

Inžinerinė geologija • Engineering geology • Инженерная геология

Nuosėdinių uolienuų masyvų inžinerinių savybių ypatumai

Ramutis Bonifacas Mikšys

Mikšys R. B. Peculiarities of engineering behaviour of sedimentary rock mass. *Geologija*. Vilnius. 2004. No. 47. P. 45–53. ISSN 1392-110X

The physical state of layered rock mass, its geomechanical parameters in strength, stress-strain deformations, number of crack systems, etc. are inseparable from the discreteness of an object, which is quantitatively characterized by the values of Rock Quality Designation with respect to space orientation and the direction of mechanical impact. Layered sedimentary mass is always heterogeneous in geomechanical parameters, which are estimated by tests of monoliths approximating the value of some property in a layer. Rocks with different petrographical and mineral composition and other lithological characters show distinct geomechanical indices. Sedimentogenesis, diagenesis and katagenesis during the further stages of geological and tectonical development of the territory are the main factors that determine the geomechanical anisotropy and properties of rocks.

Key words: geomechanical properties, sedimentary rocks, Lithuania

Received 11 June 2004, accepted 13 July 2004

Ramutis Bonifacas Mikšys. Vilnius University,
M. K. Čiurlionio 21/27, Lt-2009 Vilnius, Lithuania

Uolienuų, sudarančių nuosėdines ikikvarterines sluoksnines storymes, geomechaninės savybės yra esminė gelmių inžinerinių geologinių sąlygų dalis. Eksperimentiniais būdais surasti geomechaninių savybių rodiklių įverčiai leidžia kiekybiškai apibūdinti uolienuų parametrus požeminės kasybos, požeminių ertmių įrengimo bei karstinio proceso pažeistų storymių pastovumo ir patvarumo apskaičiavimų reikmėms.

Inžineriniuose geologiniuose tyrimuose požeminės terpės uolienuų fizikinės ir mechaninės savybės aprašomos panašiai, kaip įprasta geotechnikoje, tačiau uolienuų fizinės būklės ir uolienuų deformacijų rodiklių nusakymas yra sudėtingesnis nei geotechnikoje ar gruntų mechanikoje tiriamų dispersinių gruntų – nuosėdų, nuogulų, kitų žemių. Uolienuų masyvų deformacijas lemia daugelis veiksnių ir jų negalima aprašyti klasikiniiais ištisinės terpės ar dispersinių fizikinių kūnų modeliais. Esminis bruožas, apibrėžian-

tis uolienuų terpės deformacijas, yra uolienuų masyvų diskretumas – masyvų vientisumo pažaidos. Uolienuų masyvų deformacijas ir mechanines savybes galima tinkamai aprašyti tik atsižvelgus į uolienuų terpės diskretumą ir ištisumą.

Aiškinaant uolienuų ir jų masyvų fizikinių savybių prigimtį bei tų savybių formavimosi dėsninumus remiamasi postuluojuama nuostata: uolienuų tankumas, poringumas ir diskretumas yra jų genezės, diagenetinių procesų ir katagenetinių pokyčių veikimo rezultatas (Jaeger, 1972; Ломтадзе, 1984). Kiekvienai petrografinei uolienos atmainai, turinčiai genetiškai apibrėžtą mineralinę sudėtį, struktūros ir tekstūros elementus, kitus litologinius ypatumus, yra būdingas tam tikras apibrėžtas fizikinių savybių rodiklių skaitinių verčių diapazonas. Diagenezės procese susiformavusios uolienos fizinės būklės ir savybių kitimas iš esmės gali būti aiškinamas tik katagenezės vaidmeniu teritorijos

geologinės tektoninės raidos etapuose. Gamtinis sutankėjimas nuosėdoms kaupiantis, struktūrinių sąsajų, kitų litifikacijos elementų stiprėjimas, kontaktinio ar bazinio cementavimo struktūros sąlyčio taškuose apraiškos, susieto porų vandens išslėgimas ir kiti uolienos terpėje vykstantys konsolidacijos procesai apibrėžia katagenezės lemiamą fizinės būklės ir mechaninių savybių formavimosi mechanizmą.

Uolienų geomechaninių savybių vertinimuose, kurie atliekami jų formavimosi mechanizmui išaiškinti, svarbu atsižvelgti į fizikinių ir mechaninių savybių įvertinimo skirtynes. Uolienų fizinę būklę nusako komponentinės fizikinės savybės – tankumas, poringumas, drėgnumas, kompaktiškumas. Fizikinės savybės atitinka uolienos petrografinę sudėtį, litifikacijos lygmenį ir yra konsolidacinių kristalizacinių katagenezės procesų veikimo atspindys (raiška). Vienodais geologiniais požymiais apibūdinamos uolienos fizikinės savybės tam tikrame inžineriniame elemente yra statistiškai vienodos ir izotropinės. Uolienos sluoksnio diskretumas beveik neturi poveikio. Monolitiniam gabalui būdinga tam tikros fizikinės savybės rodiklio skaitinė vertė reprezentuoja viso uolienos sluoksnio tos savybės rodiklį. Uolienos masyvo fizinę būklę nusako tos uolienos paskirų gabalų (kerno atraižų ar pan.) fizikinių savybių ribotos imties statistika (vidurkinės vertės, standartiniai nuokrypiai). Čia uolienų masyvo fizikinės savybės apibūdinamos visumos vidurkio pasikliautinąjo intervalo ribų įvertiniais, surandamais iš ribotų imčių elementariųjų statistikų. Fizikinių savybių formavimosi mechanizmas iš esmės yra tapatus ir vertinant paskiro uolienos gabalo, ir diskretaus ar vientiso uolienos sluoksnio fizinę būklę. Todėl fizikinių savybių nusakymui panaudojami bandymų, tyrimų ir matavimų būdai bei metodikos, duomenų apdorojimo metodai skiriasi tik patikimumu ir tikslumu. Panaudojami metodai ir metodikos leidžia objektyviai išmatuoti susiformavusius uolienų komponentų tūrio ar masės santykius bei sudaro prielaidą tam tikru patikimumu apibrėžti uolienos komponentinės sudėties būklę. Nors fizikinės savybės nusakančių rodiklių skaitinės vertės skirtinguose uolienų masyvo taškuose nėra vienodos, bet jos, išmatuotos ištyrus paskirus gabalus ar gręžinių kerno atraižas, sudaro reprezentacines imtis, kurios statistiškai apibūdina visą masyvą. Dažniausiai uolienų fizikinių savybių rodiklių skaitinių verčių skirstiniai aproksimuojami Gauso normaliuoju dėsnio ir nusakomi nepaslinktosiomis statistikomis – imties aritmetiniu vidurkiu ir standartiniu nuokrypiu. Fizikinės savybės rodiklio skaitinės vertės didumas atspindi visą uolienos savybės formavimosi etapą. Kiekvieno konkretaus inžinerinio geologinio sluoksnio uolienos savybės rodiklio vertė yra tam tikru patikimumo lygmeniu įvertintas sluoksnio, kaip statistinės visumos, vidurkis, t.y. visumos vidurkio įvertinys. Kuo

didėsnis uolienos bandinių, paimtų iš konkretaus inžinerinio geologinio sluoksnio, skaičius, tuo didėsnis tokio įvertinio patikimumas. Sankt Peterburgo kasybinės geomechanikos ir markšneiderijos institute atliktus uolienų tyrimus (Фадеев, 1979) paaiškėjo, kad uolienos savybių formavimosi ypatumai nusakomi tokiu patikimumo lygmeniu, kuris priklauso nuo ištirtų bandinių skaičiaus (skliausteliuose): 0,77 (3); 0,86 (4); 0,91 (5); 0,94 (6); 0,96 (7); 0,975 (8); 0,99 (10); 0,994 (12); 0,997 (14); 0,998 (16).

Būtina pabrėžti, kad pateikta išvada apie būtinąją bandinių skaičių atitinka matematinės statistikos pasiklovimo lygmens skalės realizacijas (Sakalauskas, 2003) ir gali būti išplėsta bei taikoma nustatant struktūriniu aspektu nevienodos uolienos bandinio absoliučius matmenis. Norint gauti reprezentacinius duomenis apie uolienos savybių formavimosi vertinimą, būtina, kad tiriamųjų bandinių absoliutus matmenys ne mažiau kaip 15 kartų viršytų uolienos struktūros elementų vidutinius matmenis.

Uolienų fizikinių savybių – sunkumo ir poringumo – formavimosi tendencija, kuri siejama su uolienų sudėties transformacija ir struktūros katagenetinėmis pokyčiais, ryškėja aiškinantis šių savybių rodiklių verčių kitimą ir variaciją Pagirių anhidrito telkinio vertikaliajame geologiniame pjūvyje. Buvo įvertintas karbonatinės, terigeninės ir halogeninės formacijų tinkamumas radioaktyviųjų atliekų laidojimui. Tyrimų duomenys pateikiami 1 ir 2 lentelėse.

Uolienų savitojo sunkio ir poringumo koeficiento vertės, kurios apibūdina šiose formacijose išskirtus inžinerinius geologinius sluoksnius, pateikiamos kaip tiriamosios visumos vidurkių pasikliautinųjų intervalų įvertiniai, surasti iš reprezentacinių imčių ir tenkinantys 0,85 pasiklovimo lygmenį. Šios fizikinių savybių rodiklių vertės yra būdingos uolienoms, kurios yra nusistovėjusio pusiausvyrinio geodinaminio režimo etape, kuriame savo ruožtu jau realizavosi katagenezės sukelti pokyčiai. Šiam litogenezės etapui būdingas normalus geostatinis įtemptumas, santykinai nepakitusi uolienų mineralinio karkaso sudėtis, sustiprėjusios struktūros cementacinės sąsajos ir didelis uolienų kompaktiškumas. Uolienų kompaktišką sandarą formavo du katagenezei būdingi veiksniai: porų erdvės mažėjimas vykstant antrinei konsolidacijai ir augant mineralinio karkaso cementacinių struktūros sąsajų koordinaciniam skaičiui.

Halogeninės formacijos singenetinės fizinės būklės postgenetinius pokyčius vargu ar sukėlė katagenezė. Anhidrito, gipso anhidrito bei gipso tarpkristalinių sąsajų joninė kovalentinė kristalizacinė prigimtis išliko nepakitusi. Halogeninių storiųjų tūrinės deformacijos, kurias sukėlė anhidrito hidratacija, turėjo įtakos tik dengiančių dispersinių moliūgų uolienų antrinės konsolidacijos eigai ir cementacinių sąsajų mineralinės sudėties pokyčiams.

1 lentelė. Ikkvarterinės karbonatinės ir terigeninės storumės inžinerinių geologinių sluoksnių geomechaniniai parametrai (pasiklovimo intervalo nepalankiausiųjų rėžių įvertiniai, pasiklovimo lygmuo 0,85)

Table 1. Geomechanical parameters of engineering geological layers in carbonatic and terrigenous bedrock (unfavourable limits of confidence interval, confidence level 0.85)

Inžinerinio geologinio sluoksnio (IGS) Nr.	Sluoksnio geologinis indeksas	IGS litologinė sudėtis	Savitasis sunkis, γ [kN · m ⁻³]	Poringumo koeficientas, e [1]	Sankiba kerpanant, c [kPa]	Vidinės trinties koeficientas, $\tan \varphi$	Sankiba TX gniuždant, c_{TX} (kPa)	Vidinės TX trinties koeficientas, $\tan_{TX} \varphi$	Stiprumas gniuždant, σ_c [MPa]	Stiprumas tempiant, σ_T [MPa]	Tvirtumo koeficientas, f_R [1]	Kasybos sunkumo rodiklis, Π_f [1]	Odometrinis deformacijų modulis, E_{ocd} [MPa]	Puasono skaičius, μ [1]
Karbonatinė storumė														
16	K_2t	Kreidos mergelis	18,82	0,90	21	0,310	19	0,325	0,96	0,22	0,60	1,01	58	0,28
17	K_2t	Kreida	18,75	0,92	18	0,405	-	-	0,72	0,15	0,48	1,00	65	0,24
18	K_2t	Smėlinga kreida	18,94	0,88	14	0,415	-	-	0,89	0,13	0,50	1,01	72	0,22
Terigeninė storumė														
19	K_2cm	Molingas aleuritas	21,88	0,45	48	0,575	80	0,465	0,32	0,04	0,33	1,12	42	0,32
20	K_2cm	Labai smulkus cementuotas smėlis	11,16	0,55	3	0,625	-	-	0,04	0,01	0,12	1,05	50	0,30
21	K_j	Silpnai cementuotas aleuritas	20,62	0,62	28	0,470	32	0,450	0,30	0,06	0,34	1,05	45	0,30
22	K_j	Aleuritas	19,45	0,70	11	0,680	-	-	0,05	0,01	0,13	0,98	38	0,32
23	K_j	Cementuotas aleuritas	19,85	0,68	46	0,380	55	0,355	0,28	0,06	0,32	1,02	56	0,31
24	J_3ox	Aleuritas su organine medžiaga	18,60	0,76	140	0,445	155	0,500	0,65	0,17	0,49	0,97	52	0,35
25	J_3ox	Aleuritingas molis	19,55	0,66	175	0,520	-	-	0,80	0,12	0,55	1,03	49	0,30
26	J_3d	Smulkus smiltainis	20,01	0,61	418	0,652	-	-	6,55	1,22	1,70	1,41	155	0,11
27	T_1tr	Molingas mergelis	22,93	0,33	565	0,725	-	-	2,21	0,58	0,94	1,29	205	0,18
28	T_1pl	Aleuritingas litifikuotas molis	21,97	0,39	610	0,620	425	0,590	2,37	0,62	0,97	1,25	150	0,28
29	T_1pl	Litifikuotas molis	22,08	0,41	685	0,605	520	0,565	3,09	0,75	1,12	1,30	197	0,21
30	T_1nm	Argilitizuotas molis	22,30	0,38	750	0,585	615	0,595	3,84	0,88	1,26	1,36	214	0,18
31	T_1nm	Molingas smiltainis	20,04	0,52	305	0,700	365	0,665	6,12	0,97	1,64	1,37	183	0,12

Inžinerinio geologinio sluoksnio (IGS) Nr.	Sluoksnio geologinis indeksas	IGS litologinė sudėtis	Savitasis sunkis, γ [kN · m ⁻³]	Poringumo koeficientas, $e \times 10^{-3}$ [1]	Stiprumo parametrai veikiant vertikaliajai jėgai				Stiprumo parametrai veikiant horizontaliajai jėgai						Tvirtumo koeficientas, f_r [1]	Geomechaninės anizotropijos rodiklis, I_{an} [1]	Kasybos sunkumo rodiklis, Π_f [1]
					Stiprumas gniuždant ritinį [MPa]	Stiprumas gniuždant ritinį (SRM), σ_c [MPa]	Stiprumas tempiant (Frocht), σ_{Tf} [MPa]	Sankiba kerpanč, c (MPa)	Vidinės trinties koeficientas, $\tan \phi$	Stiprumas gniuždant ritinį [MPa]	Stiprumas gniuždant ritinį (SRM), σ_c [MPa]	Stiprumas tempiant (Frocht), σ_{Tf} [MPa]	Sankiba kerpanč, c (MPa)	Vidinės trinties koeficientas, $\tan \phi$			
32	P _{pr}	Gipsas	22,29	8,5	15,24	4,87	4,31	0,602	14,85	3,42	3,47	3,56	0,802	2,77	1,42	2,12	
33	P _{pr}	Gipsoanhidritas	23,65	7,2	20,22	3,96	4,47	0,910	18,58	4,65	4,78	4,65	0,749	3,28	1,27	2,45	
34	P _{pr}	Dryžuotasis anhidritas	28,52	4,3	56,42	7,14	9,48	1,148	52,68	7,42	7,57	9,98	1,129	5,95	1,06	4,45	
35	P _{pr}	Dėmėtasis anhidritas	29,23	2,8	68,45	9,35	12,64	1,165	60,47	8,55	8,69	11,34	1,130	7,06	1,07	5,06	
36	P _{pr}	Gipsas	22,94	6,3	25,15	4,95	5,58	0,605	18,22	3,20	3,34	3,82	0,985	3,74	1,38	2,66	
37	P _{nk}	Kaverminga klintis	22,88	-	16,05	3,45	3,72	0,846	12,23	1,90	1,87	2,41	1,071	2,85	1,31	2,12	

2 lentelė. Halogeninės sulfatinės stovmės ir ją aslojančios karbonatinės stovmės inžinerinių geologinių sluoksnų geomechaniniai parametrai (pasiklovimo intervalo nepalankiausių rėžių įvertiniai, pasiklovimo lygmuo 0,85)

Table 2. Geomechanical parameters of engineering geological layers in halite sulphate beds and underlying carbonatic beds (unfavourable limits of confidence interval, confidence level 0.85)

Aiškinantis nuosėdinių uolienų geomechaninių savybių formavimosi klausimus, panaudojami mechaniniais laboratoriniais bandymais įvertinti bandinių stiprumo ir deformacijų parametrai. Įprasta, kad šie parametrai pateikiami ir nusakomi apibrėžtomis paskiromis nominaliomis vertėmis, neaptariant jų suradimo būdo, įvertinimo metodikos bei jų adekvatumo realioms sąlygoms bei teorinėms prielaidoms. Iš apibrėžties aišku, kad bet kuris geomechaninis parametras savo verte kiekybiškai nusako tam tikrą uolienos savybę – gebą deformuotis ir gebą priešintis mechaninei jėgai. Uolienos reakcija – deformacija, formos ir matmenų pokytis ar irsmas – išmatuojama, kaip kad išmatuojamas jėgos ar mechaninio poveikio didumas ar intensyvumas. Todėl geomechaninio parametro vertė nusako tam tikrą griežtai apibrėžtą jėgų ir poveikių sukeltą įtempių ir deformacijų būklę. Geomechaninis parametras šia prasme yra fizikinis dydis – savybės rodiklis, kurio skaitinė vertė surandama ar išmatuojama tam tikru tikslumu ir įvertinama su tam tikra paklaida. Antra vertus, parametro, kaip fizikinio dydžio, skaitinė vertė priklauso nuo poveikio imitavimo būdo (tyrimo metodo), nuo mechaninių reakcijų tyrimo ir matavimo procedūrų (metodikos), taip pat nuo tyrimo duomenų apdorojimo būdo ir duomenų analizės tvarkos.

Duomenų apdorojimo procedūra leidžia įvertinti ne vien matavimo klaidas ar statistinį tyrimo objekto nevienodumą. Ji apėmia ir kitą labai svarbią analizės sritį – mechaninio poveikio ir uolienos mechaninės reakcijos teorinio modelio atitikties imituojamą modelį vertinimą. Šiuo požiūriu ypač svarbu, kad bandymo metu imituojama uolienos kritinė įtempių ir deformacijų būklė turi būti adekvati tam konkrečiam geomechaniniam ar matematiniam modeliui, kurį determinuoja konkreti deformacijų ir ribinės būklės teorija. Jeigu bandymų metodas, metodika ir duomenų apdorojimo procedūros nebus adekvačios formaliems geomechaninio modelio reikalavimams, tokių bandymų rezultatai bus bevečiai aiškinant savybių formavimosi mechanizmą, tiriant parametru verčių kitimo geologinėje erdvėje dėsninumus.

Tyrimų metodo, metodikos ir duomenų apdorojimo būdų poveikio uolienų geomechaninių parametru vertėms ištyrimas yra svarbiausia grandis vertinant savybių for-

mavimosi mechanizmą ir tendencijas. Išaiškinus, kaip ir kokių laipsnių skiriasi uolienu savybių įverčiai dėl grynai subjektyvių priežasčių – nuo tyrėjo pasirinkimo ar tyrimų užsakovo valios ir interesų pasirenkant ar nustatant konkrečios savybės tyrimų būdą, metodiką, duomenų apdorojimo principus, – uolienu tyrimai kasybos ir požeminės erdvės inžinerinio įsisavinimo reikmėms atliekami vadovaujantis Tarpautinės uolienu mechanikos draugijos (ISRM) siūlomais būdais. Kitur vadovujamasi nacionaliniais normatyviniais dokumentais. Skirtingais būdais surasti uolienu geomechaninių savybių įverčiai dažnai skiriasi savo skaitinėmis vertėmis taip, kad skirtumai perdengia jų standartinių nuokrypių didumą. Jau vien todėl tokie įverčiai, suplakti į vieną imtį, daro ją nekorektišką. Juolab tokių imčių statistinės analizės negalima panaudoti savybių formavimosi dėl gamtinių ar technogeninių veiksnių poveikio aiškinimams.

Kaip ir kokios įtakos turi tyrimo metodas ar metodika? Šiam subjektyviam poveikiui įvertinti buvo tirti uolienos bandiniai, beveik vienodi savo sudėtimi ir fizinės būklės požymiais. Geomechaniniams bandymams ypač svarbu naudoti bandinius, paimtus iš masyvo, kuriame uolienos fizinės būklės rodiklių verčių sklaida kuo mažiausia, uolienos sudėtis ir sandara vienodžiausia, o izotropiškumas didžiausias. Tokia eksperimento sąlygas tenkinanti uoliena – Varėnos rūdų telkinio nuosėdinės dangos geologiniame pjūvyje 160,5–163,0 m gylio tarpsnyje slūgsanti kreida (K_2t). Geostatistiškai dekonsoliduotų gamtinio drėgnumo ir nepažeistos sandaros monolitinių bandinių fizinės būklės rodiklių skaitinių verčių sklaida apibūdina šią uolieną kaip ypač vienodą, be struktūros defektų, statistiškai labai vienodo tankumo, drėgnumo, poringumo ir kompaktiškumo. Iš gręžinių pakelti ištisiniai bandiniai – be aižų, plyšių ir tarpų, masyvos tekstūros. Trapumo rodiklio ir tvirtumo koeficiento vertės šią uolieną apibūdina kaip platinę trapų irsmo deformacijų ir santykinai trapių struktūrinių sąsajų geomechaninį modelį.

Įvertinamąja uolienos savybe pasirinktas uolienos stiprumas yra išbandomas laboratoriniais būdais ir nusakomas Kulono-Navje lygties parametrais – sumine sankiba c (MPa) ir vidinės trinties koeficientu $\tan \varphi$ (vnt. d). Šis stiprumo teorijos atvejis tenkina kreidos bandinių plastinio trapaus irsmo Kulono-Moro kriterijų ir yra aprašomas efektyviųjų šlyties įtempių bei svarbiausiųjų įtempių ribinio santykio dėsniais (Handin, 1969; Vavro, Hofrichter, Petroš, 1984). Todėl uolienos stiprumą nusakantiems parametrams c ir $\tan \varphi$ surasti parinktos tokios geomechaninių bandymų schemas:

1 – tiesioginiai stiprumo kerpančios įvertinimai (1A – plokštuminis greitas kirpimas su konsoliduoto dre- nuoto bandinio kontroliuojama deformacija; 1B –

įžambusis greitas kirpimas su nekonsoliduoto dre- nuoto bandinio kontroliuojamu deformacijos greičiu; 1C – nekonsoliduoto nedre nuoto bandinio greitas triašis gniuždymas stabilometre); bandymų duomenys apdoroti mažiausiųjų kvadratų būdu.

2 – stiprumo gniuždant ir stiprumo tempiant bandymai (2A – ritinio gniuždymo ISRM metodu ir tempimo Karneiros metodu schema; 2B – prizmės gniuždymo ISRM ir tempimo Frochto metodu schema); bandymų duomenys apdoroti Moro gaubtės aproksimacijų tiese, parabole, hiperbole ir cikloide.

Dvidešimt keturių kreidos bandinių stiprumo kerpančios bandymų duomenų apdorojimo mažiausiųjų kvadratų būdu suminės sankibos c (MPa) ir vidinės trinties koeficiento $\tan \varphi$ (vnt. d.) skaitinės vertės:

1A bandymų schema $c = 0,085$; $\tan \varphi = 0,500$;

1B bandymų schema $c = 0,096$; $\tan \varphi = 0,498$;

1C bandymų schema $c = 0,092$; $\tan \varphi = 0,525$.

87 kreidos bandinių stiprumo gniuždant σ_c (MPa) ir stiprumo tempiant σ_T (MPa) būdingosios vertės (pasiklovimo lygmuo 0,95):

2A bandymų schema $\sigma_c = 0,513$; $\sigma_T = 0,109$;

2B bandymų schema $\sigma_c = 0,392$; $\sigma_T = 0,128$.

Iš kreidos bandinių stiprumo gniuždant ir tempiant bandymų 2A schema surastos tokios stiprumo parametru c (MPa) ir $\tan \varphi$ (vnt. d.) vertės:

Talobro aproksimacija $c = 0,118$; $\tan \varphi = 0,854$;

Ferhersto aproksimacija $c = 0,151$; $\tan \varphi = 0,629$;

Lybermano aproksimacija $c = 0,130$; $\tan \varphi = 0,443$;

Bieniavskio aproksimacija $c = 0,099$; $\tan \varphi = 0,771$.

Kreidos stiprumo parametru c (MPa) ir $\tan \varphi$ (vnt. d.) skaitinės vertės, surastos iš bandinių stiprumo gniuždant ir tempiant įverčių (2B schema):

Talobro aproksimacija $c = 0,112$; $\tan \varphi = 0,589$;

Ferhersto aproksimacija $c = 0,130$; $\tan \varphi = 0,466$;

Lybermano aproksimacija $c = 0,129$; $\tan \varphi = 0,384$;

Bieniavskio aproksimacija $c = 0,085$; $\tan \varphi = 0,750$.

Atlikta duomenų analizė rodo, kad statistiškai vienodos (sudėtimi, sandara ir fizine būkle) uolienos laboratorinio tyrimo duomenys ir tų duomenų apdorojimo rezultatai labai skiriasi, jei tyrimai atlikti skirtingais būdais, skirtingomis metodikomis, jei tyrimų duomenys apdorojami ir analitiškai interpretuojami skirtingais metodais ar skirtingomis aproksimacijomis (Mikšys, 1994; 2000).

Inžinerinio geologinio uolienu tyrimo darbai buvo sutelkti Vilniaus universiteto uolienu mechanikos laboratorijoje, ir ta aplinkybė leido bandymus atlikti vienodais aprobuotais kodifikuotais būdais panaudojant standartizuotas tapačias metodikas bei duomenų apdorojimo ir analizės procedūras (Mikšys, 1990; Marcinkevičius, Mikšys, 2002).

Šio straipsnio autorius laboratorijoje atliko nepažeistos sandaros ir gamtinės fizinės būklės uolienos ištisinių bandinių, paimtų iš gręžinių kerno, tyrimus naudingųjų iškasenų telkinių inžinerinėms geo-

loginėms sąlygoms įvertinti (Marcinkonių, Karališkių, Klovainių, Petrašiūnų, Narbučių, Pagirių, Varėnos, Šaltiškių ir Usėnų telkiniai), ertminių grėžinių įrengimui (Rokiškio, Anykščių, Utenos, Kėdainių vandenvietės), kitiems hidrogeologinio tyrimo tikslams (Šiaulių ir Mažeikių objektai), hidrotechnikos statinių pagrindų projektavimui (Kaišiadorių ir Kruonio objektai), giluminių požeminių įrenginių projektams (Vievio, Trakų, Nemėnės, Pavarnių objektai). Devono sistemos uolienų geomechaninių savybių tyrimai atlikti Šiaurės Lietuvos inžinerinio geologinio kartografavimo reikmėms, karstinio proceso vertinimams. Šių tyrimų duomenys leidžia statistiškai pakenkamomis imtimis apibūdinti gravelito, smiltainio, aleurolito, argilito, litifikuoto molio, kreidos ir kreidos mergelio, visų klinties ir dolomito litologinių atmainų, gipso, anhidrito ir akmens druskos geomechanines charakteristikas. Šiuo metu autoriaus atliktų bandymų duomenų bazėje suskaičiuojama 2550 rodiklių verčių, apibūdinančių ikikvarterinės nuosėdinės stromės uolienų geomechanines savybes.

Uolienų geomechaninių savybių formavimosi mechanizmui, veiksniams išaiškinti buvo panaudoti kai kurie šių tiesioginių bandymų duomenys, apdoroti matematinės statistikos metodais. Geomechaninių savybių rodiklių skaitinės būdingosios vertės, apskaičiuotos nustatytu pasiklovimo lygmeniu kiekvienam inžineriniam geologiniam sluoksniui, išskirtam Pagirių anhidrito telkinio dangos ikikvarterinėje nuosėdinėje stromėje, pateiktos 1 ir 2 lentelėse. Šis geomechaninių tyrimų realizacijos pavyzdys akivaizdžiai parodo, kad vientisų uolienos kerno gabalų, apibūdinamų vienodais struktūros ir tekstūros požymiais, mechaninis pasipriešinimas irsmui priklauso nuo bandinio petrografinės-mineralinės sudėties ir litologinių požymių – struktūros elementų cementacijos ir tarpkristalinių sąsajų pobūdžio (struktūrinio stiprumo), komponentinės sudėties santykio (poringumo, drėgnumo, kompaktiškumo) bei sandaros mikrodefektų (įtrūkių, aižų ir mikroplyšių). Uolienos sudėtis ir litologiniai požymiai formuojasi sedimentogenezės, diagenezės ir katagenezės metu, keičiasi dėl arti žemės

3 lentelė. Pasvalio miesto Joninių karstinės įgriuvos dangos inžinerinių geologinių sluoksnių geomechaniniai parametrai (būdingosios vertės, pasiklovimo lygmuo 0,95)
Table 3. Geomechanical parameters of engineering geological layers (characteristic values, confidence level 0.95)

Inžinerinio geologinio sluoksnio (IGS) Nr.	Sluoksnio geologinis indeksas	IGS litologinė sudėtis	Bandinių skaičius	Savitasis sunkis, γ_k [kN · m ⁻³]	Stiprumas gniuždant (ISRM), σ_{sk} [MPa]	Stiprumas tempiant (Carniera), σ_{tk} [MPa]	Suminė sankiba			Vidinės trinties rodikliai					Diskretumo koeficientas, λ_s [1]	Aktyviojo slėgio koeficientas, K_{an} [1]	Suminės sankibos veiksnys, λ_c [1]
							Irsmo sankiba (Teder), σ_k [kPa]	Kritinė sankiba c_{kr} [kPa]	Masyvo sankiba, c_{mk} (kPa)	Vidinės trinties koeficientas (Teder), $\tan \phi_{kr}$ [1]	Kritinės vidinės trinties koeficientas, $\tan_{kr} \phi$ [1]	Vidinės trinties kampas, ϕ_{kr} [laipsniai]	Vidinės trinties koeficientas, λ_s [1]				
1	lgIIIbl	Molis	29	19,23	-	-	31	31	-	0,345	19,0	1,0	0,509	0,713			
2	lgIIIbl	Dulkingas priemolis	3	20,11	-	-	36	36	-	0,485	25,9	1,0	0,392	0,626			
3	fIIIbl	Žvyras	5	18,15	-	-	2	2	-	0,840	40,0	1,0	0,217	0,466			
4	gIIIbl	Moreninis priemolis	23	22,17	-	-	59	59	-	0,600	31,0	1,0	0,320	0,566			
5a	D ₃ ^{lmm}	Plastingi dolomitmilčiai	12	21,45	-	-	10,7	11	0,597	0,561	29,3	1,0	0,343	0,586			
5b	D ₃ ^{lmm}	Puskiečiai dolomitmilčiai	4	22,09	-	-	15,5	16	0,665	0,572	29,8	1,0	0,336	0,580			
6	D ₃ ^{lmm}	Molingas dolomitas	7	24,67	1,73	1,73	152,6	198	1,185	0,764	37,8	0,13	0,240	0,490			
7	D ₃ ^{lmm}	Gipsas	17	22,98	4,17	4,17	343,0	515	0,851	0,648	32,9	0,15	0,296	0,544			
8	D ₃ ^{tkd}	Molingas dolomitas	7	24,67	1,73	1,73	152,6	198	1,185	0,764	37,8	0,13	0,240	0,490			
9	D ₃ ^{tkd}	Kietas molis	7	23,42	0,38	0,38	282	107	0,530	0,468	25,1	0,38	0,404	0,636			
10	D ₃ ^{tkd}	Domeritas	13	22,20	0,20	0,20	168	114	0,959	0,692	34,7	0,68	0,274	0,524			

paviršiaus slūgsančių sluoksnių hipergenezės poveikio. Todėl uolienos geomechaninių savybių formavimasis neatsiejamas nuo jos petrografinės-mineralinės sudėties, litologinių požymių formavimosi ir kitimo teritorijos geologinės raidos etapuose. Šiuo požiūriu vertinant uolienos savybių formavimąsi, geologinio amžiaus požymis nėra informatyvus. Sedimentogenezė, diagenetiniai pokyčiai yra esminiai veiksniai, kurių poveikiu galima paaiškinti uolienų bandinių savybių geomechaninę anizotropiją ir uolienų direkcines savybes masyvuose.

Uolienų storių geomechaninę elgeseną ir ją nusakančius geomechaninius parametrus nulemia masyvų diskretumas, kiekybiškai nusakomas plyšiuotumo intensyvumu (rodiklio RQD vertėmis), plyšių sistemų skaičiumi, kitais plyšiuotumo ar direkciniais rodikliais (Уолесс, Бок, 1983; Чернышев, 1984; Ломтадзе, 1984). Uolienos masivas, apibūdinamas sandaros diskretumu, yra daugyšk labiau deformuojamas nei iš jo paimtas ištisinis ribotų matmenų tos uolienos gabalas. Uolienos gabalo plastinės ir tampriosios deformacijos yra nykstamai mažos lyginant su tos uolienos masyvo sąslūgiu ir spūdumu, sumažėjus plyšių ir aižų tūriui apkrovimo metu. Uolienos masyvo suminis stiprumas nusakomas paskirų jo sandaros elementų išorinės trinties ir gabalų nusklembimo efektais. Skirtingos petrografinės-mineralinės sudėties ir skirtingais litologiniais požymiais apibūdinami uolienų sluoksniai skiriasi diskretumo intensyvumu ir diskretumo direkcijos pobūdžiu. Todėl sluoksniniai uolienų masyvai visada heterogeniški geomechaninių parametrų vertinimo aspektu ir dažniausiai turi direkcinių savybių – tam tikros savybės anizotropija priklauso nuo mechaninio poveikio krypties ir linkmės.

Geomechaninių savybių skirtumai uolienos gabale ir tos uolienos masyve apibūdinama uolienos struktūrinį susilpnėjimą, kurį veikia mastelio efektai ir kuriam nusakyti naudojamas vadinamasis sluoksnio diskretumo koeficientas. Diskretumo koeficientas yra uolienos masyvo stiprumą nusakančio rodiklio skaitinės vertės santykis su to paties rodiklio skaitine verte, išmatuota bandant ribotų matmenų tos pačios uolienos ištisinį bandinį. Uolienos masyvo visuminį patvarumą galima apibrėžti monolitinių blokų irsmo tempiant ir gniuždant bei plyšių paviršių trinties stochastine sąveika. Tokia sąveika apskaičiavimų metodais (Фисенко, Мочалов, 1965; ISRM, 1978; 1981; Чернышев, 1984; Vavro, Hofrichter, Petroš, 1984) analizuota vertinant Šiaurės Lietuvos dolomitinių uolienų

masyvų diskretumo poveikį karjerų bortų stabilumui (Mikšys, 1990) ir Šiaurės Lietuvos karstiniame rajone atsiveriančių smegduobių matmenims (Marcinkevičius, Mikšys, 2003). Karjerų bortų stabilumo ir karstinių įgriuvų mechanizmo analizė sudaro prielaidas kiekybiškai nusakyti arti žemės paviršiaus slūgsančių devono sistemos dolomitinių uolienų plyšiuotų masyvų diskretumo lygmenį, taip pat diskretumo poveikį sluoksninių storių elementų sankibiosios trinties ir struktūrinės sankibos realizacijai (3 lentelė). Analizės metu paaiškėjo, kad dolomitinių uolienų masyvų geomechaninių savybių formavimuisi esminių poveikį turėjo postgenetiniai tektoniniai, glaciotektoniniai ir hipergeniniai plyšių bei skyrumo paviršių susidarymo mechanizmai. Dolomito litologinių atmainų geomechaninių rodiklių vertės stochastiškai susietos su bandinių stiprumu gniuždant, su storių slūgsančio sluoksnio diskretumo lygmeniu, taip pat priklauso nuo plyšių sistemų skaičiaus, plyšių direkcijos, atvirumo laipsnio, plyšių paviršiaus šiurkštumo, kolmatavimo ir kt. Tokia statistine analize išaiškinta daugelio veiksnų sąsaja (Sakalauskas, 2003) leido išskirti svarbiausius veiksnius ir surasti efektyvias daugialypes regresijas. Šios analizės pagrindu sudaryta 4 lentelė, kurios duomenys liudija, kad formuojantis dolomitinių uolienų storių geomechaninėms savybėms esminis vaidmuo teko geologiniams ir tektoniniams procesams, lėmusiems tų storių diskretumo lygmenį.

Atlikti tyrimai patvirtina teorines prielaidas (Jaeger, 1972) bei kitur atliktų tyrimų išvadas (Pruška, 2002), kad uolienų fizikinių savybių formavimosi mechanizmas yra tapatus ir bandinyje, ir masyve. Šių savybių statistinių įverčių patikimumą nulemia imčių reprezentabilumas ir įverčių pasiklovimo lygmuo. Visiškai kitas yra uolienų geomechaninių savybių formavimosi mechanizmas, kurį galima nusakyti pirmaisia bandinių petrografine-mineraline sudėtimi ir litologiniais požymiais, lėmusiais mineralinio karkaso elementų bei šių elementų struktūrinių sąsajų stiprumą ir plastines ar tampriasias deformacijas. Uolienų sluoksninių masyvų geomechaninių savybių for-

4 lentelė. Dolomitinių uolienų inžinerinių geologinių sluoksnių stiprumo parametrų susilpnėjimo koeficiento vertės
Table 4. Structural weakening coefficient values for determination of strength parameters of dolomitic rock layers

Inžinerinio geologinio sluoksnio diskretumo lygmuo	RQD, vnt. d.	Uolienos bandinių stiprumo gniuždant būdingoji (charakteristinė) vertė, σ_{ck} , MPa				
		<2	2–10	10–25	25–40	>40
mažai plyšiuotas	>0,7	0,78	0,66	0,61	0,55	0,46
plyšiuotas (dvi plyšių sistemos)	0,5–0,7	0,51	0,49	0,43	0,38	0,29
plyšiuotas (trys plyšių sistemos)	0,3–0,5	0,34	0,31	0,26	0,20	0,12
labai plyšiuotas	<0,3	0,16	0,14	0,09	0,03	0,02

mavimasis yra litogenetinių, tektoninių ir glaciotektoninių veiksmų, dėl kurių poveikio susidarė įvairaus intensyvumo diskrečios sandaros elementai, višuma.

Uolienuų geomechaninių savybių formavimosi dėsninumų aiškinimas nepraranda svarbos ir dabar. Atliekami tyrimai siekiant įvertinti karsto reiškinių riziką, statybų planavimo ir statinių projektavimo reikmėms; geologinių formacijų tinkamumo radioaktyviosioms atliekoms laidoti įvertinimas skatina išsamiau panagrinėti uolienuų inžinerinių savybių prigimtį ir formavimąsi.

Literatūra

- Handin J. 1969. On the Coulomb-Mohr failure criterion. *Journal of Geophysical Research*. **74**. 5343–5348.
- ISRM. 1978. Description of discontinuities in rock mass. *International Journal of Rock Mechanics, Mining Sciences and Geotechnical Abstracts*. **15**. 319–368.
- ISRM. 1981. Rock characterization testing and monitoring. *ISRM suggested methods*. Pergamon Press, Oxford. 211.
- Jaeger Ch. 1972. *Rock Mechanics and Engineering*. Cambridge and the University Press. 254.
- Marcinkevičius V., Mikšys R. B. 2002. Pagirių anhidrito telkinio inžinerinės geologinės sąlygos. *Litosfera*. **6**. 82–93.
- Marcinkevičius V., Mikšys R. B. 2003. Naujas metodas smegduobių kritiniam spinduliui apskaičiuoti. *Litosfera*. **7**. 98–108.
- Mikšys R. B. 1990. Apie dolomitinių uolienuų geomechaninių savybių tyrimą. AM mokslo darbai. *Geologija*. **11**. 99–111.
- Mikšys R. B. 1994. Apie uolienuų geomechaninių parametrų įvertinimą įvairovę. *Gelmių geologinio tyrimo, naudojimo ir apsaugos problemos Lietuvoje*. 150–152.
- Mikšys R. B. 2000. Investigation of physical state of compact clays and their strength behaviour. *Baltic Geotechnics. Proc. of the ninth Baltic geotechnical conference*. Tallinn. 67–70.
- Pruška J. 2002. *Geomechanika. Mechanika hornin*. Praha: Vydavatelství ČVUT. 180.
- Sakalauskas V. 2003. Duomenų analizė su STATISTICA. Vilnius: Margi raštai. 236.
- Vavro M., Hofrichter P., Petroš V. 1984. *Mechanika hornin a masivu*. 1. dil. Ostrava: VŠB. 435.
- Ломтадзе В. Д. 1984. *Инженерная геология. Инженерная петрология*. Ленинград: Недра. 511.
- Уолесс К. Бок Х. 1983. *Инженерные свойства нарушений сплошности. Введение в механику скальных пород*. Москва: Мир. 133–150.
- Фисенко Г. Л., Мочалов А. М. 1965. *Методические указания по производству натуральных испытаний сопротивления сдвигу неоднородных, слоистых и трещиноватых пород*. Ленинград: ВНИМИ. 26.
- Чернышев С. Н. 1984. *Трещиноватость горных пород и ее влияние на устойчивость откосов*. Москва: Недра. 111.
- Фадеев В. А. Ред. 1979. *Прочность и деформируемость горных пород*. Москва: Недра. 269.

Ramutis Bonifacas Mikšys

PECULIARITIES OF ENGINEERING BEHAVIOUR OF SEDIMENTARY ROCK MASS

S u m m a r y

Geotechnical and geomechanical testing methods are used for evaluation of physical and mechanical properties of core samples of deep sedimentary rocks. However, determination of the physical state and stress-strain parameters of a rock mass is much more complicated than in geotechnique or soil mechanics. The direct usage of idealized theoretical models of solid state elastic or multiphase porous media is here impossible. The rock mass deformational and strength parameters *in situ* may be determined only with respect to their discreteness, presence of cracks and other compositional defects, as well as the distribution of residual-body and applied stress. Each petrographical rock variety of distinct genetically determined mineral composition, structural and textural conditions and other lithological characters has a range of numerical parameters of the physical properties. Changes in the physical state and properties of diagenetically formed rocks may be explained by the influence of katagenesis during the further stages of geological and tectonical development. Physical properties of rocks are coincident with their petrographical composition, lithification level, and reflect the impact of consolidational crystallisation katagenetic processes. The properties of a separate engineering object are statistically the same and isotropic in the rocks having equal geological characters. The discreteness of rock layers is almost insignificant. The numerical value of a definite physical property in a monolith approximates this parameter of the whole rock layer. The parameter value shows a distinct stress-strain state in a core sample and depends on the impact of a simulational mode (study method), investigation and measure procedures (methodics) of mechanical reactions, as well as on the processing of the data and the mode of analysis. The total formational process of geomechanical properties in a rock is inseparable from its petrographical and mineral composition, formation of lithological characters and their changes during the geological history. In this case, the geological age dating of rocks is not informative. Sedimentogenesis and diagenetic changes are the essential factors explaining the geomechanical anisotropy and properties of rock mass. The rock layers characterized differently according to petrographical and mineral composition and lithological features differ in the intensity of discreteness and the space orientation of the latter. Thus, the layered rock mass is always heterogeneous in the evaluational aspect of geomechanical parameters and, as a rule, has somewhat directional properties. The anisotropy of some property depends on the direction of a mechanical impact. The geomechanical behaviour of rock mass and its parameters definitely depend on the mass discreteness, which is quantitatively characterized by the indices of the Rock Quality Designation (RQD), the number of crack systems and other fissural or directional values.

Рамутис Бонифацас Микшис

**ОСОБЕННОСТИ ИНЖЕНЕРНЫХ СВОЙСТВ
МАССИВОВ ОСАДОЧНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД**

Резюме

Рассмотрен комплекс показателей физико-механических свойств горных пород, оцениваемых по результатам проведенных лабораторных исследований и испытаний образцов керна естественного состояния непосредственно по извлечению из буровых скважин. Анализируется зависимость показателей физических свойств осадочных горных пород в геологическом разрезе Литвы от геологических призна-

ков и условий формирования и преобразования. Приведены данные о влиянии метода и методики испытаний образцов, а также способа обработки данных эксперимента на численные значения показателей механического поведения под статическими нагрузками. Определяющими факторами механического поведения в одно-, двух- и трехоснонапряженных состояниях являются структурно-текстурные особенности, петрографический состав и степень нарушения непрерывности толщ горных пород. В целях оценки инженерных свойств массивов доломитовых пород приведены коэффициенты структурного ослабления параметров их прочности.