

GALERIJA ZA ZAŠTITU OD ODRONA KAMENJA

Kantonalna cesta do prijevoja Val D'Anniviers u švicarskom kantonu Valais izložena je stalnom odronu kamenja. Na ulazu i izlazu iz starog tunela, koji je izgrađen uz vrlo strmu stijenu, prijete velike opasnosti, a



Strma stijena iznad tunela Pontis South

svakih se deset godina mogu očekivati odroni kamenja s energijom udara do 2000 kJ, dok su manji odroni puno češći. Različite studije iz početne faze projektiranja zaštite od odrona otkrile su da bi fleksibilna zaštitna galerija bila jeftinija varijanta zaštite od betonskog proširenja tunela ili preusmjerenja ceste.

Nedostatak zaštite na cesti do Val D'Anniviersa postao je evidentan još 2006. Ured tvrtke *Nivalp inženjeringa* započeo je rad na projektiranju fleksibilne krovne konstrukcije koja može izdržati odronu kamenja s energijom udara od 1000 kJ. Ostala su rješenja predlagala preusmjerenje ceste ili proširenje tunela. Kao potencijalno dugoročno rješenje preusmjerenje ceste nije u potpunosti odbačeno, međutim trebalo je naći rješenje u kratkome roku.

Novija istraživanja i simulacije provedene 2008. doveli su do zaključaka da je očekivana razina energije udara u slučaju odrona kamenja mnogo veća. Udari s energijom od gotovo 2000 kJ mogući su na ovom dijelu ceste – stijene veličine od 1 do 2.5 m³ padaju s visine veće od 100 m što dovodi do energije udara od 2000 kJ. Prvotno predloženu tehnologiju fleksibilne galerije za zaštitu od odrona kamenja s energijom udara od 1000 kJ revidirao je izvođač, tvrtka *Geobrugg AG*, i prilagodio je novim zahtjevima.

Inženjeri su ubrzo shvatili da će energija udara od 2000 kJ biti novi izazov jer su do tada najjače fleksibilne zaštitne galerije bile projektirane za zaustavljanje udara jačine do najviše četvrtine gornje energije (npr. galerija *Elsigbachgraben* u kantonu Bern i tunel Mosi u kantonu Schwyz). Povrh toga stvari su se dodatno zakomplicirale proširenjem ceste pa je doš-

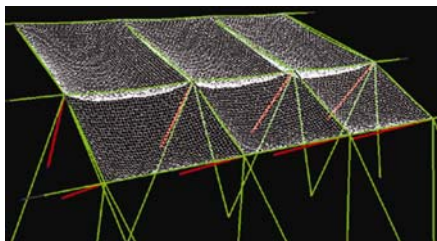
lo do problema u planiranju. Proračuni su zbog toga morali uključiti slobodno stršeće stupove duge 11 m u kojima su se javljale velike uzdužne sile.

U Švicarskoj se sve fleksibilne zaštitne konstrukcije obično unaprijed ispituju sukladno švicarskim nacionalnim direktivama ili direktivama Europske Unije, i to na terenu u prirodnoj veličini. Međutim, u ovom je slučaju bilo nemoguće provesti ispitivanje u prirodnoj veličini u tako kratkom roku. Projekt je dobio zeleno svjetlo u veljači 2010. i to nakon dovršetka natječajnog postupka i dodjele ugovora o izgradnji. Cjelokupna inženjerska strategija za ovaj projekt, od simulacije i proračuna konstrukcije, morala se dovršiti u šest tjedana. U isto je vrijeme započeo postupak čišćenja stijena s preciznim mjerenjima terena. Nije bilo moguće napraviti točan proračun geometrije tunela dok i posljednja



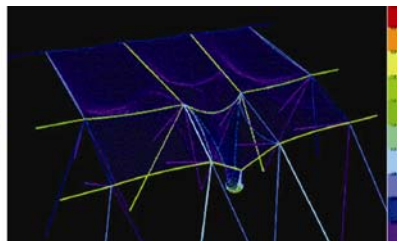
Pripremni radovi na zaštitnoj galeriji

stijena nije bila očišćena što je dovelo do stalnih promjena planova. Jedino moguće rješenje bilo je zatvoriti cestu tijekom dana, a svu opremu i mehanizaciju ukloniti tijekom noći.



nom simulacijom jer je terensko ispitivanje zbog veličine bilo nemoguće izvesti. Simulirana je prostorna konstrukcija uz najveće moguće dimenzije projektirane galerije.

Na 1000 m nadmorske visine i sni-



Shema konstrukcije, lijevo – opterećenje, desno – udar na srednji blok jačine 2000 kJ

Projektni sustav fleksibilne zaštitne galerije usporediv je s velikim korovom koji se nadvija iznad ceste. Prstenastu mrežu drži dva reda stupova između kojih se nalazi nosiva užad. Ta dva reda stupova na padinama tvore dvije krovne konstrukcije različitih nagiba. Prva konstrukcija počinje na stijenama i završava na rubu ceste s planinske strane, a druga se konstrukcija nadovezuje na prvu i natkriva cestu.

jeg se također mora uzeti u obzir. Bitno je bilo spriječiti da teret snijega ne dovede do dodatnih troškova održavanja za vlasnika ili izvođača.

U proračunima su analizirani i posebni slučajevi kao npr. kad stijena udari o stup ili nosivo uže. Simulacija individualnih opterećenja može se iskoristiti za proračun ekstremnih opterećenja svih dijelova, uključujući i stupove, pa se sustav može ko-

3D CAD modelom, a potom su izrađene i skice za izradu. Istodobno su izmjerena sidrišta, a sidra dopremljena do mjesta ugradnje. Bušenje sidrišta za podupirače i užad započelo je nakon čišćenja stijena. Sidrene točke izrađene su od sidrene užadi duljine do 6 m, dok su temeljne ploče za stupove usidrene GEWI šipkama (*Steel High Yield Threadbar*). Sile na sidrima jačine do 350 kN trebalo je prenijeti na stijene čija je površina jako izložena trošenju.

Čim se beton za sidro pripremi, dizalicom se pozicionira stup. Najduži stup, dugačak 11 m, nije bio izazov samo radi transporta po uskim, vijugavim cestama, nego i poradi ugradnje jer mu je ukupna težina bila 1,8 tona. Svi su stupovi postavljeni pod točno određenim nagibom pomoću odgovarajuće užadi na planinskoj strani, i to prije nego je postavljena horizontalna nosiva užad. Na kraju su postavljena V-sidra na udolinskoj strani. Kako je većina radova obavljena na visini od 10 m iznad ceste, zaštita je nužna u svakom trenutku. Na kraju je mreža izrezana sukladno trodimenzionalnoj skici u CAD-u. Prstenasta je mreža postavljena te prekrivena sekundarnom i tercijskom mrežom s manjim očišćama za hvatanje sitnijeg kamenja.

Nakon dva mjeseca intenzivnog rada na ugradnji i tri i pol mjeseca ukupnog trajanja projekta konstrukcija je dovršena, a cesta otvorena za promet. Kanton Valais ponosno je predstavio inovativno postignuće kojim je uštedio oko 7 milijuna švicarskih franaka. Cijena cjelokupne konstrukcije, uključujući i ugradnju, bila je 1,1 milijun švicarskih franaka, dok bi betonsko produženje tunela stajalo otprilike 8 milijuna švicarskih franaka.



Zaštićena cesta u prometu

Cijeli se nosivi sustav morao točno proračunati, što je učinjeno računal-

načno adekvatno dimenzionirati. Geometrijski su odnosi provjereni

Dr. Axel Volkwein,
Corinna Wendeler i
Vjekoslav Budimir

