

Geodetski radovi na vijaduktu Hreljin

Zdenko Dasović

Ključne riječi

autocesta Rijeka-Zagreb, vijadukt Hreljin, geodetski radovi, geodetska mjerenja, odsječak, izgradnja, montaža

Key words

Rijeka - Zagreb motorway, Hreljin viaduct, topographic survey, topographic measurements, section, construction, assembly

Mots clés

autoroute Rijeka - Zagreb, viaduc de Hreljin, travaux topographiques, mesures topographiques, tronçon, construction, assemblage

Ключевые слова

автодорога Риека-Загреб, виадук Хрелин, геодезические работы, геодезические измерения, участок, возведение, монтаж

Schlüsselworte

Autobahn Rijeka-Zagreb, Talbrücke Hreljin, Vermessungsarbeiten, Vermessungsmessungen, Abschnitt, Bauen, Montage

Z. Dasović

Stručni rad

Geodetski radovi na vijaduktu Hreljin

Opisuje se primjena geodetskih radova na izgradnji vijadukta Hreljin na autocesti Rijeka-Zagreb. S obzirom na to da se radi o građevini koja se nalazi na trasi složenoga geometrijskog oblika prikazana je važnost geodetskih radova pri spajanju odsječaka vijadukta kako bi se postigla geometrijska preciznost u granicama vrlo malih tolerancija. Podrobno su opisane geodetske radnje u svim fazama izvedbe konstrukcije vijadukta, sastavljene od međusobno monolitno spojenih elemenata.

Z. Dasović

Professional paper

Topographic survey of the Hreljin viaduct

The topographic surveying conducted during realization of the Hreljin viaduct on the Rijeka to Zagreb motorway is described. On this project, the geodetic survey was of high significance, as this structure is located on the route characterized by a complex geometrical shape, and viaduct segments had to be connected in such a way to achieve geometrical accuracy with a very low tolerance setting. A detailed description is given of topographic activities conducted in all phases of realization of the viaduct structure composed of monolithically connected elements.

Z. Dasović

Ouvrage professionnel

Travaux topographiques sur le viaduc de Hreljin

Les travaux topographiques conduits au cours de réalisation du viaduc de Hreljin sur l'autoroute entre Rijeka et Zagreb sont décrits. Sur ce projet, une importance élevée a été accordée aux travaux topographiques puisque l'ouvrage est situé sur le tracé caractérisé par la forme géométrique complexe, et les segments du viaduc ont du être liés avec une précision géométrique à marge de tolérance très basse. Une description détaillée est donnée des activités topographiques conduites dans toutes les phases de réalisation de ce viaduc composé des éléments liés de manière monolithique.

З. Дасович

Отраслевая работа

Геодезические работы на виадукте Хрелин

В работе описывается применение геодезических работ при строительстве виадука Хрелин на автодороге Риека-Загреб. Имея в виду, что речь идёт о сооружении, находящемся на трассе сложной геометрической формы, показана важность геодезических работ при соединении участков виадука с целью достижения геометрической точности в пределах очень малых отклонениях. Детально описаны геодезические работы во всех фазах возведения конструкции виадука, состоящие из взаимно связанных элементов.

Z. Dasović

Fachbericht

Vermessungsarbeiten an der Talbrücke Hreljin

Beschrieben ist die Anwendung von Vermessungsarbeiten beim Bauen der Talbrücke Hreljin an der Autobahn Rijeka-Zagreb. Hinsichtlich der Tatsache dass es sich um ein Bauwerk handelt das sich an einer Trasse von komplizierter geometrischer Gestaltung befindet wird die Wichtigkeit der Vermessungsarbeiten beim Zusammenfügen der Talbrückenabschnitte dargestellt, deren Ziel es ist eine geometrische Präzision mit sehr geringen Toleranzen zu erreichen. Detailliert beschreibt man die Vermessungsarbeiten in allen Ausführungsphasen der Konstruktion der Talbrücke, zusammengesetzt aus einander monolithisch verbundenen Elementen.

Autor: **Zdenko Dasović**, ing. geol., Ured ovlaštenog inženjera Zvonimira Ilića, Zagreb

1 Uvod

Vijadukt Hreljin sastavni je dio autoceste Rijeka – Zagreb na poddionici Kikovica-Oštrovica-Delnice, ispred južnog portala tunela Tuhobić, na lokaciji od 22 + 245,00 km do 22 + 780,00 km. Ukupna dužina vijadukta između upornjaka, odnosno od jedne prijelazne naprave do druge, jest 535 m. Poprečni je presjek sandučast, sa širinom kolničke ploče 12,9 m. Osnovni elementi nivelete su kružni luk ($R = 707,075$ m, $L = 558,00$ m) i prijelaznica (klotoida) ($L = 120,00$ m, $A = 291,29$ m) uzdužni pad je konstantan od 3,3%, poprečni nagib iznosi 6,0% na potezu kružnog luka, a na potezu prijelaznice vitopere se od 6,0% na 2,5%.

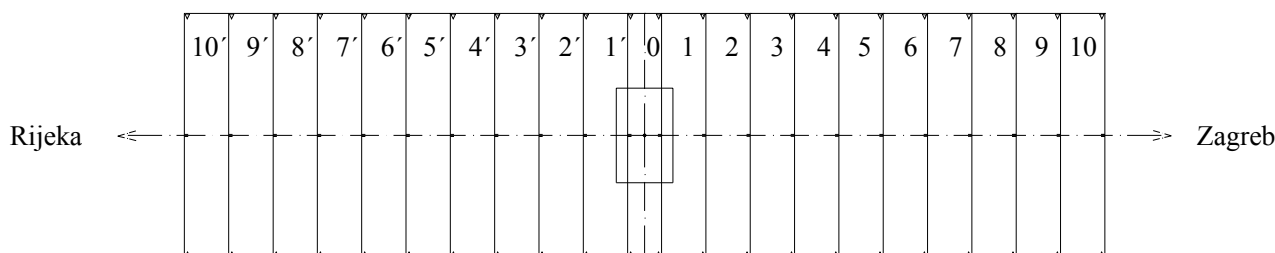
Tablica 1. Osnovni elementi nivelete vijadukta Hreljin

Elementi trase	Stacionaža	Među-stacionaža	Vijadukt	Među-stacionaža
KP = PPK	22+080,73			
		120,00		
KPK = PKL	22+200,73			
		279,00	22+245,00	
SK	22+479,73			
		279,00		535,00
KKL = PPK	22+758,73			
		120,00	22+780,00	
KPK = PP	22+878,73			

KP – kraj pravca; PPK – početak prijelazne krivine; KPK – kraj prijelazne krivine; PKL – početak kružnog luka; SK – sredina kruga; KKL – kraj kružnog luka; PP – početak pravca

Nakon izgradnje upornjaka, upornih krila i stupova vijadukta (prvi korak) pristupa se montaži gornjeg postroja (u daljnjem tekstu odsječci) vijadukata (drugi korak). Osnovnu podjelu (tehnološku cjelinu) pri montaži odsječaka čine stolovi tipa A i stolovi tipa B.

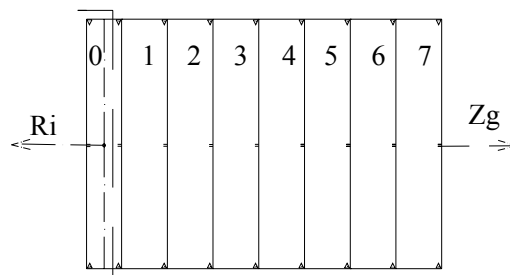
Stolovi tipa A (slika 1.). Svaki stup veže na sebe jedan stol zajedno s mokrim čvorom ukupne dužine 50m. Sastavni je dio stola nulti odsječak (uporišni odsječak) i deset segmenata desno odnosno lijevo od nultog gledajući u smjeru uzdužne osi vijadukta. Iz ovoga se može zaključiti da je statička shema konstrukcije tijekom montaže konzola (jedan stol) koja se povezuje s drugom konzolom



Slika 1. Tlocrt stola tipa A

lom (susjedni stol) lijevo odnosno desno u smjeru uzdužne osi, u zadnjoj fazi međusobno se povezuju mokrim čvorom i čeličnom užadi (prednapinjanje) ukupno 9 stolova.

Stolovi modela B (slika 2.). Za razliku od modela A, model B ne čini konzolu nego se montira na privremeno izgrađenu skelu na početku i na kraju vijadukta pojedinačne dužine zajedno s mokrim čvorom 24,5m. Sastavni je dio stola nulti odsječak (uporišni segment montira se na upornjak) i sedam odsječaka u nizu gledajući u smjeru uzdužne osi vijadukta.



Slika 2. Tlocrt stola tipa B

Izgradnja i montaža odsječaka vijadukta izuzetno je tehnički i tehnološki složeni proces koji se sastoji od četiri zaokružene cjeline.

1. izgradnja odsječaka (uglavnom) na dislociranom pogonu
2. montaža odsječaka u dva koraka
3. spajanje odsječaka mokrim čvorom
4. prednapinjanje odsječaka u šest koraka.

U tehnološkoj cjelini pod 1. i 2. rad geodetskog stručnjaka je s obzirom na cijeli proces osjetljiv i čini kritičan moment u odnosu na cjelokupni projekt. Analizirajući problematiku nametnula su se dva osnovna uvjeta koja se moraju zadovoljiti da bi se uspješno riješio geodetski zadatak:

- zadan je visoki kriterij preciznosti izgradnje odsječaka na radnoj podnici s najvećom mogućom točnošću pri projektiranju
- postavljen je visoki kriterij preciznosti montaže odsječaka u drugom koraku kao uzročno-posljedična veza izabrane tehnologije povezivanja montiranih stolova i tehnologije prednapinjanja.

Iz ovih osnovnih elemenata i podataka može se uočiti složenost geodetskog dijela posla s obzirom na zadani visoki kriterij preciznosti izgradnje i montaže odsječaka.

2 Izrada odsječaka

Odsječci se izgrađuju na pogonu neovisno o samoj lokaciji vijadukta. Na radnoj platformi iskolčavaju se projektirani tlocrtni elementi jednog stola, tj. elementi nivelete (kružni luk, prijelaznica). Zadaća je što preciznije iskolčiti cijeli stol.

U dogovoru s projektantom položajna točnost izgradnje jednog stola zadana je u granicama ± 5 mm do ± 8 mm što u odnosu na dužinu stola od 50 m, širinu od 12,90 m i visinu od 3,50 m, s obzirom na to da se radi o obostranoj montažnoj metalnoj oplati zahtijeva preciznu bazu lokalnoga koordinatnoga sustava. Dakle 21 odsječak u nizu iskolčava se na radnom stolu lokalno, tj. s projekta parcijalno se prenose elemente nivelete za jedan stol. Elementi nivelete na projektu sračunati su u državnom koordinatnom sustavu i da bi se iskolčili lokalno nužno je izvršiti transformaciju u lokalni koordinatni sustav.

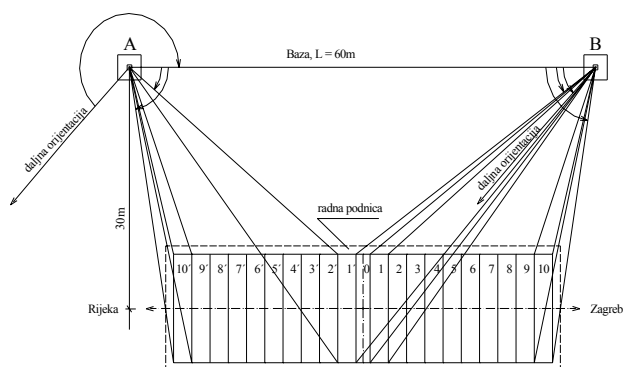
Točke baze stabilizirane su betonskim blokovima. Dimenzije nadzemnog dijela bloka su $1,5 \times 1,5 \times 0,4$ m, u sredini bloka ugrađene su metalne sidrene ploče dimenzija 15×15 cm s ugraviranim križićem kao markicom. Fundiranje ploča mora zadovoljiti osnovni uvjet da se tijekom uporabe ne pomaknu.

Ispostavilo se da bi optimalna dužina baze iznosila 60 m, postavljena paralelno s uzdužnom osovinom stola na udaljenosti od 30 m. Sredina dužine baze poistovjećuje se sa sredinom dužine radnog stola. S obzirom na zadanu točnost izgradnje stola od ± 5 mm do ± 8 mm baza mora biti dva do tri puta točnija, tj. u granicama od $\pm 1,5$ mm do $\pm 2,5$ mm na 60 m dužine. Uz odgovarajuće geodetske instrumente i pribor (sekundni teodolit WILD T2, distomat DI4 i pribor za prisilno centriranje) taj uvjet je zadovoljen.

Srednja pogreška mjerenja dužine baze u oba smjera, a svaka dužina mjerena je u prvome i drugome smjeru četiri puta iznosila je $\pm 1,2$ mm na 60 m dužine.

Za dodatnu kontrolu i sigurnost iskolčenja poželjno je uzeti vizuru na neku dalju točku (npr. toranj crkve, antena), po mogućnosti 1 km i više, te prema njoj odrediti smjerni kut u minimalno 2 girusa. Na taj način su zadovoljene osnovne pretpostavke za kvalitetno rješenje zadatka (slika 3.).

Na nultom segmentu ugrađeno je 12 rupa u donjoj zoni (nalijegajuća armiranobetonska ploča) za Dywidag vijke. Izuzetno je važno da geodetski stručnjak odredi kut otklona za rupe Dywidag vijaka u odnosu na vertikalnu os



Slika 3. Skica lokalnog koordinatnog sustava, shema iskolčenja odsječaka stola

nultog segmenta. Pri montaži nultog segmenta pojavio se problem čiji je uzrok dvojakog karaktera, a nije riješen samim projektom kao posljedica uzdužnog pada nivelete vijadukta poprečnog nagiba i debljine nalijegajuće ploče nultog segmenta od 50cm. Ritam izgradnje odsječaka na radnom stolu je simetričan. Prvo se gradi nulti odsječak, s njega se demontira poprečna oplata i ugrađuje dilatacija (plastična folija) na poprečni profil, zatim se pristupa gradnji prvog desnog i prvog lijevog segmenta gledajući u smjeru uzdužne osi nivelete pri čemu lice desne i lijeve strane nultog poprečnog profila ima funkciju oplata za prvi desni i prvi lijevi odsječak i tako u nizu do desetog desnog i desetog lijevog odsječka. Istodobno se ugrađuju izbočine (bradavice) u obliku polukugle, ukupno 6 na svako lice poprečnog profila odsječka, što bitno pojednostavljuje montažu.

Geodetski stručnjak mora kontrolirati proces montaže oplata svakoga pojedinačnoga odsječka, kako bi konačno cijeli stol bilo izveden sa što je moguće većom točnošću.

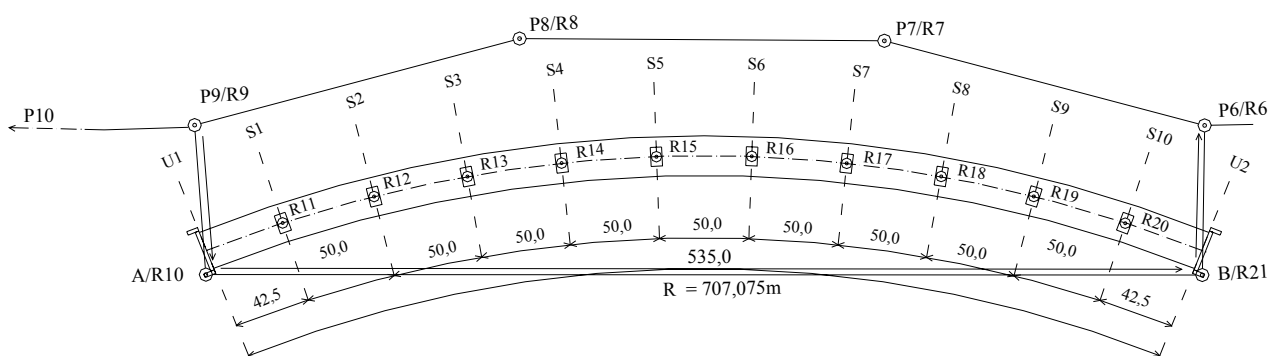
3 Montaža odsječaka

Prije montaže odsječaka potrebno je izvršiti određene pripreme koje se odnose na:

1. geodetska osnovu
2. položajnu i visinsku kontrolu upornjaka i stupova
3. montažu navlačne skele
4. montažu nultog odsječka upornjaka i stupova.

3.1 Geodetska osnova

Visoka položajna točnost osigurana je s četiri točke koje su pravilno raspoređene paralelno s osovinom vijadukta na udaljenosti od 25 m do 30 m, međusobnog razmaka od 180 m do 200 m, a ujedno su točke operativnoga poligonskoga vlaka trase poluautoceste.



Slika 4. Skica operativnog poligonskog i nivelanskog vlaka

Uz odgovarajuću stabilizaciju i signalizaciju postavljena je sigurna osnova za sve geodetske zadatke (slika 4.).

Točke su stabilizirane betonskim stupovima. Nadzemni dio stupa visok je 165 cm, promjera 40 cm, fundiranje je izvršeno na čvrstoj stijeni (tzv. živac) kako bi se imala potpuna položajna sigurnost tijekom cijele gradnje. U podnožju stupova ugrađeni su mjedeni reperi, a na stupove uređaji za prisilno centriranje instrumenata i signala. Na taj je način osigurana najveća točnost mjerenja prijelomnih kutova i dužina te identičan položaj instrumenta i signala za razne faze iskolčenja i kontrole gradnje. Visine repera određene su preciznim nivelmanom (KONI 007) i priključene na državnu nivelmansku mrežu.

3.2 Položajna i visinska kontrola upornjaka i stupova

Određene su izvedene koordinate centara stupova i upornjaka te njihova međusobna udaljenost.

Određene su izvedene visine stupova i upornjaka.

Položajna kontrola izvedena je presjekom pravaca u kombinaciji s direktnim mjerenjem dužina. Točnost izvedenih x , y u odnosu na projektirane iznosila je ± 0 mm do ± 8 mm. Za visinsku kontrolu postavljen je nivelmanski vlak po stupovima s kojih se kontroliraju radni reperi na stupovima i visine glavice na koje se montiraju ležajevi. Točnost izvedenih visina u odnosu na projektirane kretala se od -3 mm do $+4$ mm.

Time su u potpunosti zadovoljeni kriteriji točnosti izgradnje u odnosu na dopuštena najveća odstupanja po x , y i z .

3.3 Montaža navlačne skele

Navlačna je skela rešetkasta čelična konstrukcija dužine 115 m, nosivosti 120 t. U svojoj originalnoj izvedbi projektirana je za montažu I nosača, s obzirom na razliku u visini I nosača i odsječaka dodatno su nadograđeni poprečni okvi

ri visine 5m, po jedan par na svaki upornjak i stup. Nakon montaže, a prije prve uporabe ispituje se progib navlačne skele bez opterećenja kao nulte opcije i maksimalnog radnog opterećenja od 95 t.

3.4 Priprema stupova i upornjaka za montažu nultog odsječaka

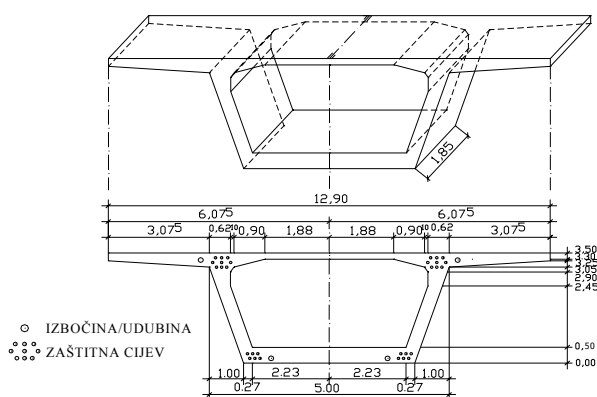
Na glavicama stupova montiraju se četiri osamstotonske preše s teflonskom kontaktnom površinom kojima se položajno i visinski centriraju nulti odsječak, odsječci u polju i u konačnici cijeli stol. Paralelno se pripremaju Dywidag vijci koji imaju funkciju privremene stabilizacije nakon montaže nultog odsječaka i cijelog stola, sve do gradnje mokrog čvora između susjednih stolova i prednapinjanja. Za razliku od stupova na glavicama upornjaka ugrađuju se klizni ležajevi na koje se direktno montiraju nulti odsječci. Montaža odsječaka na jednom stolu teče u dvije faze:

- montaža nultog odsječaka
- montaža odsječaka desno i lijevo od nultog odsječaka.

3.4.1 Montaža nultog odsječaka

Prije montaže nultog odsječaka (slika 5.) potrebno je odrediti, tj. ucrtati na odsječku fizički izvedenu sredinu (markere) koju aproksimiramo s niveletom. Navlačnom skelom nulti segment polaže se na preše, privremeno se stabilizira Dywidag vijcima te se centriraju položajno i visinski. Centriranje se izvodi metodom postupnog približavanja dok odsječak ne dođe u približno točan položaj.

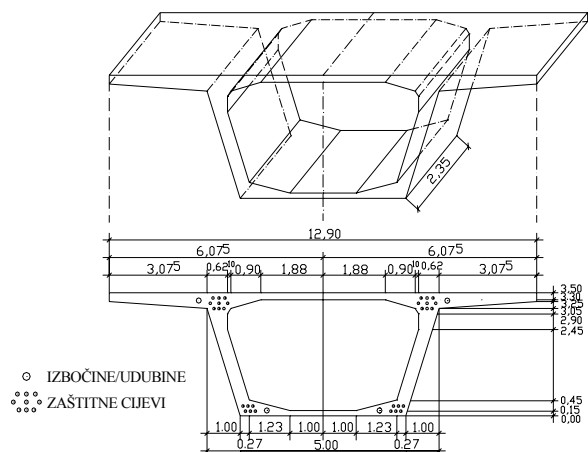
Elementi za položajno centriranje računaju se iz prethodno sračunatih koordinata za svaki odsječak pojedinačno, za dvije točke koje su istovjetne s ucrtanim markerima na odsječku, tj. niveletom. Za visinsko centriranje elementi se računaju iz uzdužnog pada i poprečnog nagiba, ukupno četiri točke čiji se položaj računao iz projekta odsječaka, lijevo dvije i desno dvije poprečno u odnosu na niveletu.



Slika 5. Poprečni presjek nultog odsječka

Djelovanjem osamstotonskih tijesaka, horizontalna sila u istom trenutku na dva tijeska (u paru), tlocrtno gledano, po dijagonali, a ne u istom poprečnom presjeku, odsječak u prostoru dovodimo na zadani projektni položaj pri čemu možemo tolerirati određena odstupanja.

Nakon položajnog pristupa se visinskom centriranju. Manipulacijom na svaku prešu pojedinačno, djelovanjem vertikalne sile navodi se jedna po jedna točka na zadanu visinu. Mogu se tolerirati i određena odstupanja koja se definitivno kao i kod položajnog centriranja, anuliraju centriranjem cijelog stola. Nakon položajnog i visinskog centriranja nulti odsječak se privremeno stabilizira pritezanjem vijaka Dywidag.

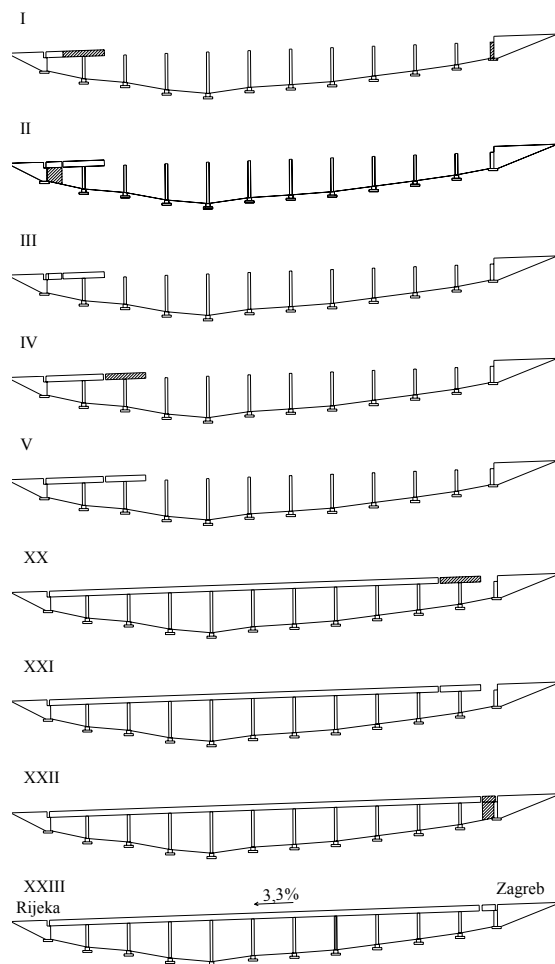


Slika 6. Poprečni presjek odsječka u polju

3.4.2 Montaža odsječka desno i lijevo od nultog odsječka

Nakon montaže, centriranja i stabilizacije nultog odsječka ispunjeni su uvjeti za montažu stola. Prvo se montira odsječak na višoj koti, gledajući u smjeru uzdužnog pada nivelete, pri čemu se koristi ucrtanim markerima (aproximacija nivelete) i ugrađenim paserima (polukugle) na nultom odsječku i odsječku koji se montira.

Pozicioniranje se mora izvesti s najvećom mogućom točnošću da ne bi došlo do deformacije kontaktne površine poprečnih presjeka bužira kroz koje prolaze čelična užad i dislokacije rupa za prolaz horizontalnih Dywidag vijaka. Montirani odsječak privremeno se stabilizira, odnosno spaja sa nultim odsječkom horizontalno ugrađenim Dywidag vijcima. Zatim se montira njegov par na manjoj koti, gledajući u smjeru uzdužnog pada nivelete, postupak je isti kao pri montaži prvog odsječka para. U sljedećem koraku prvi montirani par povezuje se s nultim odsječkom, a zatim i međusobno kroz nulti odsječak čeličnom užadi (prednapinjanje u dvije faze). Nakon prednapinjanja demontiraju se horizontalni Dywidag vijci i završena je montaža jednoga para. Na isti način montiraju se i sljedeći parovi u nizu, ukupno deset parova.



Slika 7. Slijed sklapanja odsječka

Geodetski gledajući, montaža i kontrola montaže ne moraju se provoditi nakon svakoga montiranog para, pozicioniranje u prostoru svakoga sljedećeg para uvjetovano je pozicioniranjem nultog odsječka. Kako je prije svakog centriranja potrebno otpuštati Dywidag vijke na glavici stupa, a nakon centriranja zatezati, iskustvo je

pokazalo da je dovoljno izvršiti pozicioniranje nakon ugradnje svakog trećega para. Na taj se način uvelike skraćuje vrijeme montaže stola. Bez obzira na sve proračune, ipak se događa da dođe do većeg pomaka nultog odsječka nakon pridruživanja sljedećeg para. U tom momentu mora se zaustaviti montaža i izvršiti položajna i visinska kontrola stola.

Nakon montaže kompletnog stola, tj. svih deset parova pristupa se završnom centriranju stola. Ovo je najkritičniji moment u cijelom postupku, stol je statički određen kao konzola s točkom uporišta na stupu preko nultog odsječka. Poprečne osovine stola i stupa položajno su identične, gledajući od poprečne osovine u smjeru uzdužne osovine stola konzola je u prostoru identična s niveletom dvadeset i pet metra lijevo i desno od poprečne osovine stola odnosno stupa.

Postupak centriranja je isti kao kod nultog odsječka ili bilo kojeg para. Završno centriranje izvodi se najvećom mogućom točnošću u odnosu na niveletu, uzdužni pad i poprečni nagib. Završnim centriranjem ujedno se obavlja definitivna korekcija otklona kao posljedica prethod

nih centriranja. Centriranjem jednog stola postiže se sukladnost s idućim montiranim stolovima i projektom zadanim parametrima za povezivanje stolova mokrim čvorom i čeličnom užadi u dvije zadnje faze prednapinjanja. Točnost montiranih stolova kretala se u granicama ± 5 mm po osima x, y i ± 6 mm po osi z.

Na slici 7. shematskim skicama prikazan je slijed skla-panja odsječaka.

4 Zaključak

Kad se promatra sa stajališta montaže vijadukt Hreljin sastoji se od jedanaest nezavisnih cjelina što se postupno povezuju u jedinstven rasponski sklop mosta. Dakle, svaki stol tipa A (stup i dvadeset i jedan odsječak) i tipa B (upornjak i sedam odsječaka) jedan je neovisan član tehničke i tehnološke cjeline.

Gledajući sa stajališta geodezije, bitno je na optimalan način prilagoditi metodu iskolčenja, kontrolu gradnje i montaže koja je osim stručno geodetskim uvjetovana i građevinskim i tehnološkim razlozima u odnosu na konfiguraciju, pristupačnost terena i meteorološke uvjete.

IZVORI

[1] Macarol, S.: *Praktična geodezija*, 1961.

[2] Janković, M.: *Inženjerska geodezija II*, 1981.

[3] Pribičević, B.; Medak, D.: *Geodezija u građevinarstvu*, 2003.

[4] Marić, Z.; Ačanski, V.: *Viadukt Hreljin na autocesti Karlovac – Rijeka*, XII. kongres FIP-a, Prikaz hrvatskih dostignuća, Washington 1994, 118-126

[5] *Glavni projekt vijadukta Hreljin*, Hidroelektra-projekt d.o.o., Zagreb