

**TEHNOLOŠKA RJEŠENJA IZRADE I ODRŽAVANJA KOLOVOZNIH
KONSTRUKCIJA SAOBRAĆAJNICA U POVRŠINSKIM KOPOVIMA**

**TECHNOLOGICAL SOLUTIONS CREATING AND MAINTAINING OF
PAVEMENT STRUCTURES IN OPENCAST MINING**

Zahid Bašić, docent
Univerzitet u Tuzli, RGGF
Tuzla

Amir Džananović, mr.sc.
GIT građevinski institut d.o.o.
Tuzla

Anadel Galamić, dipl.ing.grad.
"GPP Banovići" d.o.o.
Banovići

REZIME

Saobraćajnice u površinskim kopovima su kompleksne i imaju svoju posebnu specifičnost. Ta specifičnost se ogleda u veličini saobraćajnog opterećenja specijalnih transportnih vozila koja se koriste u površinskim kopovima, te način održavanja i položaj saobraćajnica unutar površinskih kopova.

Prilikom odabira tipa kolovozne konstrukcije značajnu ulogu imaju troškovi izrade kolovozne konstrukcije. Isto tako značajnu ulogu ima položaj samih saobraćajnica unutar površinskih kopova, a u pogledu njihove geometrije, nagiba nivelete i postupaka održavanja kolovozne konstrukcije.

Predviđena rješenja odgovaraju za različite geometrije, razne nagibe nivelete, a njihovi troškovi izrade i održavanja su različiti u odnosu na tipove.

Ključne riječi: saobraćajnica, tip, kolovozna konstrukcija, niveleta, površinski kop, donji i gornji nosivi sloj

SUMMARY

Roads in surface mining are complex and have a particular specificity. This specificity is reflected in the size of the traffic load of special transport vehicles used in surface mining, as well as a way of maintaining the position of roads within surface mines.

When choosing the type of pavement significant role the cost of developing pavement konstrukcije. Isto so has a significant role position themselves within the road surface mines, and in terms of their geometry, slope of the roadway and pavement maintenance procedures.

Predicted solutions correspond to different geometries, different inclinations of the roadway, and their costs of development and maintenance are different in terms of types.

Keywords: roads, type, pavement structures, vertical alignment, opencast mining, the lower and upper bearing layer

1. UVOD

Problem saobraćajnica u površinskim kopovima ogleda se u težini vozila- damper kamioni koji njima saobraćaju i vrsti materijala od kojih su izgrađene same saobraćajnice. Kolovozna konstrukcija na ovim saobraćajnicama se radi od lokalnog tla, glinovitog lapora, dovoljno nosivog u suhom i optimalno vlažnom stanju. Taj materijal pod uticajem atmosferilija (kiša, snijeg) se raskvašava i mijenja fizičke osobine pri čemu dolazi do pojave deformacija i udarnih rupa na kolovoznoj konstrukciji.

Prilikom saobraćanja teških vozila preko ovakve deformisane kolovozne konstrukcije usljed čestih udara, dolazi do čestih kvarova ovih vozila, a samim tim dolazi i do povećanja troškova održavanja.

Karakter i veličinu saobraćajnog opterećenja specijalnih transportnih vozila koja se koriste na površinskim kopovima reprezentuju vozila: FAUN K 100 nosivosti 100 t, MARK 36 nosivosti 170 t, WABCO 170 D nosivosti 170 t, L H M 120 nosivosti 120 t, BELAZ 75131, TEREX 3600 B. [2]

Na osnovu veličine bruto opterećenja kontaktnog pritiska na podlogu, saobraćaj ovih vozila i njihov uticaj na kolovoznu konstrukciju je izuzetno veliki i jako rizičan kada se radi o standardnim rješenjima kolovoznih konstrukcija sa standardnim opterećenjima.

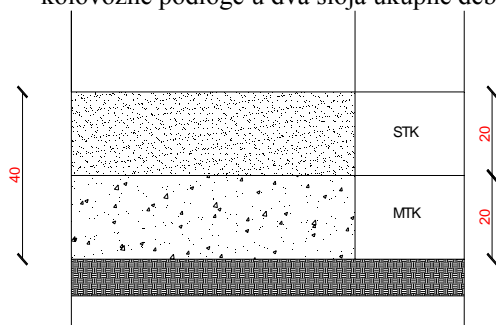
Ovi uslovi na kolovozne konstrukcije saobraćajnica u površinskim kopovima čine ih specifičnim i vanstandardnim u odnosu na kolovoze javnih saobraćajnica.

Iznalazeći rješenja a na osnovu istraživanja i ispitivanja i uzimajući u obzir problematiku postojećeg saobraćaja u površinskim kopovima moguća je izvedba tri tipa kolovozne konstrukcije:

- Kolovozna konstrukcija tip I; stabilizacija tla krečom u dva sloja, ukupne debljine d= 40,0 cm
- Kolovozna konstrukcija tip II; modifikovano tlo krečom u jednom sloju sloju debljine d= 20,0 -25,0 cm
- Kolovozna konstrukcija tip III; kompleksna stabilizacija sa pepelom u dva sloja ukupne debljine d= 40,0 cm

2. KOLOVOZNA KONSTRUKCIJA TIP I

Ovaj tip kolovozne konstrukcije se sastoji od "stabilizacije tla krečom", odnosno izradi kolovozne podloge u dva sloja ukupne debljine d=40,0 cm.



Slika 1. Kolovozna konstrukcija tip I

GNS: stabilizovano tlo krečom

- Laporovita glina 100%
- Hidratirani kreč (2,0-2,5 %)

DNS: modifikacija tla krečom

- Laporovita glina 100%
- Hidratirani kreč 2,5 %

CBR \geq 16 %

Posteljica: lokalno tlo

CBR \geq 2,5 %

Donji nosivi sloj (DNS) se izvodi od modifikovanog tla krečom, a gornji nosivi sloj (GNS) od stabilizovanog tla krečom koji se radi u dvije faze, dodavanje kreča i obrade.

Ovaj tip kolovozne konstrukcije predstavlja viši stepen obrade i nosivih svojstava kolovozne konstrukcije.

Primjena ovog tipa je prihvatljiva na manjim nagibima nivelete, veličine $i=2-4\%$.

Rješenje ovog tipa kolovozne konstrukcije treba da je u skladu sa detaljima rješenja u projektnoj dokumentaciji. [1]

2.1. Tehnologija izrade

2.1.1. Priprema planuma

Trup puta se završava sa planumom na projektovanoj niveleti površine kolovoza po cijeloj širini planuma. Završnih 30,0 cm zemljanog trupa treba da se uradi od što uniformnijeg tla-glinovitog lapora, zbijeno 100% prema standardnom laboratorijskom postupku ($E=0,6 \text{ MN/m}^2$). Pripremljen planum treba da odgovara geometrijskom rješenju nivelete poprečnih profila prema projektnoj dokumentaciji. Kota planuma je -20,0 cm od kote nivelete kolovoza. Ispitivanje zbijenosti ugrađenog materijala, doziranje potrebne količine kreča i promjena plastičnih osobina modificiranog tla (laporovita glina) se radi nakon 48 sati hidratacije, (odnosno od završnog zbijanja). Ako rezultati zadovolje propisane uslove, kolovoz od modifikovanog tla se može pustiti u probni saobraćaj.

2.1.2. Nanošenje hidratisanog kreča

Na uređeni i isprofilisani planum, obilježava se širina kolovoza (14,0 m) koja treba da se obradi dodatkom kreča od 2,5 %. Hidratirani kreč se raspoređuje, odnosno razastire odgovarajućim mašinama, a na manjim dionicama može i ručnim putem (raspored vreća sa krečom po datoj šemi i razastiranje u jednolikoj debljini sloja, odnosno 11 kg/m^2) da se nanese kreč zadrži u predviđenoj količini po jedinici površine kg/m^2 [3]. Razastrti kreč na površini planuma treba grejderom-rijačem djelimičnim razrivanjem unijeti u projektovani sloj.

Ovaj tip kolovozne konstrukcije je sa rješenjem koje se sastoji od modifikovanog tla krečom u jednom sloju debljine $d=15,0-20,0 \text{ cm}$, kao osnovni tip stabilizovanja glinovitog lapora u smislu smanjenja plastičnosti i povećanja nosivosti prirodnog tla. [6]

2.1.3. Sitnjenje, miješanje i vlaženje (DNS)

Pripremljeni planum kolovoza sa nanešenim hidratiranim krečom i prethodnim razrivanjem, nastavlja se razrivanjem u suhom (prirodno vlažnom stanju), a potom pri optimalnoj laboratorijski utvrđenoj vlažnosti.

Miješanje se, u zavisnosti od raspoložive mehanizacije, vrši, bilo u jednom ili više prolaza rotofrežera do potupne homogenizacije mješavine laporovito tlo-kreč.

2.1.4. Sabijanje obrađenog sloja (DNS)

Nakon faza sitnjenja, vlaženja i miješanja vrši se sabijanje koje treba obaviti tokom 12 sati od završnog miješanja. Sabijanje se vrši pneumatičnim gumenim i statičkim valjkom do 98% zbijenosti. Prilikom zbijanja (valjanja) po potrebi se vrši lako, prskanje vodom u cilju zadržavanja vlažnosti na nivou optimalne, kada su visoke dnevne temperature i vjetrovito vrijeme, što ubrzava sušenje tla. Završno zbijanje se vrši pneumatskim valjkom paralelno sa lakim površinskim razrivanjem i planiranjem grejderom da se istovremeno obezbijedi korektna niveleta u podužnom i poprečnom pravcu, u svemu prema geometrijskom rješenju po projektnoj dokumentaciji.

2.1.5. Njegovanje i zaštita

Po završenom zbijanju obrađena i korektno profilisana površina stabilizovanog sloja, se isključuje za svaki saobraćaj, osim vozila- cisterne za lako kvašenje tokom 7 dana, da se spriječi prijevremeno suženje i obezbijede uslovi za hidrataciju i očvršćavanje modifikovanog tla sa krečom. Vrijeme njegovanja i zaštite se može skratiti izradom gornjeg nosivog sloja (GNS) kada se ispune svi uslovi vezano za zbijenost materijala i postizanja homogenizacije modifikovanog tla krečom.

2.1.6. Stabilizacija gornjeg nosećeg sloja (GNS)

Po izvršenju DNS-a modifikacije tla sa krečom, vrši se priprema planuma za stabilizaciju gornjeg nosećeg sloja (GNS), u projektovanoj zbijenoj debljini sloja.

Preko izvedenog donjeg sloja na isti se dovozi lokalno tlo-laporovita glina u potrebnoj debljini sloja što u zbijenom stanju obezbjeđuje projektovanu debljinu od $d=20,0$ cm, isplanira i djelimično zbjije u svemu prema niveleti i kotama u glavnom projektu. Nanošenje kreča, sitnjenje mješavine, vlaženje i sabijanje vrši se u dvije faze tokom 24 sata.

2.1.7. Nanošenje hidratisog kreča (GNS)

Nanošenje hidratisnog kreča se vrši po tehnologiji koja je već opisana u tački 2.1.2. s tim što se kod nanošenja hidratisanog kreča na gornjem nosivom sloju doziranje vrši u dvije faze:

U prvoj fazi se vrši sa nanošenjem 2,0 % Ca (OH)₂, a u drugoj fazi, nakon 48 sati hidratacije (modifikacije tla), sa 2,5 % Ca (OH)₂.

2.1.8. Sitnjenje, miješanje i vlaženje (GNS)

Sitnjenje, miješanje i vlaženje se vrši prema tehnologiji opisanoj u tački 2.1.3., s tim što se ove operacije sprovode u dvije faze pošto se i nanošenje hidratisanog kreča odvija u dvije faze kako je objašnjeno u tački 2.1.7.

2.1.9. Sabijanje obrađenog sloja (GNS)

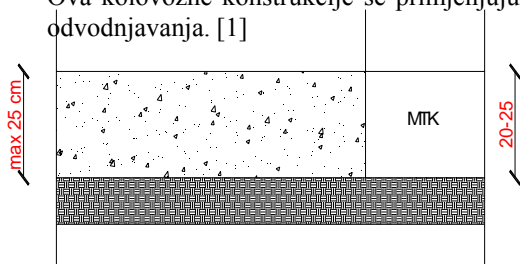
Tehnologija sabijanja sloja GNS-a je analogna tehnologiji sabijanja koja je objašnjena u tački 2.1.4. s tim što se sabijanje GNS-a radi u dvije faze zbog same izvedbe nanošenja hidratisanog kreča, koja se radi u dvije faze.

2.1.10. Njegovanje i zaštita stabilizovanog sloja (GNS)

Njegovanje i zaštita stabilizovanog sloja (GNS) se izvodi po tehnologiji koja je objašnjena u tački 2.1.5. nakon završene druge faze nanošenja hidratisanog kreča.

3. KOLOVOZNA KONSTRUKCIJA TIP II

Ova kolovozne konstrukcije se primjenjuju kod nagiba nivelete, $i \geq 4,0$ % iz razloga boljeg odvodnjavanja. [1]



Slika 2. Kolovozna konstrukcija tip II

Poboljšano lokalno tlo:

- Laporovita glina 100%
- Hidratisani kreč 2,5 %

CBR ≥ 16 %

Posteljica: lokalno tlo

CBR $\geq 2,5$ %

3.1. Tehnologija izrade

3.1.1. Priprema planuma

Trup puta se završava sa planumom na projektovanoj niveleti površine kolovoza po cijeloj širini planuma. Završnih 30,0 cm zemljanog trupa treba da se uradi od što uniformnijeg tla-glinovitog lapora, zbijeno 100% prema standardnom laboratorijskom postupku ($E=0,6 \text{ MN/m}^2$). Pripremljen planum treba da odgovara geometrijskom rješenju nivelete poprečnih profila prema projektnoj dokumentaciji.

3.1.2. Nanošenje hidratisanog kreča

Na uređeni i isprofilisani planum, obilježava se širina kolovoza (14,0 m) koja treba da se obradi dodatkom kreča od 2,5 %. Hidratirani kreč se raspoređuje, odnosno razastire odgovarajućim mašinama, a na manjim dionicama može i ručnim putem (raspored vreća sa krečom po datoj šemi i razastiranje u jednolikoj debljini sloja, odnosno 11 kg/m^2) da se nanese kreč zadrži u predviđenoj količini po jedinici površine kg/m^2 . Razastri kreč na površini planuma treba grejderom-rijačem djelimičnim razrivanjem unijeti u projektovani sloj.

Ovaj tip kolovozne konstrukcije je sa rješenjem koje se sastoji od modifikovanog tla krečom u jednom sloju debljine $d=20,0-25,0 \text{ cm}$, kao osnovni tip stabilizovanja glinovitog lapora u smislu smanjenja plastičnosti i povećanja nosivosti prirodnog tla. [6]

3.1.3. Sitnjenje, miješanje i vlaženje (DNS)

Pripremljeni planum kolovoza sa nanešenim hidratiranim krečom i prethodnim razrivanjem, nastavlja se razrivanjem u suhom (prirodno vlažnom stanju), a potom pri optimalnoj laboratorijski utvrđenoj vlažnosti.

Miješanje se, u zavisnosti od raspoložive mehanizacije, vrši, bilo u jednom ili više prolaza rotofrezera do potupne homogenizacije mješavine laporovito tlo-kreč.

3.1.4. Sabijanje obrađenog sloja (DNS)

Nakon faza sitnjenja, vlaženja i miješanja vrši se sabijanje koje treba obaviti tokom 12 sati od završnog miješanja. Sabijanje se vrši pneumatičnim gumenim i statičkim valjkom do 98% zbijenosti. Prilikom zbijanja (valjanja) po potrebi se vrši lako prskanje vodom u cilju zadržavanja vlažnosti na nivou optimalne, kada su visoke dnevne temperature i vjetrovito vrijeme, što ubrzava sušenje tla. Završno zbijanje se vrši pneumatskim valjkom paralelno sa lakim površinskim razrivanjem i planiranjem grejderom da se istovremeno obezbijedi korektna niveleta u podužnom i poprečnom pravcu, u svemu prema geometrijskom rješenju po projektnoj dokumentaciji.

3.1.5. Njegovanje i zaštita

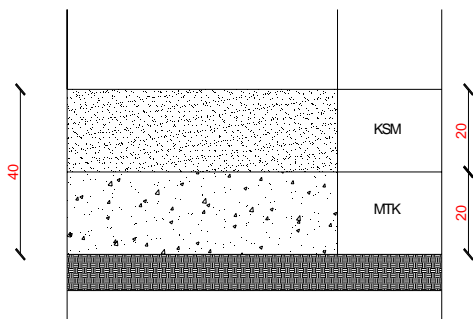
Po zavšenom zbijanju obrađena i korektno profilisana površina stabilizovanog sloja, se isključuje za svaki saobraćaj, osim vozila- cisterne za lako kvašenje tokom 7 dana, da se spriječi prijevremeno sušenje i obezbijede uslovi za hidrataciju i očvršćavanje modifikovanog tla sa krečom.

3.1.6. Kontrola i ispitivanje

Tokom pripreme i izvršenja na modifikaciji lokalnog tla, vrši se kontrola vlažnosti i pune projektovane debljine.

4. KOLOVOZNA KONSTRUKCIJA TIP III

Ovo rješenje kolovozne konstrukcije je u dva sloja ukupne debljine $d=40,0$ cm, od "kompleksno stabilizovanog materijala" u gornjem nosivom sloju (GNS) uključujući elektrofilterski pepeo kao aditiv i hidratizirani kreč kao vezivo. [1]



Slika 3. Kolovozna konstrukcija tip III

GNS: kompleksno stabilizovano tlo sa elektrofilterskim pepelom

- Laporovita glina 75 %
- Hidratizirani kreč 4,5 %
- Elektrofilterski pepeo 25 %

DNS: modifikacija tla krečom

- Laporovita glina 100%
- Hidratizirani kreč 2,5 %

CBR \geq 16 %

Posteljica: lokalno tlo
CBR \geq 2,5 %

U donjem nosivom sloju (DNS) je osnovno rješenje od "modifikovanog tla krečom". Ovaj tip kolovozne konstrukcije moguće je primjenjivati na relativno malim nagibima nivelete $i < 2\%$.

4.1. Tehnologija izrade

4.1.1. Nanošenje osnovnog materijala

Na izvedeni donji nosivi sloj (DNS) od krečom modifikovanog tla, nanosi se lokalno laporovito tlo u sloju debljine $d=20,0$ cm (rastresito stanje) i fino isplanira grejderom prema niveleti i kotama prema projektnoj dokumentaciji.

4.1.2. Priprema mješavine kreč+leteći pepeo

Elektrofilterski ili leteći pepeo termoelektrane u Tuzli, predstavlja raspoloživi aditivni materijal u kompleksnoj stabilizaciji lokalnog laporovitog tla. Uslovno hidraulički reaktivni leteći pepeo u kombinaciji sa dodatnim hidratiziranim krečom formira novo hidrauličko vezivo povećane aktivnosti. Omjer kreč:leteći pepeo je približno 1:5, odnosno u težinskim odnosima kreča 16 kg/m^2 , a letećeg pepela 86 kg/m^2 . Mješavina kreč:leteći pepeo spravlja se u mješalici manjeg kapaciteta (cca 10t/h) ukoliko se radi sa centralnim miješanjem svih komponenti (tlo+kreč+leteći pepeo).

Mješavina kreč+leteći pepeo radi se po tzv.suhom postupku s tim što se podrazumijeva "prirodno vlažno stanje" letećeg pepela. Miješanje se vrši do potpune homogenizacije mješavine, što je evidentno jednolikom bojom mješavine. [5]

4.1.3. Nanošenje mješavine kreč+leteći pepeo

Mješavina kreč+leteći pepeo, nanosi se preko pripremljenog sloja osnovnog (lokalnog) laporovitog tla u sloju koju čini rastresita težina od oko 100 kg mješavine (kreč+leteći pepeo). Nanešeni sloj treba da je jednolike debljine i isplaniran prema kotama i niveleti prema

projektnoj dokumentaciji. Ova faza se izvodi u prirodno vlažnom stanju pripremljene mješavine.

4.1.4. Sitnjenje, miješanje i vlaženje

Pripremljeni i nevezani lokalni materijal (lapor) i mješavina (kreč+leteći pepeo) u projektovanoj (djelimično zbijenoj)debljini gornjeg nosivog sloja (GNS) obrađuje se na licu mjesta rotovatorskom tehnikom u jednom ili više prelaza, zavisno od raspoložive mehanizacije izvođača.

U prvoj fazi vrši se razrivanje površine pripremljenog GNS sa rijačima grejdera radi početnog zahvata po dubini GNS i unošenja mješavine kreč+leteći pepeo iz površinskog sloja unutar GNS.

U drugoj fazi vrši se sitnjenje i miješanje po suhom postupku, odnosno sa prirodnom vlažnošću mješavine (kreč+leteći pepo) odgovarajućim rotovatorom u više prelaza, do početne homogenosti. Potom se dodaje "potrebna" vlažnost – razlika između optimalne laboratorijske ($W=15\%$) i one prirodne što se utvrđuje na licu mjesta prije dodavanja potrebne vlažnosti u završnoj fazi mješavine i homogeniziranja. Jednolika boja i tekstura mješavine je znak da je ova najznačajnija faza odgovarajuće stabilizacije izvršena. Za razliku od mješavine na "licu mjesta", viši kvalitet miješanja i homogeniziranja mješavine kreč+leteći pepeo+laporovito tlo postiže se miješanjem u centralnom postrojenju. [5]

4.1.5. Sabijanje kompleksno stabilizovanog GNS

Po izvršenom sitnjenju, miješanju i vlaženju, vrši se sabijanje gornjeg nosivog sloja pneumatskim (gumenim) valjcima do postignute 100% zbijenosti pri optimalnoj vlažnosti. Prije završnog valjanja statičkim valjkom (10-12 t), vrši se lako površinsko razrivanje grejderom do dubine od 45,0 cm, radi finog planiranja površine izvedenog GNS prema niveleti i kotama u poprečnom profilu. Paralelnim radom grejdera na planiranju i gumenih valjaka vrši se konačno oblikovanje površine GNS, pripremljene za završno valjanje "peglanje" statičkim valjkom.

Ukoliko se prilikom površinskog razrivanja ustanovi nedovoljna ili prekomjerna vlažnost ($W_{opt} \geq 20\%$) istu treba korigovati bilo dodavanjem nedostajuće ili prosušivanjem prekomjerne vlažnosti. Ova povećana vlažnost može se efikasno regulisati i smanjiti manjim dodatkom hidratisanog kreča (1-2%) prilikom razrivanja površine za završno zbijanje i planiranje. [6]

4.1.6. Njegovanje i zaštita izvedenog sloja od kompleksno stabilizovanog materijala u GNS

Po završenom zbijanju i planiranju kompleksno stabilizovanog sloja, isti se održava u vlažnom stanju površine tokom 14 dana, što se vrši lakim prskanjem po površini. Ovo se izvodi pod uslovima da nije kišovito vrijeme, pošto površina ne smije da bude suha tokom prvih 14 dana njegovanja u vlažnom stanju.

Isto tako, isključuje se svaki saobraćaj, posebno prelaz specijalnih vozila i mehanizacije za otkop i transport jalovine i uglja.

Ovaj tip kolovozne konstrukcije predstavlja solidnu podlogu za savremenu kolovoznu konstrukciju za javne puteve i druge saobraćajnice.

5. ZAKLJUČAK

Najznačajniji elementi za izbor jednog od predloženih tipova kolovozne konstrukcije su: troškovi izrade kolovozne konstrukcije, troškovi održavanja u toku eksploatacije i geometrijski položaj saobraćajnica u površinskom kopu.

Najadekvatniji izbor nekog od predloženih tipova kolovozne konstrukcije je osnovni element, a u smislu što dužeg vijeka trajanja kolovozne konstrukcije, nivoa uslužnosti i vozne sposobnosti na ovim saobraćajnicama, te samim tim i ekonomska opravdanost ovih kolovoznih konstrukcija.

Ispunjavajući sve navedene uslove koji utiču na izbor kolovozne konstrukcije dobit ćemo kolovoznu konstrukciju koja će imati projektom predviđeni vijek trajanja, zadovoljavajući nivo uslužnosti i manje troškove održavanja.

6. LITERATURA

- [1] Institut za puteve Beograd: Opitna dionica saobraćajnice u dnevnom kopu RMU "TITO" u Banovićima, Beograd 1984.
- [2] Rudnici mrkog uglja "Banovići" d.d. BANOVIĆI: Tehničke karakteristike strojeva "KAMIONI", Banovići 2008.
- [3] Korlaet, Ž.: Uvod u projektiranje i građenje cesta, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 1995. god.
- [4] Joksić, Z.: Kolovozne konstrukcije puteva, projektovanje, građenje i održavanje, Građevinski fakultet Beograd, 1986.
- [5] Z.Bašić, A.Džananović: Upotreba NUS proizvoda procesa proizvodnje sode za izgradnju donjeg stroja puteva, Geotehnički aspekti građevinarstva, zbornik radova peto naučno-stručno međunarodno savetovanje, Savez građevinskih inženjera Srbije, Sokobanja, 29.-31. Oktobar 2013.
- [6] Rukavina T., Dragičević V., Lopuh S., Rajić S.: Metode stabilizacije slabo nosivog tla pri izgradnji prometnica, Građevinar 59, Zagreb 2007.