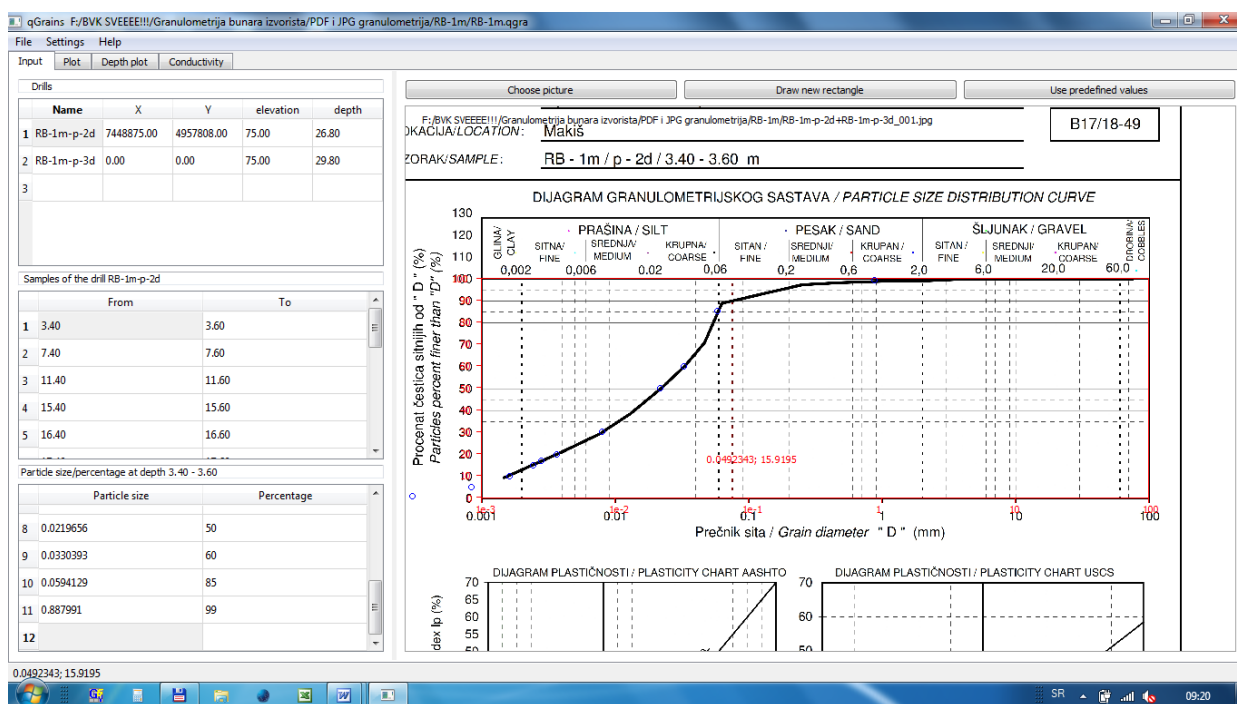


Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“



qGrains, ver.*.*

PROGRAM ZA PRORAČUN KOEFICIJENTA FILTRACIJE NA OSNOVU GRANULOMETRIJSKOG SASTAVA

Milan Dotlić, Milenko Pušić, Goran Jevtić, Milan Dimkić

Beograd, 2018.

PREDGOVOR

U okviru hidrogeoloških istraživanja, određivanje filtracionih karakteristika porozne sredine predstavlja nezaobilazni zadatak. Koeficijent filtracije je osnovni, dominantni parametar izdani, pomoću koga se obavljaju svi proračuni, vezani za kretanje podzemnih voda. Nije moguće izvesti proračune elemenata podzemnog filtracionog toka i bilans podzemnih voda, bez poznavanja ovog parametra.

Izračunavanje koeficijenta filtracije primenom empirijskih izraza (formula) je najrašireniji način dobijanja ovog parametra. Izrazi za osnovu koriste krivu granulometrijskog sastava uzoraka sedimenata, dobijenih najčešće istražnim bušenjima. Sa krive se skida, ili izračunava, tzv. efektivni prečnik zrna materijala, sadržan u svim formulama za proračun koeficijenta filtracije. Ovako dobijeni rezultati su limitirani reprezentativnošću analiziranog uzorka sredine.

U praksi se srećemo sa formulama za izračunavanje koeficijenta filtracije, čiji se rezultati, za isti analizirani materijal, međusobno razlikuju i preko stotinu puta. Očigledno je da empirijske formule nemaju univerzalni karakter, nego svaka odgovara uslovima za koje je izvedena. Zbog toga se primeni različitih formula mora pristupiti sa dužnim oprezom i uvažavanjem preporuka autora. Mala veličina (reprezentativnost dobijenog rezultata) iziskuje veliki broj uzoraka i često specifične oblike interpretacije za praktičnu primenu.

Polazeći od knjige "Određivanje koeficijenta filtracije preko podataka o granulometrijskom sastavu" (autori su dr Milan Vuković i inž. Anđelko Soro), u izdanju Instituta za vodoprivredu "Jaroslav Černi" iz Beograda (1991), razvijen je ovaj program, qGrains. Knjiga inače ima i veoma uspešno američko izdanje ("Determination of Hydraulic Conductivity of Porous Media from Grain-Size Composition, izdanje Water Resource Publications, USA, 1992) i smatra se klasičnom literaturom u ovoj oblasti. Program qGrains je razvijen za širu primenu u odnosu na pomenutu knjigu i pored prikaza koeficijenata filtracije, omogućava kompleksniju analizu granulometrijskog sastava uzoraka iz bušotina u 1D, 2D i 3D okruženju.

Softver je razvijen u programskom jeziku C++ korišćenjem Qt biblioteke i objavljen je pod uslovima GNU General Public License (<http://www.gnu.org/licenses/>) verzija 3. Izvršnu verziju za Windows operative sisteme kao i sam kod moguće je naći na internet adresi <https://github.com/mdotlic/qGrains>. Korišćenje softvera je bez ograničenja, uz jedinu želju autora da se pomenu od strane korisnika.

Autorski tim čine: matematičar i programer dr Milan Dotlić, hidrogeolozi prof. dr Milenko Pušić i inž. Goran Jevtić, i građevinar prof. dr Milan Dimkić.

Ovom prilikom se autori zahvaljuju kolegama inženjerima Instituta, koji su testirali softver tokom njegovog razvoja, ukazivali na uočene nedostatke i greške i nestrpljivo očekivali njegov završetak.

Kontakt mail:

milenko.pusic@jcerni.co.rs

milan.dotlic@jcerni.co.rs

Beograd, januar 2018.

AUTORI

UVOD

Program qGrains je softver namenjen proračunu koeficijenata filtracije izdani na osnovu podataka granulometrijskih analiza uzoraka uzetih prvenstveno iz istražnih bušotina. Broj uzoraka, kao i bušotina u jednom fajlu nije ograničen.

Rezultati proračuna koeficijenata filtracije, primenom deset empirijskih formula (ili samo za odabrane autore), mogu se zatim grafički interpretirati po vertikali, za sve, ili odabrane bušotine, kao pojedinačne, ili reprezentativne vrednosti. Moguće je praviti profile, izborom više bušotina, ili prikaze na karti terena u planu, za izabrane intervale dubina, ili odabrane površi.

Na sličan način je moguće pomoću qGrains analizirati i prikazati veličine zrna odabranog procentualnog učešća na krivoj granulometrijskog sastava, ili procentualni sadržaj odbranih veličina prečnika zrna.

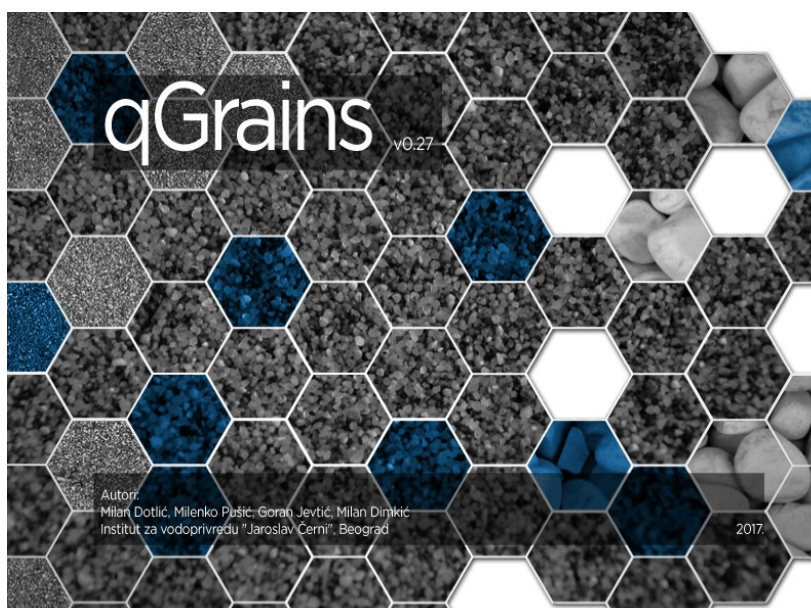
Programom qGrains je moguće izvršiti prostornu klasifikaciju, sistematizaciju i šematizaciju sedimenata prema procentualnom sadržaju i veličini odabranih veličina zrna, što može da bude koristan deo pripreme podloga za viši nivo hidrogeološke interpretacije (na primer za potrebe izrade hidrodinamičkog modela, itd.).

Ovo uputstvo se sastoji iz dva dela: praktičnog, što predstavlja uputstvo za korišćenje programa i teorijskog, gde se daje osnova i prikaz empirijskih jednačina za izračunavanje koeficijenta filtracije.

PROGRAM QGRAINS

UVODNE NAPOMENE

Program qGrains se pokreće na dva načina: klikom na fajl programa sa ekstenzijom .exe, Na ovaj način aktivira se osnovni prozor programa, sa pozdravnom slikom 1, koja nestaje posle oko 2 sekunde. ili duplim klikom na prethodno formirani fajl sa ekstenzijom .qgra, ukoliko je to podešeno u operativnom sistemu (Windows).



Slika 1. Pozdravna slika programa qGrains

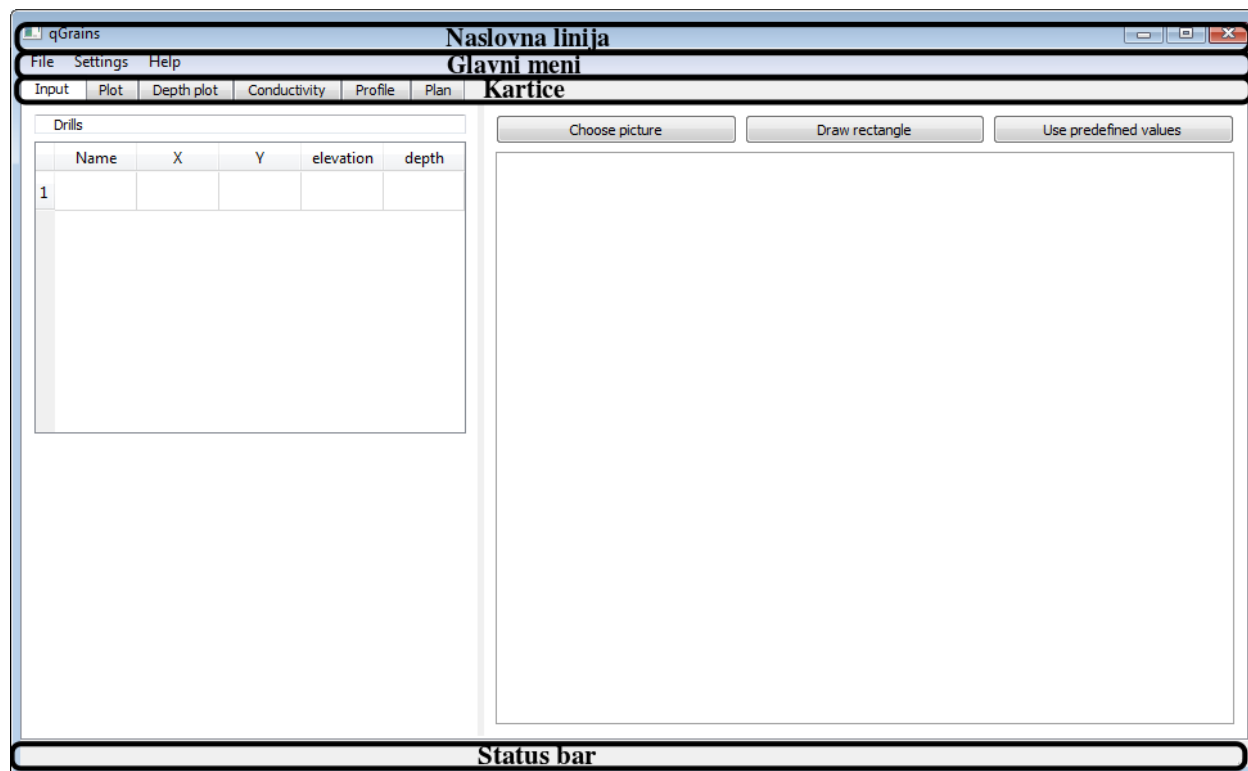
Ulazne podatke u program qGrains je moguće unositi ručno ispisivanjem veličine zrna i procenta ili preko slika granulometrijskih krivih.

Ukoliko se podaci unose preko slika pre početka korišćenja programa qGrains potrebno je pripremiti grafičke prikaze krivih granulometrijskog sastava, u formi jpg fajlova. Oni mogu biti, ili u obliku skeniranih dijagrama granulometrijskih krivih u štampanom obliku, ili eksportovanjem jpg fajlova iz postojećih dokumenata u elektronskom obliku. Ose dijagrama granulometrijskih krivih treba da budu međusobno normalne i na prikazu ekrana bez ugla rotacije.

Program qGrains snima fajl sa ekstenzijom .qgra, koji je u sličan .csv formatu. Njega je moguće učitati u program Excel i dalje raditi sa njim prema potrebi, ali ovo nije preporučljivo.

STRUKTURA SOFTVERA

Program *qGrains* je koncipiran po ugledu na standardne Windows aplikacije. Osnovni prozor, slika 2 sastoji se od: naslovne linije, glavnog menija, menija sa karticama i status bara.



Slika 2. Osnovni prozor programa qGrains

Naslovna linija sadrži naslov trenutno otvorenog dokumenta i opcije za minimizovanje, maksimizovanje i zatvaranje prozora aplikacije.

Glavni meni sastoji se od sledećih podmenija: *File*, *Settings*, *Help*. Svaki od ovih podmenija biće detaljno predstavljen u nastavku teksta.

Meni sa karticama sastoji se od kartica: *Input*, *Plot*, *Depth plot*, *Conductivity*, *Profile*, *Plan*. Svaka od ovih kartica biće detaljno objašnjena u nastavku teksta.

MENI FILE

Meni *File*, slika 3, sadrži opcije:

New – kreiranje novog modela (prečica Ctrl+N)

Open – učitavanje ranije snimljenog modela (prečica Ctrl+O)

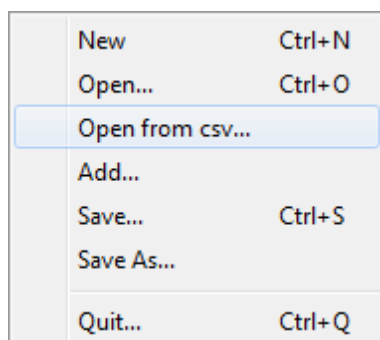
Open from csv – učitavanje Rockworks modela

Add – dodavanje novih bušotina na već postojeće

Save – snimanje trenutnog modela (prečica Ctrl+S)

Save As – snimanje trenutnog modela pod drugačijim imenom

Quit – naredba za izlaz iz programa



Slika 3. File meni

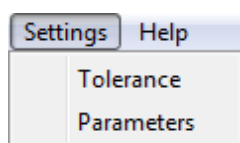
Opcija *Open from csv* daje mogućnost učitavanja csv fajla generisanog iz Rockworks-a. U Excel fajlu koji je izlaz iz Rockworks-a postoji strana *Interval* ovu stranu je neophodno snimiti kao csv fajl. Neophodno je da ova strana ima kolone: Bore, Type, Depth1, Depth2, X-Top, Y-Top, Z-Top, X-Base, Y-Base, Z-Base.

Napomena: Kada se ovako učitava fajl ne podešavaju se elevacija i dubina za bušotine. Odnosno automatski se za svaku bušotinu elevacija i dubina postavljaju na -1. Dakle, potrebno je ručno postaviti elevaciju i dubinu za svaku bušotinu.

Opcija *Add* je zamišljena tako da možemo da spojimo više *qgra* fajlova.

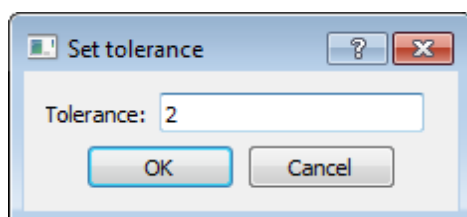
MENI SETTINGS

Meni *Settings*, slika 4, sadrži opcije *Tolerance* i *Parameters*.



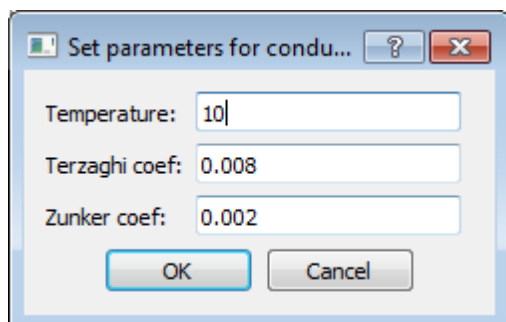
Slika 4. Settings meni

Klikom na opciju *Tolerance*, slika 5, otvara se prozor u kome se podešava veličina tolerancije. Zadati broj predstavlja toleranciju za procentualno učešće, o ovome će više reči biti kasnije.



Slika 5. Tolerance

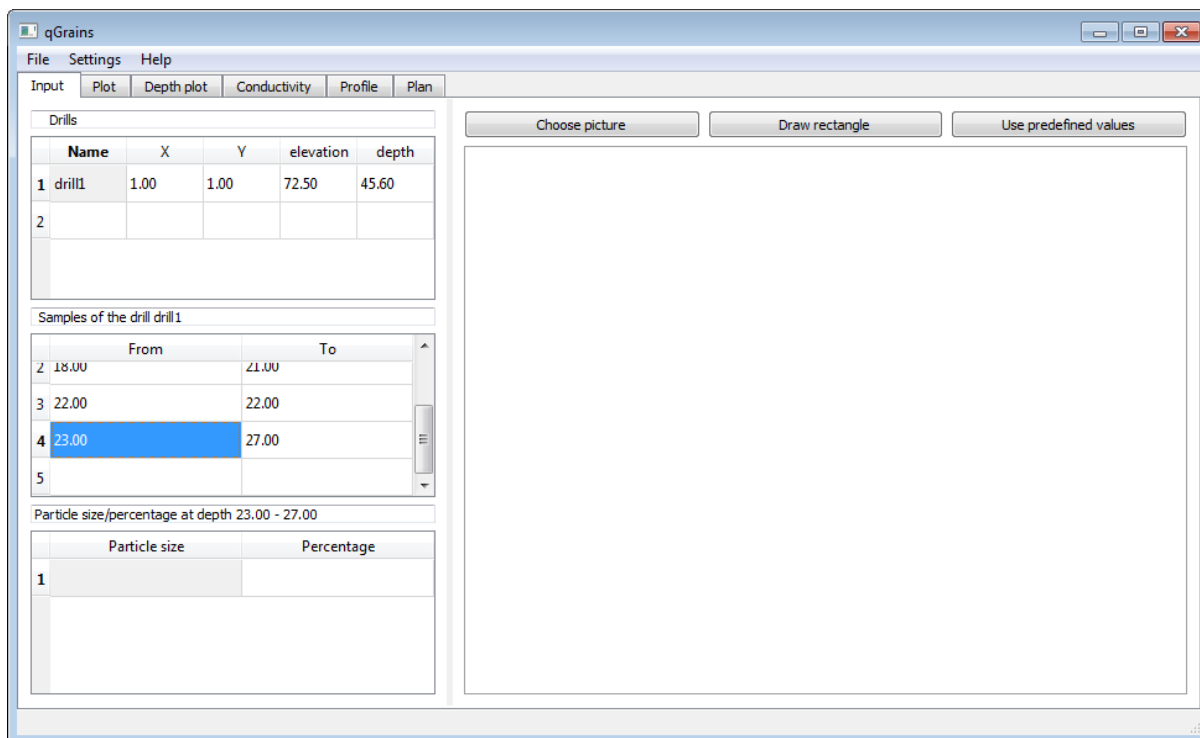
Klikom na opciju *Parameters* otvara se prozor u kome se podešava vrednost temperature, kao i vrednosti Tercigijevog i Cunkeroovog koeficijenata koji se koriste u izračunavanju koeficijenta filtracije, slika 6.



Slika 6. Parameters

KARTICA INPUT

Kartica Input služi za unošenje podataka o bušotinama i uzorcima. Vizuelno, ona je podeljena na dva dela, slika 7: na levoj strani se nalaze tabele za unošenje podataka, a na desnoj strani nalazi se deo koji služi za digitalizaciju podataka.



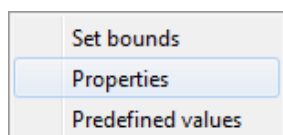
Slika 7. Kartica Input

Gornja tabela na levoj strani služi za unošenje podataka o bušotinama i to ime bušotine, njena pozicija (x, y), nadmorska visina (elevacija) terena i dubina bušotine. Klikom na određenu bušotinu u gornjoj tabeli aktivira se tabela u sredini, koja služi za unošenje podataka o dubini uzorka. U ovoj tabeli se za svaki uzorak unosi njegova dubina. Ukoliko je uzorak u tački, potrebno je upisati istu vrednost u koloni *From* i *To*. Ova tabela se automatski sortira. Tabela ne dopušta unos preklapajućih uzoraka (npr. nije moguće zadati uzorak 2-4 i 3-5). Klikom na određeni uzorak pojavljuje se donja tabela gde se unose vrednosti o veličini zrna i procentu. Ove vrednosti je moguće uneti, ili direktnim unosom (upisivanjem, ili kopiranjem iz Excel-a), ili preko slike (digitalizacijom), o čemu će više reči biti u tekstu koji sledi.

U tabelama uvek postoji prazan red na dnu koji služi za upisivanje novih podataka. Podatke u tabelama je moguće uvek promeniti.

Napomena: Podatke je moguće prekopirati iz Excel-a u sve tri tabele na kartici *Input*. Ukoliko iskopirani deo nema dovoljno podataka (neophodno je da ima 5 kolona za gornju tabelu i po 2 kolone za druge dve tabele), ili je podatak nekorektan (tekst, a potrebno je da je broj) *qGrains* izbacuje obaveštenje.

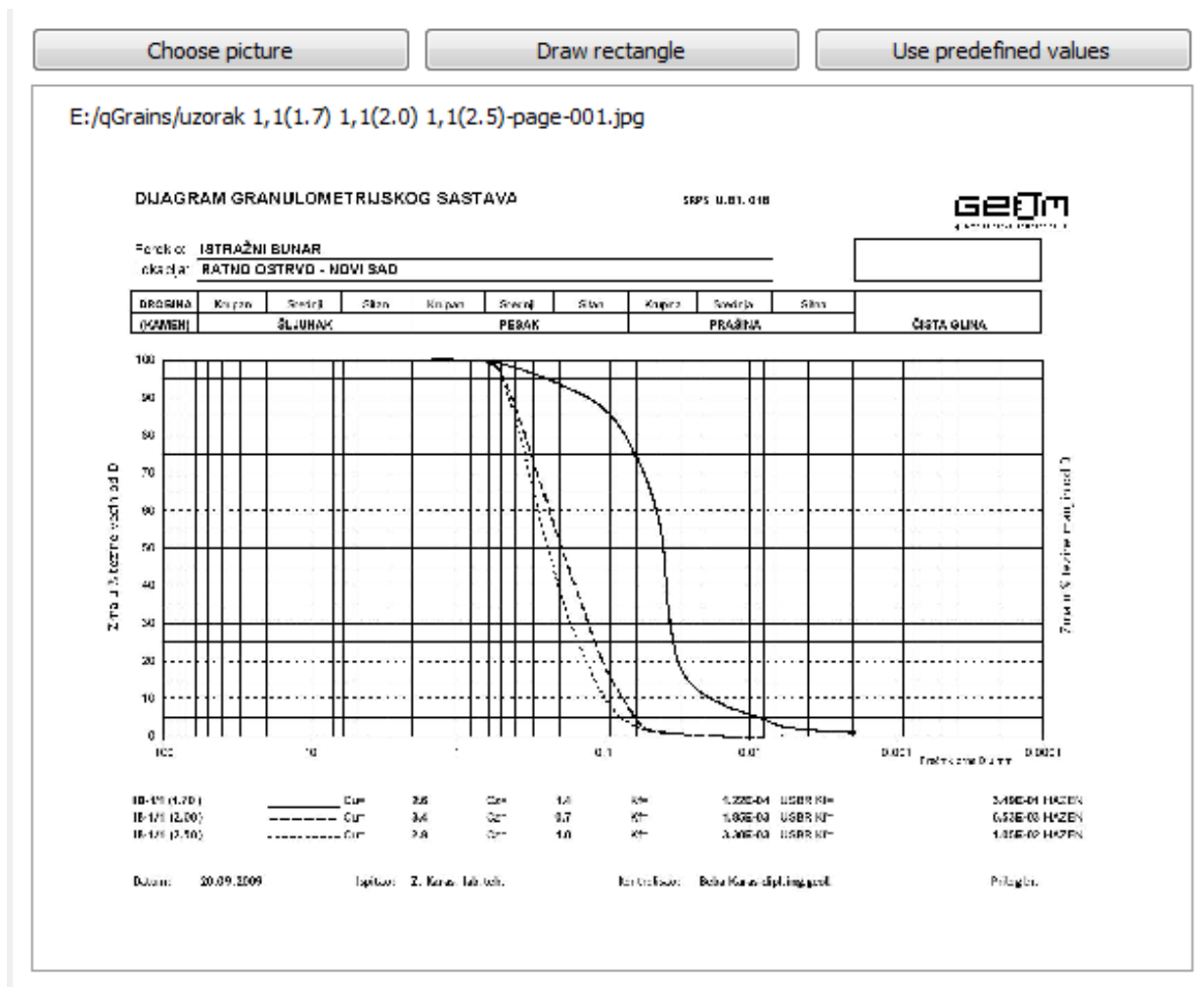
Na desnoj strani ove kartice nalazi se deo za digitalizaciju koji služi za prenošenje podataka sa granulometrijskih krivih sa skeniranih dokumenata. Na ovom delu postoje dugmići *Choose picture*, *Draw rectangle*, *Use predefined values* i prostor grafičkog prikaza. Desnim klikom na grafičkom prikazu aktivira se meni, slika 8, na njemu se nalaze opcije *Set bounds*, *Properties*, *Predefined values*. Više o ovim opcijama biće u nastavku teksta.



Slika 8. Meni koji se dobija desnim klikom na grafički prikaz na *Input* kartici

Klikom na dugme *Choose picture* otvara se dijalog za izbor skeniranog dokumenta na kome se nalaze granulometrijske krive. Izborom slike ona se pojavljuje u delu za grafičko prikazivanje, slika 9. U gornjem levom uglu piše putanja do slike koja je izabrana. Na grafičkom delu je moguće koristiti povlačenje (*drag*) i uveličavanje ili umanj enje (*zoom*).

Sljedeći korak u digitalizaciji je crtanje pravougaonika preko pravougaonika na slici gde je prikazan grafik. Ovo se izvodi klikom na dugme *Draw rectangle*, potom klikom na donji levi ugao pravougaonika na slici i na kraju klikom na gornji desni ugao. Kada je kliknuta prva tačka dugme *Draw rectangle* menja ime u *First point is clicked*, a kada se klikne druga tačka ime se ponovo vraća u *Draw rectangle*. Preciznost postavljanja pravougaonika je moguće povećati zumiranjem (uvećavanjem i smanjenjem) slike.



Slika 9. Prikaz učitane slike na grafičkom prikazu

Ukoliko nismo zadovoljni poklapanjem nacrtanog pravougaonika i pravougaonika na slici, uvek možemo ponoviti ove radnje i ponovo ga nacrtati.

Kada smo nacrtali pravougaonik potrebno je podesiti vrednosti po x-osi da se poklapaju sa vrednostima na skeniranoj slici. Desnim klikom na grafičkom prikazu i izborom opcije *Set bounds* dobija se dijalog na kome se izabiraju granice sa leve i desne strane po x-osi.

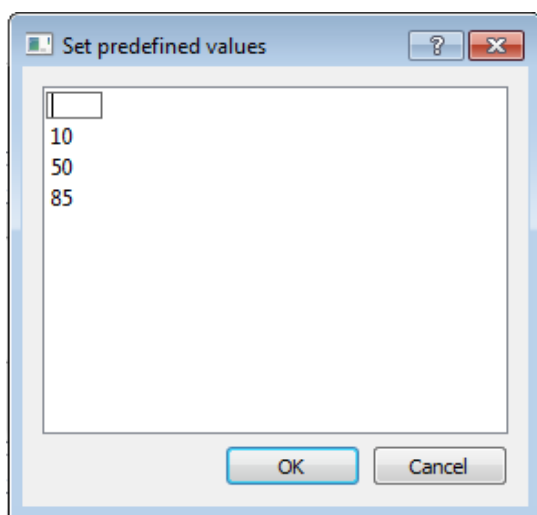
Izborom uzorka u srednjoj tabeli na levoj strani i duplim klikom na grafik granulometrijske krive na grafičkom prikazu kliknuta tačka se automatski upisuje u donju tabelu na levoj strani. Ukoliko nije izabran uzorak duplim klikom ništa se ne dešava. Sve tačke koje se nalaze u izabranom uzorku su nacrtane na grafičkom prikazu. Pomeranjem miša na grafičkom prikazu kada je definisan pravougaonik u status baru kao i pored kursora prikazuje nam se vrednosti koje će biti unete u tabelu ukoliko na tom mestu dvaput kliknemo. Ukoliko imamo više fajlova u kojima su iscrtane granulometrijske krive ponavljamo isti postupak.

Napomena: Softver ne pamti skenirane slike koje smo ubacili, to je samo pomoć za unošenje podataka u donju tabelu.

Napomena: Nije moguće uneti tačku koja ima veće procentualno učešće, a manju veličinu zrna od neke već postojeće tačke.

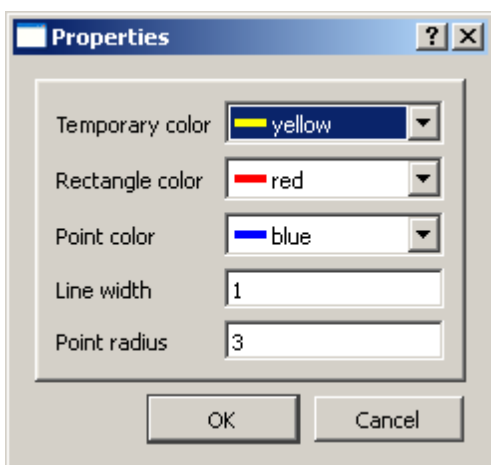
Klikom na dugme *Use predefined values* automatski se koriste predefinisane vrednosti po y osi i to redom (ime dugmeta se menja u *Predefined value* - "vrednost"). Na početku su predefinisane vrednosti 1, 5, 10, 15, 17, 20, 30, 50, 60, 85 i 99, ali ih lako možemo promeniti (dodati, ili izbrisati), izborom opcije *Set predefined values*, koja se nalazi u meniju koji dobijamo desnim klikom na grafički prikaz. Izborom ove opcije dobijamo dijalog, slika 10, u prvom redu unosimo nove vrednosti koje se potom pojavljuju u listi, klikom na neku vrednost u listi i pritiskom na dugme *Delete* na tastaturi brišemo vrednost iz liste.

Napomena: Predefinisanu tačku možemo preskočiti tako što kliknemo jednom na grafički prikaz dok držimo taster CTRL.



Slika 10. Dijalog za dodavanje i brisanje predefinisanih vrednosti

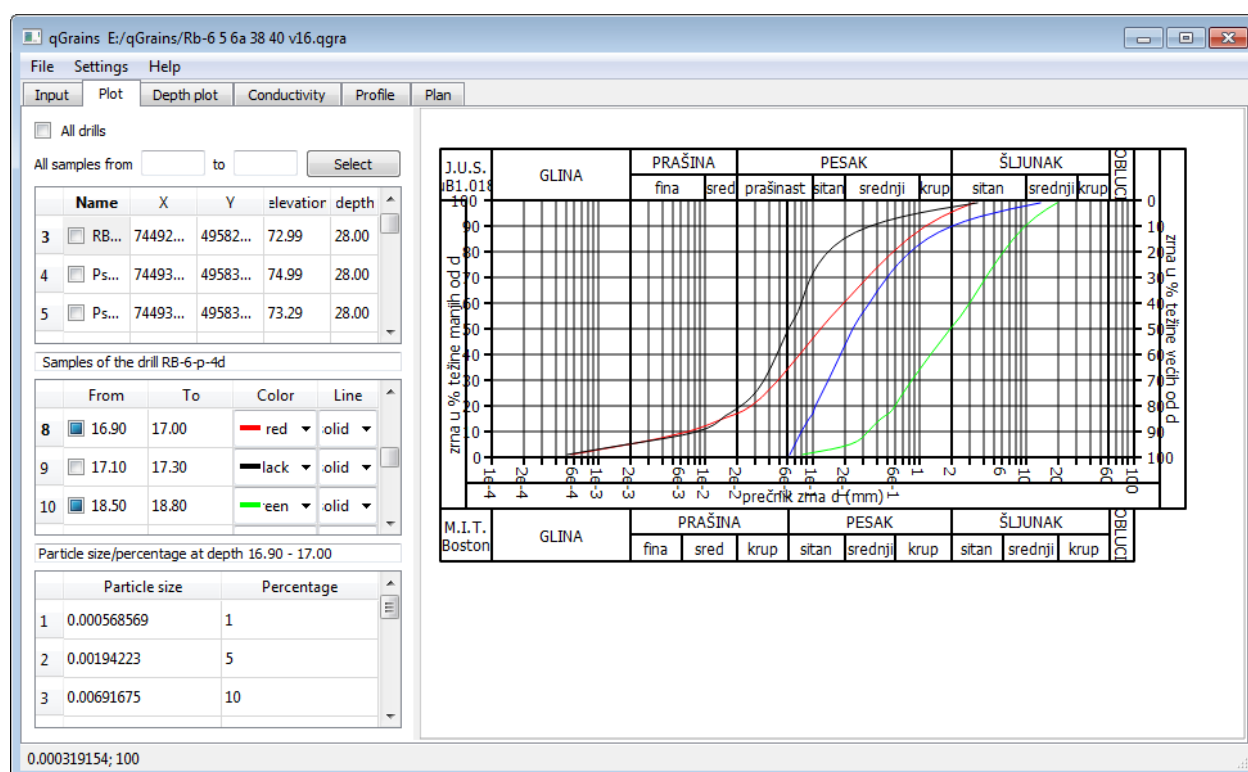
Klikom na opciju *Properties* koja se nalazi u meniju koji dobijamo desnim klikom na grafički prikaz dobijamo dijalog gde možemo podesiti boju privremenog pravougaonika (*temporary color*), boju pravougaonika, boju tačaka, debljinu linija kao i veličinu tačaka, slika 11.



Slika 11. Dijalog za podesavanje opcija grafičkog prikaza

KARTICA PLOT

Kartica *Plot* služi za iscrtavanje granulometrijskih krivih koje su unete na Input kartici. Slično kao i na Input kartici i ova kartica je vizuelno podeljena na levu stranu sa tabelama i desnu stranu sa grafičkim prikazom, slika 12.



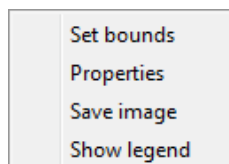
Slika 12. Plot kartica

Na levoj strani nalaze se opcije za selektovanje (*All drills*, *All samples from*), kao i tabele poput onih na Input kartici, uz dodatne kućice za štikliranje. Kao i na Input kartici, klikom na bušotinu, aktivira se tabela u sredini sa uzorcima, klikom na uzorak, aktivira se tabela sa unetim vrednostima za veličinu zrna i procenat. Štikliranjem određenog uzorka njegova granulometrijska kriva se pokazuje na grafičkom prikazu. Za svaki uzorak možemo izabrati boju i vrstu linije njegove granulometrijske krive. Štikliranjem određene bušotine štikliraju se svi njeni uzorci. Štikliranjem dugmeta *All drills* štikliraju se sve bušotine, dok se odštikliranjem odštikliraju sve bušotine. Upisivanjem vrednosti u polja *from* i *to* i klikom na dugme *Select* štikliraju se svi uzorci u svim bušotinama, čije su dubine u izabranom opsegu. Podaci u tabelama sa bušotinama i sa uzorcima se ne mogu menjati na kartici *Plot*, već samo i isključivo na *Input* kartici. U donjoj tabeli je moguće menjati vrednosti i na *Plot* kartici.

Na grafičkom prikazu na desnoj strani se nalazi iscrtan okvir, formular koji se inače koristi za prikaz granulometrijskih krivih.

Napomena: Litološka klasifikacija prema krupnoći zrna je urađena na osnovu standarda JUS (stari Jugoslovenski standard) i MIT (Američki). JUS je zadržan jer je srpski predlog povučen, a novi nije zvanično donet.

Na grafičkom delu je moguće koristiti povlačenje (*drag*) i uveličavanje ili umanjeње (*zoom*). Kada se prelazi kursorom preko grafičkog dela u status baru se prikazuje vrednost po x i y osi. Desnim klikom na grafičkom prikazu pojavljuje se meni, slika 13.



Slika 13. Meni koji se dobija desnim klikom na grafički prikaz na Plot kartici

Klikom na *Set bounds* pojavljuje se dijalog u kome se podešava opseg x-ose samim tim i izgled iscrtanog rama.

Klikom na *Properties* pojavljuje se dijalog u kome se podešavaju: naslov, boje, debljine linija rama, odnos širine i visine rama, veličina fonta, debljina linije granulometrijske krive, veličina snap-a¹ i jezik na kom su podaci u okviru ispisani.

Klikom na *Save image* aktivira se prozor za snimanje slike koja je trenutno na grafičkom prikazu.

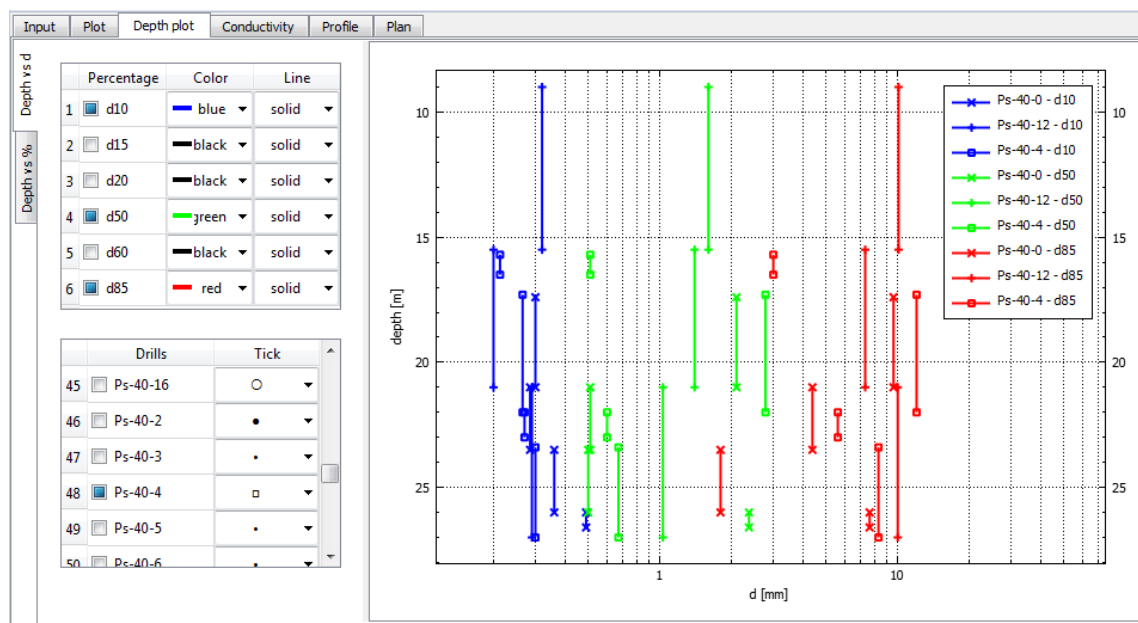
Klikom na *Show legend(Hide legend)* pojavljuje (sakriva) se legenda.

Klikom na određeni uzorak koji je štikliran u tabeli, na grafičkom prikazu se njegova granulometrijska kriva podeblja. Slično, ako na grafičkom prikazu kliknemo na određenu granulometrijsku krivu ona se podeblja i u tabelama na levoj strani je selektovan uzorak čija je to granulometrijska kriva.

Obratiti pažnju da se klikom na ime određene bušotine pojavljuje tabela sa njenim uzorcima, dok se štikliranjem bušotine (kvadratić ispred imena) ne pojavljuje spisak uzoraka, ali se sve granulometrijske krive pojavljuju na grafičkom prikazu.

KARTICA DEPTH PLOT

Kartica Depth plot se sastoji iz dve kartice: *Depth vs d* i *Depth vs %*, slika 14. Kartica *Depth vs d* služi za iscrtavanje grafika dubine (elevacije) u odnosu na debljinu zrna, dok kartica *Depth vs %* služi za iscrtavanje grafika dubine (elevacije) u odnosu na procenat.



Slika 14. Kartica *Depth plot*

Kartica *Depth vs d*

Slično kao i na prethodnim karticama, kartica *Depth vs d* se vizuelno sastoji iz leve strane, sa tabelama i desne strane, sa grafičkim prikazom.

¹ snap - radijus u odnosu na vrh kursora, u okviru koga je aktivno selekcionisanje objekta

Na levoj strani nalazi se tabela za odabir procenta koji će se crtati i tabela za odabir bušotine. Na tabeli za odabir procenta pored dugmeta za štikliranje možemo izabrati boju i vrstu linije za određeni procenat. Ukoliko je uzorak u nekom opsegu on će na grafičkom prikazu biti prikazan kao vertikalna linija koja ide od - do (*from - to*) zadate dubine.

U vezi sa ovim prikazom, treba biti oprezan, jer se mogu dobiti nelogični prikazi. U nastavku se daje objašnjenje.

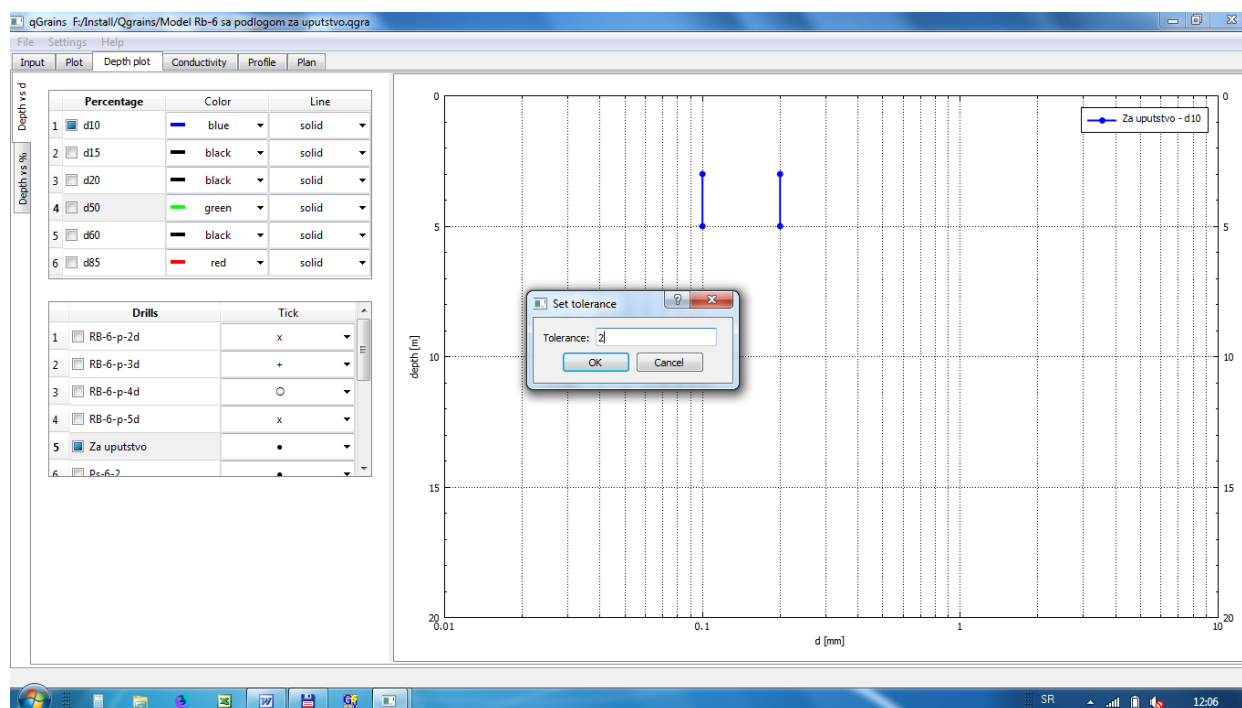
Tačke koje se zadaju na *Input* kartici ne moraju biti celobrojne, bitno je da su "blizu" traženog procenta. Uz pomoć tolerancije (meni *Settings -> Tolerance*) određujemo šta znači da su "blizu" traženog procenta. Na primer, ako u uzorku 3 do 5 m imamo tačke (debljina zrna, procenat):

(0.1, 8.2%),

(0.2, 10.2%),

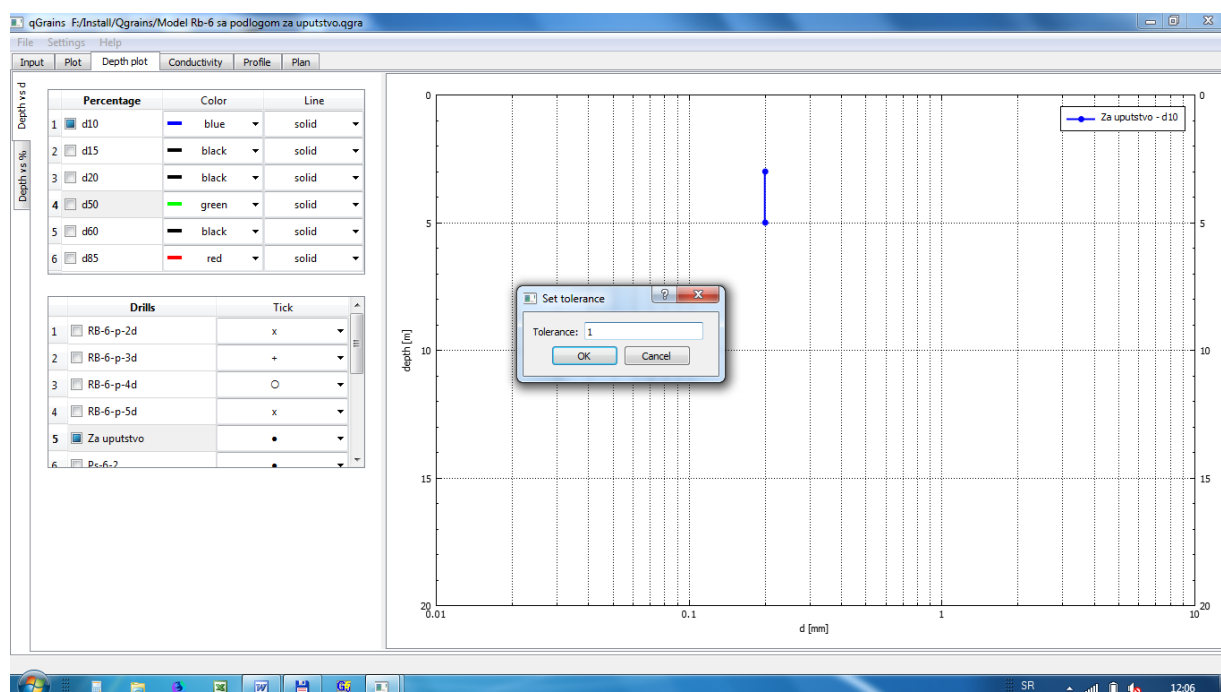
(0.3, 12.1%)

i toleranciju 2, za d_{10} biće iscrtane dve vertikalne linije i to jedna po x-osi na 0.1 mm, a po y-osi od 3 mm do 5 mm i druga po x-osi na 0.2 mm, a po y-osi isto od 3 m do 5 m. Treća tačka neće biti iscrtana jer nije dovoljno "blizu" d_{10} ($10\% \pm$ tolerancija), slika 15.



Slika 15. Ilustracija neodgovarajućeg izbora tolerancije (ovde je 2)

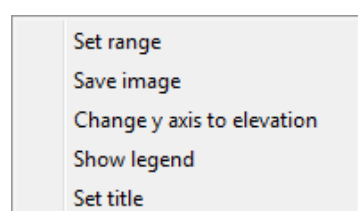
Smanjenjem tolerancije, na primer na 1, dobija se jedna, reprezentativna linija za d_{10} u intervalu od 3 m do 5 m, kao na slici 16.



Slika 16. Rezultat smanjenja tolerancije (ovde je 1)

Donja tabela služi da se odabere za koje sve bušotine će se tražiti određeni procenti i iscrtati grafik. **Napomena:** uvek se prikazuju svi uzorci iz odabranih bušotina.

Na grafičkom prikazu moguće je koristiti povlačenje (*drag*) i uveličavanje, ili umanj enje (*zoom*). Prelaskom kursora preko grafičkog prikaza, prikazuju se koordinate u status baru. Desnim klikom na grafičkom prikazu pojavljuje se meni, slika 17.



Slika 17. Meni koji se dobija desnim klikom na grafički prikaz na *Depth vs d*

Opcija *Set range* postavlja domen koji se prikazuje, opcija *Save image* snima jpg sliku onoga što je trenutno na grafičkom prikazu, opcija *Change y axis to elevation* (*Change y axis to depth*) menja prikaz po y osi na prikaz po elevaciji (dubini), opcija (*Hide/Show legend*) sakriva, ili pokazuje legendu, opcija *Set title* postavlja naslov.

Kartica *Depth vs %*

Vizuelno je i ova kartica podeljena na levu stranu, sa tabelama i desnu stranu, sa grafičkim prikazom, slika 18.

Na levoj strani, gornja tabela je tabela za odabir debljine zrna, pri čemu uvek postoji jedan prazan red u kome se po potrebi dodaje nova debljina (po principu *od_ do_*). U ovoj tabeli, pored dugmeta za štikliranje i polja za odabir debljine zrna, postoji i odabir boje i vrste linije. Donja tabela služi za odabir bušotine čije tačke će se pojaviti na grafiku kao i odabir oblika krajnjih tačaka.

Primer :

Neka na uzorku od 3 m do 5 m dubine imamo tačke (debljina zrna, procenat):

(0.15, 8.2%),

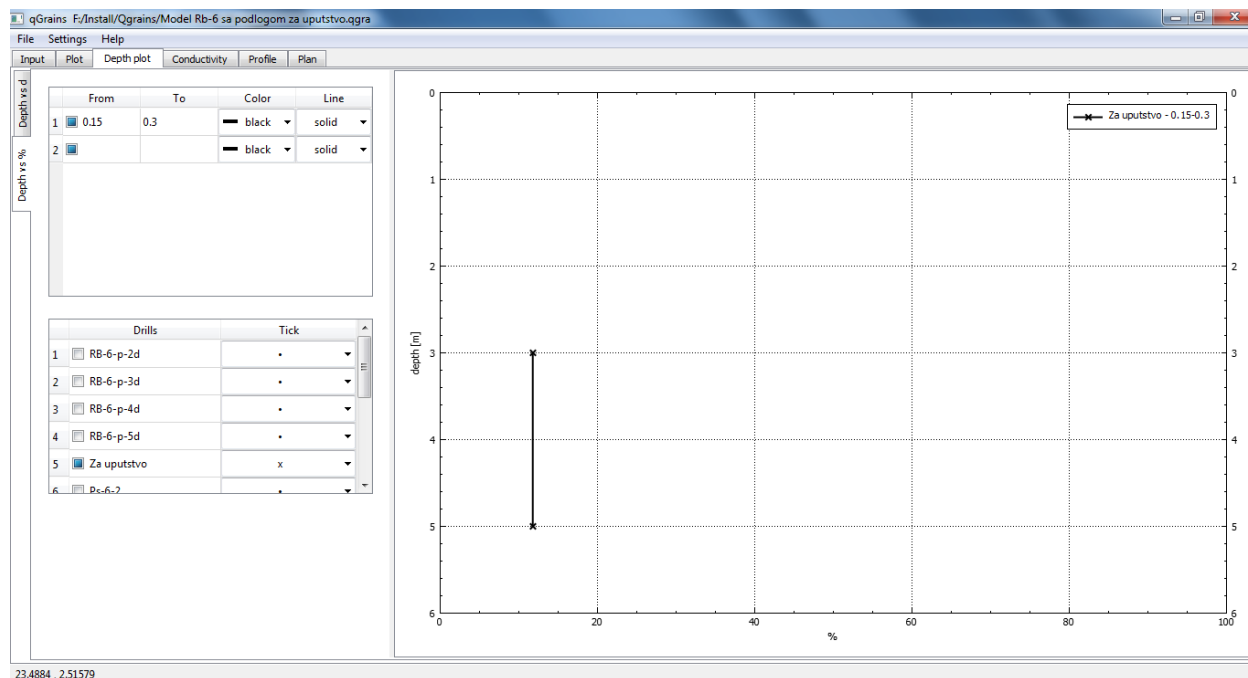
(0.30, 20%) i

(0.50, 85%),

i u gornjoj tabeli stavimo da se prikazuju zrna debljine od 0.15 mm do 0.3 mm, na grafiku će biti prikazana vertikalna linija po x-osi na:

$20\% - 8.2\% = 11.8\%$,

a po y-osi u intervalu dubine od 3 m do 5 m, slika 18.



Slika 18. Kartica *Depth vs %*

Ukoliko bi stavili da se prikazuju zrna od 0.1 mm do 0.3 mm, na grafiku će biti prikazana vertikalna linija po x-osi na:

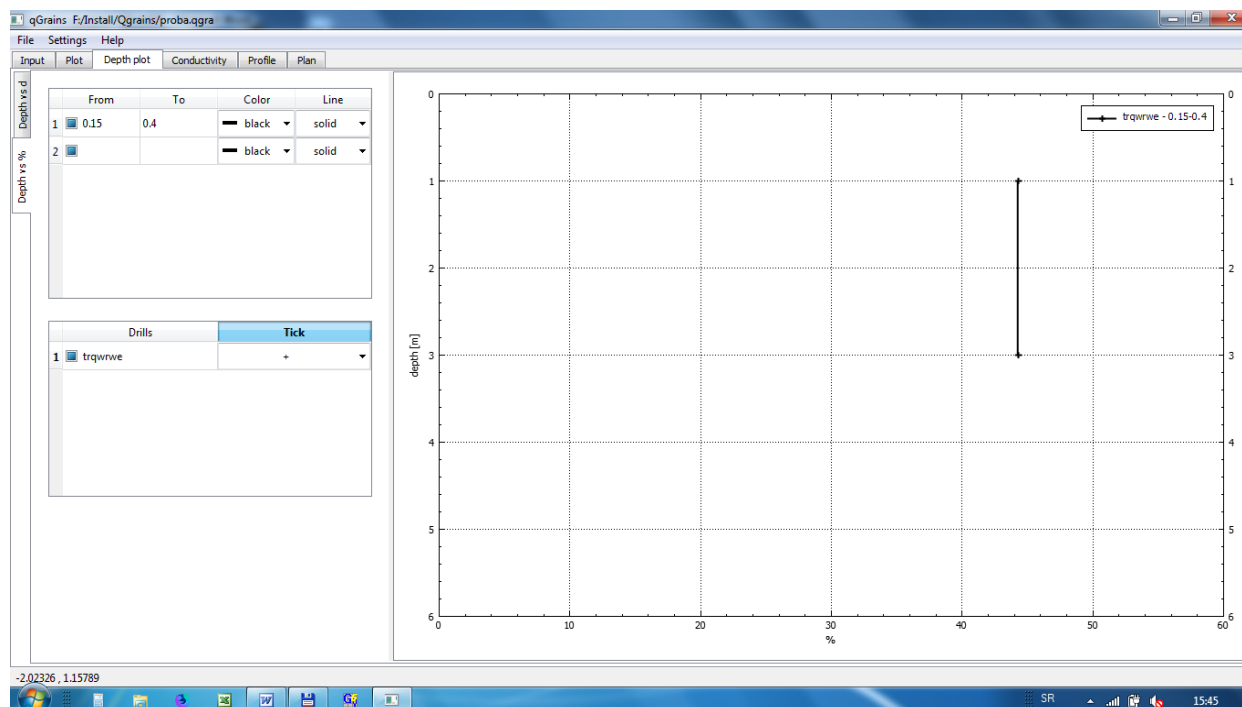
$20\% - 0\% = 20\%$,

a po y-osi u intervalu od 3 m do 5 m dubine. Minus 0% u prethodnom izrazu imamo zato što je zadata najmanja tačka na 0.15 mm, a ako nam treba tačnije moramo zadati manju.

Ukoliko bi stavili da se prikazuju zrna od 0.15 mm do 0.4 mm, na grafiku će biti prikazana vertikalna linija po x-osi na:

$52.5\% - 8.2\% = 44.5\%$,

a po y-osi od 3 m do 5 m dubine. Pošto nemamo procenat za debljinu 0.4 mm, linearnom interpolacijom iz najbližih tačaka dobijamo vrednost 52.5%, slika 19.

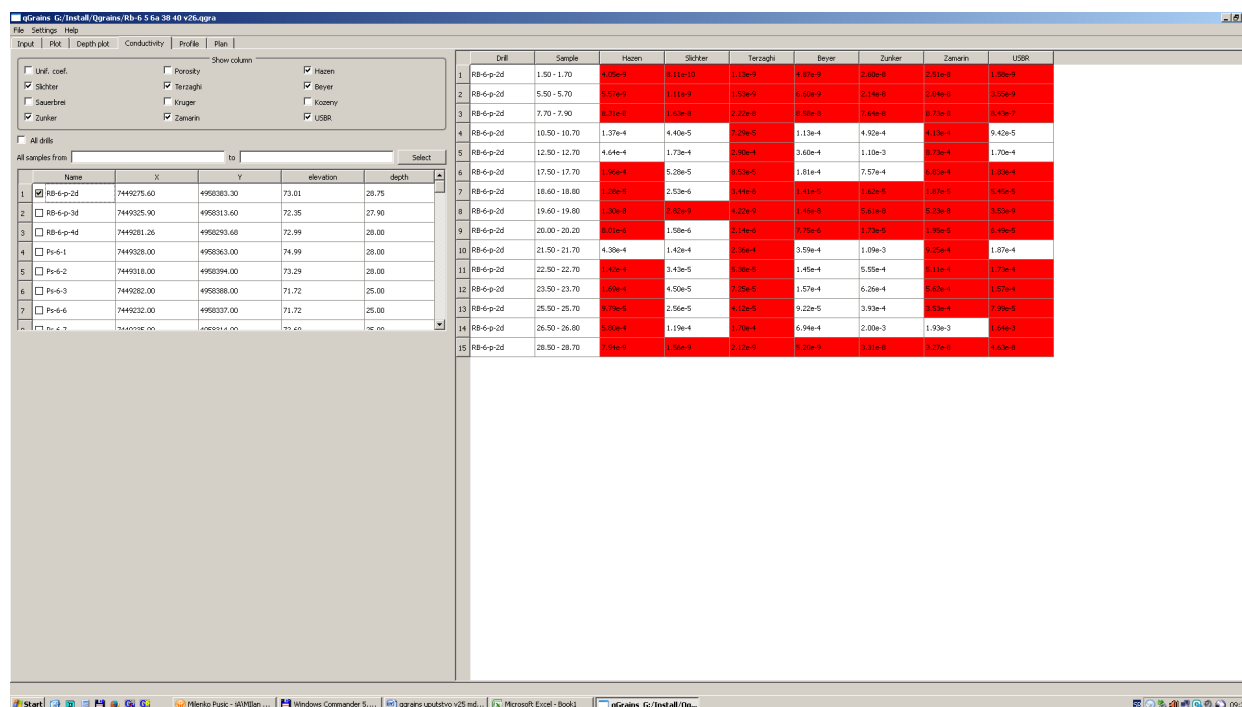


Slika 19. Kartica *Depth vs %*

Desnim klikom na grafičkom prikazu dobija se isti meni kao kada se desnim klikom na klikne na grafički prikaz kartice *Depth vs d*.

KARTICA CONDUCTIVITY

Ova kartica, slika 20, služi za izračunavanje poroznosti, koeficijenta neravnomernosti i koeficijenta filtracije po uzorcima. Koeficijenti filtracije se računaju prema empirijskim formulama deset autora.



Slika 20. Kartica *Conductivity*

Na levoj strani u okviru *Show column* su dugmići za štikliranje koja kolona će biti prikazana. Ispod se nalazi mehanizam sličan mehanizmu na *Plot* kartici za odabir za koje uzorke će biti prikazani izabrani kolone.

Crvenom bojom su označene ćelije gde dati autor ne preporučuje primenu svoje formule, obzirom na granulometrijski sastav uzorka.

U tabeli na desnoj strani prikazani su odabrani rezultati. Desnim klikom na tabelu na desnoj strani pojavljuje se opcija *export to csv* koja prikazanu tabelu snima u .csv fajl, pogodan za unošenje u *Excel*.

Napomena: U .csv fajl se prenose koeficijenti filtracije svih autora, bez obzira na njihov odabir u *qGrains*-u.

Obzirom na to da .csv fajl ne može da sadrži informaciju o boji ćelije u *Excel*-u, realizacijom *export to csv*, dobijamo dva .csv fajla: jedan sadrži koeficijente filtracije, a u drugi informaciju o boji ćelije (0 ne menja boju, 1 menja boju).

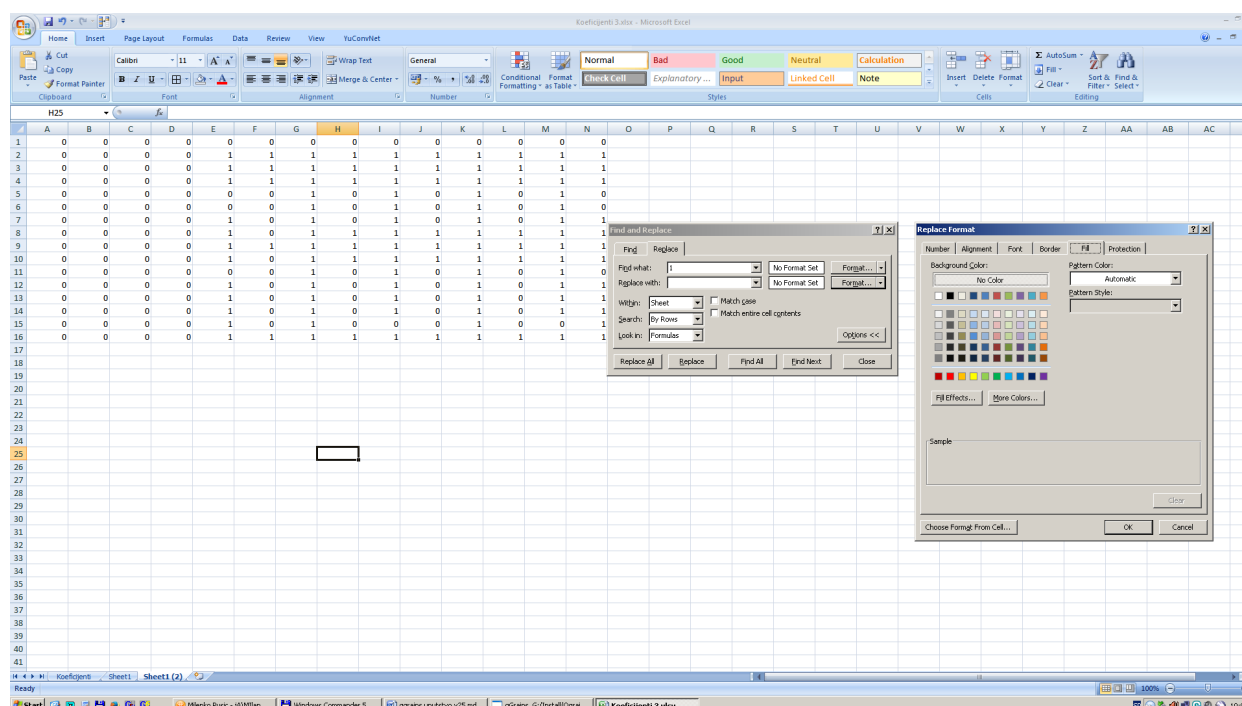
Postupak u *Excel*-u je sledeći:

1. Učitaju se oba fajla u *Excel*, može kao dva *Excel* fajla, a može i kao dve tabele (*sheet*) u jednom fajlu. Prva tabela (*sheet*) na primer izgleda kao na slici 21.
- 2.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD
1	Drill	Sample	Unif. coef.	Porosity	Hazen	Slichter	Terzaghi	Beyer	Sauerbrey	Kruger	Kozeny	Zunker	Zamarin	USBR																
2	RB-6-p-2d	1.50 - 1.70	18.694	0.263	4.05E-09	8.11E-10	1.13E-09	4.87E-09	2.30E-09	2.99E-08	2.59E-08	2.60E-08	2.51E-08	1.58E-09																
3	RB-6-p-2d	5.50 - 5.70	22.01	0.259	5.57E-09	1.11E-09	1.53E-09	6.60E-09	3.53E-09	2.44E-08	2.13E-08	2.14E-08	2.04E-08	3.55E-09																
4	RB-6-p-2d	7.70 - 7.90	36.681	0.255	8.31E-08	1.63E-08	2.22E-08	8.58E-08	2.95E-07	1.24E-07	6.32E-08	7.64E-08	8.79E-08	8.43E-07																
5	RB-6-p-2d	10.50 - 10.70	3.598	0.385	1.37E-04	4.40E-05	7.29E-05	1.13E-04	1.41E-04	3.44E-04	7.59E-04	4.92E-04	4.13E-04	9.42E-05																
6	RB-6-p-2d	12.50 - 12.70	2.276	0.422	4.64E-04	1.73E-04	2.90E-04	3.60E-04	4.74E-04	7.25E-04	1.83E-03	1.10E-03	8.79E-04	1.70E-04																
7	RB-6-p-2d	17.50 - 17.70	5.765	0.342	1.96E-04	5.28E-05	8.53E-05	1.81E-04	1.87E-04	6.15E-04	1.02E-03	7.57E-04	6.83E-04	1.83E-04																
8	RB-6-p-2d	18.60 - 18.80	30.778	0.256	1.28E-05	2.53E-06	3.44E-06	1.41E-05	1.39E-05	2.69E-05	1.34E-05	1.62E-05	1.87E-05	5.45E-05																
9	RB-6-p-2d	19.60 - 19.80	11.077	0.287	1.30E-08	2.82E-09	4.22E-09	1.46E-08	6.44E-09	5.45E-08	6.33E-08	5.61E-08	5.23E-08	3.53E-09																
10	RB-6-p-2d	20.00 - 20.20	43.422	0.255	8.01E-06	1.58E-06	2.14E-06	7.75E-06	1.46E-05	2.75E-05	1.45E-05	1.73E-05	1.95E-05	6.49E-05																
11	RB-6-p-2d	21.50 - 21.70	3.508	0.388	4.38E-04	1.42E-04	2.36E-04	3.59E-04	3.38E-04	7.03E-04	1.67E-03	1.09E-03	9.25E-04	1.87E-04																
12	RB-6-p-2d	22.50 - 22.70	7.835	0.314	1.42E-04	3.43E-05	5.38E-05	1.45E-04	1.26E-04	4.90E-04	8.89E-04	5.55E-04	5.11E-04	1.73E-04																
13	RB-6-p-2d	23.50 - 23.70	5.941	0.339	1.69E-04	4.50E-05	7.25E-05	1.57E-04	1.61E-04	5.06E-04	8.45E-04	6.26E-04	5.62E-04	1.57E-04																
14	RB-6-p-2d	25.50 - 25.70	6.197	0.335	9.79E-05	2.56E-05	4.12E-05	9.22E-05	7.18E-05	3.19E-04	5.25E-04	3.93E-04	3.53E-04	7.99E-05																
15	RB-6-p-2d	26.50 - 26.80	15.225	0.27	5.80E-04	1.19E-04	1.70E-04	6.94E-04	4.11E-04	2.22E-03	2.05E-03	2.00E-03	1.93E-03	1.64E-03																
16	RB-6-p-2d	28.50 - 28.70	95.757	0.255	7.94E-09	1.56E-09	2.12E-09	5.20E-09	1.97E-08	4.12E-08	3.13E-08	3.31E-08	3.27E-08	4.63E-08																

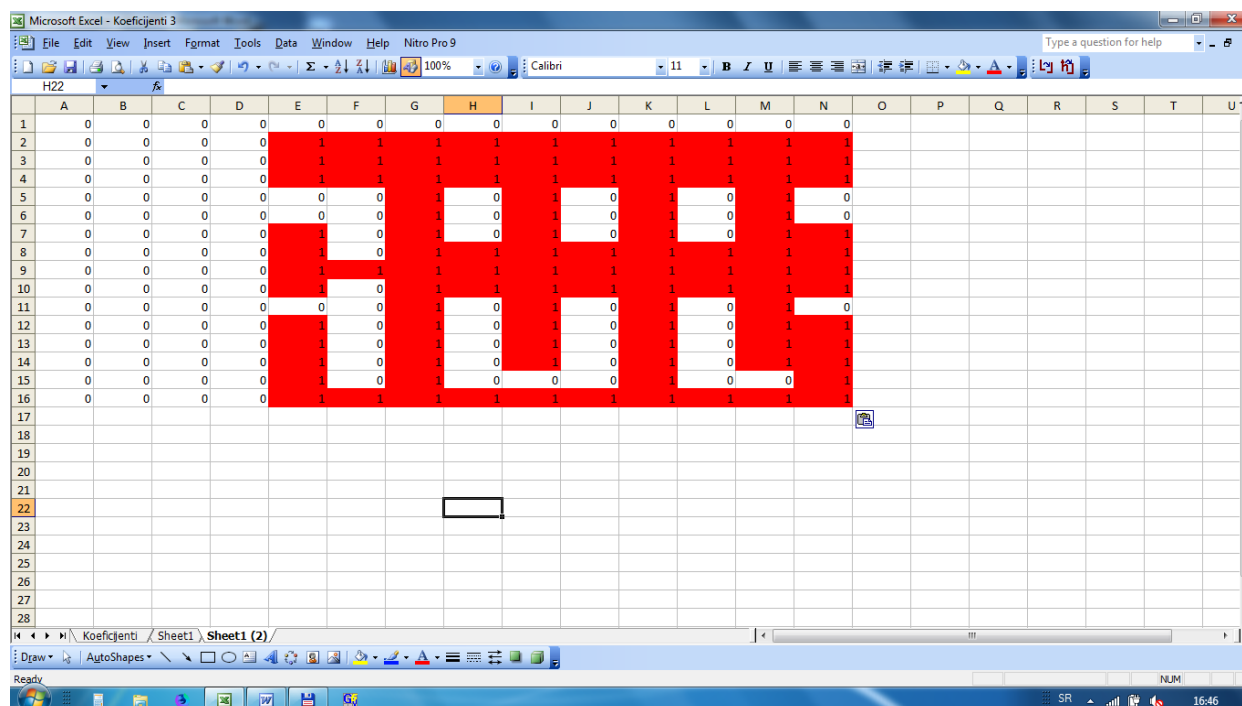
Slika 21. Učitani .csv fajl, sa vrednostima koeficijenata filtracije. Dati su svi rezultati proračuna, bez obzira na njihovu primenljivost

3. U tabeli (*sheet*-u) sa oznakama 0 i 1, sa *Ctrl+H* otvorimo meni *Replace*.
4. U *Find what*: upišemo 1.
5. U *Replace with*: ne upišemo ništa, ali otvorimo *Format* i izaberemo željenu boju, slika 22.



Slika 22. Učitani .csv fajl, sa informacijom o promeni boje ćelije

6. Po zatvaranju menija, dobićemo tabelu, kao na slici 23.



Slika 23. Učitani .csv fajl, sa promenjenom boje ćelije u kojoj je vrednost koeficijenta filtracije izvan preporučenog opsega granulometrijskog sastava

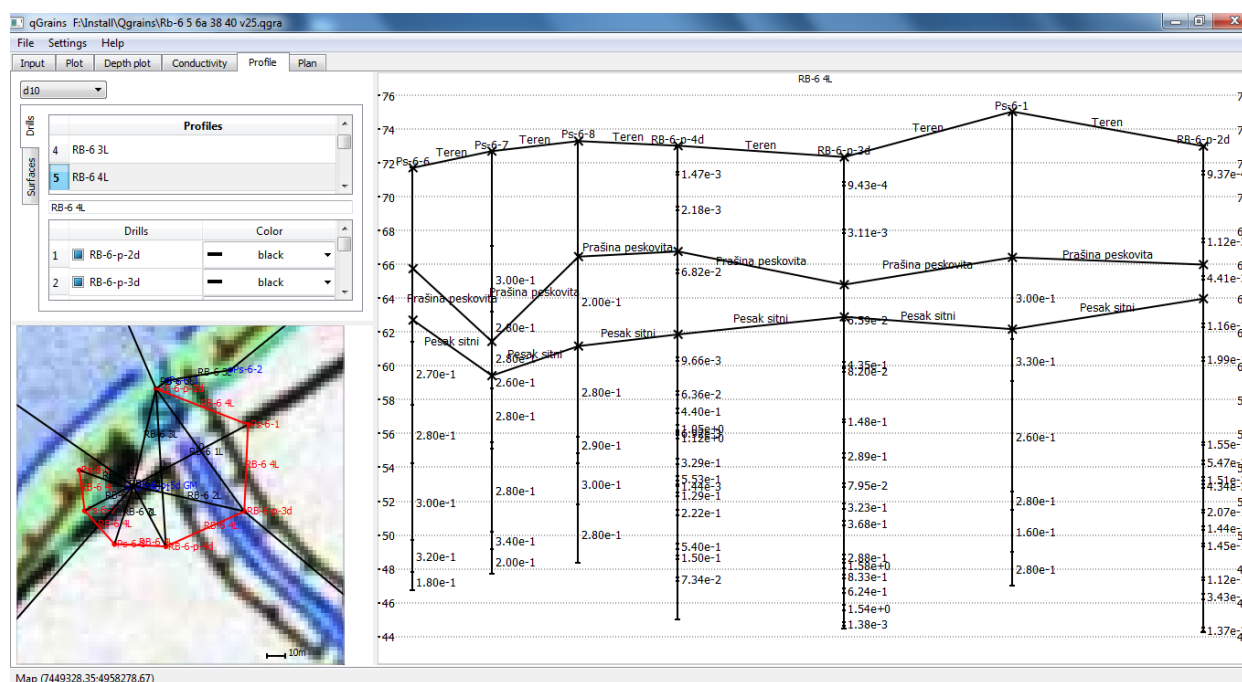
7. U tabeli (*sheet-u*) sa koeficijentima filtracije izvršimo selektovanje i kopiranje (*Copy*).
8. Vratimo se u tabelu sa oznakama 0 i 1 i prekopiramo koeficijente filtracije, sa *Paste Special – Values*. Rezultat treba da bude kao na slici 24.

Drill	Sample	Unif. coef	Porosity	Hazen	Slichter	Terzaghi	Beyer	Sauerbrey Kruger	Kozeny	Zunker	Zamarin	USBR
1	RB-6-p-2d 1.50-1.7x	18.694	0.263	4.05E-09	8.11E-10	1.11E-09	4.87E-09	2.3E-09	2.99E-08	2.99E-08	2.4E-08	1.58E-09
2	RB-6-p-2d 1.50-1.7x	22.01	0.259	5.57E-09	1.11E-09	1.53E-09	6.6E-09	3.34E-09	2.44E-08	2.44E-08	2.04E-08	1.55E-09
3	RB-6-p-2d 1.70-1.9x	36.681	0.255	8.31E-08	1.63E-08	2.22E-08	8.58E-08	2.95E-07	1.24E-07	6.32E-08	6.75E-08	8.43E-07
4	RB-6-p-2d 1.50-1.7x	3.598	0.385	0.000137	0.000044	7.29E-05	0.000113	0.000141	0.000759	0.000492	0.000413	9.42E-05
5	RB-6-p-2d 1.50-1.7x	2.276	0.422	0.000464	0.000173	0.00029	0.00036	0.000474	0.000725	0.00183	0.0011	0.000873
6	RB-6-p-2d 1.50-1.7x	5.785	0.342	0.000196	5.28E-05	8.53E-05	0.000181	0.000187	0.000615	0.00102	0.000757	0.000683
7	RB-6-p-2d 1.50-1.7x	30.778	0.256	1.28E-05	2.53E-06	3.44E-06	1.41E-05	1.39E-05	2.69E-05	1.44E-05	1.63E-05	1.67E-05
8	RB-6-p-2d 1.50-1.7x	11.077	0.287	1.3E-08	2.88E-09	4.22E-09	1.48E-08	6.44E-09	5.45E-08	6.33E-08	5.81E-08	5.23E-08
9	RB-6-p-2d 1.50-1.7x	43.422	0.255	8.01E-08	1.58E-06	2.14E-06	7.75E-06	1.46E-05	2.75E-05	1.45E-05	1.73E-05	1.95E-05
10	RB-6-p-2d 1.50-1.7x	3.508	0.388	0.000438	0.000142	0.000236	0.000359	0.000338	0.000783	0.00167	0.00109	0.000925
11	RB-6-p-2d 1.50-1.7x	7.835	0.314	0.000142	3.43E-05	5.38E-05	0.000145	0.000128	0.000689	0.000555	0.000511	0.000178
12	RB-6-p-2d 1.50-1.7x	5.941	0.339	0.000169	0.000045	7.25E-05	0.000157	0.000181	0.000506	0.000845	0.000626	0.000562
13	RB-6-p-2d 1.50-1.7x	6.197	0.335	8.79E-05	2.56E-05	4.12E-05	9.22E-05	7.18E-05	0.000319	0.000525	0.000393	0.000383
14	RB-6-p-2d 1.50-1.7x	15.325	0.27	0.00058	0.000119	0.00017	0.000894	0.000411	0.00222	0.00205	0.002	0.00193
15	RB-6-p-2d 1.50-1.7x	95.757	0.255	2.94E-09	1.56E-09	2.12E-09	5.2E-09	1.97E-08	4.12E-08	3.13E-08	3.31E-08	3.27E-08
16	RB-6-p-2d 1.50-1.7x											4.63E-08

Slika 24. Završni oblik tabelle sa označenim koeficijentima filtracije, koji su izvan preporučenog opsega autora

KARTICA PROFILE

Ova kartica, slika 25, služi za grafički prikaz zadatih i sračunatih vrednosti materijalnih parametara duž odabranih profila, kao i za definisanje graničnih površi šematizovanih slojeva i njihovo prikazivanje.



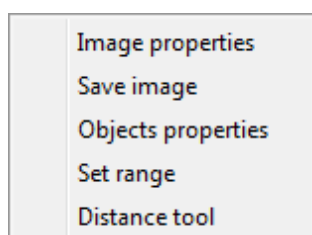
U delu za odabir izračunatih vrednosti, nalazi se padajući meni gde se bira jedna od opcija: d_{10} , d_{15} , d_{20} , d_{50} , d_{60} , d_{85} , *Unif. coef*, *Porosity*, *Hazen*, *Slichter*, *Terzaghi*, *Beyer*, *Sauerebrei*, *Kruger*, *Kozeny*, *Zunker*, *Zamarin*, *USBR*, *Grain size*. Ukoliko je odabrano *Grain size*, pojavljuju se dva polja za unos intervala veličine zrna. U ovom slučaju dobijena vrednost je identična onoj na kartici *Depth vs %*.

Kartica *Drills* se sastoji od tabele za prikaz profila i tabele za odabir bušotina. Tabela sa profilima uvek ima prazan poslednji red u koji se unosi novi profil. Profil je definisan redosledom štikliranja bušotina, pri čemu se poslednja štiklirana bušotina uvek dodaje na kraj izlomljene linije profila.

U delu za odabir bušotine, izlistane su sve bušotine i postoji kućica za štikliranje bušotina koje želimo da budu prikazane na grafičkom prikazu. Takođe, svakoj bušotini je moguće dodeliti boju na grafičkom prikazu.

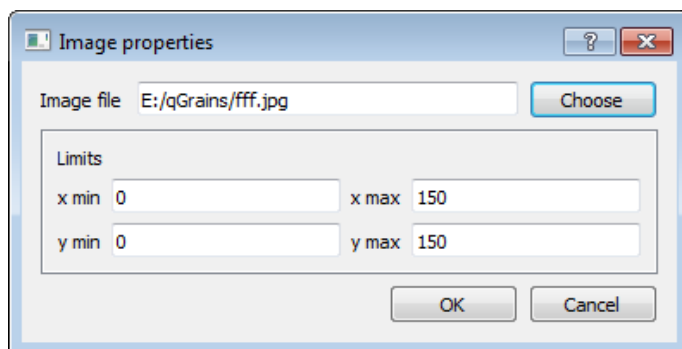
Na kartici *Surfaces* prikazana su imena površi. Površ se prave na grafičkom prikazu, više reči o tome biće kasnije u tekstu.

Na mapi su prikazane bušotine u odnosu na svoje koordinate koje su unete na kartici *Input*. Desnim klikom na mapu otvara se meni, slika 26, sa opcijama *Image properties*, *Save image*, *Objects properties*, *Set range*, *Distance tool*.



Slika 26. Meni koji se dobija desnim klikom na mapu

Klikom na *Image properties*, dobija se dijalog na slici 27.

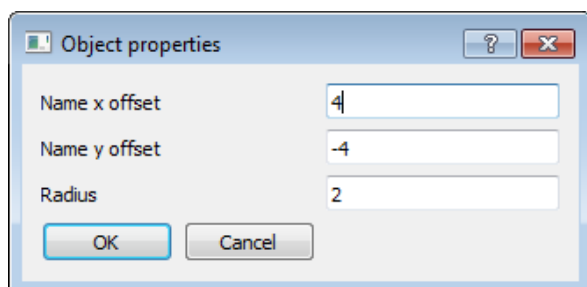


Slika 27. Dijalog *Image properties*

U polju *Image file* unosi se lokacija fajla u kome se nalazi skenirana, ili satelitska mapa lokacije (ekstenzija je *.jpg*). Ovo je moguće uraditi i klikom na dugme *Choose* i izabiranjem željenog fajla. U poljima *x min* i *y min* unose se koordinate donje leve tačke karte, a u poljima *x max* i *y max* unose se koordinate gornje desne tačke karte.

Klikom na *Save image* snimamo trenutnu sliku mape.

Klikom na *Objects properties* dobijamo dijalog na slici 28.



Slika 28. *Object properties* dijalog na mapi

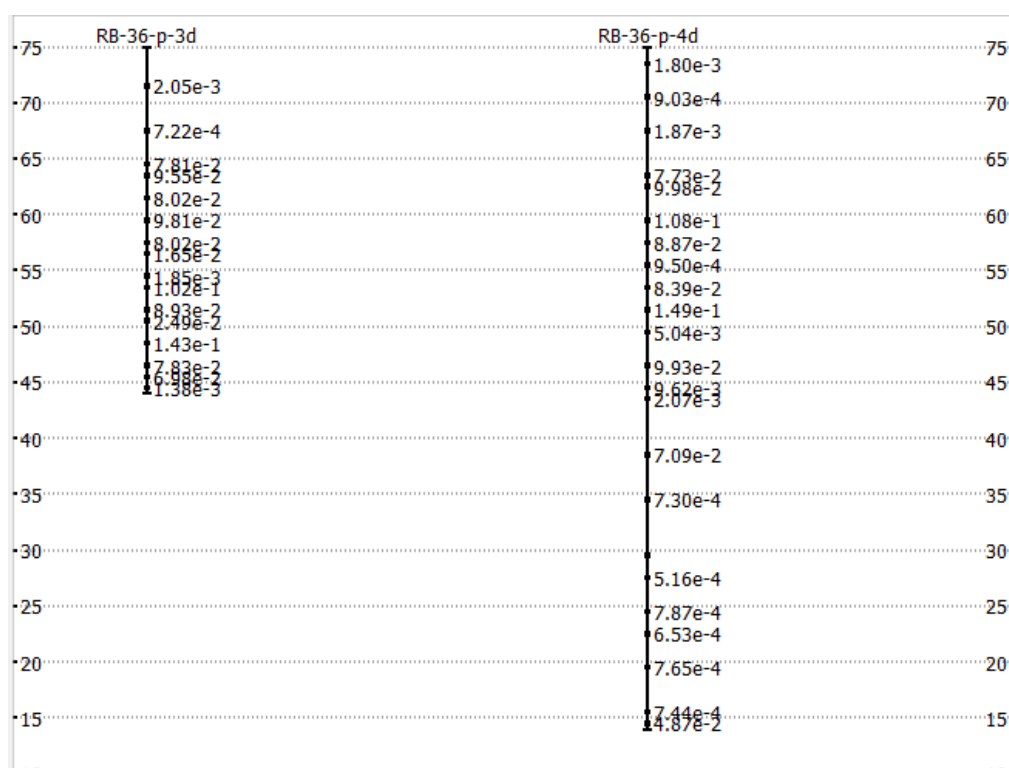
U ovom dijalogu se podešava veličina radijusa kružića bušotine i pomeraj (*offset*) imena bušotine.

Klikom na *Set range* otvara se dijalog u kom se podešava domen koji se prikazuje.

Klikom na *Distance tool* aktivira se alatka za merenje distance.

Duplim klikom na unutrašnjost kruga bušotine na mapi, u delu za odabir bušotina odgovarajuća bušotina se štiklira, ili odštiklira. Štiklirane bušotine su na mapi prikazane crvenom bojom, dok su odštiklirane prikazane plavom bojom. Prelaskom kursora preko mape, u status baru se ispisuje *Map (x,y)*, pri čemu su umesto x i y prikazane vrednosti koordinata na mapi. Neaktivni profili su prikazani na mapi crnom bojom, dok je selektovani profil (na kartici *Drills* u tabeli za prikaz profila) prikazan crvenom bojom.

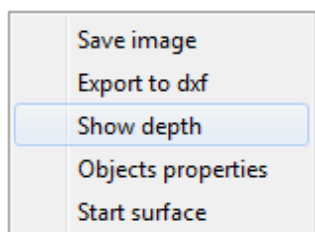
Na grafičkom prikazu su prikazane bušotine i vrednosti izabranog materijalnog parametra u profilu, slika 29. Takođe, na grafičkom prikazu su prikazane i odabrane površi. Vrednosti izabranog materijalnog parametra je sive boje ukoliko je *d efektivno* u sukobu sa granicama veličine zrna koje se preporučuju za korišćenje formule po određenom autoru



Slika 29. Primer bušotina na grafičkom prikazu

Vrednosti parametra su date za svaki uzorak. Grafički prikaz predstavlja profil po izlomljenoj liniji, čija su temena izabrane bušotine i to po redosledu kojim su izabrane. Na mapi je prikazana ta izlomljena linija u planu. Na grafičkom prikazu je moguće pomeranje (*drag*) i zumiranje (*zoom*). Takođe, moguće je i zumiranje po samo jednoj od osa, držanjem *Ctrl* dugmeta na tastaturi i okretanjem točkića na mišu zumira se po x-osi, a držanjem *Shift* i okretanjem točkića na mišu zumira se samo po y-osi.

Desnim klikom na grafički prikaz dobija se meni na slici 30



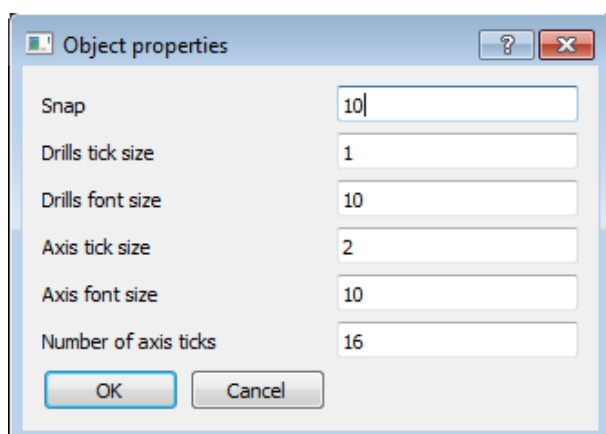
Slika 30. Meni koji se dobija desnim klikom na grafički prikaz na kartici *Profile*

Klikom na *Save image* snimamo sliku koja je trenutno prikazana na grafičkom prikazu.

Klikom na *Export to dxf* snimamo sliku u *dxf* formatu.

Klikom na *Show depth (Hide depth)* sa leve strane bušotine prikazuje se srednja vrednost dubine uzorka.

Klikom na *Objects properties* dobijamo dijalog na slici 31, gde se podešavaju veličine tikova (poprečne linije koje na osi bušotine označavaju granice intervala uzoraka) i veličine fonta i za bušotine i za y-osu. Takođe ovde se podešava i broj tikova koji će biti prikazani na y-osi.



Slika 31. *Objects properties* dijalog na grafičkom prikazu

Klikom na *Start surface* zadaje se nova površ. Tačke nove površi se zadaju duplim klikom na grafičkom prikazu. Tačke se zadaju redom na svakoj od bušotina koja je izabrana za prikaz u profilu. Na kartici *Surface* se automatski pojavljuje ime površi (redni broj) koje je u svakom trenutku moguće promeniti.

Na kartici *Surfaces* postoji mogućnost štikliranja svake površi, kada je određena površ štiklirana ona je prikazana na grafičkom prikazu. Ukoliko kliknemo određenu površ na kartici *Surfaces*, ona na grafičkom prikazu postaje roze boje. Slično, ako na grafičkom prikazu kliknemo na neku površ, ona na kartici *Surfaces* postaje selektovana.

Površ možemo obrisati tako što u tabeli na kartici *Surfaces* selektujemo površ i stisnemo *Delete* na tastaturi. Kada je selektovana neka površ moguće je pomerati tačke koje je čine. Moguće je i dodati tačke bilo kojoj površi, i to tako što se selektuje data površ, te se potom desnim klikom na grafički prikaz dobija meni koji ima oblik kao na slici 30 uz dodatak opcije *Add point to selected surface*. Klikom na ovu opciju moguće je započeti dodavanje tačaka.

Desnim klikom na tabelu na kartici *Surfaces* pojavljuje se opcija *Export to csv*, pomoću koje dobijamo sve površi snimljene u .csv fajlu. U njemu je, u prvom redu, ime površi, a zatim u sledećim redovima, koordinate bušotina u profilu i definisane kote površi.

KARTICA PLAN

Ova kartica, slika 32, služi za grafički prikaz u planu zadatih i sračunatih vrednosti materijalnih parametara po različitim presecima. Sastoji se od dela za odabir preseka (ili intervala), dela za odabir zadate, ili sračunate vrednosti u planu, dela za odabir proračunskog domena za izolinije, dela za odabir vrednosti izolinije i mape.

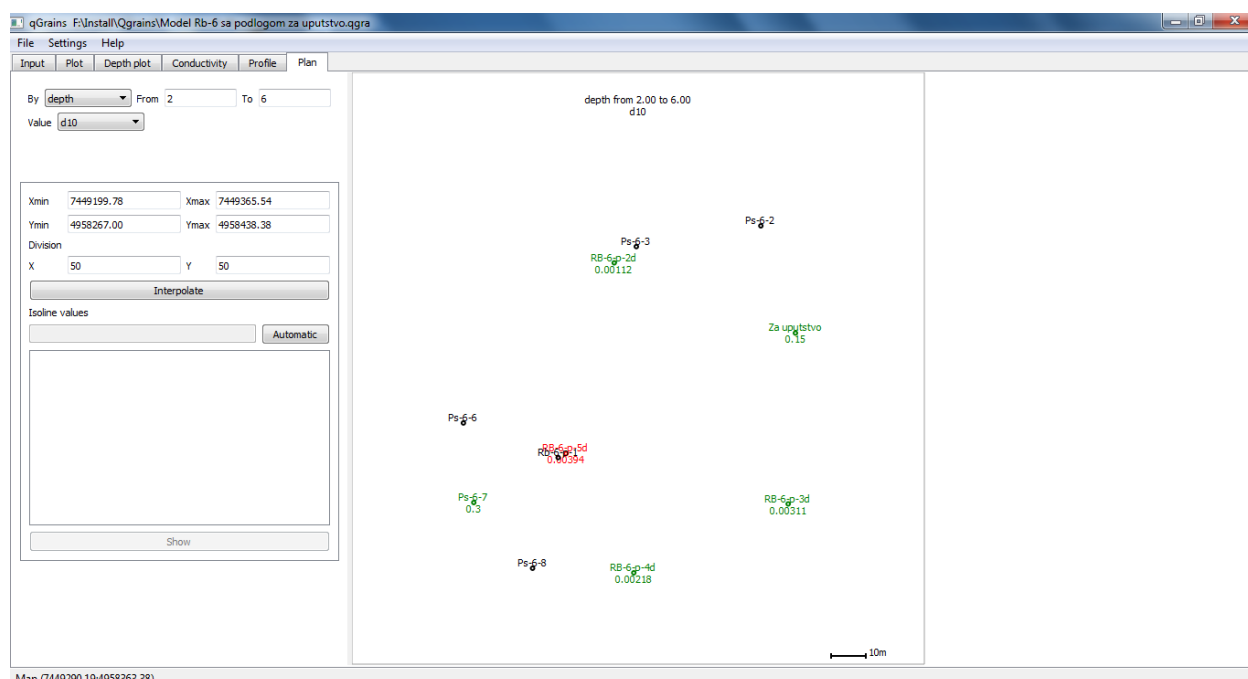
Na mapi je prikazana karta sa imenima bušotina i sračunatim vrednostima. Mapa je povezana sa mapom na *Profile* kartici. Mapu je pomoću miša moguće pomerati (levim klikom) ili uveličavati/umanjivati (na točkić).

Na padajućem meniju *By* možemo izabrati vrstu preseka, i to: *elevation*, *depth*, *surface* i *thickness*.

Ukoliko je izabrano *elevation*, ili *depth*, pojavljuju se dve kućice za unos vrednosti od (*From*) do (*To*) i još jedan padajući meni za odabir parametra koji se prikazuje. Za *depth* se prikazuju uzorci koji se nalaze na dubini između vrednosti zadatih u kućicama. Za *elevation* se prikazuju uzorci, koji se nalaze na koti između zadatih vrednosti u kućicama.

Primeru radi, ako smo izbrali *depth* i postavili vrednosti od 15 m do 20 m, a imamo uzorke na jednoj bušotini 14 - 16, 17 - 19 i 19.5 - 20, dubine, biće obuhvaćeni uzorci 17-19 i 19.5-20. Kada postoji više vrednosti, nalazi se njihova aritmetička sredina i ona je prikazana na mapi. Vrednost i ime bušotine su obeleženi:

- crnom bojom, ako u toj bušotini ne postoji uzorak u zadatim granicama,
- zelenom bojom, ako u toj bušotini postoji samo jedan uzorak u zadatim granicama,
- crvenom bojom, ako u toj bušotini postoji više uzoraka u zadatim granicama. Vrednost je dobijena kao aritmetička sredina vrednosti svih uzoraka.



Slika 32. Kartica Plan

Ukoliko je izabrano *surface* pojavljuje se dodatni padajući meni u kome je moguće izabrati neku od površi, prethodno definisanih na *Profile* kartici. Na mapi se prikazuju vrednosti kota po bušotinama. Naziv bušotine je crne boje ukoliko površ nema vrednost u toj bušotini. Naziv bušotine i vrednost kote su zelene boje ako površ ima vrednost u toj bušotini.

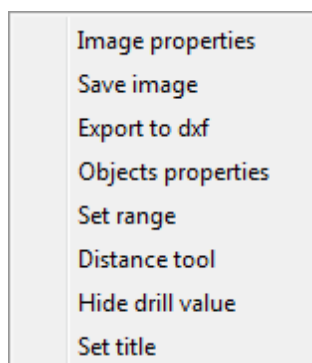
Ukoliko je izabrano *thickness* pojavljuju se dva dodatna padajuća menija i na oba se bira neka od površi prethodno definisanih na *Profile* kartici. Na mapi se prikazuju vrednosti razlika kota izabranih površi u bušotinama.

Kada god se promeni izbor na nekom od padajućih menija, ili sklonimo fokus sa kućica, menja se i mapa prikaza.

U delu za odabir proračunskog domena za izolinije, potrebno je uneti pravougaonik (*Xmin*, *Xmax*, *Ymin*, *Ymax*), u kom će se računati izolinije, kao i podelu domena (*Division X* i *Division Y*). Potom je potrebno kliknuti na dugme *Interpolate* da bi se vrednosti koje postoje interpolirale na celom domenu. Vrednosti za pravougaonik je moguće automatski uneti duplim klikom na mapu.

Tek kada su dobijene interpolirane vrednosti, moguće je uneti vrednosti izolinija i potom ih prikazati klikom na dugme *Show*. Vrednost izolinije je moguće uneti u kućicu, klikom na *Enter* ona se prikazuje u listi izolinija. Drugi način je klikom na dugme *Automatic*, gde u dijalogu koji se pojavljuje, unosimo ukupan broj izolinija, koje će se uniformno raspodeliti između minimalne i maksimalne vrednosti, koje su dobijene interpolacijom.

Desnim klikom na mapu dobija se meni kao na slici 33.

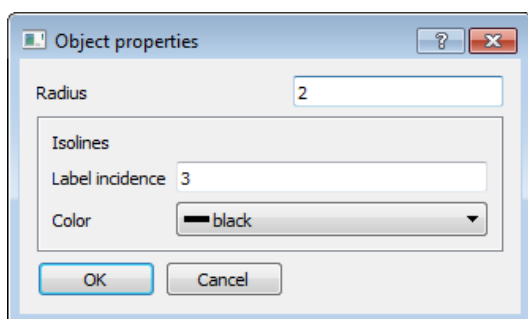


Slika 33. Meni koji se pojavljuje desnim klikom na mapu

Klikom na *Image properties* dobija se dijalog kao na slici 27 i ima istu ulogu kao i za mapu na kartici *Profile*. Klikom na *Save image* snimamo trenutnu sliku mape.

Klikom na *Export to dxf* snimamo sliku u formatu prikladnom za *AutoCAD*.

Klikom na *Objects properties* dobijamo dijalog kao na slici 34, gde možemo podesiti radijus bušotine na mapi, razmak pojavljivanja brojeva na izolinijama (*Label incidence*) i boju izolinija.



Slika 34. *Objects properties* na kartici *Plan*

Klikom na *Set range* dobijamo dijalog za postavljanje domena za prikaz mape.

Klikom na *Distance tool* aktivira se alatka za merenje distance.

Klikom na *Show/Hide drill value* prikazuje se, ili sakriva vrednost u bušotini.

Klikom na *Set title* podešava se tekst za naslov. Na grafičkom prikazu se za naslov pored postavljenog teksta dodaju i izabrane postavke.

TEORIJSKE OSNOVE

Koeficijent filtracije je osnovni parametar za proračun filtracije podzemnih voda. Sadrži zajedničke filtracione osobine i porozne sredine i podzemnih voda koje se u njoj nalaze. Do definicije koeficijenta filtracije se došlo prilikom formulisanja Darsijevog zakona, izvedenog na osnovu brojnih eksperimenata, izvedenih od strane Henrija Darsi (Henry Darcy), tokom 1856. godine u Dižonu (Dijon) u Francuskoj. Ovaj zakon, nazvan po svom autoru, može se izraziti u sledećem obliku:

$$Q = \omega \cdot K \cdot I \quad (1)$$

odnosno

$$v = K \cdot I = \frac{Q}{\omega} \quad (2)$$

gde je:

Q – proticaj, zapremina tečnosti (podzemnih voda) koja u jedinici vremena protekne kroz poprečni presek filtracionog toka, [L^3T^{-1}];

ω – ukupna površina poprečnog preseka strujnog toka, uključujući i pore i stensku masu u datom preseku, [L^2];

K – koeficijent filtracije (koeficijent proporcionalnosti), [LT^{-1}];

I – hidraulički pad, gubitak energije jedinice težine tečnosti duž jedinične dužine strujnog toka [-];

v – filtraciona (Darsijeva) brzina filtracije, koja se izražava i kao količnik proticaja i ukupne površine poprečnog preseka strujnog toka podzemnih voda, [LT^{-1}];

U prethodnoj jednačini, koeficijent filtracije reprezentuje filtracione osobine porozne sredine (veličinu, oblik, raspored zrna, poroznost, itd.) i podzemni tok, fluid, koji se kroz nju kreće (pre svega viskozitet).

Imajući u vidu da se podzemne vode nalaze i kreću samo kroz sistem pora, zaključuje se da Darsijeva brzina nije i realna brzina filtracije, nego fiktivna veličina. U jednačini (2), pretpostavka je da podzemna voda zauzima ceo poprečni presek strujnog toka, a izračunata brzina je u tom slučaju osrednjena, reprezentativna veličina.

Iz jednačine (2) se vidi da je brzina toka direktno proporcionalna koeficijentu filtracije, što znači da se greška u određivanju ovog koeficijenta direktno odražava i na tačnost brzine, odnosno filtracionog proticaja. U prirodnim uslovima, filtracione karakteristike sredine su po pravilu neravnomerno raspoređene u prostoru, što još više ukazuje na značaj realnog određivanja koeficijenta filtracije.

U praksi se koristi više metoda za određivanje koeficijenta filtracije, koje se primenjuju u zavisnosti od raspoloživih podataka, cilja istraživanja, prirodnih uslova i drugih ograničavajućih faktora.

Prednosti metoda koje se zasnivaju na primeni empirijskih formula i korišćenju podataka o granulometrijskom sastavu porozne sredine, ogledaju se u relativno brzom i jeftinom određivanju koeficijenata filtracije. Glavni nedostatak ovih metoda je vezan za reprezentativnost analiziranog uzorka u odnosu na ukupnu zapreminu izučavanog prostora, kao i ograničenost primene u zavisnosti od drugih uslova.

Na osnovu analize laminarnog strujanja podzemnih voda u poroznoj sredini, koja je šematizovana sistemom cevčica različitog prečnika, izvedena je zavisnost (Vukovic, Soro, 1991,1992):

$$K = \frac{g}{\nu} \cdot C \cdot \varphi(n) \cdot d_{ef}^2 \quad (3)$$

gde je:

g - gravitacija, [LT^{-2}],

ν - kinematski koeficijent viskoznosti, [L^2T^{-1}].

C - bezdimenzionalni koeficijent, zavisi od većeg broja parametara porozne sredine (sortiranost, oblik zrna, petrografski sastav, heterogenost, itd.),

$\varphi(n)$ - funkcija koja definiše vezu između realne i šematizovane porozne sredine, zavisi od poroznosti i stepena zbijenosti,

n – poroznost, [-].

d_{ef} - efektivni prečnik zrna porozne sredine, [L].

Za proračun vrednosti kinematskog koeficijenta viskoznosti vode u zavisnosti od temperature (t), može se koristiti sledeći izraz:

$$\nu = 3.0277 \cdot 10^{-14} \cdot t^4 - 8.731 \cdot 10^{-12} \cdot t^3 + 9.7155 \cdot 10^{-10} \cdot t^2 - 5.5088 \cdot 10^{-8} \cdot t + 1.7766 \cdot 10^{-6} \quad (4)$$

Na osnovu rezultata radova većeg broja autora, zaključeno je da postoji veza između koeficijenta neravnomernosti zrna (η), koji se dobija sa krive granulometrijskog sastava, i poroznosti (n), slika 35:

$$n = f(\eta) \quad (5)$$

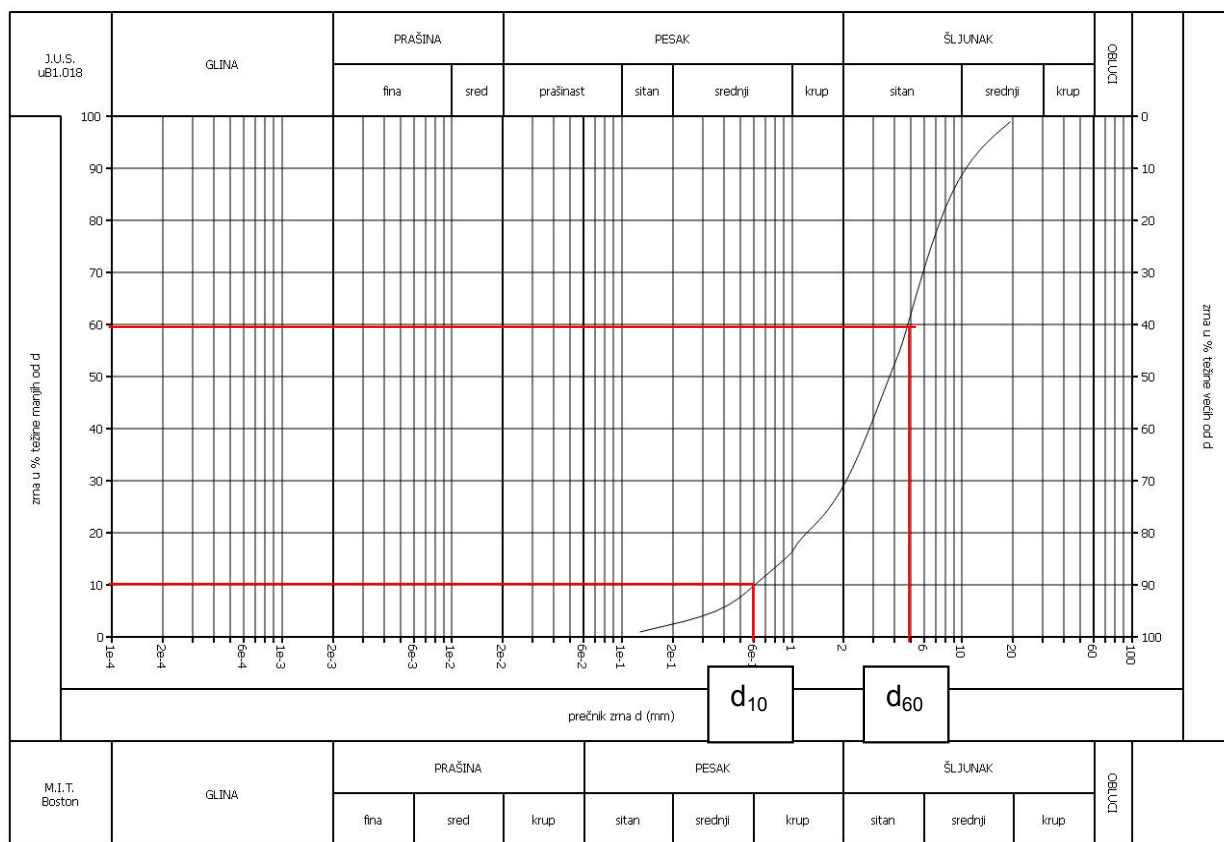
gde je:

$$\eta = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (6)$$

η – koeficijent neravnomernosti, [-].

d_{60} – prečnik zrna za 60% sadržaja na krivoj granulometrijskog sastava, [L],

d_{10} - prečnik zrna za 10% sadržaja na krivoj granulometrijskog sastava, [L].

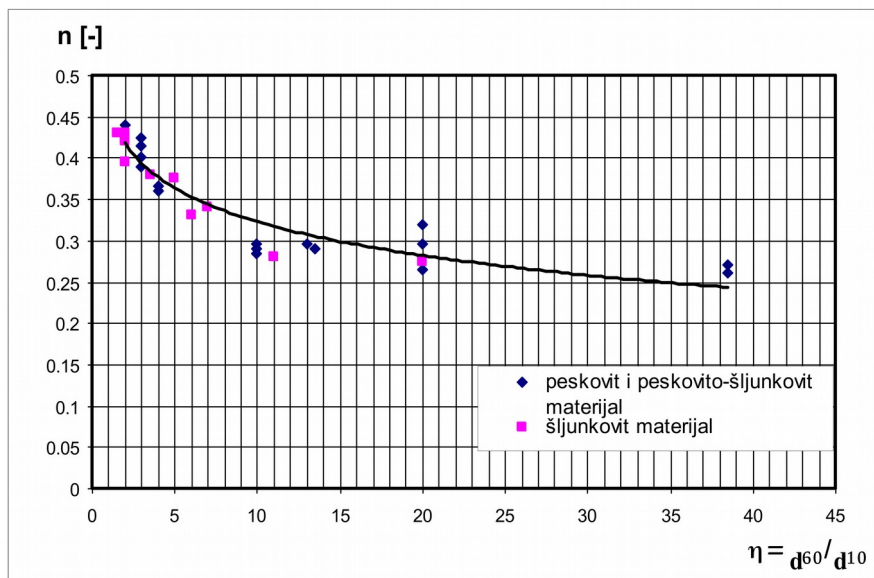


Slika 35. Kriva granulometrijskog sastava i zrna 10% i 60% sadržaja

Sa povećanjem koeficijenta neravnomernosti, smanjuje se poroznost prirodne sredine. U praksi se dosta primenjuju rezultati eksperimentalnih ispitivanja V.S. Istomine²⁾, izraženi u obliku zavisnosti poroznosti od

2) В. С. Истомина. 1957. Фильтрационная устойчивость грунтов, Гос. изд-во лит-ры по строительству и архитектуре, стр. 295

koeficijenta neravnomernosti, slika 2. Eksperimenti su sprovedeni sa prirodnim peskom, šljunkovitim peskom i šljunkom.



Slika 2. Zavisnost poroznosti (n) od koeficijenta neravnomernosti (η) (Istomina, 1957)

Na osnovu dijagrama slike 2, izvedena je formula za izračunavanje približne veličine poroznosti na osnovu koeficijenta neravnomernosti :

$$n = -0.059 \cdot \ln \eta + 0.4588 \quad (7)$$

Iz jednačine (3) se zaključuje da je koeficijent filtracije proporcionalan kvadratu efektivnog prečnika zrna sredine. Kod porozne sredine sa zrnima iste veličine, prečnik zrna je istovremeno i efektivni prečnik.

U prirodi je porozna sredina sastavljena od zrna različite veličine, te stoga autori na različite načine definišu efektivni prečnik zrna. Najčešće se koriste veličine zrna koja se odnose na 10%, 17% i 20% učešća na krivoj granulometrijskog sastava materijala porozne sredine (Vuković, Soro, 1991, 1992).

Važno je napomenuti da se u svim narednim empirijskim obrascima efektivni prečnik izražava u mm, a izračunati koeficijent filtracije u m/s.

PRIKAZ ODABRANIH EMPIRIJSKIH OBRAZACA

Empirijski obrasci za izračunavanje koeficijenta filtracije su uglavnom izvedeni na osnovu laboratorijskih eksperimenata sa peskovitim uzorcima. Njihova primena je ograničena na dijapazon veličine zrna, kako ukupnog analiziranog uzorka, tako i efektivnog prečnika. Pojedini autori su oblast primene vezali i za veličinu koeficijenta neravnomernosti (Hazen, Bejer, Kriger, USBR). Konstante, koje su ovde date, usvojene su na osnovu predloga autora, ili kao prosečne, reprezentativne veličine.

U tabeli 1 su prikazani empirijski obrasci, korišćeni u ovom programu. Iako su u svom izvornom obliku često dimenzionalno nehomogeni i specifičnog karaktera, u skladu sa koncepcijom autora, ovde su transformisani u oblik koji omogućuje njihovo upoređenje, a u skladu je sa jednačinom (3), izvedenoj na osnovu teorijske analize ((Vukovic, Soro, 1991, 1992). Oblast primene svakog obrasca je takođe data u poslednjoj koloni tabele 1.

Tabela 1. Odabrani empirijski izrazi za izračunavanje koeficijenta filtracije

R.br	Autor	Formula	Oblast primene
1	Hazen	$K = 6 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{g}{v} \cdot [1 + 10(n - 0.26)] \cdot d_{10}^2$	$0.1 \text{ mm} < d_{10} < 3 \text{ mm} \quad \eta = \frac{d_{60}}{d_{10}} < 5$
2	Slihter	$K = 0.011 \cdot \frac{g}{v} \cdot n^{3.287} \cdot d_{10}^2$	$0.01 \text{ mm} < d_{10} < 5 \text{ mm}$
3	Tercagi	$K = 0.008 \cdot \frac{g}{v} \cdot \left(\frac{n - 0.13}{\sqrt[3]{1 - n}} \right)^2 \cdot d_{10}^2$	$1 \text{ mm} < d < 2 \text{ mm}$
4	Bejer	$K = 6 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{g}{v} \cdot \log \frac{500}{\eta} \cdot d_{10}^2$	$0.06 \text{ mm} < d_{10} < 0.6 \text{ mm} \quad 1 < \eta < 20$
5	Zaurebrej	$K = 0.00375 \cdot \frac{g}{v} \cdot \frac{n^3}{(1 - n)^2} \cdot d_{17}^2$	$d_{17} < 0.5 \text{ mm}$
6	Kriger	$K = 4.35 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{g}{v} \cdot \frac{n}{(1 - n)^2} \cdot d_{ef}^2$	$0.2 \text{ mm} < d < 1 \text{ mm} \quad \eta > 5$
7	Kozeni	$K = 0.0083 \cdot \frac{g}{v} \cdot \frac{n^3}{(1 - n)^2} \cdot d_{ef}^2$	$1 \text{ mm} < d < 2 \text{ mm}$
8	Cunker	$K = 0.002 \cdot \frac{g}{v} \cdot \left(\frac{n}{1 - n} \right)^2 \cdot d_{ef}^2$	$0.1 \text{ mm} < d < 1 \text{ mm}$
9	Zamarin	$K = 0.0082 \cdot \frac{g}{v} \cdot \frac{n^3}{(1 - n)^2} \cdot (1.275 - 1.5 \cdot n) \cdot d_{ef}^2$	$1 \text{ mm} < d < 2 \text{ mm}$
10	USBR	$K = 4.8 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{g}{v} \cdot d_{20}^{2.3}$	$0.2 \text{ mm} < d < 1 \text{ mm} \quad \eta < 5$

LITERATURA

Istomina, V.S. (1957). Filtration Stability of Soils (in Russian). Gostroizdat, Moscow-Leningrad

Vukovic, M., Soro, A., 1985, Analiza empirijskih formula za određivanje koeficijenta filtracije preko podataka o granulometrijskom sastavu, Vode Vojvodine, Novi Sad

Vukovic, M., Soro, A., 1991, Određivanje koeficijenta filtracije preko podataka o granulometrijskom sastavu, posebna izdanja, Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi", Beograd, 42 pp

Vukovic, M., Soro, A., 1992, Determination of Hydraulic Conductivity of Porous Media from Grain-Size Composition, first ed., Water Resources Publications, LLC, Littleton, CO, 83 pp

SADRŽAJ

PREDGOVOR.....	1
UVOD.....	2
UVODNE NAPOMENE.....	3
STRUKTURA SOFTVERA.....	4
MENI FILE.....	4
MENI SETTINGS.....	5
Kartica INPUT.....	6
Kartica PLOT.....	9
Kartica DEPTH PLOT.....	10
Kartica <i>Depth vs d</i>	11
Kartica <i>Depth vs %</i>	12
Kartica CONDUCTIVITY.....	14
Kartica PROFILE.....	17
KARTICA PLAN.....	21
PRIKAZ ODABRANIH EMPIRIJSKIH OBRAZACA.....	25
LITERATURA.....	27