

Neven KRALJ
dipl.ing.rud., Geotehnički studio, d.o.o., Zagreb, Hrvatska

Danijela GOLUŽA
dipl.ing.građ., Geotehnički studio, d.o.o., Zagreb, Hrvatska

GEOTEHNIČKI ISTRAŽNI RADOVI ZA POTREBE SANACIJE UZLETNO SLETNE STAZE ZRAČNE LUKE DUBROVNIK

SADRŽAJ: U radu će se dati prikaz provedenih geotehničkih istražnih radova za potrebe sanacije zračne luke Dubrovnik i prikaz prijedloga mjera sanacije obzirom na geotehničke specifičnosti lokacije na kojoj je smještena zračna luka.

GEOTECHNICAL INVESTIGATION WORKS FOR THE RECONSTRUCTION OF DUBROVNIK AIRPORT RUNWAY

SUMMARY: The study gives the results of the geotechnical investigation works carried out for the needs of reconstruction of Dubrovnik airport runway. Propositions for remedial works, considering geotechnical specifics of the location, will be presented.

UVOD

Obzirom na opće stanje betonskih ploča uzletno-sletne staze Zračne luke Dubrovnik (sl.1) i plana povećanja ukupnog zračnog prometa pojavila se potreba za poboljšanjem stanja piste te iznalaženjem najoptimalnije metode sanacije uz što kraće vrijeme zatvaranja Zračne luke. Stoga su provedeni istražni radovi kojima se trebala odrediti uslojenost temeljnog tla, njegove opće i fizičkomehaničke karakteristike, kao i njegova vodopropusnost. Također je trebalo odrediti postojanje tamponskog sloja, njegovu debljinu, granulometrijski sastav i vodopropusnost, kao i sastav i stanje kolničke konstrukcije. Ovaj fond podataka dao je osnovu za određivanje uzroka nastalih oštećenja i definiranja prijedloga sanacije.

Mjerenjima su obuhvaćena polja:

10-G sa uočljivim oštećenjima betonske ploče,

11-D bez vidljivih oštećenja i

122-G sa jakim oštećenjima,

kao i polja koja ih okružuju kako bi se dobila što potpunija slika stanja.



Slika 1: Raspucale ploče u Zračnoj luci Dubrovnik

U okviru terenskih istražnih radova izvedeno je:

- Istražno bušenje
- Ispitivanje zbijenosti standardnim penetracijskih pokusom
- Ispitivanje vodopropusnosti metodom "Le Franc"
- γ i γ' - γ radioaktivna karotažna mjerenja u bušotinama
- GPR mjerenja konstrukcije uzletno-sletne staze i podloge s dubinskim zahvatom do 4,0 m

TERENSKI ISTRAŽNI RADovi

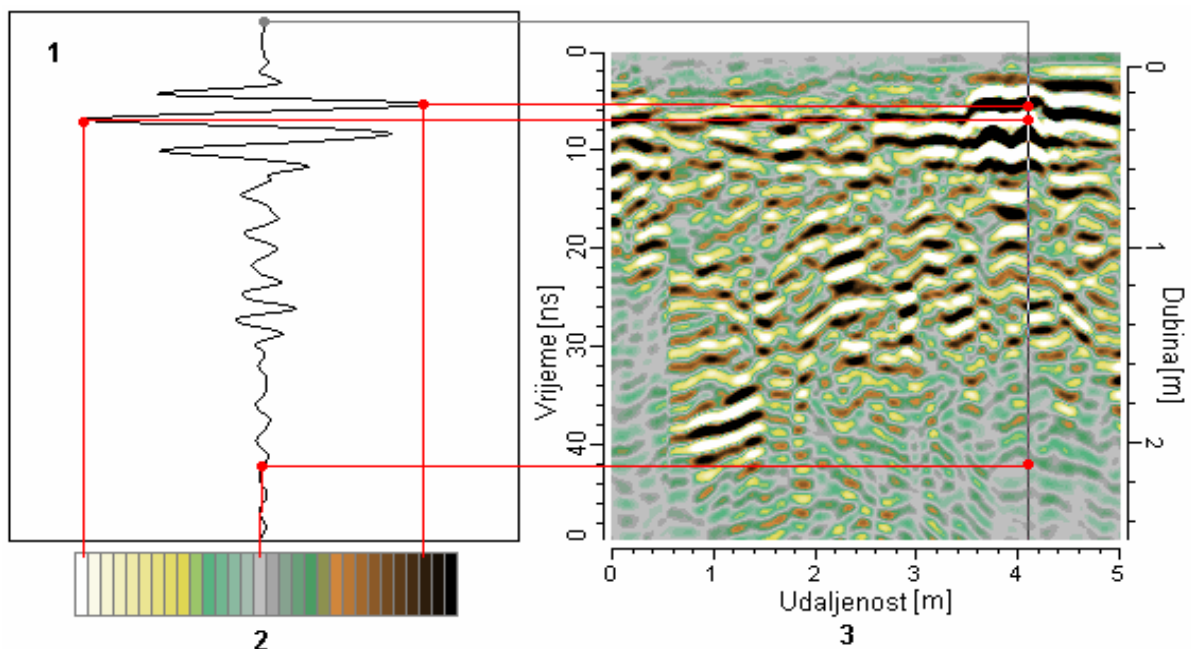
Istražno bušenje provedeno je metodom kontinuiranog jezgrovanja. Za vrijeme bušenja uzeti su uzorci betonske ploče i sloja kamenog nasipnog materijala u podlozi betonske ploče za potrebe ispitivanja marke betona i granulometrijskog sastava.

Mjerenje vodopropusnosti provedeno je u sloju lomljenog kamenog materijala ispod betonske ploče i u sloju osnovnog tla kojeg izgrađuje okršena stijena podloge.

GEOFIZIČKA ISPITIVANJA

Mjerenja GPR metodom zasnivaju se na osobinama elektromagnetskih valova. Sustav se sastoji od predajnika koji emitira elektromagnetski val u tlo, prijamnika koji registrira povratnu energiju i kontrolne jedinice koja upravlja njihovim radom. Prijenosno računalo kontinuirano nadzire čitav sustav i služi za prikaz i spremanje podataka.

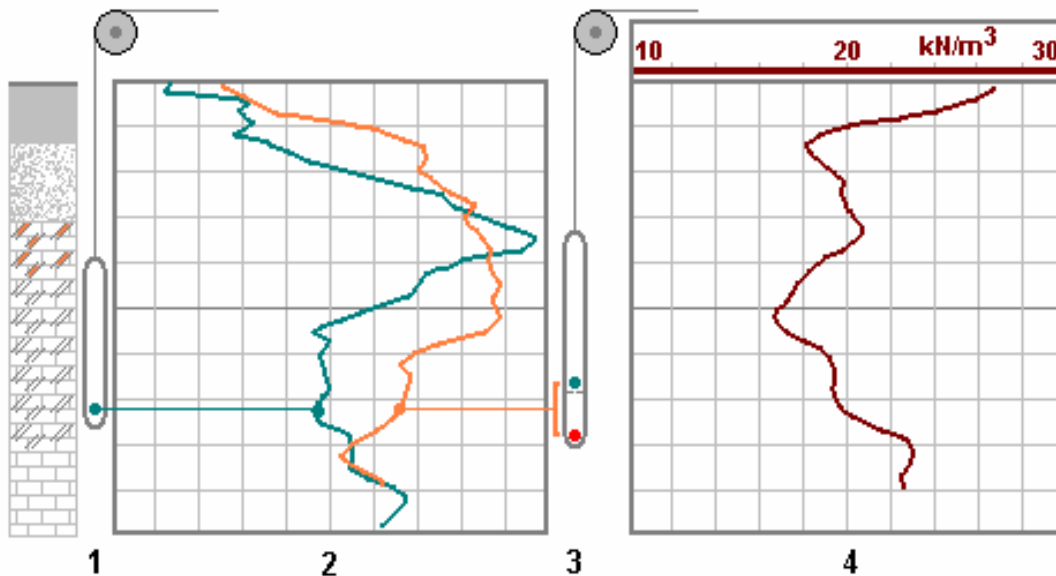
Odzivi su izazvani promjenama u elektromagnetskoj impedanciji koja je u vezi sa promjenama svojstava sredine. Veličina i oblik reflektora su značajni. Male ciljeve (manje od valne duljine) treba promatrati kao točkaste reflektore. Zbog sferične disperzije oni se pojavljuju kao hiperbole, dok veliki, ravni reflektori zadržavaju svoj stvarni oblik (Sl.2.).



Slika 2: GPR signal (1) pomoću skale boja (2) formira pojedinačne trase koje u nizu formiraju profil (3)

Radarni uređaj za ispitivanje tla korišten je za istraživanje stanja i debljine betonske ploče uzletno-sletne staze i tamponskog sloja, kao i za određivanje osobina temeljne stijene.

Nuklearne karotažne metode koriste se za litološko određivanje tla i stijena, te određivanje poroznosti i zapreminske težine. Gama karotaža je zapis prirodnog gama zračenja. Općenito, glina i sedimenti koji sadrže glinu imaju mnogo značajniju gama radioaktivnost od karbonatnih stijena. To je razlog zbog kojeg se gama karotaža može koristiti za određivanje položaja slojeva gline ili sadržaja gline u pukotinama karbonatnih stijena (Sl. 3).



Slika 3: Karotažno mjerenje, sonda za mjerenje prirodne gamaradioaktivnosti (1) i gama - gama sonda (3) sa pripadajućim krivuljama (2) i izvedena krivulja zapreminske težine (4)

Gama-gama metoda mjeri intenzitet gama zračenja emitiranog iz izvora u sondi i prigušenog okolnom sredinom. Kako je prigušenje ovisno o gustoći, gama-gama mjerenje omogućuje proračun zapreminske gustoće / težine (Sl.3. –2, 3, 4).

SASTAV I KARAKTERISTIKE TEMELJNOG TLA

Provedenim istraživanjem, kao i detaljnim inženjerskogeološkim pregledom šire zone zračne luke utvrđen je sastav i karakteristike temeljnog tla do dubine od 3,0 m mjereno od gornje kote uzletno-sletne staze.

Teren na kojem je izvedena zračna luka Dubrovnik predstavlja tipični krški teren. Pregledom terena uočena je pojava vrtača, kao i drugih tipičnih pojava za krš (kaverne, pukotine, manji rasjedi unutar stijenske mase i dr.). Od površine terena mjestimično se prostire sloj zemlje crvenice ili crvenice pomiješane sa kršjem, a mjestimično okršena i trošna stijenska masa. Debljina pokrivača (crvenica i crvenica pomiješana sa kršjem) nije značajna i doseže maksimalnu debljinu od 0,5 do 1,5 m mjereno od postojeće površine terena, osim u zonama vrtača gdje može dosezati debljinu i preko 3,0 m.

Na mjestima gdje nema pokrivača od površine terena prostire se sloj okršene vapnenačke stijene, sivo bijele boje. RQD (Rock Quality Designation = mjera raspucalosti stijenske mase) se kreće u rasponu od 0% do 20%. U ovom sloju registrirane su pukotine pod 45° i subvertikalne pukotine zijeva maksimalno od 1 mm do 5 mm, bez ispune. JRC (Joint Roughness Coefficient = Mjera hrapavosti stijenskih pukotina) se kreće u granicama 8-12. Stjenke pukotina su trošne do znatno trošne. Prosječna vertikalna vodopropusnost opisane zone stijenske mase kreće se u rasponu

$k_{v_{sr}} = 0,87 \text{ cm/s}$ do $2,3 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$, a prosječna horizontalna vodopropusnost iznosi $k_{h_{sr}} = 3,6 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$ (mjereno «in situ» Le Francovom metodom). Zona okršenja prostire se do maksimalne dubine od 1,0 do 2,0 m, rijetko preko 3,0 m dubine. Opisana zona registrirana je svim izvedenim bušotinama.

U podlozi trošne zone stijenske mase prostire se vapnenačka stijena, sivo bijele boje, manje okršena do kompaktna. RQD se kreće u rasponu od 35% do 60%, rijetko preko 60%. U ovom sloju registrirane su pukotine pod 45° , 80° i subvertikalne pukotine zijeva maksimalno do 1 mm, bez ispune. JRC se kreće u granicama 6-10. Stijenke pukotina su neznatno trošne do trošne. Prosječna horizontalna vodopropusnost opisane zone stijenske mase kreće se u rasponu $k_{h_{sr}} = 1,06 \times 10^{-2} \text{ cm/s}$ do $4,4 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$.

Bušotinama B1 i B2, kao i pregledom zasjeka uz uzletno sletnu stazu, registrirane su pojave pukotina i manjih rasjeda unutar stijenske mase, gdje je stijena potpuno degradirana i okršena, vjerojatno i tektonski poremećena. U takvim zonama registrirano je kršje i odlomci matične stijene pomiješano sa glinom. Na pozicijama istraživanja B5 i B6 registrirana je pojava manjih nezapunjenih kaverni (decimetarskih dimenzija) ili zapunjenih odlomcima i kršjem. Prema izjavama tehničkih lica zaposlenih u zračnoj luci u zoni zračne luke postoje i veći kavernozi sustavi ili manje špilje koje se nalaze između stajanke i zgrade zračne luke.

KOLNIČKA KONSTRUKCIJA

Provedenim istražnim bušenjem utvrđeno je da prag 12 izgrađuje kruta kolnička konstrukcija, koja se sastoji od betonske nearmirane ploče debljine 26 cm, odnosno mjestimično 20 cm. Nejednolika debljina betonske ploče utvrđena je i georadarskim snimanjem uzletno sletne staze. Naknadnim ispitivanjem betonskih uzoraka uzetih s uzletno-sletne staze ustanovljeno je da tlačna čvrstoća betona varira od 51,8 do 59,8 MPa. Srednja vrijednost tlačne čvrstoće iznosi 57 MPa. Obujamska masa iznosi $24,5 \text{ kN/m}^3$ do $24,9 \text{ kN/m}^3$, s iznimkom uzoraka betona iz polja 10-G gdje obujamska masa iznosi $22,4 \text{ kN/m}^3$ do $23,3 \text{ kN/m}^3$, a vizuelnim pregledom je ustanovljena poroznost i segregacija betona u donjoj zoni betonske ploče. Ovakva oštećenja u betonskoj ploči registrirana su i georadarskim snimanjem uzletno sletne staze.



Slika 4: Prikaz betonske ploče izvedene dvoslojno od betona različite kvalitete (polje 10-G)

Betonska ploča izvedena je kao dvoslojna nearmirana betonska ploča. Nije utvrđeno da li postoje moždanici između pojedinih betonskih ploča. Provedenim ispitivanjima utvrđeno je da ugrađeni beton kvalitetom zadovoljava uvjete kvalitete betona za marku betona MB 55.

Betonska ploča mjestimično leži na zbijenom lomljenom kamenom materijalu lokalnog porijekla, a mjestimično na razlomljenoj stijenskoj masi, pomiješanoj sa glinovitim vezivom. Zbijenost sloja lomljenog kamenog materijala ispitivana je provedbom standardnog penetracijskog pokusa. Provedbom ovoga pokusa ustanovljeno je da sloj lomljenog kamenog materijala nije jednoliko zbijen, a dobiveni rezultati variraju od 20 ud/stopa do $>50 \text{ ud/stopa}$. Prema granulometrijskom sastavu ugrađeni lomljeni kameni materijal ne ispunjava uvjete za sloj tampona. Materijal ugrađen u podlozi

betonske ploče ima previše krupne frakcije, kao i previše finih čestica. U pravilu neposredno ispod betonske ploče nalazi se samo krupnija frakcija lomljenog kamenog materijala, a pri kraju sloj lomljenog kamenog materijala je prekomjerno zaglinjen.

Detaljnim pregledom uzletno-sletne staze u zoni praga 12 i postojećih geodetskih podloga ustanovljena je ovisnost stupnja oštećenja betonskih ploča i podloge:

- učestalost pojavljivanja pukotina znatno je veća u zoni gdje je uzletno-sletna staza izvedena u razini terena ili u niskom usjeku, nego na nasipu
- pukotine u zoni nasipa u pravilu se pojavljuju samo u području gdje je kolnička konstrukcija na niskom nasipu
- pukotine u zoni visokog nasipa u pravilu se i ne pojavljuju (postoji samo sedam oštećenih ploča, od kojih ni jedna nije pukla u cijelosti)

Ocjena uzroka oštećenja i prijedlozi sanacionih rješenja

Na osnovi svih provedenih ispitivanja kao i na osnovi pregleda postojeće dokumentacije zaključuje se da su uzroci nastalih oštećenja slijedeći:

- Betonske ploče građene su dvoslojno. U donjoj zoni marka betona iznosi MB 20 sa tlačnom čvrstoćom od 16,9 MPa. U gornjoj zoni marka betona varira od MB 35 do MB 55 sa tlačnom čvrstoćom betona od 35 MPa do 57 MPa. Debljina betonske ploče nije jednolika, već varira od 20 cm do 27 cm. Dakle jedan od uzroka nastalih oštećenja je i heterogenost u debljini, sastavu i čvrstoći betonskih ploča.

- Povećanje intenziteta prometa i vrste zrakoplova koji slijeću u dubrovačku zračnu luku rezultiralo je povećanjem prometnog opterećenja i do 10 puta u odnosu na razdoblje kada je uzletno sletna staza izgrađena. Dakle i povećanje prometnog opterećenja jedan je od uzroka nastalih oštećenja.

- Statičkim proračun dokazano je da uz današnji intenzitet i vrstu prometnog opterećenja, kao i zbog utjecaja nejednolike promjene temperature dolazi do prekoračenja vlačnih naprezanja za betonske ploče dimenzija 6,00 x 3,75 m, debljine 20 cm do 26 cm, marke betona MB 20 do MB 55.

- Predmetna uzletno sletna staza u eksploataciji je od 60-tih godina prošlog stoljeća. Zbog cikličkih ponavljanja dimaničkih opterećenja i rasterećenja dolazi do umora betona i mogućnosti pojave pukotina unutar betonskih ploča.

- U podlozi betonske ploče djelomično postoji sloj lomljenog kamenog materijala koji je promjenjive debljine i varira od 20 do 34 cm. Na određenim pozicijama ne postoji sloj lomljenog kamenog materijala, već je ploča izvedena na sloju okršene stijenske mase. Ugrađeni lomljeni kameni materijal po granulometrijskom sastavu ne odgovara uvjetima za propisani sloj tamponskog materijala. Zbijenost sloja lomljenog kamenog materijala nije jednolika, već varira od 20 ud/stopa do >50 ud/stopa. Dakle, ugrađeni lomljeni kameni materijal u podlozi betonske ploče ne odgovara zahtjevima za tamponski sloj ni po debljini, ni po granulometrijskom sastavu, ni po zbijenosti, što je jedan od uzroka nastanka oštećenja na betonskim pločama.

- Osnovno tlo na kojem je izvedena uzletno sletna staza izgrađuje tipični krški teren. Građa tla je takva da neki dijelovi uzletno sletne staze leže na sloju kompaktne stijenske mase, a neki dijelovi na sloju okršene stijenske mase ili zoni pokrivača kojeg izgrađuje kršje i odlomci pomiješani sa glinovitim materijalom. Karakteristike stišljivosti ovih zona osnovnog tla su višestruko različite, što rezultira pojavom dodatnih vlačnih naprezanja unutar betonskih ploča koja mogu izazvati oštećenje betonskih ploča u vidu pukotina unutar betona.

Dakle, istraživanja su pokazala da svi nosivi elementi konstrukcije (betonska ploča, tampon, nasip i u dijelu osnovno tlo) ne zadovoljavaju tražene tehničke uvjete. Zbog toga betonske ploče nemaju dostatnu otpornost na vlačna naprezanja koja se u njima javljaju. Rješenje treba tražiti u smanjenju vlačnih naprezanja, a što se može postići poboljšanjem mehaničkih karakteristika sloja nasipnog

kamenog materijala i smanjenjem raspona betonskih ploča. U tom smislu se predlaže kod ploča koje se neće mijenjati injektiranjem homogenizirati sloj nasipnog kamenog materijala, a čišćenjem i zapunjavanjem pukotina smanjiti raspone betonskih ploča.

PRIJEDLOZI SANACIONIH RJEŠENJA

Obzirom na navedene uzroke nastalih oštećenja unutar betonskih ploča predlaže se slijedeća procedura u daljnjim aktivnostima oko sanacije uzletno sletne staze u zoni praga 12:

Provesti detaljan vizuelni pregled uzletno sletne staze u zoni praga 12 i reinterpretaciju postojeće tehničke dokumentacije, kao i geofizičko snimanje, te mjerenje defleksije na uzletno sletnoj stazi u zoni praga 12.

U okviru ovih radova provelo bi se georadarsko snimanje betonskih ploča, IMPACT-ECHO metoda ispitivanja betonskih ploča (geofizička metoda snimanja strukture i stupnja oštećenosti betonske ploče) i mjerenje defleksije ploča. Na osnovi ovih radova odredile bi se zone u kojima bi se provelo mijenjanje oštećenih betonskih ploča, zone u kojima bi se pristupilo homogeniziranju podloge i sanaciji oštećenih betonskih ploča i zone u kojima se ne bi izvodili radovi sanacije.

Da bi se odredio način sanacije ploča koje se ne mijenjaju potrebno je izraditi projekt probnih polja, a sve u cilju iznalaženja načina injektiranja kod kojih se postižu prihvatljiva poboljšanja.

Probim poljima utvrditi će se slijedeći elementi:

- broj i raspored injekcionih bušotina, kao i redoslijed injektiranja
- sastav i karakteristike injekcione smjese
- pritisak injektiranja

Ograničenja koja će definirati ove elemente su:

- veza sa susjednim pločama
- mogućnost štete na pločama (pucanje ploča) uslijed injekcionih pritisaka

Rezultati uspješnosti primjenjivih načina injektiranja ponovo se ispituju metodama nedestruktivnog mjerenja (geofizička mjerenja, defleksija).

Homogeniziranje podloge i sanacija oštećenja izvode se prema projektnim rješenjima baziranim na podacima mjerenim na predhodno izvedenim probnim poljima.

Na osnovi ovih radova odabrala bi se konačna varijanta sanacije, koja bi se sastojala od:

Mijenjanja oštećenih betonskih ploča

Osnovni princip kojeg se treba pridržavati je da se pronađu takva rješenja koja osiguravaju zamjenu ploča unutar dozvoljenih zatvora zračne luke.

Pri zamjeni odabranih oštećenih ploča treba posvetiti posebnu pažnju pripremi osnovnog tla i ugradnji tamponskog sloja. Ovo podrazumijeva da se nakon uklanjanja betonske ploče ukloni i postojeći sloj nasutog lomljenog kamenog materijala i osnovnog tla ako je potrebno do minimalno 40 cm ispod donje kote betonske ploče. U slučaju ako osnovno tlo na koti koja se nalazi 40 cm ispod donje kote temeljne ploče ne izgrađuje stijenska masa potrebno je izvršiti zamjenu materijala do sloja stijenske mase. Zamjenu materijala moguće je izvesti lomljenim kamenim materijalom. Zbijenost posteljice treba iznositi minimalno $M_s = 75$ MPa. Zbijenost posteljice potrebno je kontrolirati u svakom polju gdje se izvodi zamjena oštećene ploče ispitivanjem zbijenosti primjenom krute kružne probne ploče prema HRN U.B1.046/68. Nakon toga potrebno je ugraditi tamponski sloj koji treba prema svojim karakteristikama odgovarati zahtjevima za tamponski sloj. Zbijenost završnog sloja tampona treba iznositi minimalno $M_s = 120$ MPa. Zbijenost završnog sloja tampona potrebno je kontrolirati u svakom polju gdje se izvodi zamjena oštećene betonske ploče primjenom krute kružne probne ploče.

Slična vrsta sanacije već je i izvedena na pragu 30.

Homogeniziranja podloge i sanacije oštećenih betonskih ploča

Ovi radovi podrazumijevaju izvedbu poboljšanog sloja lomljenog kamenog materijala, kako bi se ujednačile karakteristike stišljivosti podloge na kojem leži sadašnja betonska ploča uzletno sletne staze u zoni praga 12. Poboljšanje sloja lomljenog kamenog materijala moguće je izvesti nedestruktivnim niskotlačnim injektiranjem. Nakon poboljšanja (injektiranja) sloja lomljenog kamenog materijala, odnosno izjednačavanja karakteristika stišljivosti podloge betonskih ploča potrebno je pristupiti sanaciji oštećenih betonskih ploča.

Sanaciju betonskih ploča potrebno je provesti u skladu sa tehnički korektnim rješenjima koja će osigurati trajnost i upotrebljivost betonskog kolnika, a to je mehaničko čišćenje pukotina, te završno uređenje specijalnim mortovima koji imaju brzo vrijeme postizanja konačne čvrstoće, dobru prionjivost sa starim betonom i povoljna reološka svojstva.

Osnovni cilj ove vrste sanacije je minimaliziranje broja ploča koje je potrebno sanirati zamjenom. Također treba napomenuti da je ovu vrstu sanacije moguće provoditi bez zatvora prometa obzirom da se ne mijenjaju ploče, a oprema kojom se provodi sanacije je mobilna, te se u slučaju potrebe vrlo brzo može maknuti sa uzletno sletne staze.

LITERATURA

- (1) N. Kralj: Zračna luka Dubrovnik, Sanacija uzletno sletne staze, Geotehnički elaborat, Geotehnički studio, Zagreb, 2003.
- (2) K. Kovačević: Izvještaj o naknadnom ispitivanju tlačne čvrstoće uzoraka betona izvađenih iz uzletno- sletne staze objekta Zračna luka Dubrovnik , Geoexpert IGM, Zagreb, 2003.
- (3) E. Nonveiller: Mehanika tla i temeljenje građevina, Školska knjiga, Zagreb, 1979.
- (4) B. Babić: Projektiranje kolničkih konstrukcija, Građevinski institut Zagreb, Zagreb, 1989.