

## Корелативни анализи на геотехнички параметри кај наоѓалишта на јаглен од различни седиментациони басени во Македонија

Бојана Неделковска<sup>a</sup>, Игор Пешевски<sup>b</sup>, Даниел Велинов<sup>b</sup>, Јован Папик<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Гео Дизајн Инженеринг ДОО - Скопје, С. Македонија

<sup>b</sup> Градежен факултет, Бул. Партизански одреди 24, 1000, Скопје, С. Македонија

### АПСТРАКТ

Познавањето на геотехничките карактеристики на карпестите маси во наоѓалиштата на минерални суровини е од огромно значење за економичноста на експлоатациониот процес, безбедноста на работата и заштитата на животната средина. Предмет на овој труд е корелативна анализа на геотехнички параметри на наоѓалишта на јаглен од различни седиментациони басени во Македонија. Анализирани се податоци од следните наоѓалишта: Суводол и Брод-Гнеотино (дел од Пелагонискиот басен), Лавци (дел од Преспанскиот басен) и Звегор-Стамер (дел од Делчевско-Пехчевско-Беровскиот басен). Воспоставени се корелациони зависности помеѓу одредени геотехнички параметри, односно: сува волуменска тежина – волуменска тежина, сува волуменска тежина – влажност, порозност – коефициент на филтрација и коефициентот на филтрација добиен лабораториски и по равенката на USBR, за кои се добиени прифатливи вредности за коефициентот на корелација  $R^2$ . Предложените корелации може да се искористат при емпириски анализи, во различните фази на проектирање.

### КЛУЧНИ ЗБОРОВИ

Јагленово наоѓалиште; Геотехнички параметри; Корелативна анализа.

### 1. ВОВЕД

Геотехниката, покрај во градежништвото и заштитата на животната средина, особено значење има и во ископувањето т.е. експлоатацијата на јаглен, каде посебно се нагласени проблемите со стабилност на ископот, без разлика дали тој е подземен или површински. Познавањето на геотехничките карактеристики на карпестите маси во наоѓалиштата на минерални суровини е од огромно значење за економичноста на експлоатациониот процес, безбедноста на работата и заштитата на животната средина (Brady and Brown, 2006). Како што е добро познато и потенцирано од (McG Robertson and Caldwell, 2017), рударскиот процес започнува со геотехнички анализи и проектирање, без разлика на типот на наоѓалиштето (металично, неметалично или на енергетски суровини - каде спаѓаат и јагленовите наоѓалишта). Воедно, и затворањето на рудниците завршува со геотехнички анализи, заради потребата соодветно да се третира отпадниот материјал и осигура стабилноста на ископите (и насипите) дури и после завршување на експлоатацијата.

На територијата на Македонија утврдени се околу 20 наоѓалишта на јаглен. Јагленот, од аспект на својата применливост во најголем дел се користел како енергетско гориво, меѓутоа со откривањето на неговите хемиски вредности, отворена е можност за негово комплексно користење, особено во металургијата и хемиската индустрија (Андреевски, 1995). Во последните четири децении може да се забележат поинтензивни активности поврзани со геолошки и геотехнички истражувања на наоѓалишта за јаглен. Имено, истражувања се вршени на повеќе наоѓалишта: Суводол, Живојно, Пискупштина, Звегор-Стамер, Панчарево, Лавци, Брод-Гнеотино. При ваквите геолошки и геотехнички истражувања се добива релативно голем

фонд на податоци за физичките и механичките карактеристики на материјалите, односно, гранулометриски состав, граници на конзистенција, волуменска тежина (специфична, природна, сува), влажност, водопрopusност, кохезија и агол на внатрешно триење, модули на стисливост.

Предмет на овој труд е корелативна анализа на геотехнички параметри на наоѓалишта на јаглен од различни седиментациони басени во Македонија. За извршување на потребните анализи најпрвин е направено прибирање, средување и групирање на достапните податоци за геотехничките параметри во предметните наоѓалишта, после што следи нивно анализирање со цел воспоставување на одредени корелации.

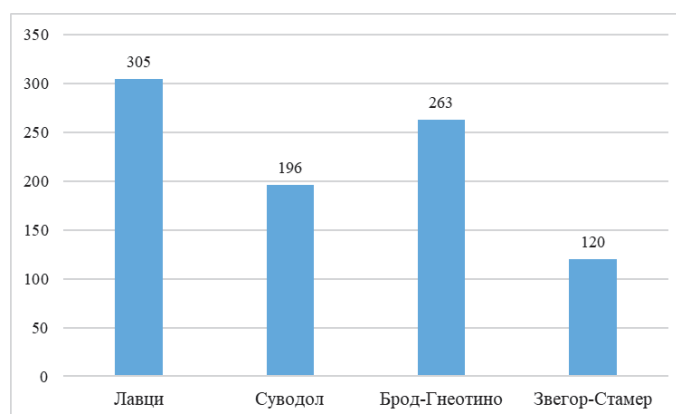
## 2. КОРЕЛАТИВНИ АНАЛИЗИ НА ГЕОТЕХНИЧКИ ПАРАМЕТРИ

### 2.1. Преглед на достапни податоци

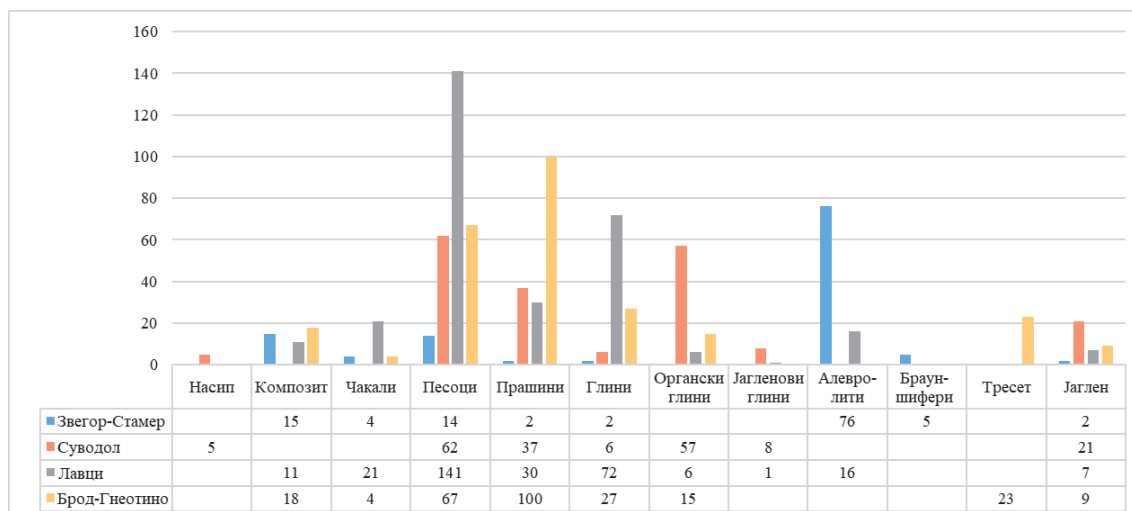
Јагленовите наоѓалишта кои се предмет на анализа се истражувани во различни периоди и во различен обем. Во однос на бројот на проби за геотехнички лабораториски испитувања кои се земени при истражувањата, најголем е бројот за наоѓалиштето Лавци, потоа Брод-Гнеотино, Суводол и на крај Звегор-Стамер. Истражувањата за наоѓалиштето Лавци се правени во неколку фази, а во рамките на овие анализи влегуваат резултатите од истражувањата во 1985/86, 2008 и 2016/17 година. Исто така и истражувањата за наоѓалиштето Брод-Гнеотино се правени во повеќе фази, односно 2001, 2014/16 и 2017/18 година. За наоѓалиштето Суводол анализирани се резултатите од истражувањата во 1994 и 2004 година. На крај, за наоѓалиштето Звегор-Стамер предмет на анализа се резултатите од истражувањата во 2016 година. Хистограмски приказ на бројот на достапни проби за геотехнички испитувања по наоѓалиште е даден на Слика 1.

Прегледен приказ на бројот на проби од различни материјали присутни во наоѓалиштата е даден хистограмски на Слика 2.

Во колкав обем се правени геотехничките испитувања (гранулометриски состав, граници на конзистенција, волуменска тежина (специфична, природна, сува), влажност, водопрopusност, определување кохезија и агол на внатрешно триење, модули на стисливост) по наоѓалиште, претставено е на хистограмот на Слика 3. Имено, за наоѓалиштето Звегор-Стамер предмет на анализа се вкупно 629 опити, за Суводол 1023 опити, за Лавци 1273 опити и за Брод-Гнеотино 856 опити.

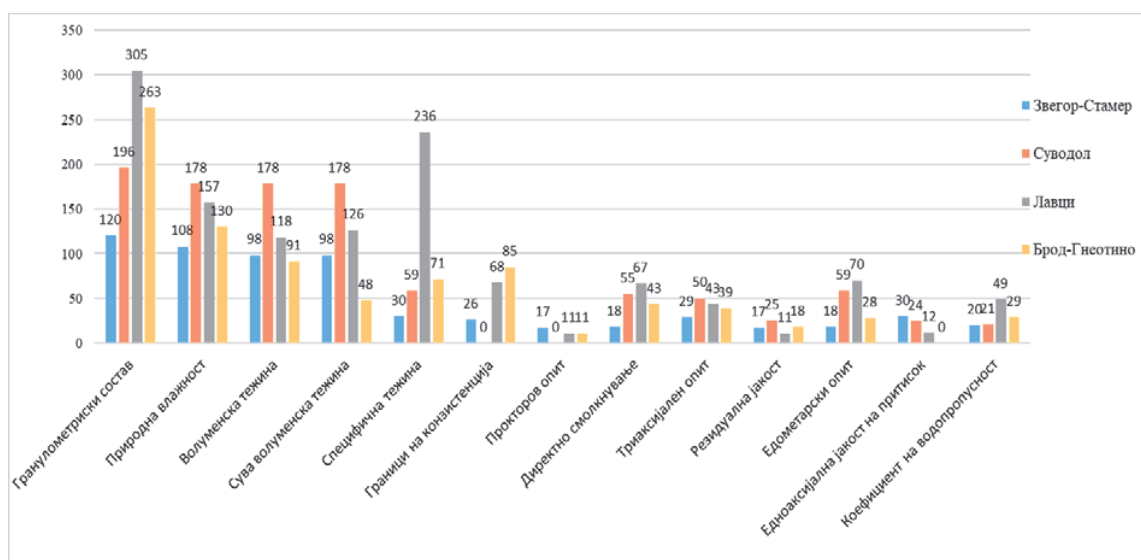


Слика 1. Вкупен број на проби за геотехнички испитувања по наоѓалиште



Слика 2. Број на земени проби по присутни материјали

\*Празните полиња значат дека во конкретното наоѓалиште не е присутен предметниот тип на материјал.



Слика 3. Преглед на извршени опити по наоѓалиште

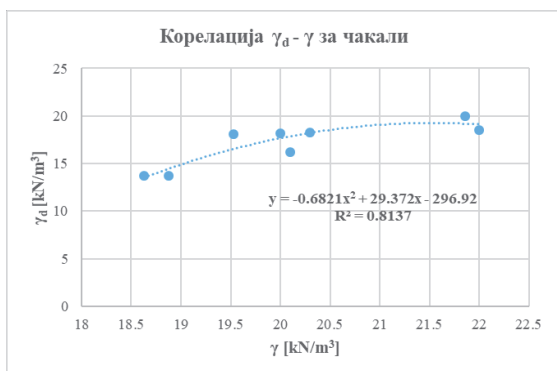
Може да се констатира дека бројот на изведени опити од различен вид варира од наоѓалиште до наоѓалиште, а тоа се должи на повеќе фактори: различен период на вршење на испитувањата, помал предвиден обем за геотехнички испитувања во рамки на проектните програми за конкретно наоѓалиште, различен степен на раслоеност на наоѓалиштата. Од слика 3 може да се констатира дека најголем дел од опитите биле вршени за дефинирање на основните физичко-механички параметри, т.е. класификационите опити и волуменската тежина на материјалите.

## 2.2. Воспоставени корелации помеѓу геотехнички параметри

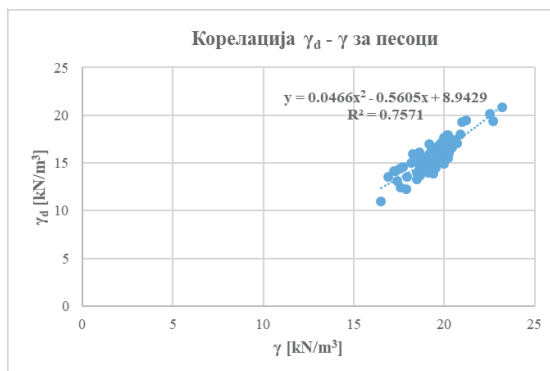
Врз основа на достапниот обем на податоци по наоѓалиште, земени проби и изведени типови на опити, направена е корелациона анализа, со цел да се воспостават одредени корелации за параметрите на материјалите. Направен е обид да се изведат колку што е можно повеќе корелации, но како најголемо ограничување се смета различниот обем на достапни податоци како по наоѓалиште, така и по тип на материјал и опит (недоволен број на парови од вредности). Во продолжение се прикажани добиените корелациони зависности кај кои

коэффициентот на корелација  $R^2$  е поголем од 0.7, односно добиена јака до многу јака зависност помеѓу анализираните параметри.

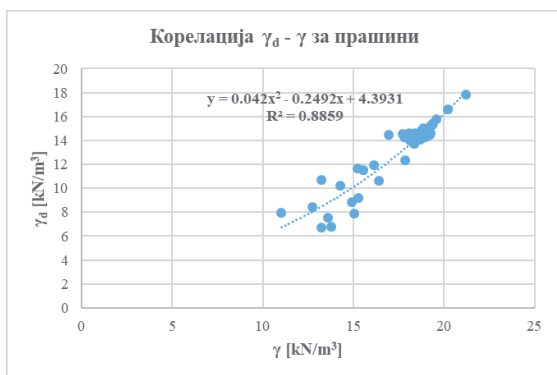
- Сува волуменска тежина ( $\gamma_d$ ) – Волуменска тежина ( $\gamma$ )



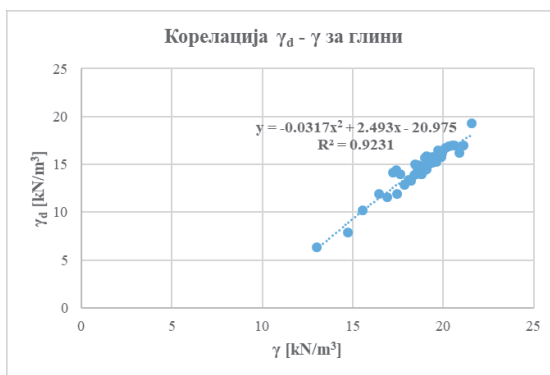
$$\gamma_d = -0.6821 \gamma^2 + 29.372 \gamma - 296.92 \quad (R^2=0.81)$$



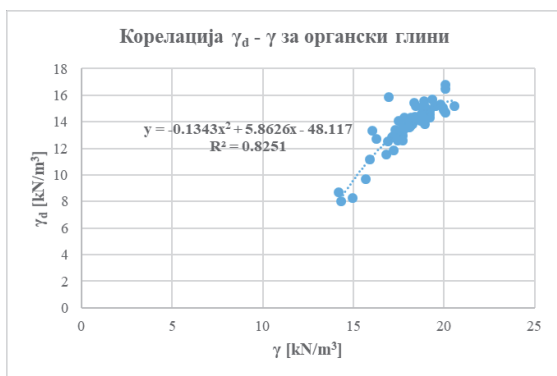
$$\gamma_d = 0.0466 \gamma^2 - 0.5605 \gamma + 8.9429 \quad (R^2=0.76)$$



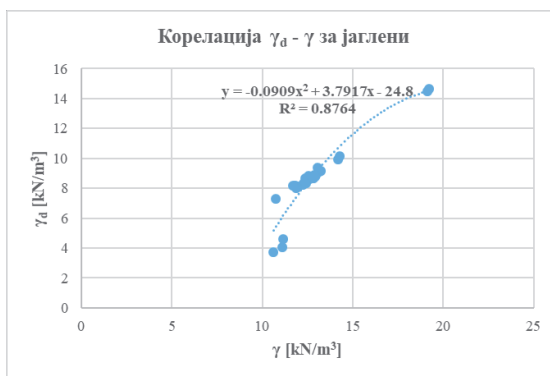
$$\gamma_d = 0.042 \gamma^2 - 0.2492 \gamma + 4.3931 \quad (R^2=0.89)$$



$$\gamma_d = -0.0317 \gamma^2 + 2.493 \gamma - 20.975 \quad (R^2=0.92)$$



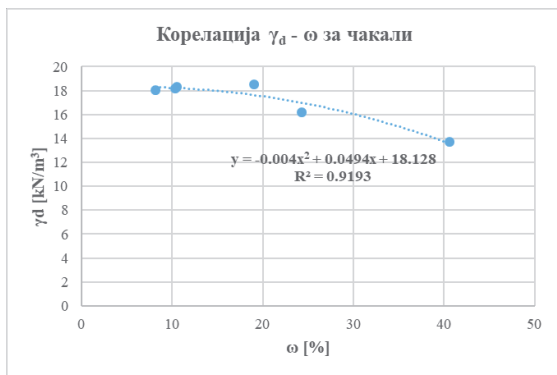
$$\gamma_d = -0.1343 \gamma^2 + 5.8626 \gamma - 48.117 \quad (R^2=0.83)$$



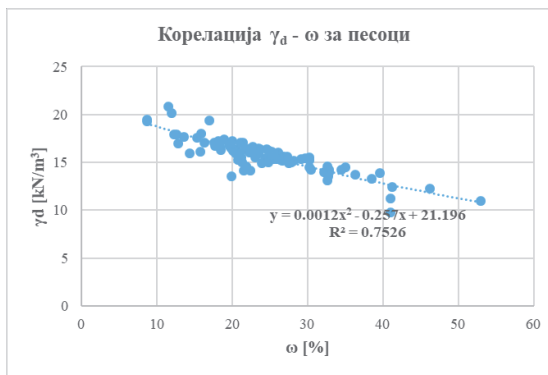
$$\gamma_d = -0.0909 \gamma^2 + 3.7917 \gamma - 24.8 \quad (R^2=0.88)$$

Највисока корелативна зависност од овој тип се забележува за прашини и глини, додека најниска за песоци и чакали. Интресен е фактот што за разлика од глините за кои се добива највисока корелативност  $R^2=0.92$ , кај органските глини се добива една од најниските корелативности  $R^2=0.83$ . Како и да е, за сите корелации помеѓу овие два параметри се добива јака до многу јака зависност.

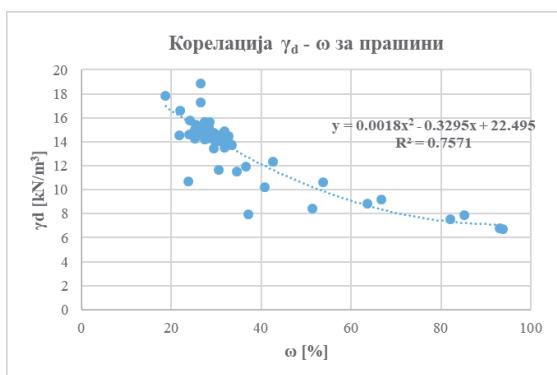
▪ Сува волуменска тежина ( $\gamma_d$ ) – Влажност ( $\omega$ )



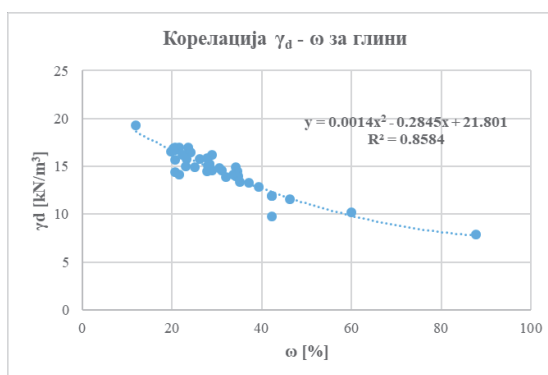
$$\gamma_d = -0.004 \omega^2 + 0.0494 \omega + 18.128 \quad (R^2=0.92)$$



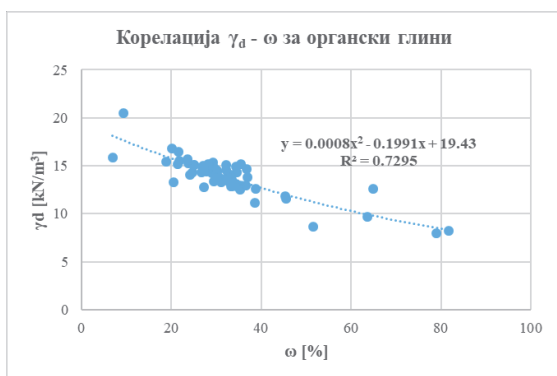
$$\gamma_d = 0.0012 \omega^2 - 0.257 \omega + 21.196 \quad (R^2=0.75)$$



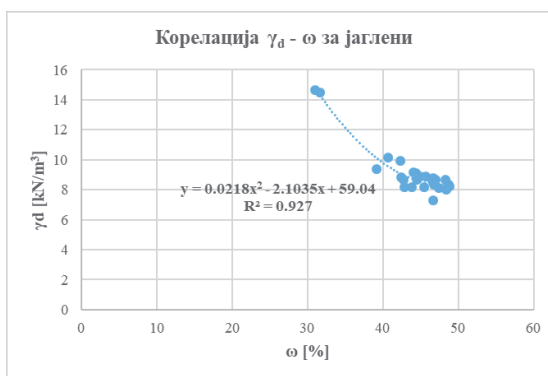
$$\gamma_d = 0.0018 \omega^2 - 0.3295 \omega + 22.495 \quad (R^2=0.76)$$



$$\gamma_d = 0.0014 \omega^2 - 0.2845 \omega + 21.801 \quad (R^2=0.86)$$



$$\gamma_d = 0.0008 \omega^2 - 0.1991 \omega + 19.43 \quad (R^2=0.73)$$



$$\gamma_d = 0.0218 \omega^2 - 2.1035 \omega + 59.04 \quad (R^2=0.93)$$

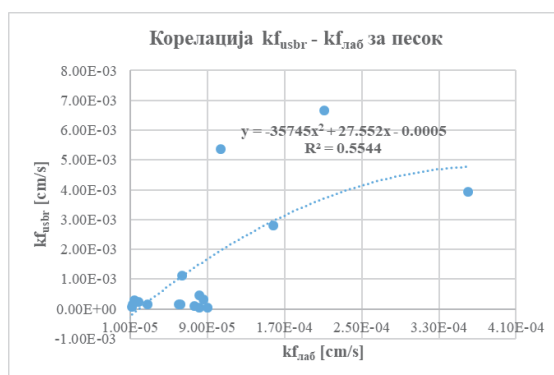
Највисока корелативна зависност се добива за чакали, додека најниска за песоци и прашини. Повторно вредностите на  $R^2$  се во рангот на јака до многу јака зависност.

Генерално може да се заклучи дека за погоре прикажаните воспоставени корелации добиени се вредности за коефициентот на корелација  $R^2$  над 0.7 (јака до многу јака зависност). Ова значи дека предложените равенства може да се искористат при емпириски анализи, односно проценка

на репрезентативна вредност за едниот параметар ако се располага само со податоци за вториот.

- **Порозност ( $n$ ) – Коефициент на филтрација ( $k_f$ ); Коефициент на филтрација ( $k_{f_{\text{лаб}}}$ ) – Коефициент на филтрација ( $k_{f_{\text{usbr}}}$ )**

Од достапните податоци за коефициентот на филтрација и порозноста кај сите јаглени наоѓалишта, направена е корелација единствено за песокот. Корелационата зависност за коефициентот на филтрација и порозноста е направена врз основа на 12 податоци (парови од параметрите), додека за коефициентот на филтрација определен лабораториски и коефициентот на филтрација определен според равенката на USBR корелационата зависност е направена врз основа на 22 податоци (парови од параметрите). Дијаграмите и корелациските равенки се дадени подолу.



$$k_{f_{\text{usbr}}} = -35745 k_{f_{\text{лаб}}}^2 + 27.552 k_{f_{\text{лаб}}} - 0.0005 \quad (R^2=0.55)$$

Релативно пониска вредност за коефициентот на корелација е добиена за врската помеѓу коефициентот на филтрација добиен лабораториски и по равенката на USBR, односно ( $R^2=0.55$  – умерена зависност).

### 2.3. Останати обиди за воспоставување на корелации

Покрај погоре прикажаните корелациони зависности кај кои е добиен коефициент на корелација  $> 0.5$  (што укажува на постоење на зависност помеѓу параметрите), направен е обид да се направат и други корелации помеѓу геотехничките параметри. Имено, направена е анализа на волуменската тежина ( $\gamma$ ) и модулот на стисливост ( $Mv$ ), но корелациона зависност не е воспоставена, односно добиениот коефициент на корелација е  $< 0.3$ , што укажува на скоро никаква зависност помеѓу овие два параметри. Исто така, направена е корелациона анализа помеѓу кохезијата ( $c$ ) и модулот на стисливост ( $Mv$ ), но повторно е добиен резултат кој укажува дека не постои зависност помеѓу овие геотехнички параметри. Анализирани се зависноста и помеѓу резидуалниот агол на внатрешно триење ( $\phi_{\text{rez}}$ ) и аголот на внатрешно триење ( $\phi$ ), како и помеѓу модулот на стисливост ( $Mv$ ) и едноаксијалната јакост ( $q_u$ ), меѓутоа не е воспоставена никаква корелација. Причина за ова е немањето на доволно податоци за анализа, односно немање на парови од параметри. Со понатамошно прибирање на податоци, може да се направи повторен обид за воспоставување одредена корелација.

## 3. ЗАКЛУЧОЦИ

За целите на овие анализи направена е систематизација на сите достапни податоци од претходно направени геотехнички истражувања на јаглени наоѓалишта кај нас. Со извршените анализи добиени се добри показатели за корелативност помеѓу одредени параметри, што потврдува дека предложените равенства може да се користат за емпириска проценка при одредени анализи. Во поглед на корелативноста со јакосно-деформабилните

карактеристики не се постигнати задоволителни резултати, што може да биде одраз и на малиот број на испитани проби од овој тип. Бидејќи за едно јагленово наоѓалиште геотехничките истражувања се прават во повеќе фази и не секогаш овие истражувања ги прави иста компанија, процесот на собирање на податоци за вакви анализи е доста отежнат. Затоа, во однос на идните истражувања за јагленови наоѓалишта, се предлага да се прават електронски бази на геотехнички податоци, така што сите податоци од истражувањата ќе бидат прегледно достапни на едно место. Ова се однесува на секое наоѓалиште поединечно, но би можело да се направи и база на податоци на јагленови наоѓалишта на ниво на јагленосни басени или на државно ниво. Со тоа ќе се створат услови за подобра геостатистичка обработка на податоците за различни цели при проектирањето.

## РЕФЕРЕНЦИ

- Андреевски, Б., 1995. Јаглени – Генетски и квалитативни карактеристики, наоѓалишта на јаглен и заштита на животна средина, Рударско - геолошки факултет, Штип.
- Brady, B.H.G. & Brown, E.T (2006), *Rock Mechanics for Underground Mining*, 3rd Edition, Chapman and Hall, London.
- Елаборат за геомеханички истражни работи и испитувања на подинската јагленова серија во П.К. “Суводол”, Градежен институт “Македонија”, а.д., Скопје, 2005.
- Елаборат за изведени детални геомеханички испитувања и истражувања на јагленово наоѓалиште “Лавци”, Геохидроконсалтинг, Скопје, 2017.
- Елаборат од изведени геомеханички истражувања и лабораториски испитувања во јагленово наоѓалиште “Звегор - Стамер”, Градежен институт “Македонија”, а.д., Скопје, 2017.
- Елаборат за изведени детални геомеханички испитувања и истражувања на јагленово наоѓалиште “Брод - Гнеотино”, Геохидроконсалтинг, Скопје, 2018.
- McG. Robertson, A. and Caldwell, J. (n.d.), *Geotechnical engineering*. Available from: <http://technology.infomine.com/reviews/geotechnical/welcome.asp?view=full#roads> [Accessed 25th September 2020].