeologische Regionen und Gebiete der tschechoslowakischen Karpaten.

Regionen: A — Region der Kenggebirge, B — Region des Karpatenflysches, C — Region der neogenen Vulkanite, D — Region der neogenen, tektonischen Senkungen. Gebiete und deren einzelne orographische Ganze: A-a — Gebiete der hohen Kenggebirge: 1 — Vysoké Tatry, 2 — Nízke Tatry, 3 — Veľká Fatra, 4 — Malá Fatra, 5 — Chočské Gebirge, A-b — Gebiete der Kern-Mittelgebirge: 6 — Malé Karpaty, 7 — Považské Inovce, 8 — Tribec, 9 — Strážovská hornatina, 10 — Žiar, 11 — Veporské Rudohorie, 12 — Gemerské Rudohorie (12a — Múrduska planina), 13 — Spišské Rudohorie (13a — Stratená hornatina), 14 — Slovenský kras, 15 — Branisko, 16 — Čierna hora, 17 — Zemplínske vrchy, B-c — Gebiete des Flysch-Gebirgslandes: 18 — Viedňská hornatina, 19 — Moravsko-slezské Beskydy, 20 — Slovenské Beskydy, 21 — Biela Karpaty 22 — Javorinky, 23 — Oravská Magura, 24 — Čerňavské pohorie, 25 — Levočské pohorie, 26 — Užská hornatina, B-d — Gebiete der Flysch-Bergländer: 27 — Pavlovské vrchy, 28 — Stredomoravské Karpaty, 29 — Vizovická vrchovina, 30 — Podbeskydská pahorkatina, 31 — Myjavská pahorkatina, 32 — Kysucká vrchovina, 33 — Podbeskydská vrchovina, 34 — Oravská vrchovina, 35 — Spišská Magura, 36 — Lučovianska vrchovina, 37 — Saritská vrchovina, 38 — Ondavská vrchovina, C-e — Gebiete vulkanischer Gebirgsländer: 39 — Pohronský Inovec, 40 — Vtácník, 41 — Kremnické pohorie, 42 — Stávnické pohorie, 43 — Javorie, 44 — Poľana, 45 — Slánske pohorie, 46 — Milič, 47 — Vihorlat, 48 — Popričny, C-f — Gebiete vulkanischer Bergländer: 49 — Burda, 50 — Krupinská vrchovina, 51 — Zvolenská vrchovina, 52 — Cerová vrchovina, D-g — Gebiete der Innengebirgsbecken: 53 — Žilinská kotlina, 54 — Turčianska kotlina, 55 — Oravská kotlina, 56 — Liptovská kotlina, 57 — Popradská kotlina, 58 — Hornádska kotlina, 59 — Považské kotliny, 60 — Hornonitrianska kotlina, 61 — Ziarová kotlina, 62 — Liptovská kotlina, 63 — Zvolenská kotlina, 64 — Slatinská kotlina, 65 — Bystrická kotlina, 66 — Horehronské kotliny, 67 — Ipeľská kotlina, 68 — Lučenská kotlina, 69 — Rimavská kotlina, 70 — Rožňavská kotlina, 71 — Košická kotlina, D-h — Gebiete der innerkarpatischen Niederungen: 72 — Dolnomoravský úval, 73 — Záhorská nížina, 74 — Podunajská nížina, 75 — Východoslovenská nížina, D-i — Gebiete der vorkarpatischen Senkungen: 76 — Dyjsko-svratecký úval, 77 — Hornomoravský úval, 78 — Moravská brána, 79 — Ostravská pánva.

den allgemeinen Verlauf der durch exogene Faktoren hervorgerufenen physikalisch-geologischen Prozesse (Verwitterung, kombinierte Prozesse der Denudation und Erosion einerseits, der Akkumulation andererseits, Verbreitung und Charakter der quartären Deckschichten, Hangbewegung der Gesteine, Bildung der Grundwässer usw.), beeinflusste.

Das Ergebnis einer solchen Entwicklung ist auch ein stark gegliedertes Meso- und Mikrorelief, dessen direkte Bedeutung — als einer der Grundbedingungen des Bauwesens — wohl bekannt ist (z. B. bei der Wahl der Kommunikations-Strassen, der Baustellen ausgedehnter Bauten und bei der Komposition ihrer einzelnen Objekte; der Umfang der Erd- und Felsarbeiten; Leitung der Ingenieurnetze usw.). Alles dies öffnet Möglichkeiten einer weiteren Aufteilung der Regionen in Gebietseinheiten II. Ordnung — in *ingenieurgeologische Gebiete*, die nach dem Kriterium der Gleichartigkeit der Makro- und Mikroformen des Reliefs und der Ähnlichkeit grundlegender Umrisse der geomorphologischen Entwicklung abgeteilt wurden.

In den einzelnen Regionen der Westkarpaten können folgende ingenieurgeologische Gebiete (Abb. 1) ausgeschieden werden:

- A-a — Gebiete der hohen Kerngebirge mit glazialem Relief und Kahlrelief
- A-b — Gebiete der Kern-Mittelgebirge
- B-c — Gebiete der Flysch-Gebirgsländer
- B-d — Gebiete der Flysch-Bergländer
- C-e — Gebirge vulkanischer Gebirgsländer
- C-f — Gebirge vulkanischer Bergländer
- D-g — Gebiete der Innengebirgsbecken (tektonischer Herkunft)
- D-h — Gebiete der innenkarpatischen Niederungen
- D-i — Gebiete der vorkarpatischen Vortiefe

Taxonomische Gebietseinheiten III. Ordnung sind die *ingenieurgeologischen Rayons*, die innerhalb der Gebiete auf Grund der Kriterien der Gleichartigkeit der Zusammensetzung der Baugrundböden abgeteilt werden; diese ergibt sich aus der Gleichartigkeit der einzelnen geologisch-genetischen Komplexe (bzw. bestimmter Komplexe petrographischer Gesteinstypen) und der mit ihnen eng verbundenen geomorphologischen Verhältnisse (Meso-Mikrorelief), der hydrogeologischen Verhältnisse und der geologischen Prozesse, sowohl wie auch ähnlicher physikalisch-mechanischer Eigenschaften der Gesteine (z. B. in den Becken: Rayons der Talauen, der Flussterrassen, ausgedehnter Schwemmkegel, Becken-Hügelgelände u. ähnl.). Die Zusammensetzung der Baugrundböden wird dabei in eine Tiefe von 10—20 m gewertet; in den Vordergrund tritt hier offensichtlich Charakter, Zusammensetzung und Mächtigkeiten (Dicke) der quartären Deckengebilde.

Die Rayons können bei detaillierter Durchforschung auf Grund der Gleichartigkeit der hydrogeologischen Verhältnisse der Entwicklung gegenwärtiger geologischer Prozesse und weiterer, für das Bauwesen wichtiger Elemente weiter aufgegliedert werden — in *ingenieurgeologische Bereiche* (Gebietseinheiten IV. Ordnung).

A — Ingenieurgeologische Verhältnisse in der Region der Kerngebirge

Die ingenieurgeologische Region der Kerngebirge hat folgende charakteristische Züge: Sie ist räumlich am ausgebreitetsten und umfasst den zentralen Teil des Raumes der tschsl. Karpaten. In ihr treten die ältesten Gesteinskomplexe auf (Proterozoikum bis

Mesozoikum). Diese Region weist einen aussergewöhnlich komplizierten tektonischen Bau auf, gekennzeichnet durch mannigfaltige tektonische Stile, welche das Verhalten der lithologisch bunten Komplexe während der verschiedenen Phasen der assynthischen bis alpinen Tektogenese widerspiegeln. Die Region bildet kein flächenmässig zusammenhängendes Gebiet, aber dank der tertiären Senkungstektonik entstand ein komplizierter mosaikartiger Aufbau, in dem morphotektonisch individualisierte, aufgebulte (antiklinoriale — Horststrukturen) mit Senkungsstrukturen (synklinoriale — Grabenstrukturen) abwechseln (letztere gehören jedoch bereits zur Region D). Die geologischen Formationen, welche in den Kerngebirgen an die Oberfläche austreichen, bilden in den übrigen Regionen in verschiedener Tiefe den Untergrund jüngerer Formationen und beeinflussen oft bedeutend auch deren ingenieurgeologische Verhältnisse (z. B. das Aufsteigen aggressiver artesischer Wässer in den Becken und Niederungen, die neotektonischen Bewegungen, den Seizmitätsgrad u. a.). Infolge der petrographischen Mannigfaltigkeit, hauptsächlich jedoch auf Grund der lebhaften neotektonischen Differenzationsbewegungen, entstand die starke Gliederung des Makro- und Mikroreliefs, die sehr bunte, vertikale klimatische Zonalität, sowohl wie auch die hydrogeologischen Verhältnisse.

Trotz dieser inneren Mannigfaltigkeit und Gliederung muss dem gegebenen Territorium die Stellung einer eigenen Region zuerkannt werden, bei Erwägung ihrer Beziehung zu den übrigen, geostrukturell wesentlich unterschiedlichen Regionen und — ihrer allgemeinen geologisch-tektonischen Einheitlichkeit, die aus der gemeinsamen geotektonischen Entwicklungsgeschichte, sowohl wie auch aus der heutigen struktur-tektonischen Position, hervorgeht.

Der einheitliche Charakter der Region wird auch durch die Tatsache betont, dass in ihr Gesteinskomplexe solcher geologischer Formationen auftreten (I. V. Попов 1961—1965), die man in den übrigen Regionen nicht findet (eventuell ausnahmsweise). Hierher gehören namentlich: Die Formation praekambrischer, hochmetamorpher Komplexe, die Formation paläozoischer Epimetamorphite, die Formation variszischer granitoider Intrusiva — die als charakteristische Kerne der Gebirge dieser Region auftreten, und die sedimentären Formationen der alpinen geosynklinalen Etappe (untere terrigene, kalk-dolomitische, bunte Mergelstein-Kalk-, teilweise auch Flysch-Formation) — die den kristallinen Kernen in Gestalt ihres neoiden Mantels aufliegen.

Bei dem detaillierten ingenieurgeologischen Studium der Gesteinskomplexe konzentrierten wir unsere Aufmerksamkeit auf die Auswertung: ihrer faziell-lithologischen Gleichartigkeit; der grundlegenden physikalisch-mechanischen Eigenschaften der Gesteine, hauptsächlich jedoch der Festigkeit, der Deformationseigenschaften, die Beständigkeit bei der Verwitterung und in Berührung mit Wasser, des Einflusses der Anisotropie auf diese Eigenschaften; ferner ob die Gesteinsmassive unberührt oder gestört sind (Massivität, Schichtung, Schieferung, Spalten verschiedener genetischer Systeme usw.), Bedingung der Wasserführung und der Wasserzirkulation in ihnen. Erhöhte Aufmerksamkeit schenken wir den 75 verbreitetsten Gesteinstypen, für welche wir eine neue Pasportisation (Feststellung der physikalisch-mechanischen Eigenschaften einschliesslich der Deformationsdiagramme) durchführen, sowohl wie auch denjenigen Gesteinen, die sich durch ungünstige ingenieurgeologische Eigenschaften auszeichnen. Im weiteren wollen wir wenigstens in kurze die Charakteristiken der Gesteinskomplexe der einzelnen Formationen anführen.

Die Formation der hochmetamorphen praekambrischen Komplexe zeichnet sich durch eine bedeutende fazielle Einförmigkeit aus, zu der ausser der primären Entstehungsbedingungen der ursprünglichen Sedimente, auch die weitreichende regionale Tiefen-

metamorphose merklich beigetragen hat. Die Gesteine an sich haben in ungestörtem Zustand im allgemeinen hohe Festigkeit, gute Beständigkeit unbedeutende Zusammen-drückbarkeit und minimale Durchlässigkeit. Charakteristisch ist für sie eine hervor-tretende physikalisch-mechanische Anisotropie. In den Gesteinsmassiven sind ihre guten ingenieurgeologischen Eigenschaften sehr oft durch weitreichende retrograde Dynamo-metamorphose (Entstehung von diaphoritischen Glimmerschiefern und Phylliten) und durch tektonische Störung entwertet, die sich ungünstig bemerkbar machen, einerseits indem sie die Durchlässigkeit erhöhen (Spaltensysteme), in der Hauptsache jedoch verschlechtern sie die Kennwerte der Festigkeit, der Deformationseigenschaften und die Beständigkeit (z. B. mylonitische Störungszonen). Die meistverbreiteten petrographi-schen Typen sind Paragneise (siehe Abb. 2 und Tabelle 1), Orthogneise, Amphibolite, Glimmerschiefergneise, Glimmerschiefer und Phyllite; die beiden letzteren Typen haben neben den Myloniten die ungünstigsten technischen Eigenschaften.

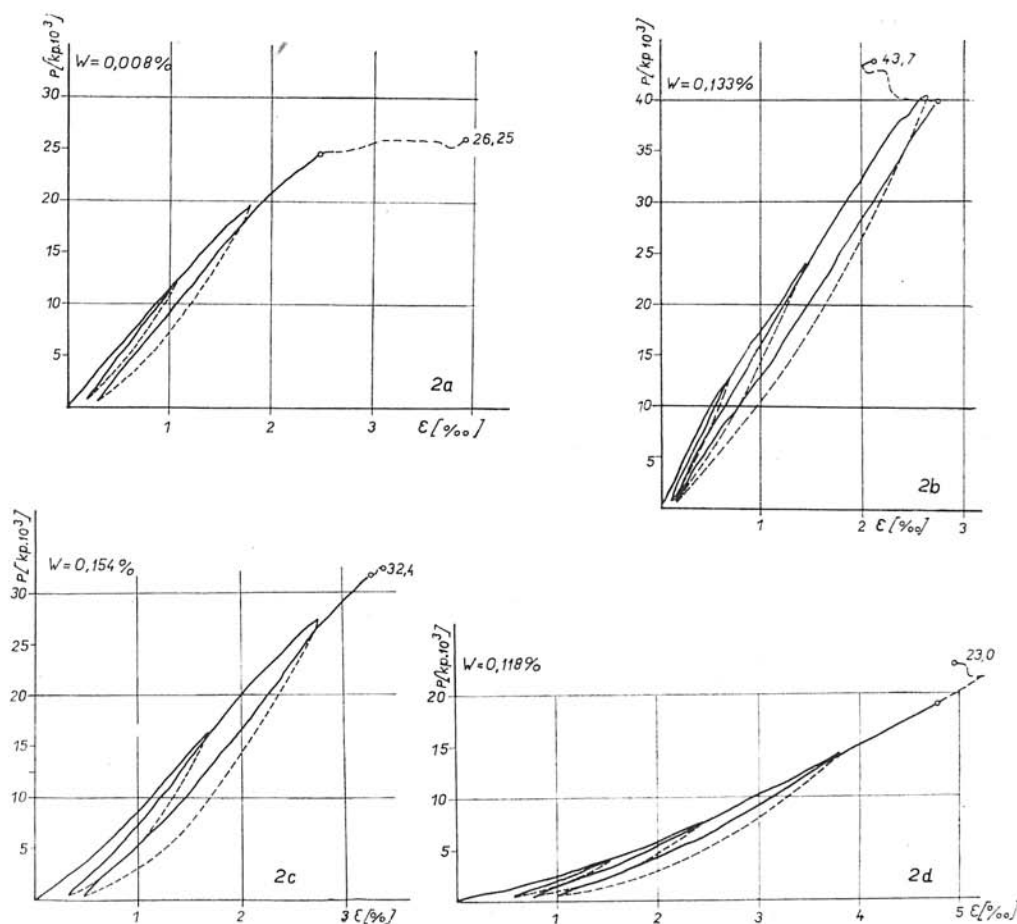


Abb. 2. Spannung-Dehnungsdiagramme einiger von den meistverbreiteten Gesteinen in der Slowakei: a — Biotitparagneis, b — Biotitgranodiorit, c — grobkörniger Granodiorit, d — paläogener glaukonitischer Sandstein. Weitere Werte siehe in Tabelle 1.

Tabelle 1. Physikalisch-mechanische Eigenschaften einiger typischer Gesteine der Westkarpaten,¹ deren Arbeitsdiagramme auf Abb. 2 und 3 vorgelegt werden

Nummer der Abbildung	Petrographischer Gesteinstypus	Spezifisches Gewicht	Raumgewicht	Porosität	Saugvermögen	Druckfestigkeit in trockenem Zustand	Druckfestigkeit nach der Sättigung	Deformationsmodul	Elastizitätsmodul	Dynam. Elastizitätsmodul
		g·cm ⁻³	g·cm ⁻³	%	%	kp·cm ⁻²	kp·cm ⁻²	kp·cm ⁻²	kp·cm ⁻²	kp·cm ⁻²
2a	Biotit-Paragneis, feinkörnig, mit Schiefertextur, schwach von der Verwitterung angegriffen	2,76	2,78 ² 2,74 2,70	4,06	0,39	893 ² 823 715	617 ² 691 586	370 000	460 000	606 000
2b	Biotit-Granodiorit, mittelkörn., Kornstruktur unregelmäßig	2,76	2,75 2,73 2,72	1,19	—	1760 1642 1524	1386 1283 1100	592 000	730 000	710 000
2c	Granodiorit, grobkörnig, Kornstruktur unregelmäßig	2,65	2,63 2,60 2,58	2,09	0,80	1157 1088 987	1042 982 948	158 000	195 000	260 000
2d	Sandstein, mittelkörn., grau (Pg ₂), glaukonitisch, mit karbonatischen Porenbindemittel	2,68	2,54 2,48 2,38	7,50	5,21	704 675 643	696 668 648	158 000	195 000	1035 000
3a	Kalkstein, dunkelgrau (T ₂ gutensteiner Typus), mikrokristallin, mit weissen Kalzitadern	2,71	2,71 2,67 2,64	1,71	0,15	1092 981 1028	1002 803 833	790 000	930 000	260 000
3b	Dolomitischer Kalkstein, dunkelgrau (T ₂), feinkörn. bis mikrokristallin	2,72	2,73 2,69 2,65	1,22	0,26	1423 1147 931	1021 835 697	790 000	825 000	1155 000
3c	Pyroxen-Hornblende-Andesit (N _{1t}), fein- bis mittelkörn., schwarzgrau	2,86	2,80 2,77 2,74	3,38	3,78	2510 2313 2118	1940 1726 1580	570 000	668 000	840 000
3d	Hornblende-Biotit-Andesit (N _{1s}), mittel- bis grobporphyrisch, grünlichgrau	2,71	2,60 2,59 2,57	4,67	2,43	2002 1000 982	1145 975 893	470 000	568 000	634 000

¹ Feststellung auf 15 Probewürfeln 5×5×5 cm jedem pasportisiertem Monolith.

² Maximale, mittelhoh und minimale Werte.

In der *epimetamorphisierten paläozoischen Formation* treten felsige und halbfelsige Gesteine auf, zumeist mit hervortretender Schieferung, die die Anisotropie ihrer tektonischen Eigenschaften bedingt. Während bei den beiden älteren Subformationen (kaledonische und altherzynische) eine starke Gleichartigkeit der Komplexe beobachtet wird, wechsellagern in der jungherzynischen Subformation faziell bunte Schichtfolgen mit bedeutend unterschiedlichen Eigenschaften und im allgemeinen schwacher Epimetamorphose. Die verbreitetsten petrographischen Typen der Epimetamorphite sind verschiedene Phyllite (serizit-chloritische, sandige, graphitische u. a.) bis Tonsteinsandige Schiefer (Karbon-Perm), die eine geringere Festigkeit haben, den Verwitterungseinflüssen geringen Widerstand leisten (besonders bei erhöhtem Gehalt an organischen Beimengungen), ziemlich zusammendrückbar sind, wobei es leicht zu ihrer Störung durch Abgleiten nach den Schieferungsflächen kommt. Wesentlich bessere Eigenschaften haben die Epiquarzite, die reichlich verbreiteten Porphyroide und Diabase, die jedoch zum Unterschied von den Phylliten klüftiger und durchlässiger sind. Sporadisch kommen kristalline Kalke (Marmore) vor, die oft in Siderite, Ankerite und Magnesite umgewandelt sind; sie treten im Relief aus den schieferigen Komplexen in Gestalt auffälliger Erhöhungen hervor.

Die *Formation der variszischen Granitoide* spielt im Aufbau der Kerngebirge (mit Ausnahme der Zips-Gömörer Ergebirge) eine bedeutende Rolle und bildet zumeist ihre zentralen Teile. Die übliche Vorstellung von einem hohen Gleichartigkeitsgrad und unregelmäßigen isotropen Texturen gilt für unsere Granitoide nicht: sie sind faziell stark heterogen und ein bedeutender Teil von ihnen legt eine deutliche Regelung an den Tag (synorogene Granitoide, migmatitisierte Granite). Auch die allgemeine Ansicht über die vorzüglichen tektonischen Eigenschaften der Granitoide als Baugrundböden, sowohl wie auch Baumaterial, gilt in der Slowakei nur in sehr geringem Ausmasse, den Hauptverdienst daran hat vor allem ihre sehr häufige Mylonitisierung, die weitreichende tektonische Störung und die dadurch bedingte tiefe Verwitterung (hauptsächlich Frostverwitterung) der Massive. Ausser dem Grad der tektonischen Störung und Verwitterung entscheidet über die physikalisch-mechanischen Eigenschaften und die Beständigkeit der Granitoide auch ihr Mineralbestand, Struktur und Textur (z. B. erhöhter Gehalt an dunklen Mineralen, Grobkörnigkeit und porphyrische Struktur verschlechtern die physikalisch-mechanischen Eigenschaften). Zwecks näherer Illustration führen wir auf Abb. 2 die Arbeitsdiagramme eines mittelkörnigen Biotit-Granodiorits und eines grobkörnigen Granodiorits an; die Grundwerte ihrer physikalisch-mechanischen Eigenschaften sind in Tabelle 1 angeführt.

Die *untere terrigene Formation* (oberes Perm bis untere Trias) ist über das ganze Gebiet der Zentralkarpaten — als unterstes Glied des neoiden Mantels verbreitet. Vom Gesichtspunkt der ingenieurgeologischen Eigenschaften und der Gleichartigkeit unterscheiden wir in ihr folgende grundlegende faziell-genetische Komplexe: Die Schichtfolgen des Verrucano bilden hauptsächlich ziemlich feste, aber verhältnismässig schnell verwitternde buntfarbige Konglomerate. Arkosen, Grauwacken und Sandsteine, leicht abbröckelnd und stark zerklüftet, lokal mit Lagen von Quarzporphyren und von gut gefestigten, praktisch undurchlässigen Tonsteinschiefern. Die untertriadischen Quarzite, lokal bis feinkörnigen Quarz-Konglomerate, sind vollkommen sortierte, homogene Gesteine mit bankiger Ablösung, sehr hart und fest, spröde und stark klüftig, in tektonischen Zonen zerquetscht, was ihre beträchtliche Durchlässigkeit verursacht. Sie sind ausserordentlich widerstandsfähig gegen Verwitterung, was sich auch in ihrer geomorphologischen „Aktivität“ widerspiegelt. Die Steinarbeit ist bei ihnen schwierig, sie eignen sich zu Bruchstein und Schotter (besonders bei Eisenbahnen). Die bunt-

farbigen Verfener Schiefer sind vorwiegend aus lithogenetisch gut verfestigten (halbfelsigen) Argiliten und Aleurolithen zusammengesetzt. In gesundem Zustand widerstehen sie gut dem Einfluss des Wassers, nach der Verwitterung zerfallen sie jedoch und erlangen die Eigenschaften plastischer Pelite. Praktisch sind sie undurchlässig, bis auf die Zwischenlagen zerklüfteter Sandsteine und die tektonischen Zonen, in denen sie zerquetscht und plastisch durchbewegt sind.

Die *kalk-dolomitische Formation* (mittlere—obere Trias) stellt einen unserer verbreitetsten und charakteristischsten Gesteinskomplexe dar. Sie wird von mächtigen, im allgemeinen faziell gleichartigen, dünnbankigen bis massigen Schichtfolgen von Kalken, dolomitischen Kalken und Dolomiten — lokal mit Lagen feindetritischer Schiefer — gebildet. Die Formation als Ganzes, dank einigen besonderen Eigenschaften ihrer Gesteine, offenbart sich sehr markant im geologisch-tektonischen Aufbau, im eigenartigen Relief, in den hydrogeologischen regionalen Verhältnissen usw. Die ungestörten Kalke an sich sind fest, sehr wenig zusammendrückbar, spröde. Sie widerstehen gut der Verwitterung, sind aber ziemlich löslich und neigen deshalb zur Verkarstung. In den Gesteinsmassiven sind sie beträchtlich von Spalten durchdrungen, ein Teil der Spalten ist durch sekundären Kalzit ausgeheilt. Sie liefern ein gutes und weitreichend ausgenütztes Baumaterial. Die Dolomite sind, auf Grund ihrer starken Sprödigkeit, bei uns aussergewöhnlich zerklüftet und in tektonisch stärker beanspruchten Gebieten zu dolomitischen Breccien und Sand zerquetscht. Ungestörte Dolomitmassive mit felsigem Charakter der Gesteine sind weniger häufig; günstigere Eigenschaften haben die dolomitisierten Kalke. Die Dolomite, besonders jedoch Dolomit-Gruss und Sande, werden bloss als Baumaterial von geringem Wert verwendet. Zur Veranschaulichung der Unterschiede in den mechanischen Eigenschaften der Kalke und der Dolomite bringen wir in Abb. 3 zwei typische Arbeitsdiagramme dieser Gesteine.

Die *bunte Mergelstein-Kalk-Formation* (obere Trias—untere Kreide) ist faziell, lithologisch und auch hinsichtlich der ingenieurgeologischen Eigenschaften, aussergewöhnlich ungleichartig; sie ist regional sehr verbreitet, ihre triadischen und jurassischen Glieder erreichen jedoch keine bedeutenderen Mächtigkeiten. Man kann in ihnen eine Reihe makrofazieller Komplexe unterscheiden, die sich unter anderem durch den Grad der Gleichartigkeit voneinander unterscheiden. Der Karpatenkeuper (Karn—Nor) stellt einen bunten, heterogenen, terrigen-lagunären Komplex von Tonsteinen, Siltsteinen, Sandsteinen, Quarziten, bzw. mit Dolomiteinlagen, dar. Den seichtmeerischen detritischen und detritisch-karbonatischen Komplex (Rhät—Lias) bilden bunte, heterogene und faziell sehr veränderliche, Sandstein- und Mergelstein-Schichtfolgen (oft dunkel infolge bituminöser Beimengungen), ferner sandiger Kalke und Crinoidenkalke, dunkler mergeliger Kalke und Mergelsteine. Die Tiefsee-Komplex pelitomorpher Karbonate (Dogger—Malm) hat meist sehr geringe Mächtigkeit. Die bunten Kalke sind dünnbankig bis tafelig, gewöhnlich intensiv gefaltet und zerklüftet, widerstandsfähig gegen Verwitterung. Sie führen eine reichliche Menge amorpher Silikate. Sehr verbreitet ist der flyschoide mergel-kalkige Komplex (Neokom), der auch bei grossen Mächtigkeiten lithofaziell ziemlich gleichartig ist: er weist eine tafelige bis dünnbankige Schichtung auf, wobei er wenig durchlässig ist. Die mergeligen Kalke, Mergelsteine, sowohl wie die Einlagen kalkiger Sandsteine verwittern schnell, wobei sie in den Aufschlüssen kleintafelig bis blättrig zerfallen.

Die Gestaltung der heutigen tektonisch-strukturellen Eigenart der Regionen der Kerngebirge vollendeten die jungen Bewegungen im Neogen; die formations-fazielle Verschiedenartigkeit der Gesteinskomplexe äusserte sich sowohl bei den Prozessen der tektonischen Strukturbildung, wie auch bei der

Entwicklung des Makro- und Mikroreliefs. Das stark differenzierte Makrorelief und die für dieses charakteristische vertikale klimatische Zonalität, welche hauptsächlich den Verlauf der exogenen geologischen Prozesse beeinflusst, dann die Mannigfaltigkeit der Entstehung der quartären Deckengebilde u. a., erfordern die Aufgliederung der Region in mehrere ingenieurgeologische Gebiete. In den einzelnen Gebieten sind die ingenieur-

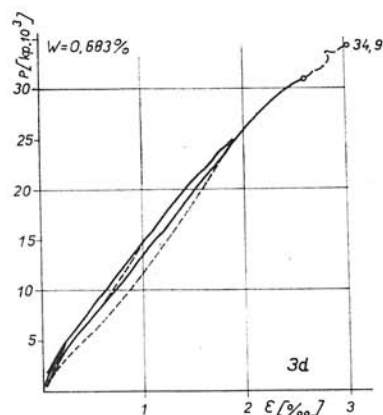
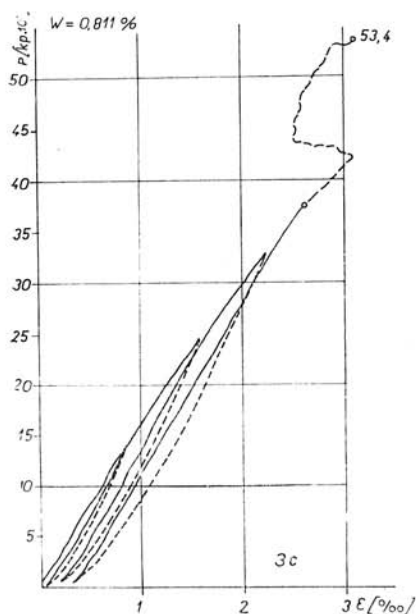
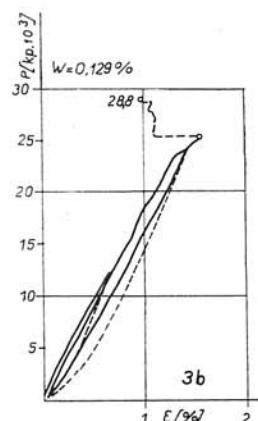
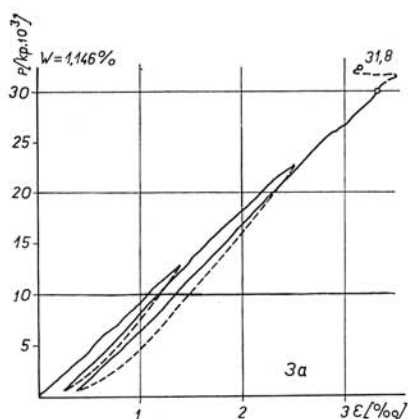


Abb. 3. Spannung-Dehnungsdiagramme einiger von den verbreitetsten Gesteinen in der Slowakei: a — Kalkstein gutensteiner Typus, b — dolomitischer Kalkstein, c — Pyroxen-Hornblende-Andesit, fein-bis mittelkörnig, d — Hornblende-Biotit-Andesit, grobkörnig. Weitere Werte siehe in Tabelle 1.

geologischen Bedingungen gegenseitig voneinander beträchtlich verschieden, wie aus ihrer nachfolgenden vergleichenden Charakteristik ersichtlich ist.

A-a — Gebiete der hohen Kerngebirge

Die hohen Kerngebirge erheben sich in dem am meisten gehobenen, zentralen Teil der Westkarpaten. Aus den angrenzenden Becken treten sie als mächtige Bollwerke bis zur Höhe über 1500 m ü. d. M. hervor und erreichen in der Hohen Tatra mit einer ganzen Reihe von Bergspitzen über 2500 m Meereshöhe. Ihr Relief ist stark gegliedert 500—850 m (rel.), durch Wasserläufe tief zerschnitten, die sich mit rückschreitender Erosion tief in die zentralen Gebirgskämme eingesägt haben.

Das Relief der höchsten Gebirge wurde im Pleistozän durch die Hochgebirgsgletscher modelliert; hier begegnet man den glazialen Reliefformen mit typischen Scharfkämmen, Gletscherkaren, Trogtälern, die von schroffen Felswänden eingefasst und mit Moränen ausgefüllt sind. In den niedrigeren Teilen der Gebirge wirkten intensive periglaziale Prozesse, die oberhalb der heutigen klimatischen Waldgrenze (rund 1400 m ü. d. M.) in den Zonen der Kahlgipfel („hole“), zumeist auf den kristallinen Gesteinen der Kerne, ein flaches und abgerundetes Relief hinterliessen. Die grossen Höhenunterschiede spiegeln sich in den komplizierten klimatischen Verhältnissen wieder. Am Fusse der Berge ist das Klima mässig kühl, höher bis kalt, mit jährlichen Niederschlägen von 750 bis 1500 mm.

Es ist charakteristisch für die hohen Gebirge, dass sich an ihrem geologischen Aufbau in der Hauptsache die ältesten Gesteinskomplexe der kristallinen Kerne beteiligen; nur in geringerer Verbreitung finden sich hier die sedimentären Formationen des mesozoischen Mantels, die mehr oder weniger monoklinal an der Aussenseite (N und NW) der kristallinen Kerne abgelagert sind. Eine Ausnahme bildet jedoch das Choč-Gebirge, welches fast ganz aus Kalk-dolomitischen Komplexen zusammengesetzt ist.

In den Hängen der hohen Gebirge tritt der anstehende steinige Untergrund zutage; er unterliegt rasch den Prozessen der Erosion und Denudation, deren Produkte sich jedoch nur in geringem Masse in den mittleren und oberen Partien der steilen Hänge als quartäre Deckengebilde erhalten. Soweit sie hier in Gestalt verbreiteter steiniger Schuttkegel und Schutthalten, Blockmeere, eventuell seichter deluvialer Oberflächenschichten, vorkommen, verhalten sie sich bei den Bauarbeiten als wenig geeignete Baugrundböden (schwierige und kostspielige Aushebungen, geringe Stabilität, grosse Ungleichartigkeit usw.). Stabilere und geeignetere Baugrundböden sind am Fusse und an den Hängen der Vorgebirge, bzw. in den breiteren Tälern, wohin sich auch der Aufbau konzentriert. Von den heutigen geologischen Prozessen haben für das Bauwesen und andere menschliche Tätigkeit in erster Linie die verschiedenen *H a n g b e w e g u n g e n* (Muren, Lavinenströme u. a.) und die intensive *m e c h a n i s c h e V e r w i t t e r u n g* grösste Bedeutung.

Die Verwirklichung grösserer Bauten in hohen Gebirgen ist im allgemeinen schwierig und sehr kostspielig wegen des grossen Umfanges der Steinarbeiten und der zahlreichen Schutzmassnahmen zur Sicherung ihrer Stabilität und Dauerhaftigkeit; in erhöhtem Masse gilt dies für den Kommunikationsaufbau. In Bezug auf die Naturschönheiten, die günstigen mikroklimatischen und guten Schneeverhältnisse, konzentrieren sich in den geeigneten niedrigeren und mittleren Lagen der Hochgebirgsbereiche meist weniger anspruchsvolle Bauten, die der Touristik, dem Sport, zu Erholungs- und Heilzwecken, dienen.

A-a — Gebiete der Kern-Mittelgebirge

Von den hohen Gebirgen unterscheiden sie sich durch eine im allgemeinen geringere Energie und durch die Gliederung des Reliefs (150—250 m rel.). Ähnlich wie die hohen Gebirge sind auch sie neotektonisch individualisierte Strukturen, doch erreichte ihre Hebung keine so grosse Intensität. An vielen Orten blieben die Verebnungsflächen gut erhalten, als Relikte dreier Hauptetappen der Peneplenisationsvorgänge in den Tecilabschnitten tektonischer Beruhigung im Neogen. Ihre Gipfelteile übersteigen meist nicht 1500 m ü. d. M. In der Gestaltung des Reliefs machte sich die Wassererosion und die sehr verbreiteten Karstprozesse am meisten geltend. Das Klima ist mässiger, am Fusse der Berge mässig feucht und warm, in den Gipfelpartien bis sehr feucht und mässig kühl. Die durchschnittlichen jährlichen Niederschläge sind 750—1000 mm.

Die bunte geologische Zusammensetzung kommt in den Formen des Mesoreliefs zum Ausdruck, welches sich im Wesen im Pleistozän gebildet hat, dank der Flusserosion und den intensiven periglazialen Modelationsprozessen. Für die kristallinen Kerne der Gebirge sind abgerundete, zusammenhängende Formen charakteristisch; mässig modelliert ist auch das Relief auf den weniger widerstandsfähigen Gesteinen des mesozoischen Mantels (hauptsächlich Tonstein-, Siltstein- und Mergelsteinschiefer und mergelige Kalke der Untertrias, des Lias und der Kreide), an die ausgeprägte Depressionen, Sattel, Erosions-denudationsbecken und -furchen gebunden sind. Morphologisch sehr aktiv sind die untertriadischen und liassischen Quarzite (zahlreiche scharfe Rücken, Questen, Härtinge). Ein scharf modelliertes Relief mit wilden und malerischen, Klippenreichen Gipfelformen und tiefen Klammen ist charakteristisch für die kalkdolomitischen Formationen. Sehr verbreitet ist in ihnen der Karst mit seinen ober- und unterirdischen Kundgebungen, der auf ausgedehnten Flächen die Baugrundböden entwertet. Die klassischen Karstphänomene sind Gegenstand der Bewunderung in den Höhlen von Demänová, Domica, Dobšiná u. a.

Besonders kontrastreiche Reliefformen entstehen dort, wo das Gebiet abwechselnd von Schichtfolgen widerstandsfähiger Karbonatgesteine und weicherer tonig-mergeliger Gesteine (z. B. Strážovská hornatina) aufgebaut ist. Ausdrucksvoll beteiligt sich daran auch der Deckenbau der Kerngebirge, in denen zahlreiche Gipfel von stehengebliebenen Schollen der Choč-Decke (Dolomite, Kalke) aufgebaut sind, die auf den neokomen mergeligen Kalken und Schiefern der niedrigeren Krížna-Decke abgelagert sind. Zum Unterschied von den Hochgebirgsbereichen sind hier mehr die quartären Deckengebilde verbreitet; es sind in der Hauptsache mächtigere deluviale Lehmdecken, die infolge der periglazialen pleistozänen Solifluktion in den lokalen Reliefdepressionen und am Fusse der sanfteren Hänge angesammelt wurden; die steileren Hänge werden von lehmsteinigem Schutt umsäumt. Auf den alten relikten Flächen der neogenen Verebnung finden sich mächtigere Verwitterungsrinden (R. Ondrášik 1966), die durch beträchtliche Zersetzung der Gesteine und deren erhöhte Zusammendrückbarkeit gekennzeichnet sind. Von den gegenwärtigen geologischen Prozessen haben für das Bauwesen die grösste Bedeutung: Karst, Hangbewegungen der Gesteine (in Gestalt von Erdrutschen) und Hangerosion.

Die Karsterscheinungen üben einen bedeutenden und ungünstigen Einfluss auf die Bedingungen des Bauwesens aus. Darum treten beim ingenieurgeologischen Studium des Kartes ganz spezifische Gesichtspunkte in den Vordergrund: den Charakter der ober- und unterirdischen Karsterscheinungen und ihre gegenseitigen Beziehungen untersuchen wir vom Gesichtspunkt der Entwertung der Baugrundböden, der Herabsetzung ihrer Tragfestigkeit, Verschlechterung der Homogenität, der ungleichmässigen

Zusammendrückbarkeit. Die Oberflächenerscheinungen im Karst erhöhen die Reliefgliederung und erniedrigen den Wert der Bauplätze. Die ingenieurgeologische Forschung ist in den Karstgebieten aussergewöhnlich schwierig und führt oft zu vielen Überraschungen, besonders dort, wo der verkarstete Untergrund durch quartäre Decken-gebilde maskiert ist. Ein günstiger Umstand bei der Gründung von Hochbauten ist die meist bedeutende Tiefe des Grundwasserspiegels. Jedoch ist auch die Destruktion des Baugrundbodens infolge des Einsturzes schwächerer Decken der unterirdischen Hohlräume nicht ausgeschlossen, wenn auch solche Fälle bei uns sehr vereinzelt vorkommen.

Besondere Schwierigkeiten entstehen hauptsächlich bei dem Aufbau hydrotechnischer Werke infolge der extremen Durchlässigkeit der verkarsteten Gesteine. Wenn auch die Weltpraxis in der Errichtung von Wasserkraftwerken bewiesen hat, dass solche Gebiete aus den Arealen des Aufbaues nicht unbedingt ausgeschlossen werden können, herrscht doch in den Kreisen unserer Projektanten und Geologen in dieser Richtung stets eine ziemlich reservierte Meinung und eine eher ablehnende Haltung gegenüber vielen, ansonsten sehr geeigneten Talsperrenprofilen. Spezifische Probleme entstehen bei dem Aufbau von Tunnels und anderer Untergrundwerke in den verkarsteten Gesteinen, wo es zu häufigen Verschüttungen, zur Ansammlung einer grossen Menge Grundwassers durch Zuflüsse u. ähnl. kommt.

Grosse Zuflüsse von Karstwässern sind auch bei der Aushebung tiefer Baugruben möglich. Das zeigt der Fall bei der Anlage der Hydrozentrale in Nové Mesto n/Váhom, wo es für die Bauleute eine höchst unangenehme Überraschung war, als bei der Eintiefung der Baugrube nach einer Sprengung aus den verkarsteten Kalken ein starker Wasserzufluss hervorbrach, der bis 1200 l/sec erreichte.

Vom Gesichtspunkt des Bauwesens stellt das *Untergebiet der Karstplateaus* (siehe auf Abb. 1. 14 — Slovenský kras. 13a — Stratenská hornatina. 12a — Muránska planina) ganz besondere ingenieurgeologische Verhältnisse dar. Gekennzeichnet sind sie durch öde, hohe Hochplateaus, tief zerschnittene canyonartige Täler, mit intensiver Entfaltung von Schratten, Dolinen, Schluchten, mit weit- und tiefreichenden Systemen von Höhlen und unterirdischen Gängen.

In den Kerngebirgen, wo vorwiegend die festen Gesteine der kristallinen Kerne und ihres mesozoischen Mantels auftreten, bieten zumeist nur die Tonstein- und Mergelsteinschiefer günstige Bedingungen für die Entstehung von Erdbeben; solche Gesteine sind in grosser Menge in den Komplexen der Werfener Schichten, des Karpatenkeupers und der neokomen Serien vertreten und haben in Bezug auf die Stabilität der Hänge schlechtere Eigenschaften.

In den Kerngebirgen, wo meist der zusammenhängende Waldbestand erhalten geblieben ist, die Gesteine des Untergrundes widerstandsfähiger und durchlässiger sind und die quartären Decken-gebilde an den Hängen geringere Mächtigkeit aufweisen, ist auch die Grabenspülung keine typische Erscheinung. Eine intensive Hangerosion wird bloss in einem Teil der Strážovská hornatina und im südlichen Vorland des Gemerské rudohorie beobachtet.

Die grosse Mannigfaltigkeit des Reliefs der Kern-Mittelgebirge spiegelt sich unmittelbar auch in der Besiedlung des Gebietes und in der Verteilung der Bauanlagen ab. Diese konzentrieren sich hauptsächlich in den Tälern der Flüsse und in den zahlreichen, von den Gebirgen eingeschlossenen Erosionsbecken und -furchen, die der Kommunikation gut zugänglich sind. An den weniger zugänglichen Orten findet man bloss eine sporadische Besiedlung, hervorgerufen durch die Entfaltung der Förderung von Mineralen, bzw. der Nahrungsmittelindustrie; hier kam es zur Entfernung der ansonsten

gut zusammenhängenden Waldbestände und zur Degradation der am meisten verbreiteten braunen Waldböden zu Podsol-Böden.

Im Gebiete der Kern-Mittelgebirge sind ziemlich geeignete Bedingungen für den Aufbau von Kommunikationen. Die gesamtstaatlich durchgeführte, übersichtliche Registration der Erdrutsche zeigte, dass es hier nur in geringem Masse zu einer Störung der Stabilität der Hänge kommt; der Bau moderner Kommunikationen — Autobahnen und Eisenbahnen — erfordert jedoch beträchtliche Erd- und Felsarbeiten, hohe Dämme, tiefe Einschnitte und häufige Tunnel. Der Aufbau grösserer Siedlungen und Industrieobjekte kann sich nur in den grösseren Erosionbecken und im flachen Vorland der Gebirge entfalten. Viele, für den Aufbau grosser Talsperren sehr vorteilhafte Profile können nicht ausgenutzt werden, weil die Täler dicht besiedelt sind und Industriezentren bilden.

B — Ingenieurgeologische Verhältnisse in der Region des Karpatenflysches

Die Region des Karpatenflysches bildet eine zusammenhängende Zone am Aussenrande der Westkarpaten (die sogen. Flysch- und Klippenzone) und greift mit weitreichenden Ausläufern tief in die Zentralkarpaten ein. Im Vergleich mit der vorhergehenden Region treten bei ihr folgende charakteristische Züge in den Vordergrund: Vor allem bildet ihr Gebiet ein einheitlicheres Ganzes. Ihr Falten-Deckenbau, der durch die neogene Senkungstektonik vollendet wird, ist einfacher und der allgemeine Grad der tektonischen Störung der Gesteinskomplexe ist niedriger. Der lithologische Inhalt ist wesentlich einfacher und monotoner: eine dominante Stellung nehmen die Gesteinskomplexe der Flyschformation ein und von diesen ist der typische rythmische Tonstein-Sandstein-Flysch am verbreitetsten.

Alle diese Tatsachen zeigen sich in vollem Masse auch in den weiteren grundlegenden Komponenten der ingenieurgeologischen Verhältnisse: in der aussergewöhnlich hervortretenden Makroanisotropie der Gesteinsmassive des Flysches, in der beträchtlichen faziell-lithologischen räumlichen Gleichförmigkeit, im eigenartigen Charakter der unterirdischen Wässer, im weniger gegliederten Relief, in der Entfaltung charakteristischer gegenwärtiger geologischer Prozesse usw.

Obgleich dieser besondere geologisch-tektonische Charakter der Gesteinskomplexe der Flyschformation einen hohen Grad innerer Gleichartigkeit (die genetisch durch ihre Entstehung in einer abgeschlossenen Entwicklungsstufe der Karpatengeosynklinale bedingt ist), besitzt, kann man doch dank ihrer weiteren Gestaltung unter differenzierten Bedingungen der tektonischen Entwicklung in der Region des Karpatenflysches drei *ingenieurgeologische Subregionen* abteilen und zwar: Die äusseren Flyschkarpaten, die Klippenzone und die inneren Flyschkarpaten.

Vom ingenieurgeologischen Gesichtspunkt betrachten wir es für zweckmässig in der *Flyschformation* einige grundlegende faziell-genetische Komplexe abzutheilen und zwar: litorale grobdetritische Sedimente in der Entwicklung basaler Konglomerate und des „wildes“ Flysches, neritische bis sublitorale detritische Sedimente in vorwiegender Sandsteinentwicklung und in der typischen Entwicklung des rythmischen Flysches, feindetritische Sedimente in der Entwicklung schieferiger Tonsteine bzw. Mergelsteine (mit Sandsteineinlagen).

Die basalen Konglomerate stellen einen lithologisch wenig gleichartigen Komplex dar. Ihre technischen Eigenschaften sind hauptsächlich vom Charakter des karbonatischen, resp. tonig-mergeligen Bindemittels abhängig. Durchlässig sind sie bloss

längs der Spalten. Sie trotzen gut der Verwitterung und bilden morphologisch aktive Mesoreliefformen.

Die Flyschentwicklungen der Sand- und Tonsteine (event. Mergelsteine) sind lithologisch heterogene und anisotrope Massive, deren Eigenschaften von Anteil und Wechsel der einzelnen Komponenten abhängig sind. Die Sandsteine mit kalkigem, bzw. auch kieseligem Bindemittel haben eine sehr veränderliche Festigkeit und Beständigkeit, sind stark von Spalten durchdrungen und infolgedessen beträchtlich durchlässig. Ihre physikalisch-tektonischen Eigenschaften verschlechtern sich wesentlich, wenn das Bindemittel tonig-mergelig ist. Manchmal vergrößert sich der Anteil der karbonatischen Komponente und das Gestein erlangt den Charakter eines sandigen Kalksteins. Zur Illustration führen wir die ausführlicheren Ergebnisse der Prüfungen des paläogenen Sandsteins an. Die Tonstein- und Mergelsteinschiefer sind halbfelsige Gesteine mit deutlicher Anisotropie, beträchtlich zusammendrückbar, praktisch undurchlässig, sie verwittern schnell, in Berührung mit Wasser erweichen sie und werden breiig. Sie produzieren mächtige Verwitterungsdecken und Deluvien, für welche die Entwicklung von flächenhaften und stromartigen Erdrutschen typisch ist.

B-c, d — Gebiete der Flysch-Gebirge und Bergländer

Die Flyschgebirge breiten sich in einem mächtigen, mit der Aussenseite gegen Norden gerichteten Bogen an der Aussenseite der tschechoslowakischen Karpaten aus. Von den Kerngebieten unterscheiden sie sich durch einen im ganzen einfacheren tektonischen Bau, in der Hauptsache jedoch durch die einförmigere lithologische Zusammensetzung, was sich bei der Formung des Makro- und Mikroreliefs in einer beträchtlichen morphologischen Einförmigkeit widerspiegelt: in einseitig gerichteten konvexen, und auch erniedrigten Formen, in der allgemeinen Richtung des Wassernetzes usw. Die Energie des Reliefs ist hier niedriger, es überwiegen Höhenunterschiede 200—500 m rel., die dem Bergland und dem niedrigeren Gebirgsland entsprechen; der allgemeine Charakter des Geländes zeichnet sich durch sanfte und weiche Formen, flache Berggrücken, massive Gebirgsgruppen, breite subsequente Täler mit sanften Hängen aus; letztere erweitern sich oft zu Erosionsbecken und -furchen auf den weichen, schieferigen Schichtfolgen. Bloss dort, wo widerstandsfähigere Schichtfolgen von Sandsteinen und Konglomeraten austreichen, entblösste die selektive Denudation steilere hohe Rücken, oft bis monoklinale Questen, die durch tiefe Durchbruchstäler der Querläufe zerschnitten sind.

Dank der intensiven Verwitterung sind die Flyschgesteine meist mit mächtigen Deluvien bedeckt. Die geringe Durchlässigkeit des Untergrundes bewirkt, dass der Grossteil der Niederschlagswässer (jährlich 800—1300 mm) rasch abfließt, besonders dort, wo der ursprünglich zusammenhängende Waldbestand gestört wurde.

Von den technisch wichtigen geologischen Prozessen hat die über weite Flächen verbreitete Hangerosion die grösste Bedeutung, die zusammen mit den plötzlichen Veränderungen der Gesteinssättigung mit Wasser die aussergewöhnlich intensive Entwicklung von flächenhaften und stromartigen Erdrutschen bedingt.

In der Flyschzone der Westkarpaten entwickelte sich die intensivste Hangerosion in den entwaldeten, landwirtschaftlich ausgenutzten Vorgebirgen der Biele Karpaty, ferner in den Gebirgszügen Myjavská pahorkatina, Javorníky, im Vorgebirge der Slovenské Beskydy, Kysucká und Oravská vrchovina und in einem beträchtlichen Teil von Lubovnianska, Šarišská und Ondavská vrchovina. Sehr günstige Bedingungen für die Erosion schaffen hier die mächtigen Hanglehme auf den vorwiegend Tonstein-Mergel-

stein-Komplexen des wenig durchlässigen Untergrundes, sowohl wie auch die intensiven Niederschläge und der Oberflächenabfluss beim Schmelzen der Schneedecke.

Im Gebiete der Flyschgebirge konzentriert sich der wesentliche Teil der registrierten *Erdbeben* hauptsächlich dank der Tatsache, dass gerade hier die verhältnismässig ungünstigen Eigenschaften der Gesteine, des Reliefs, die Dichte und Anordnung des Flussnetzes, sowohl wie die hohen atmosphärischen Niederschläge in ihrem komplexen Zusammenspiel optimale Bedingungen für die Tätigkeit der erdbebenbildenden Faktoren schaffen.

Vom Gesichtspunkt der Erdbebenentwicklung kann man hier drei Arten von Schichtfolgen des Flysches unterscheiden: a) grober Flysch mit vorwiegenden Sandsteinen und Konglomeraten, wo sich Erdbeben sehr selten bilden; b) Grobrhythmischer Flysch, wo mächtigere Lagen von Sandstein und schieferigen Tonsteinen, Siltsteinen und Mergelsteinen wechsellagern. In solchen Gebieten kommen Erdbeben häufiger vor; c) Am zahlreichsten sind die Erdbeben im kleinrhythmischen Flysch, der aus schieferigen Schichtfolgen von Tonsteinen, Siltsteinen und Mergelsteinen zusammengesetzt ist, die mit dünnen Sandsteinbänken wechsellagern. Dieser Flysch tritt hauptsächlich in den Hängen am Fusse der Gebirge auf, in ihm wurden die Talsohlen der kleineren Becken modelliert. Hier konzentriert sich der wesentliche Teil der Erdbeben. Die vorwiegenden Typen von Erdbeben sind im Karpatenflysch die flächenhaften und stromartigen Erdbeben. Bei den meisten registrierten Erdbeben auf Flysch verläuft die Rutschfläche zumeist längs der Grenze der quartären Decken-gebilde, bzw. der Eluvien und des Untergrundes. Nur in Ausnahmefällen greift sie auch in den Untergrund ein.

Wegen der verhältnismässig rauen Naturbedingungen in den höheren, bewaldeten Teilen der Flyschgebirge, ist die Besiedlung sehr spärlich. Der Aufbau konzentriert sich hier in die flachen Vorgebirge von Berglandcharakter, in die grösseren Erosionsbecken und -täler. Fast immer stösst man bei den Bauarbeiten auf Schwierigkeiten in Verbindung mit der Sicherung der Stabilität der Hänge, mit der Entwässerung der Baugrundböden und gleichzeitig mit der Sicherung ständiger Bezugsquellen an Trink- und Industrierwasser.

C. Die ingenieurgeologischen Verhältnisse in der Region der neogenen Vulkanite

Der subsequente Undationsvulkanismus (M. K u t h a n 1948) konzentrierte sich an der Innenseite des Karpatenbogens und war genetisch mit den grossen Senkungs- bewegungen in diesem Raume verbunden. Die grösste Intensität erreichte er im Torton und Sarmat. An ihn knüpften im Pliozän—Quartär die Kundgebungen des basaltischen finalen Vulkanismus an, der jedoch schon wesentlich geringere Reichweite hatte. Dank der beträchtlichen geologisch-tektonischen Einheitlichkeit der neovulkanischen Gesteinskomplexe, die sich in dem verhältnismässig kurzen und tektonisch einheitlichen Zeitabschnitt der neuzeitlichen Entwicklung der Westkarpaten gebildet haben, repräsentieren sie eine eigene geologische Formation; in mehreren Phasen treten in ihr abwechselnd Effusiva von Rhyolith-, Andesit-, bzw. Dazittypus auf.

Weitaus das grösste Übergewicht innerhalb der *Formation der Neovulkanite* haben die Andesite und deren Pyroklastika, welche die mächtigen vulkanischen Gebirge der Mittel- und Ostslowakei aufbauen. Die Vulkanite stellen hier vom Gesichtspunkt der Ingenieurgeologie einen petrographisch im ganzen sehr ungleichartigen Komplex dar. Das vulkanische Material gelangte durch Luft- und Wassertransport auch in die sedimentären Schichtfolgen entfernterer Gebiete, wo es in neogene Komplexen,

hauptsächlich in Form von Tuffiten, auftritt. Grosse Massen tuffitischer Gesteine wurden insbesondere an den Rändern der rasch denudierten vulkanischen Gebirge aufbereitet. Die Folge einer solchen Entwicklung ist, dass — zum Unterschied von dem charakteristischen stratovulkanischen Aufbau und der grossen faziell-lithologischen Mannigfaltigkeit der Gebirgsmassive in den zentralen Teilen der Region — in ihren Randpartien (besonders an der Südseite heute eintörmigere Fazien feinkörniger Tuffe und Tuffite vorherrschen. Dies spiegelt sich selbstverständlich auch in den Reliefformen und in den übrigen Komponenten der ingenieurgeologischen Verhältnisse wieder.

Die Mehrzahl der Fels- und Halbfelsgesteine der neovulkanischen Komplexe hat sehr gute Eigenschaften als Bau-, bzw. Dekorationsmaterial und wird in den verschiedenen Zweigen des Bauwesens reichlich ausgenutzt. Als Baugrundboden — ausser der bereits erwähnten Ungleichartigkeit — sind die neovulkanischen Gesteine häufig durch tektonische Störung (Dislokationsstörungen, dichte tektonische Spalten), damit in Zusammenhang stehenden Erscheinungen der hydrothermalen Umwandlung (z. B. zersetzte Propylite), sowohl wie unregelmässiger Oberflächenverwitterung, entwertet. Für die mittelslowakischen Vulkanite ist kennzeichnend, dass man eine durchdringende Störung des Untergrundes am häufigsten in den niedrigsten tektonisch prädisponierten Teilen der Täler antrifft; durch eine tiefgreifende Gesteinszersetzung sind die Verwitterungsrinden auf den Relikten alter neogener Verebnungsflächen gekennzeichnet, die häufig unter den jüngeren sedimentären und auch vulkanischen Gesteinen begraben sind.

Die physikalisch-mechanischen Eigenschaften der neogenen Effusiva sind von vielen, petrographisch bedingten Umständen abhängig; im allgemeinen günstigere Eigenschaften haben die feinkörnigeren, strukturell homogenen, basischeren und kompakteren Typen, besonders die feinkörnigen pyroxenischen, vitrophyrischen und basaltoiden Andesite und Basalte (Abb. 3, Tab. 1). Einer grossen Variabilität der technischen Eigenschaften begegnen wir bei den halbfelsigen Tuffen, Aschentuffen bis agglomeratischen Tuffen und Tuffiten (pelitische bis blockartige Tuffite).

C-e — Gebiete der vulkanischen Gebirgsländer

Die vulkanischen Gebirge der Mittel- und Ostslowakei haben meist ein sehr junges und stark gegliedertes Relief von Gebirgsland- und höherem Bergland-Typus. Ihre Form erhielten sie im wesentlichen (unter Zusammenwirkung der neotektonischen Differenziations-Hebungs-Senkungs-Bewegungen) von der rasch fortschreitenden Erosion, die die ursprünglichen Formen der neogenen Stratovulkane vollkommen aufbereitet hatte und durch selektive Modelation ein sehr buntes, mosaikartiges (oft inverses) Relief schuf. An mehreren Orten, besonders jedoch in Pohronský Inovec und im Kremnické pohorie, blieben verhältnismässig ausgedehnte Reste oberneogener Verebnungsflächen mit tiefen und unregelmässigen Verwitterungsrinden (R. Ondrášik 1966) erhalten, in denen dann die Baugrundböden verschlechterte physikalisch-mechanische Eigenschaften aufweisen.

Die an Andesit-, Rhyolith- und Basaltkörper gebundenen Formen sind morphologisch aktiv, bilden meist elliptische, oder auch unregelmässig langgedehnte Hügel mit Felswänden, die aus sanften, auf vulkanischen Tuffen und Tuffiten sanft modellierten Hängen emporragen. Ihren Fuss säumen mächtige lehmig-steinige Schuttablagerungen. Die quartären Deckengebilde der Hänge bilden zumeist ein 0.5—3 m mächtiges, sandig-toniges Deluvium. Verbreitet sind hier tiefe, meist pleistozäne Schollen-Erdbecken der Vulkanite längs des plastischeren tuffitischen, resp. tonig-sandigen

Liegenden. Das Klima ist warm und mässig trocken bis mässig warm und feucht; die jährlichen Niederschläge betragen 650—1000 mm.

Die Besiedlung ist verhältnismässig schwach, mit Ausnahme der bergmännischen Bereiche im Kremnické und Štiavnické pohorie. Sie konzentriert sich hauptsächlich in zahlreichen kleineren Erosionsbecken und -furchen, wo das Bauwesen im allgemeinen günstige ingenieurgeologische Bedingungen hat. Im Štiavnické pohorie wurden viele alte Staubecken gebaut, die bis heute Zeugnis ablegen — nicht nur von der Baumeisterkunst unserer Vorfahren, sondern auch von den guten Eigenschaften der vulkanischen Gesteine als Baugrundböden für hydrotechnische Werke. Die im ganzen günstigen physikalisch-technischen Eigenschaften der Neovulkanite bilden auch geeignete Bedingungen für den Aufbau von Landstrassen und Eisenbahnen. Wenngleich das gegliederte Relief tiefe Einschnitte und häufige Tunnels erfordert, so weisen die Gesteine gute technische Eigenschaften und Stabilität auf; in den hier vorkommenden Rhyolithen sind z. B. lange Tunnelstrecken, in denen eine Ummauerung als unnötig befunden wurde.

Die Andesite, Rhyolithe, Basalte und deren Tuffe bilden ein sehr gutes Baumaterial und können als Vorratskammer von Bausteinen, auch für andere Gebiete, betrachtet werden.

C-I — Gebiete der vulkanischen Bergländer

Wesentlich abweichende ingenieurgeologische Verhältnisse findet man in den südslowakischen vulkanischen Bergländern. Den Untergrund bilden hier mächtige Komplexe vulkanischer Tuffe und Tuffite, die subhorizontal auf den älteren, miozänen und oligozänen tonigsandigen Sedimenten abgelagert sind. In diesen Schichtfolgen finden sich lokal auch verschiedene Andesit- und Basaltkörper (aufbereitete Lavaströme, oberflächennahe Körper, wie z. B. vulkanische Kamine, Gangformen, Lakkolithe usw.), die heute stark hervortretende aktive Reliefformen im ansonsten glatt abgetragenen niedrigen bis höheren Berglandrelief bilden.

Das Bergland Krupinská vrchovina hat die Form einer flachen, gegen Süden geneigten Tafel, die durch ein dichtes, fächerförmiges System von Wasserläufen tief zerschnitten ist. Ihre engen Täler erreichen bis 200 m Tiefe und dank der beträchtlichen Durchlässigkeit des aus Tuffen bestehenden Untergrundes nehmen sie oft die Form von Canyons an. Im nördlichen Teil des Gebietes findet man erhalten gegliederte ausgedehnte Relikte einer nachsarmatischen Verebnungsfläche mit tiefer und unregelmässiger Verwitterungsrinde. Im Cerová-Bergland machen sich im Relief eher differenzierte Formen geltend, die durch selektive Denudation und Blosslegung der härteren vulkanischen Körper entstanden sind.

Das ganze Gebiet hat verhältnismässig warmes Klima, leidet aber durch die Trockenheit (600—700 mm Niederschläge jährlich). Dadurch werden die ansonsten fruchtbaren Böden entwertet und das trägt auch zusammen mit der weitreichenden Entwaldung zur Umwandlung des Gebietes in Steppe, Weidenland usw. bei. Deshalb ist auch die Besiedlung hier ziemlich spärlich mit einer nur schwachen Entfaltung des Bauwesens. Von den gegenwärtigen geologischen Prozessen hat die intensive Spülvirkung der Hangerosion (Š. Bučko, V. Mazúrová 1958) für das Bauwesen die ungünstigsten Folgen. Sie entfaltet sich in mächtigen lehm-sandigen Deluvien und Eluvien schnell verwitternder Tuffe, Tuffite sowohl wie tertiärer Meeressedimente, während ausgiebiger, kurzer Regenfälle.

D. Die ingenieurgeologischen Verhältnisse in der Region der neogenen tektonischen Senkungen

Während des unteren Miozäns, gleichzeitig mit intensiven gebirgsbildenden Prozessen in der Flyschzone, entwickelte sich im Vorland ihrer Decken eine Vortiefe, die mit den molassoiden Sedimenten allmählich ausgefüllt wurde. An der Innerseite des westkarpatischen Bogens entstanden ausgebreitete Subsidenzbecken (Wienerbecken, Pannonisches und Theiss-Becken), in deren am meisten absinkenden Partien sich bis einige Tausend Meter mächtige Komplexe von Molassentypus angesammelt haben. Im Bereich der Flyschkarpaten und der zentralen Karpaten spielten sich während des ganzen Neogens ungleichmässige Hebungsbewegungen ab, die die Entstehung hervortretender Megaantiklinalen zur Folge hatten, welche meist durch tiefe Verwerfungen und Verschiebungen in ihren südlichen Schenkeln von den Megasyklinalen abgetrennt sind; gleichzeitig entstanden innerhalb des Gebirges zahlreiche Subsidenzbecken, deren System sich hauptsächlich im Torton bildete, dank dem Aufleben der tektonischen vertikalen Differenzationsbewegungen. Ihre Verteilung entspricht im Wesen dem heutigen Bild der Verteilung der Becken und tektonischen Depressionen (T. B u d a y 1962).

Die Ausfüllung der neogenen tektonischen Depressionen in den Karpaten bilden die Sedimente der *Molassenformation*. Ihre Charakteristik steht unter dem starken Einfluss der lebhaften syndementären Tektonik, sowohl wie des Vulkanismus, was hauptsächlich in der faziellen Mannigfaltigkeit und Veränderlichkeit der Schichtfolge zum Ausdruck kommt. Man kann in ihr drei faziell-genetisch unterschiedliche Subformationen unterscheiden:

Die *Subformation der molassoiden marinen Sedimente* bildet einige kennzeichnende und faziell-lithologisch sich voneinander unterscheidende Komplexe: Schotter-sandige Komplexe, die stark abgelegen, beträchtlich zersetzt, meist durch tonig-kalkiges Bindemittel schwach verkittet sind, was ihre Durchlässigkeit erheblich erniedrigt; an manchen Orten sind sie durch ein karbonatisches Bindemittel zu Konglomeraten und Sandsteinen von höherer Festigkeit, Tragfestigkeit und erniedrigter Zusammendrückbarkeit verkittet. Die pelitisch-aleuritischen Komplexe mit Lagen von Sanden, (bzw. Sandsteinen) sind epigenetisch verfestigt, meist stark kalkig (Mergel) und undurchlässig. In Berührung mit Wasser werden sie rasch breiig. Kennzeichnend für sie ist der stellenweise erhöhte Gehalt an organischen Stoffen, Lignit, ferner Lagen mit vulkanogenem Material u. ähnl. In den sandigen und schotterigen Lagen findet sich oft artesisches Wasser.

Die fazielle und lithologische Entwicklung der *Subformation der (kontinental-marinen) miozänen Übergangssedimente* ist noch bunter, als in der vorhergehenden Subformation. Ihre faziell-genetischen Hauptkomplexe sind: fluviale bis brackische aus Süßwasser abgelagerte bis brackische lagunär-lacustrische (örtlich auch lacustrisch-fluviatile) Ablagerungen, die aus kalkigen Ton-Silt-Erden bis Mergeln bestehen; Schichtfolgen mit grösserem Gehalt an Tuffiten; Schichtfolgen von Schottern und Sanden, die stellenweise mit karbonatischem Bindemittel fest verkittet sind. Die Eigenschaften der Gesteine sind im ganzen den vorhergehenden ähnlich, der Verfestigungs- und Konsolidationsgrad ist jedoch meist niedriger.

Die *Subformation der lacustrisch-fluviatilen pliozänen Sedimente* bilden hauptsächlich lacustrische Ton-Silt-Schichtfolgen mit Lagen von Sanden (die örtlich einen erhöhten Gehalt an Tuffiten aufweisen) und lacustrisch-fluviatile Schichtfolgen von Schottern und Sanden. Diese Komplexe sind faziell im ganzen gleichartiger. Eine bedeutende Rolle spielen die Schotter und Sande, die ein tonig-siltiges Bindemittel enthalten und

nur lokal durch Karbonate diagenetisch verkittet sind. In den Aufschlüssen sind sie stark verwittert und die Gerölle (mit Ausnahme von Quarz und Quarziten) sind vollkommen zerfallend. Die tonigen und sandig-siltigen Erden sind nur schwach verfestigt, häufig enthalten sie viel an kalkiger Beimengung; sie sind beträchtlich zusammendrückbar und breibildend.

Die neogenen tektonischen Senkungen in den Westkarpaten machten eine komplizierte tektonische Entwicklung durch, deren Eigenartigkeiten sich in unterschiedlichen geomorphologischen, hydrogeologischen u. a. Verhältnissen der einzelnen ingenieur-geologischen Gebiete widerspiegeln; ihre vergleichende Charakteristik wird im nachfolgenden gegeben.

D-g — Gebiete der Innengebirgsbecken

Die Innengebirgsbecken tektonischer Herkunft haben den Charakter tief abgesunkener und durch Verwerfungen begrenzter Brachysynklinalen, bzw. Senkungsbecken. Sie sind zwischen kulissenartig verlaufenden Gebirgsstreifen unregelmässig verteilt und verleihen der Slowakei die Eigenart einer Beckenlandschaft. Die Becken sind ausgefüllt mit tertiären Schichtfolgen der Flyschformation (Sandsteine, tonige Schiefer, Konglomerate) und der Molassenformation (sandig-tonige Ablagerungen, Schotter, Tuffite, u. ähnl.). Auf diesen weichen Gesteinen hatte sich ein wenig energisches Relief gebildet, welches dem Typus eines Hügellandes (30—200 m rel.) entspricht, mit weitreichenden Oberflächenrelikten der mittelploziänen Verebnung, mit flachen, breiten Bergrücken, sanften Hängen und breiten Tälern, welche zahlreiche Bänder der Flussterassen säumen. Die Becken sind mit mächtigen Eluvialböden und Deluvial-Ablagerungen bedeckt, am Fusse der steilen tektonischen Hänge der Gebirge liegt ein zusammenhängender Streifen periglazialer Schwemmlandkegel. Das Klima der Becken ist warm bis mässig kühl. Die Jahressumme der Niederschläge ist 600—900 mm. In die Becken fliesst aus den angrenzenden Gebirgen eine Menge von Wasserläufen herab; hier sammeln sie sich zu grösseren Flüsse, die in tiefen, engen, meist epigenetischen und antezedenten Tälern die Barriere der Gebirge durchbrechen und so die Verbindung zwischen mehreren Becken und Ebenen herstellen.

Dank den günstigen morphologischen, klimatischen und hydrologischen Bedingungen konzentrierte sich seit jeher in den Becken der Grossteil der Besiedlung und auch heute ist hier der Verlauf der gesellschaftlichen, ökonomischen und technischen Entwicklung am intensivsten.

Die ingenieurgeologischen Bedingungen können als sehr geeignet betrachtet werden, insbesondere für den Aufbau von Siedlungen und industriellen Betrieben (mit Ausnahme des Inundationsgebietes der Flusstäler), für Kommunikationsbauten, Derivationskanäle, Fernleitungen u. ähnl. Es gibt jedoch oft Schwierigkeiten in Verbindung mit der Störung der Stabilität der durch die wenig festen Gesteine der Tertiärs und Quartärs gebildeten Böschungen; wie die Registration in J. 1962—1963 zeigte, sind die Erdrutsche in den Becken intensiv entwickelt. Erdrutsche bilden sich auf den Hängen besonders dort, wo diese durch eine intensiv verlaufende Seitenrosion angegriffen werden. Sehr günstige Bedingungen für die Entstehung von Erdrutschen sind besonders an der Grenze von Komplexen mit verschiedenen physikalisch-mechanischen Eigenschaften (grobklastische unverfestigte lacustrische, fluvial-glaziale und fluviale Sedimente, bzw. das schwach sortierte Material der Schwemmlandkegel in den oberen Teilen der Hänge und plastische Komplexe des Paläogen und Neogen im unteren Teil). Den vorherrschenden Erdruschtypus in den innenkarpatischen Becken

bilden die flächigen und stromartigen Erdrutsche an den Hängen des niedrigen Hügellandes, bzw. tiefe Abwärtsbewegungen der Landmassen längs zylindrischer Verschiebungsflächen (in neogenen Sedimenten), welche durch die Seitenerosion der Flüsse (M. Matula, A. Nemčok, J. Pašek, L. Řepka, Špůrek M. 1963, M. Matula, A. Nemčok 1965, Pašek J., Rybář J. 1963) hervorgerufen werden. Von intensiver Hangerosion betroffen sind die hügeligen Landschaften der Becken: Hornonitrianska, Žiarská und Slatinská kotlina; dem dichtesten Netz tiefer und stark verzweigter Spülgräben begegnet man auf den ausbreiteten, sanften Hängen des Ipf-Beckens (Š. Bučko, V. Mazúrová 1958).

Besondere Aufmerksamkeit verdient der Schutz der Bauten gegen die verbreiteten aggressiven Grundwässer (CO_2 , SO_4). Diese Wässer steigen durch das tektonisch gestörte tertiäre Liegende aus tiefen artesischen Sammelbecken auf, die an tief eingesunkene Graben-Schollenstrukturen der verkarsteten und durchwässerten Komplexe der kalk-dolomitischen Formation gebunden sind. Sie stellen ein bedeutendes Problem dar, besonders bei der Tiefbaugründung und bei dem Aufbau hydrotechnischer Werke.

D-h — Gebiete der innerkarpatischen Tiefebene

Die innerkarpatischen Tiefebene haben sich in Zusammenhang mit den mächtigen tektonischen Senkungen der ausgedehnten subsidenten neogenen Becken: des Wiener Beckens, Donau- und Theiss-(Alföld-) Beckens, gebildet. Diese sind mancherorts mit bis einige Tausend Meter mächtigen, tertiären, marinen und lacustrischen Schichtfolgen ausgefüllt. Gegen Ende des Pannons klingt die Subsidenz aus und die Becken werden durch das aus den angrenzenden Gebirgen zugeführte Material ausgefüllt. Lokal erneuern sich noch die Senkungen auch im Levant, hauptsächlich im mittleren Teil des Komárno-Beckens, wo mehr als hundert Meter mächtige, lacustrisch-fluviatile Sedimente abgesetzt werden. Dank einer solchen strukturatektonischen Entwicklung bildete sich ein verebnetes Relief, welches im Pleistozän durch wenig intensive Erosion und periglaziale Solifluktion weiter modelliert wurde. In den Randteilen der Tiefebene entstanden niedrige Hügellandschaften (30–80 m rel.). Sie werden durchschnitten von der pleistozänen Erosion der grösseren Wasserläufe, deren breite Talauen mit Flachrelief zungenartig weit gegen Norden zwischen die Gebirge eingreifen.

Die vorquartären Sedimente in den Tiefebene streichen nur an wenigen Orten an die Oberfläche aus. Sie sind meist mit den mächtigen Terrassen der Flussläufe, und im Hügelland auch durch Lössdecken (10–30 m), verdeckt. Grosse Verbreitung haben hier auch die äolischen Sande, die typische Formen der Dünen und langgedehnten Wehsande bilden, welche an manchen Orten bis 20 m Höhe erreichen.

Die klimatischen Verhältnisse (warmes, trockenes bis mässig feuchtes Klima, 550–750 mm Niederschläge jährlich), die fruchtbaren Schwarz- und Braunböden (vom Typus Tschernosem, Hnedosem), die genügende Menge Oberflächen- und unterirdischen Wassers, welche die Bewässerung ermöglicht, bedingten die dichte Besiedlung der Tiefebene.

Für das Bauwesen sind hier im ganzen sehr günstige ingenieurgeologische Bedingungen. An Schwierigkeiten stösst der Hochbau auf den absackenden Lössen. Die Absackung betrifft in der Hauptsache die stark makroporösen äolischen Löss, die hauptsächlich in den Bereichen unserer Tiefebene typisch entwickelt sind. Bei der Registrierung der Schädigung an Bauten durch Absackung der Löss infolge ihrer Wasseraufnahme, verzeichneten wir am meisten Fälle auf dem Gebiete der hügeligen Löss tafel von Trnava. In der Stadt Trnava selbst war sie die Ursache der Schädigung

einer bedeutenden Zahl von Kohnhäusern, Industriebauten und Landstrassen, z. B. das Entweichen der Wässer aus Kanalisation und Wasserleitung (P. Fabíni 1957). Im Flachland der südslowakischen Tiefebene wird die Entwicklung der Grabenspülung hauptsächlich durch das verebnete Relief verhindert; stark entwickelt ist sie dafür im Hügelland der Niederungen, der sogen. Lössstufen von Trnava, Nitra, Žitava und am Ipel. Ein beträchtlicher Teil der Niederungen und des Hügellandes der Süd- und Ostslowakei ist durch die zerstörende und akkumulative Tätigkeit des Windes betroffen. Für letztere bildet günstige Bedingungen das trockene Klima der Halbsteypen in diesen Gebieten, die grosse Verbreitung sandiger und siltiger fluvialer sowohl wie äolischer Sedimente, die besonders nach frühjahrlichen Auftauen und Auflockerung verhältnismässig leicht durch die vorherrschenden NW Winde überweht werden.

Aus dem Aufbau auszuschliessen sind die breiten, stark unterwässerten Flutgebiete der Flachlandflüsse; Schwierigkeiten verursacht auch die Tatsache, dass auch die Eindämmung der Flüsse nicht hinreicht, das Eindringen des Wassers in das geschützte Gebiet infolge Durchsickerung durch die mächtigen Schichtfolgen der Schotter und Sande zu verhindern. Grosse Dimensionen erreichte hier der Aufbau im Wasserbauwesen — Entwässerungs- und Bewässerungsbauten. Dabei entstehen schwierige Probleme hauptsächlich in Zusammenhang mit den Prozessen der mechanischen Suffosion und Störung der Filtrationsstabilität des Liegenden der Dämme. Diese Prozesse traten in den Vordergrund der Aufmerksamkeit der Fachleute hauptsächlich dann, als sie die Ursache katastrophaler Überschwemmungen wurden, infolge des Durchbruches des Liegenden der Donaudämme und deren Einsturz im Sommer 1965. Beim Aufbau grosser Objekte der Donauebene, besonders im Bereich von Komárno und im Waagtal (V. Kárník 1961), sind auch die Möglichkeiten einer seismischen Bedrohung sorgfältig zu erwägen.

D-i — Gebiete der Vortiefe

Die geologischen, geomorphologischen, sowohl wie hydrogeologischen Verhältnisse sind hier den grossen Innengebirsbecken mit neogener Ausfüllung ähnlicher, als den Gebieten der innenkarpatischen Niederungen. Den Untergrund bilden mächtige miozäne und pliozäne tonige und sandige Schichtfolgen, örtlich mit Lagen stark wasserführender Schotter. Die neogenen Sedimente bilden die Grundboden der üblichen Bauten im Grossteil des Gebietes, dessen Relief den Charakter eines niedrigen Hügellandes mit flachen Höhen und meist nur sanften Hängen hat. Bedeutende Verbreitung haben die pliozänen Flussterrassenstufen, die mit Lösssedimenten von sehr veränderlicher Mächtigkeit bedeckt sind. Grosse Ausdehnung haben die ebenen Talauen der Flüsse (Dyje, Svatka, Morava, Bečva u. a.).

Angesichts der allseitig günstigen Bedingungen konzentriert sich in diese Bereiche die Besiedlung und auch ein umfangreicher Aufbau, der die günstigsten Bedingungen in den Rayons der älteren Terrassen, aber auch im angrenzenden Hügelland, findet; es ist nicht angebracht, ihn in die systematisch unterwässerten Gebiete der Talauen zu erweitern. Von den geologischen Prozessen kommt die grösste Bedeutung den häufig hervorgerufenen Erdbeben, sowohl wie auch der Absackung der Löss, zu.

Beschluss

Wie aus dieser kurzen Übersicht ersichtlich ist, sind die Naturverhältnisse und also auch die ingenieurgeologischen Bedingungen des Aufbaues in unserem Lande sehr bunt

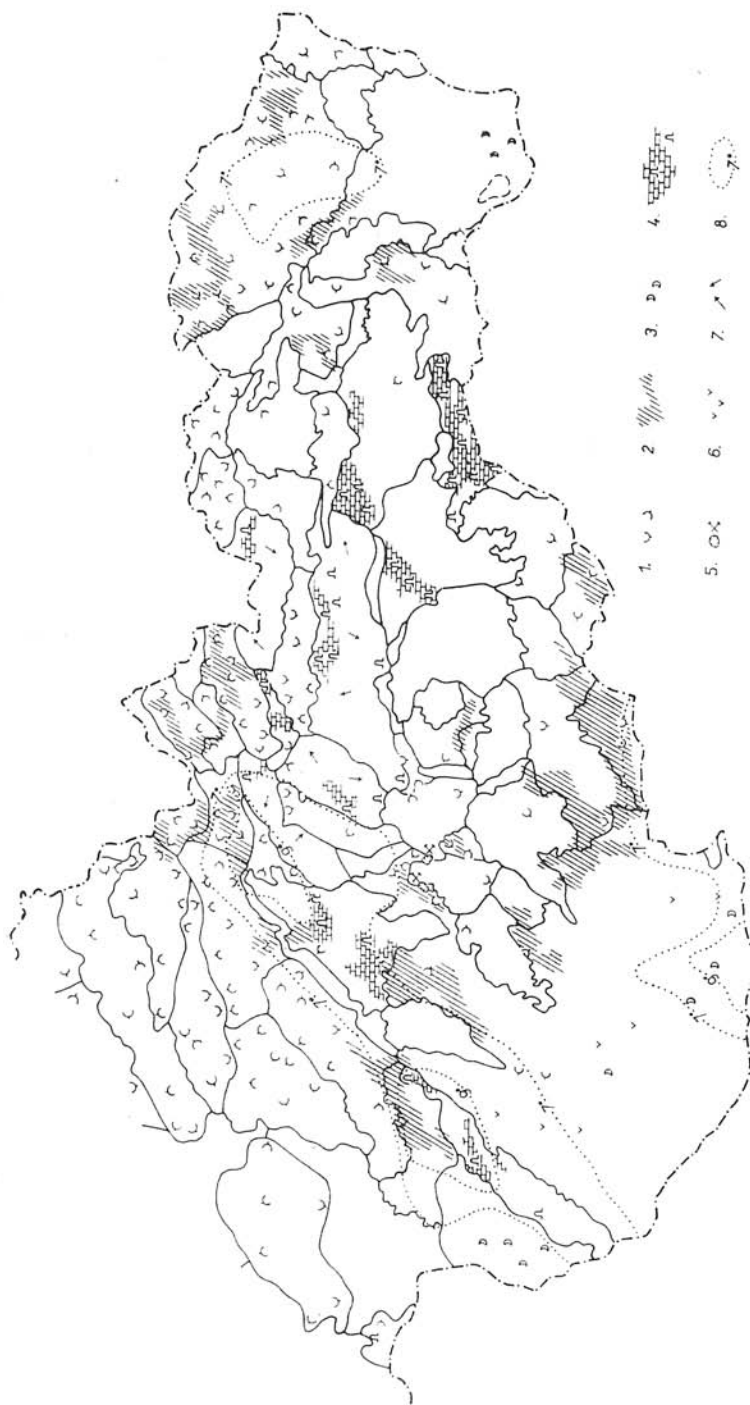


Abb. 4. Schematische Karte der Verbreitung technisch wichtiger gegenwärtiger geologischer Prozesse auf dem Gebiete der tschechoslowakischen Karpaten.

Die abgeteilten Gebiete entsprechen den in Abb. 1 angeführten Beziehungen. 1 — Erdrutschgebiete, 2 — von sehr intensiver Hangerosion betroffene Gebiete, 3 — Gebiete mit aktiver äolischer Tätigkeit (Sandwölungen), 4 — durch Karstprozesse stark betroffene Gebiete, 5 — weitreichender Einsturz der Oberfläche des Gebietes infolge bergmännischer Arbeiten, 6 — Lössabsackung, 7 — durch Schneelawinen bedrohte Gebiete, 8 — durch seismische, 7 °C/MIS übersteigende Erschütterungen betroffene Gebiete.

und kompliziert (Abb. 4). Jede ingenieurgeologische Region und jedes Gebiet sind durch besondere Verhältnisse je nach ihrer Eigenart gekennzeichnet und es bilden sich in ihnen eigene Bedingungen für das Bauwesen, welche wir näher studieren und erläutern, bei ausführlicherer Erkundung der einzelnen ingenieurgeologischen Gebiete und Rayons.

Übersetzt von V. Dlabáčová.

SCHRIFTTUM

- Andrusov D., 1958, 1959, 1965: Geológia československých Karpát I, II, III. Vydav. SAV, Bratislava. — Bučko Š., Mazúrová V., 1958: Výmoľová erózia na Slovensku. Sborn. Vodná erózia na Slovensku, Bratislava. — Buday T., 1962: Tektogeneza neogenných pánví Západných Karpát a jejich vývoj. Geol. práce 63, Bratislava. — Fabiny P., 1957: Vlastnosti spraší a sprašových hĺn v niektorých oblastiach Slovenska. Inžiniersko-geologický výskum, Sborník prác ÚSG 1, Žilina. — Hromádka J., 1956: Orografické trídění Československé republiky. Sborn. čsl. spol. zem. 60, 3–4, Praha. — Janjič M., 1962: Inžiniersko-geološke odlike terena NR Srbije. Zavod za geološka i geofizična istraživanja — Posebna izdanja 12, Beograd. — Kamenov B., Iljev I., Avramova E., Golubov M., Stančeva C., 1963: Inženerogeološka karta na Balgarija M 1:500 000. Izd. Balgar. Ak. nauk, Sofia. — Kárník V., 1961: Die Seismizität der Westkarpaten. Geofys. sborn. 126–145, Praha. — Kuthan M., 1948: Undačný vulkanizmus karpatského orogénu a vulkanologické štúdie v sev. časti Prešovských hôr. Práce St. geol. úst. 17, Bratislava. — Lukniš M., Plesník P., 1961: Nížiny, kotliny a pohoria Slovenska. Osveta, Bratislava. — Mahel M., 1965: Morphotectonic and Structural-Tectonic Division of West Carpathians. Geol. práce, Zprávy 36, Bratislava. — Matula M., 1961: Nový spôsob zostavovania základnej inžiniersko-geologickej mapy. Acta geol. et geogr. Univ. Comenianae, Geologica 7, Bratislava. — Matula M., 1964: Faciálna analýza v inžiniersko-geologickom výskume riečnych náplavov. Sborn. geol. věd, řada HIG 1, Praha. — Matula M., 1965: Regionálna inžiniersko-geologická charakteristika Zvolenskej kotliny. Acta geol. et geogr., Geologica 10, Bratislava. — Matula M., Nemček A., Pašek J., Repka L., Špúrek M., 1963: Sesuvná území ČSSR. Souhrnná závěrečná zpráva. Geofond, Praha. — Matula M., Nemček A., 1965: Verbreitung und Charakter der Rutschungen in Westkarpaten. Carpatho-Balkan Geol. Assoc., VII Congress, Reports parts 5, Sofia. — Matula M., Pašek J., 1966: Zásady inžiniersko-geologického mapování. Sborn. geol. věd, řada HIG 5, Praha. — Mazúr E., 1964: K zásadám geomorfologickej rajonizácie Západných Karpát. Geogr. časopis Slov. akad. vied 16, 3, Bratislava. — Menci V., Samalíková M., 1961: Regionální rozdělení základových půd na Moravě. Manuscript. Brno. — Nemček A., 1957: Vplyv geologických štruktúr na morfológický vývoj údolia Hrona. Geol. zprávy 2, Bratislava. — Ondrášík R., 1966: Metodika inžiniersko-geologického štúdia kôr zvetrávania Slovenska. Manuscript. Bratislava. — Pašek J., Rybář J., 1963: Sesuvy u Handlové. Lidé a země 12, 2, Praha. — Popov I. V., 1961–1965: Inženernaja geologija SSSR I, II. Izd. Mosk. Univ., Moskva. — Roth Z., 1966: Stáří a povaha mezozoických a terciérních tektonických pohybů v čs. vnějších Západních Karpatech. Čas. pro min. a geol. 11, 2, Praha. — R G W — Beständige Kommission für Geologie, 1965: Instrukcia po sostavleniju unificirovannyh osnovnyh inženerno-geologičeskych kart. Berlin. — Záruba Q., 1964: Geologische Erfahrungen beim Bau der Wasserkraftanlagen an der Váh (Waag). Österr. Wasserwirtschaft 16, 11–12, Wien.

Zur Veröffentlichung empfohlen von A. Nemček.