

Samardaković, M. (1996): Softver za obradu i prikazivanje rezultata prethodnih geomehaničkih ispitivanja za puteve, Zbornik radova savetovanja *Primena računara u putnom inženjerstvu*, Niš, 20-21. juni 1996., Društvo za puteve Srbije i dr., Beograd, str. 207-213.

Мирољуб Самардаковић*

СОФТВЕР ЗА ОБРАДУ И ПРИКАЗИВАЊЕ РЕЗУЛТАТА ПРЕТХОДНИХ ГЕОМЕХАНИЧКИХ ИСПИТИВАЊА

У оквиру програмског (експертног) система за обраду и приказ резултата теренских и лабораторијских геомеханичких испитивања "GeoData1" развијен је део за примену у претходним испитивањима материјала доњег строја и неvezаних носећих слојева коловозне конструкције. У програме се уносе само величине непосредно добијене лабораторијским мерењима при испитивањима физичких својстава, класификационим, услова збијања по Proctor-у, индекса носивости CBR. Резултати са свим показатељима приказују се нумерички и графички, са аутоматском класификацијом тла, критеријумима са оценом подобности и условима уграђивања, у складу са техничком регулативом допуњеном иностраним стандардима. Софтвер користи рачунске и графичке могућности Windows програма Excel и Visual Basic и успешно се примењује у пракси.

Кључне речи: Експертни системи, Механика тла, лабораторијска испитивања.

SOFTWARE FOR INTERPRETATION OF THE PRELIMINARY GEOMECHANICAL TESTS FOR ROADS

Miroljub Samardaković, Civ. Eng.*

The software for interpretation of the preliminary geomechanical tests for roads is the part of the knowledge-based (expert) system "GeoData1" developed for interpretation of geomechanical data by site and laboratory tests determined. With values in fisical-, classification-, Proctor- and CBR- tests immediately measured, all standard parameters in numerical and grafical forms can be displayed. The software is in Microsoft-Excel with Visual Basic developed and in practice well used.

Keywords: Knowledge-based systems, Soil Mechanics, laboratory tests.

УВОД

Како је познато, експертни систем чине компјутерски програми који садрже специфична сазнања (теоријске и емпиријске чињенице и/или поступке за долажење до неких сазнања) и користе издвојене поступке закључивања за манипулацију тим сазнањима у циљу решавања реалног задатка.

За разлику од конвенционалних програма, који делују кроз нумеричке процесе а сазнања и контроле су интегрисани (процедурално програмирање), експертни системи су оријентисани ка симболичким процесима а

* Miroljub Samardaković, dipl.inž.građ., Građevinski fakultet, Niš, Tel./Fax 381 18 42 758

база знања је одвојена од програмирања (декларативно програмирање), чиме су омогућене измене и допуне базе без битног утицаја на програм.

Овакви системи погодни су за решавање задатака грађевинске геотехнике и примењене Механике тла, са базама знања од обиља теоријских и емпиријских решења које, због физичке и сваке друге сложености задатака и нових сазнања, повремено треба дограђивати и рационализовати.

У оквиру делатности Одељења и Лабораторије за геотехнику Института Грађевинског факултета у Нишу, аутор реферата од 1990. године развија два компатибилна програмска (експертна) система: *GeoData1*, за одређивање, приказ и избор геомеханичких показатеља својстава тла у слојевима терена, и *GeoData2*, за геомеханичке прорачуне понашања тла као дела грађевинског објекта [1,2]. Системи се развијају на РС-рачунару, у Windows оперативном систему, користећи рачунске и графичке могућности пакета Excel (Microsoft), уз помоћ језика Visual Basic. У току неколико година, верзије ових система су успешно примењене у геотехничким елаборатима, експертизама и студијама за неколико десетина објеката и усавршавају се у складу са новим сазнањима.

Део система *GeoData1* успешно се примењује и у путној геотехници, за одређивање, приказ и оцену резултата претходних геомеханичких испитивања материјала планираних за уграђивање у доњи строј и неvezане слојеве коловозних конструкција.

Циљ реферата је начелан приказ потенцијала овог дела система и карактеристичних резултата, који би могли послужити и као један од предлога за стандардизовање врсте података које треба одредити и приказати појединим опитима, као и начина њиховог приказивања и оцењивања - с обзиром на давну потребу за бољом регулативом и њеном доследнијом применом у овој области.

ЕКСПЕРТНИ СИСТЕМИ И СИСТЕМ GEODATA1

Аутори приказа већег броја геотехничких експертних система [3,4], ствараних у последњој деценији, истичу да ови системи превазилазе ограничења конвенционалног програмирања али да још увек нису развијени до нивоа погодног за дистрибуцију ради практичне употребе.

У општем случају, експертни систем (у последње време зван *knowledge-based* систем) чине три основне компоненте:

1. база знања, која садржи информације из домена рада система (дефиниције, чињенице, правила са датим решењима или за тражење решења);
2. контекст (смештен у радну меморију), који садржи све информације о задатку који треба да буде решен, информације које дефинишу параметре задатка, као и текуће информације на сваком ступњу процеса решавања задатка;
3. механизам закључивања, који контролише процес закључивања корис-

тећи базу знања за измену и проширење контекста у циљу решења задатка.

Уз додатне компоненте (интерфејс, хелп) коришћење базе знања и целог система може бити знатно олакшано.

Базе знања и механизми закључивања система *GeoData1* и *GeoData2* усклађени су са савременим научним сазнањима, стручном праксом и југословенском техничком регулативом, поправљеном и допуњеном на основу иностраних стандарда.

Контекст система *GeoData1* је развијен тако да се у програме уносе само задате и непосредно измерене величине (на терену или у лабораторији), из чега аутоматски следе резултати у виду табела и дијаграма са вредностима карактеристичних показатеља, статистичка обрада и оцене резултата и др.

Недавни приказ сличног система групе запажених страних аутора [4], показује да он има нешто шири али врло сличан концепт и приказ резултата као систем *GeoData1*, којим су обухваћена уобичајена теренска истраживања и испитивања, сва конвенционална лабораторијска геомеханичка испитивања тла, као и нумерички и графички приказ показатеља својстава тла у слојевима и терена у целини.

У овој фази развоја, систем *GeoData1* се примењује да аутоматском обрадом опитима задатих и измерених величина одреди, прикаже и оцени следеће геомеханичке показатеља својстава тла:

Лабораторијска испитивања

показатељи физичких својстава

- влажност
- густине у природном и сувом стању
- густина зрна и специфична тежина
- коефицијент порозности

класификациони показатељи и
класификација тла

- гранулометријски састав
- границе и стање конзистенције
- јединствена (АС) класификација

показатељи механичких својстава

- деформабилност
- стишљивост и консолидација у едометру

- при триаксијалној компресији
- чврстоћа и параметри чврстоће
- при директном смицању
- при триаксијалној компресији

показатељи услова збијања или
збијености (носивости)

- при min и max порозности тла
- по Proctor-у
- CBR.

Теренска испитивања

за процену механичких својстава

- опит стандардне пенетрације (SPT)
- за контролу збијености
- опит кружном плочом.

Код појединих опита и показатеља, због мноштва улазних, текућих и излазних података (могућих и потребних) требало је извршити рационалан избор података и форму приказа у складу са потребама система *GeoData2* и других корисника. То је наметнуло потребу детаљног и критичког упоредног проучавања домаће и иностране геотехничке регулативе (групе стандарда JUS, DIN, BS, ASTM и других) и одговарајуће литературе о конвенционалним [5-10] и савременим [11-13] испитивањима.

На основу свих сазнања одабрани су садржаји и форме приказивања резултата опита појединачно и групно. Уз важније напомене, у наставку реферата приказана су нека од решења погодних за претходна испитивања за путеве.

ПРИМЕНА СИСТЕМА ГЕОДАТА1 У ПРЕТХОДНИМ ГЕОМЕХАНИЧКИМ ИСПИТИВАЊИМА ЗА ПУТЕВЕ

Показатељи физичких својстава

Уношењем измерених величина за урађене опите на узорцима из једног слоја тла добија се табела са напред наведеним показатељима за све узорке и статистичке величине са очекивањем вредности за слој у целини.

Класификациони показатељи и класификација тла

Гранулометријски састав

За величине измерене методом просејавања и/или ареометрисања, унете у јединствен програм са уграђеним свим корекцијама (због температуре и др.), добија се *дијаграм гранулометријског састава* (Сл.1) са аутоматски одређеним и табеларно приказаним величинама потребним за класификацију тла (ширином највећег зрна, учешћем основних фракција, величинама карактеристичних пречника, коефицијентима неравномерности зрна и закривљености криве). Због прегледности, на дијаграму се приказује до шест кривих а постоје и верзије са граничним кривама зоне подобног састава за одређене намене тла.

Границе и стање конзистенције

За унете величине које се мере у току опита за одређивање граница течења и пластичности, и за природну влажност тла, програм црта *дијаграм пластичности* (Сл.1) са маркерима који приказују испитане пробе фракције $D < 0,5$ мм, као и табелу са величинама граница конзистенције и индексима пластичности и конзистенције, потребних за класификацију у погледу пластичности (састава) и стања конзистенције тла.

Јединствена (АС) класификација тла

На основу уграђене *базе знања* са критеријумима за квантитативну класификацију и *контекста* са напред одређеним показатељима гранулометријског састава и пластичности, као и уграђеног *механизма закључивања*, у табели која овде није приказана програм врши аутоматску класификацију испитаних узорака, дајући им АС- симбол и назив, као и назив стања конзистенције ако је тло ситнозрно. Овде се уочава потреба за применом система са свим групама (22) тла према АС-систему класификације.

Оцена стања конзистенције ситнизрног тла врши се на основу индекса конзистенције за садржину воде кориговану због присуства крупнозрне фракције (нпр. [10]). У истој табели врши се и статистичка обрада свих показатеља и за слој у целини дају очекиване величине показатеља за које је извршено бар пет мерења.

KLASIFIKACIONI POKAZATELJI TLA

DIJAGRAM GRANULOMETRIJSKOG SASTAVA

DIJAGRAM PLASTIČNOSTI FRAKCIJE <0.5 mm

OPT. ZBIJANJA PO PROCTOR-U (ZUS U.B.1.036)

UZORAK: L12 / 0,50-0,80 mm

Energija zbijanja: Standardna

Specifična masa	Gr (1)	Przedni próbek (cm)	10,49	Nat. masę (kg)	2,46
System ułożenia	D (mm)	Wzrost próbek (cm)	1,68	Wzrost próbek (cm)	3,25
Grubość warstwy (mm)	15	Zmierz. grubość (mm)	91,24	Oblicz. grubość (mm)	91,25
Grubość silnika		Brzoż silnika	3	Przebieg. # (0,1m)	613

Oznaki próbki	Nate masę		Zapew. silnika	Suchości woda		Zmiesz. woda		Ostatni	
	Wzrost	Siła		Ugrudzenie	$\alpha_1=10\%$	$\alpha_2=5\%$	Ugrudzenie	Siła	
	m	m ₁	P		%		w ₁		P ₂
1	1625,0	1453,0	91,7	13,84	18,71	31,87	25,03	1,771	1,588
2	1774,0	1500,0	91,7	14,93	16,93	19,99	23,05	1,879	1,635
3	1781,1	1502,5	91,7	18,54	16,84	19,89	22,94	1,942	1,639
4	1786,4	1463,0	91,7	32,24	18,33	21,46	24,59	1,950	1,595
5	1758,6	1396,0	91,7	25,97	21,03	24,32	27,60	1,917	1,523

$w_{opt} = 13,84\%$
 $w_{opt} = 16,93\%$
 $\rho_{dmax} = 1,879$
 $\rho_d = 0,000905w^2 + 0,005051w + 0,779031$
 $R^2 = 0,999995$

Różnica spalivanja	Umrzeza	Kompensacja
Optimalna suchość woda	14,92	14,25
Maksymalna gęstość w suchym stanie	1,644	1,752
Minimalna korekcyjna przewidywania	1	0,596

© 2016, G. S. S. S. S. S.

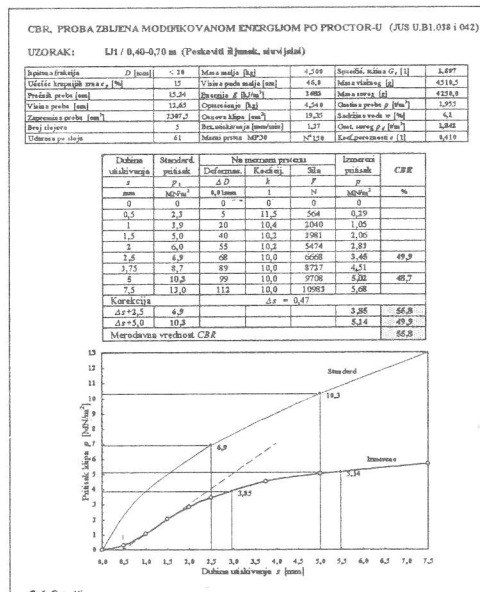
Сл.2. Услови збијања по Proctor-у

На основу измерених маса збијених проба и/или маса делова узетих за одређивање влажности, као и густине зрна, програм даје резултате као на Сл.2. Proctor-ова крива за стандардну или модификовану енергију представљена је једначином (полином четвртог реда), са траженим координатама максимума и одговарајућим коефицијентом порозности. Уз криву засићења приказују се и линије односа густине у сувом стању и влажности за стања са 5 и 10 % запремине испуњене ваздухом. За учешће зрна изнад 5 мм резултати се аутоматски коригују према USBR тј. DIN [10].

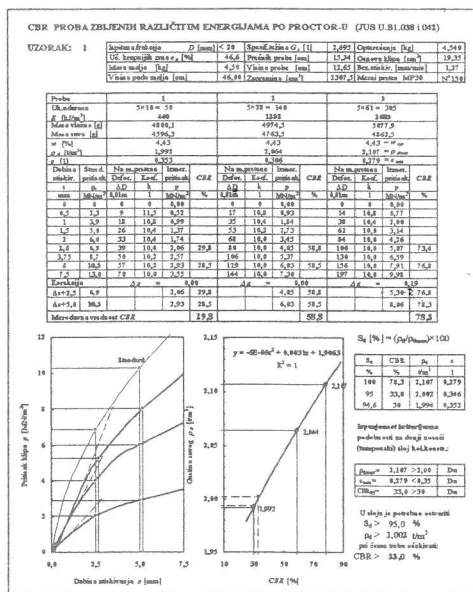
CBR је показатељ на коме се заснива стандардан поступак за димензиона-
сање савремених коловозних конструкција. Као такав, он се неоправдано
ретко одређује, обично са мањим или већим грешкама у припреми проба и
интерпретацији резултата, чему доприносе непрецизни и погрешни делови
стандарда JUS [14,15]. За лабораторијски опит на проби збијеној стандард-
ном или модификованом енергијом по Proctor-у, у програм се уносе
измерене деформације динамометра и добијају резултати са корекцијом за
случај да крива утискивања има превојну тачку, као на Сл.3. У софтвер је
уграђена нелинеарна веза деформације и силе динамометра.

Из искуства Лабораторије за геотехнику Института Грађевинског факултета у Нишу, стандардни захтев минималне носивости (за шљунак CBR = 30 тј. 40 % а за туцаник CBR = 80 %) при степену збијености 95 % модификованом енергијом по Proctor-у има пуно оправдање при оцењивању подобности агрегата за уграђивање у носећи слој коловозне конструкције, јер је чест случај да материјал испуни све друге критеријуме квалитета осим овога.

Као што је познато, провера подобности у погледу тог критеријума врши се збијањем бар три пробе различитим енергијама и одређивањем CBR на њима, уз интерпретацију и упоређење са наведеним критеријумима. За тако испитане пробе уносе се читања са компаратера динамометра а одговарајући програм система приказује (Сл.4) дијаграме утискивања, зависност CBR од густине у сувом стању (ρ_d) (графички и аналитички) и CBR за густину при степену збијености 95 %. Уз то, добија се оцена испуњености стандардно задатих критеријума подобности у погледу CBR, густине и порозности агрегата при таквој збијености. Уколико тај критеријум није задовољен, налаже се потребан степен збијености (већи од 95 %) при коме ће бити остварена минимална захтевана вредност CBR.



Сл.3. CBR проба збијеног шљунка



испитивањима за путеве и насуте објекте а систем у целини, и на садашњем нивоу развоја, има примену у свим областима грађевинске геотехнике.

За разлику од класичног начина обраде и приказа резултата геомеханичких испитивања, систем искључује субјективан утицај на резултате и знатно олакшава истраживање појединих параметара на резултате испитивања. Са базом знања у складу са домаћом регулативом и нижом ценом, у предности је над скупом појединачних програма или иностраних система.

У фази развоја југословенских геомеханичких стандарда, која је у току, овакав систем може бити један од модела за избор врсте података, начина њихове обраде и приказивања, за опите појединачно и групно.

Због свега изложеног, даљи развој система *GeoData1* има пуно оправдање. Пошто се база знања дограђује и увећава, као и хардверске и софтверске могућности, овај посао не може бити окончан и развој треба планирати у етапама, посебно у домену међусобног комуницирања програма система.

ЛИТЕРАТУРА

1. Самардаковић, М. (1996): Развој експертног система *GeoData1* - геомеханички показатељи својстава тла, *Наука+пракса*, бр.3, Грађевински факултет - Институт за грађевинарство и архитектуру, Ниш, у штампи.
2. Самардаковић, М. (1996): Развој експертног система *GeoData2* - геомеханички прорачуни понашања тла, *Наука+пракса*, бр.3, Грађевински факултет - Институт за грађевинарство и архитектуру, Ниш, у штампи.
3. Moulá, M., Toll, D.G., Vaptismas, N. (1995): Knowledge-based systems in geotechnical engineering, *Geotechnique*, 45, No.2, ICE, London, 209-221.
4. Toll, D.G. (1995): The role of a knowledge-based system in interpreting geotechnical information, *Geotechnique*, 45, No.3, ICE, London, 525-531.
5. Bowles, J.E. (1978): *Engineering properties of soils and their measurement*, McGraw-Hill, New York.
6. Vickers, B. (1978): *Laboratory work in civil engineering, Soil mechanics*, Granada Publishing, London.
7. Liu, C., Evett, J.B. (1984): *Soil properties - testing, measurement and evaluation*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
8. Head, K.H. (1984): *Manual of soil laboratory testing, 1*, Pentech Press, London.
9. Head, K.H. (1988): *Manual of soil laboratory testing, 2*, Pentech Press, London.
10. *** (1981): *DIN-Taschenbuch 113*, Proctorversuch, DIN 18127, Beuth Bauverlag, Berlin, 172.
11. Yong, R.N., Townsend, F.C. (1986): *Consolidation of soils - testing and evaluation*, ASTM, Philadelphia.
12. Donaghe, R.T., Chaney, R.C., Silver, M.L. (1988): *Advanced triaxial testing of soil and rock*, ASTM, Philadelphia.
13. Cassan, M. (1988): *Les essais in situ en mécanique des sols, 1*, Eyrolles, Paris.
14. *** (1969): *Određivanje kalifornijskog indeksa nosivosti*, JUS U.B1.042, JZS, Beograd.
15. *** (1970): *Određivanje optimalnog sadržaja vode*, JUS U.B1.038, JZS, Beograd.