

Čelične tunelske oplate

Ante Andrić, Snježana Tešović

Ključne riječi

tunel,
tunelska obloga,
čelična tunelska oplata,
betoniranje,
postrojenje za izvedbu
opskrba betonom

Key words

tunnel,
tunnel lining,
concreting,
concrete placing plant,
concrete supply system

Mots clés

tunnel,
revêtement de tunnel,
bétonnage,
dispositif de bétonnage,
approvisionnement
de béton

Ключевые слова

туннель,
туннельная опалубка,
бетонирование,
построение для
бетонирования,
снабжение бетоном

Schlüsselworte

Tunnel,
Tunnelauskleidung,
Betonierung,
Ausführungsanlage,
Betonversorgung

A. Andrić, S. Tešović

Stručni rad

Čelične tunelske oplate

Opisano je postrojenje za betoniranje sekundarne tunelske obloge. Postrojenje ima tri dijela: plašt, transporter s vlastitim pogonom i sustav opskrbe betonom. Uz tehničke karakteristike i funkcije postrojenja opisana je i tehnologija rada te problematika konstruiranja, projektiranja i prenamjene za trotračnu i četverotračnu oplatu. Opisana je i prikazana konstrukcija oplate portala, čelne oplate i tunelske niše te montaža dvotračne oplate po fazama kao i distribucija betona.

A. Andrić, S. Tešović

Professional paper

Steel formworks for tunnelling

The plant used for concreting the secondary tunnel lining is described. The plant is made of three segments: sheathing, self-propelled conveyor, and concrete supply system. In addition to technical properties and other features of this plant, the authors describe the work technology, and problems encountered during concept development, design and adjustment for three-rail and four-rail formwork. The structure of formwork portal, face formwork and tunnel lay-by is described and presented, including also two rail formwork assembly by stages, and the distribution of concrete.

A. Andrić, S. Tešović

Ouvrage professionnel

Coffrage d'acier pour tunnels

Le dispositif utilisé pour le bétonnage des revêtements secondaires dans les tunnels est décrit. Le dispositif est composé de trois parties: coffrage, bande transporteuse automobile, et système. En plus de propriétés techniques et autres particularités de ce dispositif, les auteurs décrivent la technologie de travail et les problèmes rencontrés au niveau de la conception, de l'étude et de l'ajustement pour coffrage à trois ou quatre rails. Le coffrage pour les têtes de tunnel, le coffrage pour le front de taille, et le coffrage pour les niches de tunnel, est décrit et présenté, y compris l'assemblage de coffrage à deux rails, ainsi que la distribution de béton.

A. Андрич, С. Тешович

Отраслевая работа

Стальные туннельные опалубки

В работе описано построение для бетонирования вторичной туннельной опалубки. Построение имеет три части: оболочка, транспортёр с собственным приводом и система снабжения бетоном. Наряду с техническими характеристиками и функциями построения описана и технология работы, а также и проблематика конструирования, проектирования и переназначения для трёхрельсовой и четырёхрельсовой опалубки. Описана и представлена конструкция портала, передней опалубки и туннельной ниши, а также и монтажа двухлинейной опалубки по фазам, как и дистрибуция бетона.

A. Andrić, S. Tešović

Fachbericht

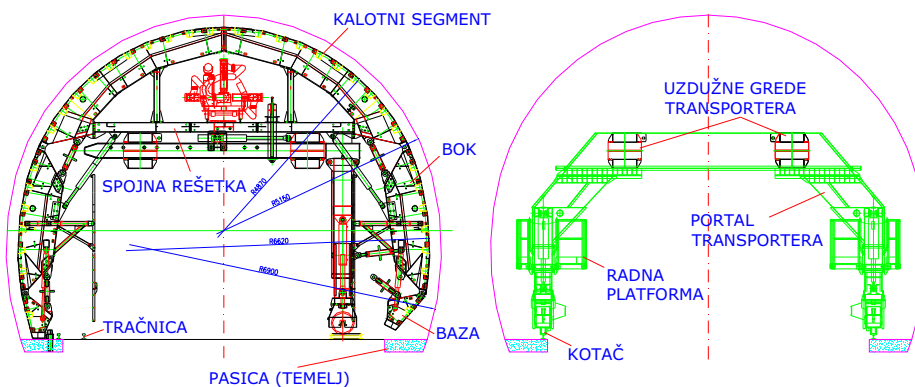
Stählerne Tunnelauskleidungen

Beschrieben ist eine Anlage für das Betonieren der sekundären Tunnelauskleidung. Die Anlage hat drei Teile: Mantel, Transporteur mit eigenem Antrieb und System für Betonversorgung. Neben technischen Kennzeichen und Funktion der Anlage beschreibt man auch die Arbeitstechnologie sowie die Problematik des Konstruierens, des Entwurfs und der veränderbaren Anwendung für Drei- und Vierbandschalung. Beschrieben und dargestellt ist die Konstruktion der Portalaussschalung, Stirnschalung und Tunnelnische, die phasenweise Montage der Zweibandschalung, sowie die Betondistribution.

Autori: **Ante Andrić**, dipl. ing. stroj., Ćirilometodska 5, Samobor; mr. sc. **Snježana Tešović**, dipl. ing. građ.,
Institut građevinarstva Hrvatske d.d., Zagreb

1 Uvod

Tunelska je oplata postrojenje lučne čelične konstrukcije – kalupa, koji služi za betoniranje tunelske obloge (slika 1.). Sastoji se od tri osnovna elementa: 1. kolica – portalnog transportera s pogonom, 2. plašta lučnog oblika i 3. sustava opskrbe betonom.



Slika 1. Crtež pročelja i transportera dvotračne tunelske oplata tipa CIFA [1]

Glavni elementi portalnih kolica jesu: noge, kotači, portali, te hidraulični elementi za vožnju, dizanje i pozicioniranje.

Glavni su elementi plašta tunelske oplata: baza plašta, bok plašta, kalota plašta, spojna horizontalna rešetka, sustav za bočni pomak plašta, čelna oplata te pneumatski ili električni sustav za vibriranje.

Elementi sustava opskrbe betonom jesu: pumpa za beton, cjevovod, distributor te spojni elementi između sustava i plašta.

Osnovna je funkcija čelične tunelske oplata dovoženje i pozicioniranje plašta, betoniranje te spuštanje i odvoženje plašta na sljedeću poziciju betoniranja - *kampadu*.

Tuneli se u praksi betoniraju u kampadama od 1,5 m do 12 m ovisno o projektnim zahtjevima i složenosti tunela. Najčešće su uporabljeni segmenti (kampade) u uobičajenim



Slika 2. Dvotračna tunelska oplata CIFA u završnoj fazi montaže na gradilištu tunela Sv. Rok

nim tunelima najveće duljine 12 metara čime se osigurava brza i efikasna dinamika betoniranja. Jedina dva ograničenja pri određivanju duljine jedne kampade jest brzina vezivanja (očvršćivanja) betona i polumjer u kojem se prometnica u tunelu nalazi. Budući da se segment tunela betonira naizmjenično lijevo pa desno od dna prema vrhu, u prvom se slučaju ne smije događati da je jedna strana betonske mase vezala dok se betonira druga čime se ruši homogenost betonske obloge, dok bi se u drugom slučaju za tunele u velikom polumjeru dogodili veliki lomovi u kampadama. Iskustveno je zaključeno da su najbolje kampade najčešće dugačke 6 m, 9 m ili 12 m.

Plašt tunelske oplata konstruiran je modularno, duljine su segmenta redovito 1,5 m sa zadatkom da pokrije najkraću gore spomenutu kampadu betoniranja, kao i zbog osiguravanja čvrstoće i stabilnosti plašta i transportera. Na samom plaštu nalaze se spojevi s cjevovodom za dotok betona i prozori za vizualnu kontrolu procesa punjenja obloge međusobno udaljeni na visini od približno 1,5 metar.

2 Opis rada postrojenja

Tri su osnovne faze rada postrojenja: pozicioniranje, betoniranje i transport.

2.1 Pozicioniranje

Samohodnim tunelskim kolicima s integriranim hidrauličnim sustavom vožnje doveze se i pozicionira oplata prema uputama geodeta na za to određeni položaj, zatim se plašt u uvučenom položaju podiže do potrebne visine, izvlače se bokovi i baze prema van dok ne postignu že-



Slika 3. Betoniranje portala desne cijevi i izvlačenje pasice lijeve cijevi u tunelu Jušići

ljeni geometrijski oblik te se oplata spušta na već prije izvedene betonske temelje tunela – *pasice* (slika 3.).

U tunelu se uglavnom izrađuje samo jedan takav temelj tzv. *glavna pasica*, koja je ujedno i temelj tunela, i po potrebi *pomoćna pasica* koja služi za vožnju tunelskih kolica u proširenjima, nišama i nestandardnim tunelima kako bi oplata bez teškoća stigla na poziciju betoniranja. Nakon pozicioniranja plašta kolica se spuštaju nekoliko centimetara prema dnu, da tijekom betoniranja ne bi preuzela opterećenje. Cijela je oplata za vrijeme betoniranja oslonjena samo na vlastite baze. Baze se zaklinjuju u beton pasice klinovima iz specijalno izrađenih legiranih čelika jer je to element koji za vrijeme punjenja obloge betonom trpi najveću silu. Pomoćne pasice nakon završetka betoniranja tunela uglavnom se uklanjaju kako ne bi smetale pri nastavku izvođenja radova na odvodnji i polaganju instalacija.

2.2 Betoniranje

S plaštom oplate povezuje se sustav cjevovoda na čijem se jednom kraju nalazi pumpa za beton hidromotornog pogona do koje nesmetan pristup mora imati mikser (transporter) betona, a na drugom kraju (unutar oplate) nalazi se distributor betona osnovna uloga kojega je regulacija te ravnomjeran dotok betona. U tu svrhu na samoj oplati postoji više spojnih točaka plašta i distributora, a betoniranje jedne kampade traje dok beton ne ispunji cijelu šupljinu između oplate i svoda tunela. Vizualno ili mehanički sustav za signalizaciju javlja da je beton došao do vrha te da je praznina između stijene tunela (hidroizolacijske obloge) i plašta 100 % popunjena. Nakon toga cijela se oplata s transporterom ostavlja u procesu očvršćivanja betona, ovisno o okolnostima ne manje od 8 sati (slika 4.). Ako se obloga ne ispunji potpuno kažemo da je beton porozan, što se naknadno mora sanirati.



Slika 4. Faza očvršćivanja neposredno prije odvajanja plašta oplate u proširenju tunela Sveti Rok

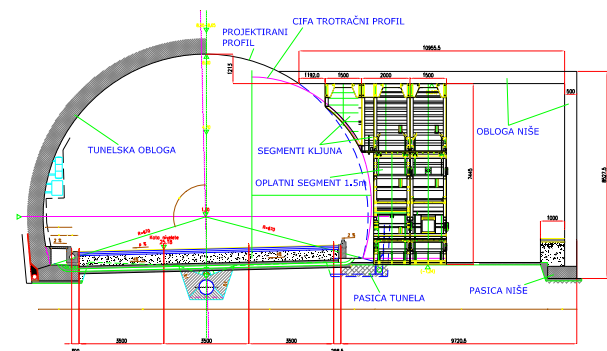
2.3 Transport

Nakon izvršenog betoniranja počinje odvajanje plašta od potpuno očvrsnule obloge obrnutim redoslijedom od pozicioniranja: prvo se zaokreću baze prema unutra, zatim bokovi, a onda se cijela kolica, koja na sebi imaju već odlijepljen plašt i oslonjen na zato predviđena mjesta, spuštaju prema dnu. Posljednja faza jednog ciklusa betoniranja kampade jest pomicanje kolica na sljedeću poziciju za betoniranje. Kolica kao i cijela oplata pomiču se (voze) po tračnicama koje su položene na pasice.

3 Oplate

3.1 Oplata niše

Zbog potrebe za smještajem različitih uređaja i instalacija u tunel kao što su SOS telefon, transformatorska stanica, sigurnosna oprema te zbog potrebe da u tunelu postoji zaustavni trak i okretište, izrađuju se tzv. *niše* koje se kao izbočenja naslanjaju na plašt tunela. Za njih se također izrađuju oplate takvoga geometrijskog oblika koji omogućuje naslanjanje na glavnu oplatu te jednostavnu montažu i demontažu (slika 5.). Svaka takva oplata mora funkcijski zadovoljiti sve uvjete glavne oplate.



Slika 5. Geometrijski oblik plašta niše za transformatorsku stanicu [2]

Najsloženiji su element konstruiranja oplate niše kljun i elementi koji se naslanjaju na glavnu oplatu jer je presječna krivulja dvaju okomitih tunela (valjka) nepravilnoga trodimenzijskog oblika. Bitno ju je vrlo precizno projektirati, kako bi se izbjegle kasnije velike intervencije na oplatama u tunelu.

3.2 Čelna oplata

Čelna je oplata (građevinski *šmorca*) drvena oplata izrađena na licu mjesta čiji je zadatak spriječiti curenje betona s čela oplate prema van, a izvedena je od drva (*fosni*) i čeličnih držača da bi pokrila neravni reljef iskopa odnosno primarne tunelske obloge. Može biti vertikalna (slika 6.) ili kosa (slika 7.), a geometrijski je oblik kose čelne op-



Slika 6. Okomita čelna oplata prije i nakon skidanja

late razlika dviju elipsa dobivenih rotacijom polumjera tunela i polumjera oplatae.

3.3 Oplata portalne građevine

Budući da se svi tuneli najčešće nalaze u nekakvoj vrsti usjeka ili predusjeka, postoji opasnost da se zbog utjecaja atmosferilija te vibracija od prometa dogodi urušavanje nestabilnih blokova stijenske mase i zemlje.

Stoga se portalne građevine izvlače u predusjek i nasipavaju amotrizirajućim materijalom kako bi se osigurale od eventualnog odrona s površine terena padine [3].

Konstrukcija portalne oplatae sastavljena od triju dijela: unutarnje, vanjske i kose čelne oplatae. Unutarnja je op-

lata glavna tunelska oplata s pomoću koje se obavlja betoniranje unutarnjih kampađa, dok je vanjska ili pokrovna sastavljena od drvenih elemenata i čeličnih nosača, a naslanja se na armaturu portala (slika 7.).

Kosina čelne oplatae u većini novoizgrađenih tunela u Hrvatskoj položena je pod 45°.

4 Projektiranje, konstruiranje i tehnički podaci

4.1 Tunelska oplata

Tunelska oplata služi isključivo za izvođenje posljednje tj. sekundarne obloge, dok se u stropu nalazi primarna obloga koja se sastoji od ubušenih injekcijskih sidara, sloja prskanoga (mlaznog) betona tzv. *torkreta*, hidroizolacije i armature. Osim stabilnosti i vodonepropusnosti primarna obloga osigurava pouzdan rad ljudima na tunelskoj oplati. U tijeku betoniranja povremeno se uključuju snažni oplatni vibratori smješteni na plaštu s unutarnje strane oplatae, koji vibriranjem sliježu svježi beton i pomažu ispuniti sav prostor unutar armature.

Uloga je armature preuzimanje vlačnih napreznja koja se najčešće pojavljuju na unutrašnjem rubu betonske obloge u tjemenu svodu i pri dnu bokova, protiv stvaranja makropukotina i mikropukotina, kao i preuzimanja vlačnih napreznja od dinamičkog opterećenja (promet, potres i sl.) te zbog ostalih sekundarnih utjecaja [3].

Projektiranje tunela i konstruiranje tunelske oplatae mora biti usuglašeno i koordinirano te prema normama kako bi se izbjegle složene operacije preprojektiranja oplatae zbog čega su usvojeni normirani polumjeri tunela. Uobičajeni je projektirani polumjer dvotračnoga tunela, kao



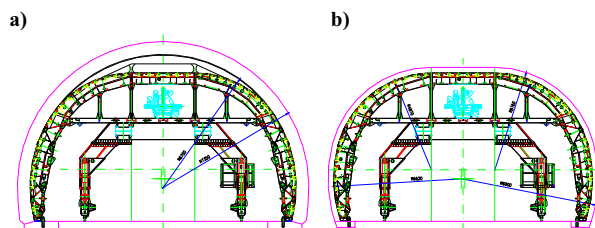
Slika 7. Kosa čelna i portalna oplata



što je prikazano na slici 1. 6620/4870 mm, trotračnoga 6670 mm te četvertračnoga 10200/6700 mm.

Na slici 8. prikazana je modificirana trotračna tunelska oplata tipa CIFA – HENG namijenjena betoniranju tunela Pećine u Rijeci, s karakteristikama: duljina plašta 9 m, polumjer 6700 mm, ukupna masa 128,6 t, međuosovinski razmak transportera 6700 mm (9962 mm – dodatne noge), najveća brzina kretanja 7 m/min, najveći dopušteni kut nagiba duž osi tunela 3 % i najveća debljina betonske obloge 800 mm [4].

Također je prikazana (slika 8.b) i normirana trotračna oplata ravnog stropa s karakteristikama: duljina plašta 12 m, polumjer 6620/4870 mm + 3200 mm središnje proširenje te međuosovinskog razmaka transportera 6700 mm (9962 mm – dodatne noge).



Slika 8. Crtež trotračne oplata s lučnim i normiranim svodom

Karakteristike normirane dvotračne tunelske oplata jesu: duljina plašta 12 m, polumjer 6620/4870 mm, ukupna masa 115,6 t te međuosovinski razmak transportera 6700 mm.

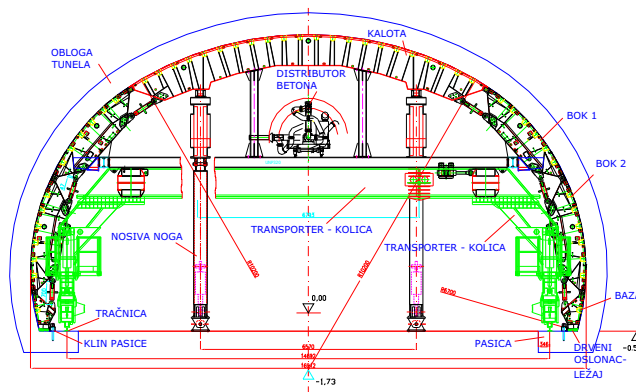
Ovaj je tip tunelske oplata često prisutan u hrvatskoj tunelogradnji i njime su izbetonirani ili se betoniraju tuneli: Sv. Rok, Mala Kapela, Plasina, Veliki Gložac, Tuhobić, Javorova kosa, Podvugleš, Dumbočica, Crna brda, Sveti Kuzam, Drage, Pećine...

Osim talijanskog proizvođača CIFA na ovim se prostorima još susreću oplata tvrtke Krivaja – Zavidovići kao i tvrtke Porr.

4.2 Uporabna ploština betoniranja

Opseg plašta standardne dvotračne oplata iznosi 20.590 mm, a pomnožena s duljinom 12 m daje uporabnu ploštinu betoniranja od 247,08 m². Uzme li se u obzir gustoća betona dobije se da takva oplata mora podnijeti silu 3.089 kN za debljinu obloge od 50 cm. Podaci za trotračnu oplatu jesu: opseg plašta 23790 mm, uporabna ploština betoniranja 285,48 m², ukupna masa betona 356,85 t za oblogu debljine 50 cm. Podaci za četvertračnu oplatu tunela Pećine jesu: opseg plašta 28470 mm, uporabna ploština betoniranja za devetmetarsku kampadu 256,23 m², ukupna masa betona 640,58 t za oblogu debljine 100 cm.

Važno je napomenuti da oplata nije opterećena cijelom silom odjednom već segmentno i naizmjenično kako se beton puni i očvršćuje. Pri toj operaciji najvažniju ulogu ima signalizator razine betona.



Slika 9. Crtež s geometrijskim karakteristikama četvertračne tunelske oplata tipa CIFA – HENG [5]

Slojevitost konstruiranja i modifikacije očituje se u tome što su to postrojenja prve skupine složenosti, velikih gabarita, masa često i više od 130 t, te specifičnoga geometrijskog oblika i niza procesno - konstrukcijskih elemenata. Za potrebe izvođenja četvertračnog tunela Pećine u Rijeci tvrtka Hidroelektra Niskogradnja d.d. projektirala je i proizvela specifičnu i jedinstvenu tunelsku oplatu kojom je izvela dva četvertračna dijela i dva petertračna križanja tunela Pećine čime je hrvatska tunelogradnja dobila novu dimenziju u projektiranju i izvođenju tunela uopće.

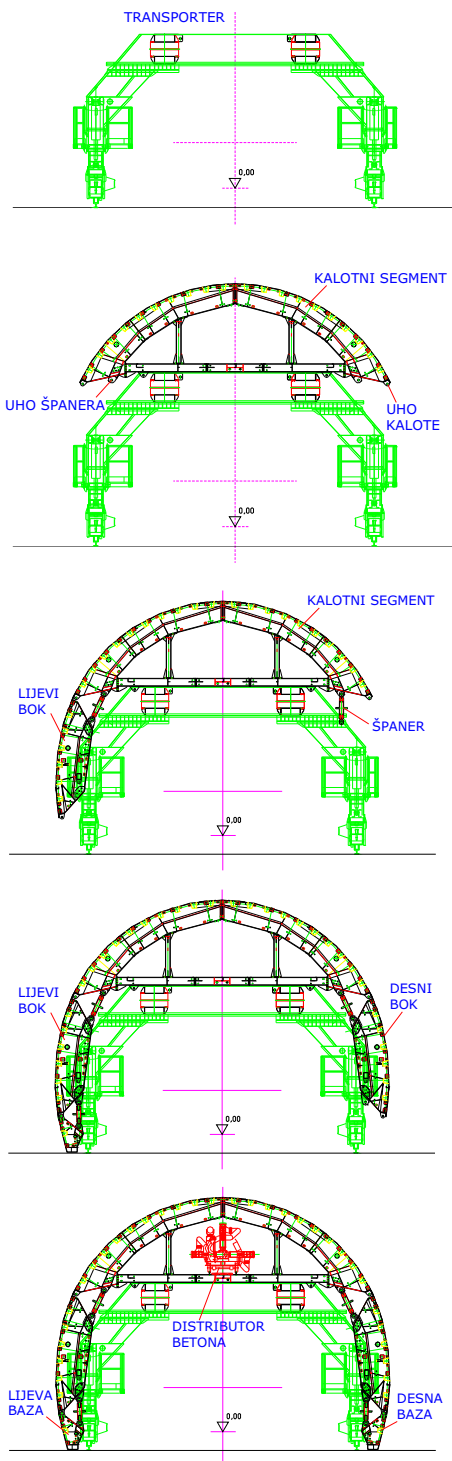


Slika 10. Posljednja faza montaže četvertračne tunelske oplata u tunelu Pećine

Na slikama 9. i 10. nalazi se četvertračna oplata tipa CIFA-HENG s karakteristikama: duljina plašta 9 m, polumjer plašta 10200/6700 mm, ukupna masa 145 t i najveća debljina betonske obloge 1300 mm dok su ostale karakteristike kao pod [5].

5 Montaža tunelske oplate

Budući da je riječ o vrlo složenim i teškim konstrukcijama, oplata se montira uglavnom izvan tunela (ako je moguće) te uz pomoć dizalice, najčešće autodizalice, tako da se na već pripremljene pasice i izvučene izvan tunela polože tračnice, na koje se montiraju kolica (faza I.).



Slika 11. Faze montaže tunelske oplate

Na kolica se prvo polažu kalotni segmenti koji se međusobno fiksiraju vijcima za centriranje a zatim se vijčano povežu i stegnu (faza II.). Nakon toga na uha kalote naizmjenično se lijevo-desno pridodaju bokovi kako bi se održala ravnoteža kalote i osigurala stabilnost daljnje montaže (faze III. i IV.), a na kraju se bokovima opet naizmjenično pridodaju baze (faza V.).

Bokovi i baze međusobno su povezani okruglim kososkošenim klinovima – *svornjacima* oko kojih mogu rotirati, a nakon definiranja konačnog položaja međusobno se još povezuju zatezačima – *španerima*. Španeri su dvostruki vijci s tijelom koji imaju protunavoje čija je uloga dvostruko zatezati pri okretanju tijela vijka udesno, kao i dvostruko otpušnati pri okretanju tijela vijka ulijevo.

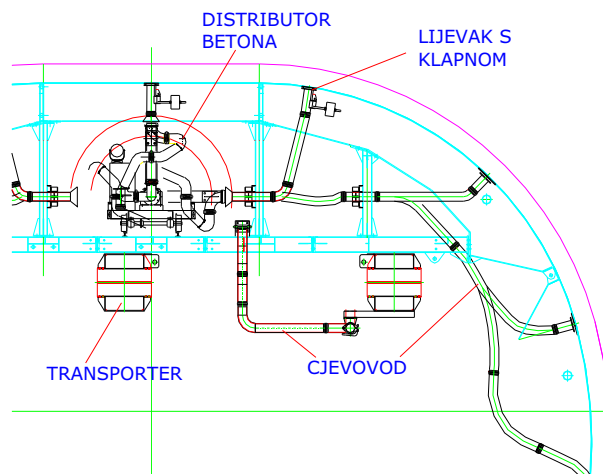
Svi *svornjaci* i *španeri* izrađeni su od legiranih čelika velike čvrstoće otpornih na habanje jer su to elementi u kojima su najveće sile i za motaže i u radu.

Posljednji je korak montaže postavljanje pneumatske i hidraulične instalacije nakon čega se izvrši probni rad te se oplata uvozi u tunel.

U duljim tunelima također je moguća uporaba nekoliko oplatata istodobno, kako bi se dobilo na brzini i učinkovitosti, a posljednji je takav primjer uspješno, rekordno betoniranje tunela *Plasina* na autocesti Bosiljevo – Sv. Rok u kojem je tvrtka Hidroelektra Niskogradnja d.d. koristeći se trima oplatama paralelno izbetonirala 4.400 m tunela za približno 150 dana.

6 Distributor betona

Sve novije oplatne konstrukcije projektirane su tako da se reguliranje betoniranja kalotnog segmenta obavlja distributorom betona. Distributor je glavni element *sustava opskrbe betonom*, a u stvari je elektromehanička konstrukcija s vlastitim pogonom koja je cjevovodom povezana s pumpom za beton.



Slika 12. Oplatni distributor betona

Glavni joj je zadatak omogućiti neprekidno betoniranje kalote. Vlastiti joj pogon dozvoljava nesmetano kretanje unutar kalote oplata, a kinematika krakova cjevovoda je takva da omogućava doseganje svakog lijevka na plaštu oplata. Distributor se kreće na tračnicama (slika 12.).

7 Zaključak

Za betoniranje sekundarne obloge tunela danas su općenito poznate dvije različite tehnologije. Prva je od njih (i starija) betoniranje s pomoću oplata sastavljene od niza sitnih drvenih i čeličnih montažnih elemenata kakvu razvijaju tvrtke kao što su *Peri, Doka, Noe...* i druga ovdje opisana tehnologija jest betoniranje s pomoću lučne čelične konstrukcije postavljene na transporter s vlastitim pogonom.

Prednost je takve tehnologije samo jedna montaža/demontaža koja se obavlja izvan tunela, velika brzina be-

toniranja – u tunelu bez proširenja, velikih kaverna, špi-lja i sličnih problema može iznositi gotovo jedna kam-pada u danu te, najvažnije, vrlo velika preciznost i jed-nolikost izrađenoga tunelskog profila kao i sigurnost rad-nika u radu. Važna je prednost također mali broj potreb-nih radnika – uz poslovođu ili oplatnog inženjera potrebna su još samo tri majstora – bravara.

Nedostaci ove tehnologije jesu: velika masa i dimenzije oplata, mogućnost kvara niza strojnih elemenata pri ra-du te nužnost stručno – tehničke osposobljenosti osoblja na oplati. Za takva je složena postrojenja također nužno imati uhodanu logističku podršku radi nabave rezervnih dijelova i potrošnog materijala.

Budući da broj takvih postrojenja u svijetu raste, a kako ih i sve češće vidamo na velikim gradilištima, zaključak je da čelične oplata imaju veliku perspektivu za primje-nu, ali i u daljnjem razvoju.

IZVORI

- [1] CIFA: *Descrizione dela forniture*, CIFA Italia, Comessa 9.7291.01, kolovoz 2001
- [2] Hidroelektra Niskogradnja d.d - Zagreb: *Oplata kljuna niše za trafostanicu – Izvedbeni projekt*, Projekt 69/07, travanj 2007
- [3] D. Bojanić i drugi, *Tunel «Jurin kuk»*, Građevinar 59 (2007) 5, 413-425
- [4] GRA-PO d.o.o., *Uputstvo za rukovanje i održavanje oplata Cifa*, GRA-PO d.o.o. Zagreb, stranica 2., 2000.
- [5] Hidroelektra Niskogradnja d.d - Zagreb: *Četverotračna tunelska oplata, Ver 1.3 – Glavni projekt*, Projekt 05/06, svibanj 2006.