

izbrane resolucije skaniranja, terenskih točk, aerotriangulacije, izkušenosti operaterja, korelacije pri avtomatski izdelavi DMR-ja ...

Če privzamemo, da so terenske koordinate določene v mejah zahtevane natančnosti, nam sistem zagotavlja natančnost planimetričnih koordinat 1,0-3,0 x ločljivost slike in višinsko 0,4-2,0 x ločljivost slike. Pri preverjanju natančnosti pri naših izdelkih smo ugotovili, da je natančnost izdelanega digitalnega ortofota enaka lastni natančnosti vektorskih kart in načrtov v izbranem merilu. To pomeni, da ga lahko uporabljamo tako skupaj z vektorskimi kartami za izdelovanje in reambulacijo le-teh in samostojno za interpretacijo različnih vsebin enako kot same aeroposnetke.

Viri:

Helava, DPW, Users Manual.

Helava, DSW, Maintenance Manual.

Helava, DSW, Users Manual.

*Recenzija: Mojca Kosmatin-Fras
Irena Požnel*

Vodenje strojev TBM v predoru pod Rokavskim prelivom

Kot geodet ste se gotovo kdaj vprašali, kako poteka sodoben način gradnje velikih predorov. Predor pod Rokavskim prelivom je kot eden največjih gradbenih projektov 20. stoletja zadnji vrhunec na tem področju. Prav v dnež, ko boste brali ta članek, naj bi predvidoma po predoru stekel tudi potniški promet.

Gradnja predora pod Rokavskim prelivom, ki se ga je že prijelo ime Chunnel (skovanka iz besed CHannel tUNNEL), je bil ogromen projekt, ki je poleg samega predora vključeval tudi izgradnjo potniških in tovornih terminalov na obeh straneh predora, izgradnjo priključnih cest in dovozov in podobno. Članek se omejuje le na geodetska dela v zvezi s predorom s posebnim poudarkom na kratkem opisu postopka avtomatiziranega vodenja strojev TBM za vrtanje predorov. Chunnel sestavljajo trije predori. Oba glavna predora imata premer 7,6 metra in sta med seboj oddaljena približno 30 metrov. Na sredini med njima je servisni predor premera 4,8 metra. Vsi trije predori so med seboj povezani s prečnimi prehodi na vsakih 375 metrov. Poleg tega sta glavna predora na vsakih 250 metrov povezana s kanali za izravnavo zračnega tlaka, ki kompenzirajo spremembe zračnega tlaka zaradi vožnje hitrih vlakov. Od skupne dolžine približno 50 km leži približno 37 km predora pod morsko gladino, 10 km pod površjem na angleški in 3 km na francoski strani predora.

Izvedena geodetska dela pri izgradnji Chunnela lahko razdelimo v pet glavnih skupin:

1. Določitev mreže fiksnih točk na površju v primernem koordinatnem sistemu, ki so služile za vzpostavitev kontrolnih geodetskih točk ob obeh vhodih v predor.
2. Prenos geodetske mreže s površja v predor.
3. Usmerjanje vrtnih strojev.

4. Geodetski posnetek dejanskega stanja kot osnova za montažo instalacij v predoru.
5. Natančna zakoličba instalirane opreme v predoru.

DOLOČITEV SKUPNE GEODETSKE MREŽE IN AZIMUTA V PREDOR

Vzpostavitev primerne koordinatnega sistema je zahtevala uporabo najsodobnejših merskih tehnik in instrumentov. Upoštevati je namreč treba, da uporabljata Francija in Velika Britanija različna državna koordinatna sistema. Francozi uporabljajo Lambertovo projekcijo in referenčni sistem IGN69, Britanci pa uporabljajo projekcijo Transverse Mercator in ODN-Ordnance Datum Newlyn referenčni sistem. Posebno težavo je predstavljala izravnava nadmorskih višin točk, ker koordinatna sistema nimata skupne referenčne ploskve, med njima pa je morje. Zato je bilo treba izvesti dodatne meritve na obeh straneh Rokavskega preliva.

Glavna horizontalna mreža kontrolnih točk je bila sestavljena iz izbranih točk prvega reda britanske in francoske državne triangulacijske mreže, ki so jih medsebojno povezali z večletnimi opazovanji britanske in francoske državne geodetske službe Ordnance Survey (OS) in Institut Geographique National (IGN). Skica skupne glavne mreže točk je prikazana na Sliki 2. Med temi točkami primarne mreže so razvili sekundarno mrežo točk. Vse izmerjene točke so nato projicirali na ravnino v pravokotni koordinatni sistem z imenom Channel Tunnel Grid CTG86, ki je najbolj ustrezal območju Chunnela. Sistem je definiran takole:

- sferoid	<i>Hayford 1924-International</i>
- projekcija	<i>Transverse Mercator</i>
- centralni meridian	<i>01° 30' vzhodno</i>
- pravo izhodišče	<i>49° 00' severno</i>
- pomik izhodišča	<i>40 000 metrov zahodno</i>
	<i>1 000 metrov južno</i>
- faktor merila na centralnem meridianu	<i>1 000 000</i>

Mrežo geodetskih točk so še zgostili z mrežo operativnih kontrolnih točk. Leta 1987 sta OS in IGN izvedla serijo meritev GPS z namenom izboljšave natančnosti celotne mreže. Podatke teh meritev so izravnali skupaj s predhodnimi terestričnimi meritvami. Tako so dobili nove koordinate vseh točk v isti projekciji, ki pa so jo zaradi nedvoumnosti poimenovali RTM87 Grid. Natančnost dolžin in smeri za celotno geodetsko mrežo so ocenili na 1 ppm in 0,2 ločne sekunde.

Da bi ugotovili višinsko razliko med britanskim in francoskim sistemom, so določili razliko med srednjima morskima nivojema na podlagi dinamike gibanja morske površine v Rokavskem prelivu. Tako določena razlika med ničelnima nivojskima ploskvama obeh sistemov je znašala 0,442 metra. Na osnovi serije meritev GPS so dobili vrednost 0,300 metra, ki so jo prevzeli kot točnejšo. Ničelno nivojsko ploskev RTM87 sistema so določili natančno 200 metrov nižje od sistema ODN, tako da so imele vse višine v predoru pozitivne vrednosti.

PRENOS GEODETSKE MREŽE IN AZIMUTA V PREDOR

Prenosu geodetske mreže in azimuta v predor so posvetili veliko pozornost, kar je razumljivo. Na angleški strani so v ta namen fiksirali izredno natančno izhodiščno bazo na osi servisnega tunela v neposredni bližini Shakespearovih pečin pri Dovru. Bazo so določili s kombinacijo kotnih in dolžinskih meritev ter niveliranja. Pri tem so imeli kar nekaj težav pri merjenju smeri, ker jim je muhasto angleško vreme povzročalo spremenljivo lateralno refrakcijo opazovanih smeri. Francozi so za prenos geodetske mreže v predor zgradili v Sangattu poseben ogromen jašek globine 66 metrov in premera 55 metrov, v katerem so določili teoretično točko prenosa. S stebrov jaška je bila ta virtualna točka stalno opazovana s toleranco 0,1 milimetra.

VODENJE VRTALNIH STROJEV TBM

Vrtanje predorov je potekalo z obeh strani Rokavskega preliva hkrati. Predor leži v celotni dolžini v 20 do 35 metrov debeli plasti krednega laporja. Geološko gledano je kredni lapor primeren material, saj je nepropusten za vodo (čeprav zadnje čase slišimo, da vendarle nekje nekaj kaplja) in sorazmerno enostaven za izkop. Za izkop so uporabljali gigantske vrtalne stroje, imenovane TBM – Tunnel Boring Machine. Ti stroji so dolgi 200 metrov in tehtajo 2 500 ton. Njihova vrtalna glava se vrti s hitrostjo treh do štirih obratov v minuti. Opremljeni so s posebnim transportnim sistemom za odvoz izkopa v eni smeri ter s sistemom za dostavo prefabriciranih cevni elementov predora in malte v drugi smeri. V upravljalni komori stroja TBM je instaliran računalnik, ki vodi operativnega inženirja pri usmerjanju stroja. Računalnik je med drugim povezan s centralnim računalnikom na površju in z usmerjevalno geodetsko opremo v predoru. Na vsaki strani predora so uporabljali po 6 strojev TBM. Dodatne informacije o stroju TBM lahko bralec najde v reviji Življenje in tehnika 11/94, kjer je le-ta slikovno podrobno predstavljen.

Za vodenje strojev TBM so bili uporabljeni avtomatski teodolitski sistemi Wild TM3000V v vzgajeno CCD video kamero. To so servo-teodoliti z motoriziranimi rotacijami do 50° na sekundo po obeh oseh. Natančnost merjenja smeri je 0,5". Na teodolit je pritrjen elektronski razdaljemer. V Chunnelu je bil to zaradi posebnih zahtev po natančnosti razdaljemer Wild DI2002 s standardno deviacijo dolžin 1 ppm. Toleranca merske natančnosti usmerjevalnega sistema stroja TBM je bila le 1 mm na 100 metrov. Čas merjenja je moral biti minimalen, tako da je pri izkopu zagotavljal hitrost stroja približno 36 metrov na uro.

Kompletni sistem za vodenje stroja TBM poleg avtomatskega teodolitskega sistema sestavljajo še naslednje komponente:

- industrijski PC računalnik in tiskalnik po normi IP65
- elektronski inklinometri po normi IP65
- ročni inklinometri
- ultrazvočni razdaljemer
- odbojne prizme
- softver.

Industrijski računalnik povezujeta avtomatski teodolit in procesor računalnika v stroju TBM in je med drugim namenjen prenosu podatkov in ukazov med njima. Elektronski inklinometer je pritrjen na stroj TBM in je povezan z računalnikom.

V realnem času posreduje podatke o vzdolžnem in prečnem nagibu stroja. V operaterjevi komori sta za dodatno kontrolo med seboj pravokotno vgrajena ročna inklinometra. Ultrazvočni razdaljemeri so pritrjeni na repu stroja TBM in so povezani z računalnikom. Služijo za določitev radialnega položaja ogrodja stroja glede na cev tunela. Odbojne prizme so pritrjene spredaj in zadaj na stroju TBM in avtomatski teodolit v intervalih določa njihov položaj. Geodeti so izdelali poseben aplikacijski softver, ki omogoča komunikacijo z vsemi komponentami sistema in izvedenost izmerjenih podatkov. Ti podatki so namenjeni vodenju stroja TBM natanko po projektirani osi predora.

Postopek geodetskega merjenja pri vodenju stroja TBM pa je bil naslednji. Na vsakih 45 metrov predora je na cevni element predora fiksno pritrjen podstavek za stabilno postavitve teodolita. Ko geodet postavi teodolit TM3000V na novi položaj, uporabi joystick krmilnik za viziranje znanih referenčnih točk, ki so locirane v smeri proti izhodu iz predora. Z metodo prostega stacioniranja (angl. free stationing) softver določi koordinate novega stojišča. Ko so te koordinate shranjene, pošlje teodolit računalniku stroja TBM sporočilo, da je pripravljen. Stroj TBM, ki ga je treba voditi, je nameščen na tračnicah, ki so že postavljene z natančnostjo približno 40 mm. Končna pozicijska natančnost tračnic lahko odstopa od projektiranih vrednosti do 4 mm (wauw!- op.avt.).

Na stroju TBM sta pritrjeni dve odbojni prizmi. Prizma 1 je pritrjena na ogrodje stroja, prizma 2 pa na polagalno ročico, ki se uporablja za pozicioniranje tračnic. Ko pride stroj TBM na projektirani, vnaprej določeni položaj, se iz podatkovne datoteke v računalnik naložijo nominalne koordinate ($Y1i$, $X1i$, $Z1i$) trenutnega projektiranega položaja stroja. Te koordinate spremeni softver v polarne koordinate, s pomočjo katerih računalnik usmeri avtomatski teodolit proti prizmi 1. Postopek viziranja vodi interni softver avtomatskega teodolita. Ta postopek vključuje rutine slikovnega procesiranja podatkov CCD kamere, avtomatsko nastavitve intenzitete laserskega signala, natančno viziranje, transformacije koordinat, primerjavo med nominalnimi in dejanskimi koordinatami ter komunikacijo med avtomatskim teodolitom in računalnikom stroja TBM.

Z natančnim avtomatskim viziranjem dejanskega položaja prizme 1 določi teodolit korekcije vertikalnega in horizontalnega kota ter dolžine za i-to točko prizme 1. Na osnovi teh korekcij se izračunajo dejanske koordinate i-te točke. Razlike med nominalnimi in dejanskimi koordinatami pošlje teodolit nazaj računalniku stroja TBM. Polagalna ročica za postavljanje tračnic na osnovi teh podatkov ustrezno popravi položaj tračnic. Nato se za kontrolo izmeri še položaj prizme 2 na enak način kot prej položaj prizme 1. Če je odstopanje med nominalnimi in dejanskimi koordinatami prizme 2 znotraj tolerance, ročica fiksira tračnice in stroj TBM se pomakne približno 2 m naprej na naslednji položaj.

Čas merjenja in korekcije položaja tračnic naj ne bi presegal 45 sekund. Čas merjenja ene točke je 15 sekund. Na ta način je omogočena delovna hitrost stroja 36 m na uro. Ni kaj, ti rezultati so res spoštovanja in občudovanja vredni.

ZAKLJUČEK

Prvi preboj predora Chunnel se je zgodil 1. decembra 1990 skozi ozko, 50 metrov dolgo lino servisnega predora. 3. decembra sta geodetski ekipi z obeh strani predora povezali geodetski mreži in izračunali odstopanja. Končni rezultati odstopanj so naslednji:

- | | |
|---|--------|
| <input type="checkbox"/> razlika v stacionaži | 75 mm |
| <input type="checkbox"/> prečni odmik | 350 mm |
| <input type="checkbox"/> višinska razlika | 60 mm. |

Zadnjih 50 metrov servisnega predora so nato mirno zvrtili do popolnoma gladkega stika. Dokončanje obeh prometnih predorov, ki jima je v času preboja servisnega predora preostalo še kakšnih 7 km izkopa, pa je prav tako potekalo brez težav.

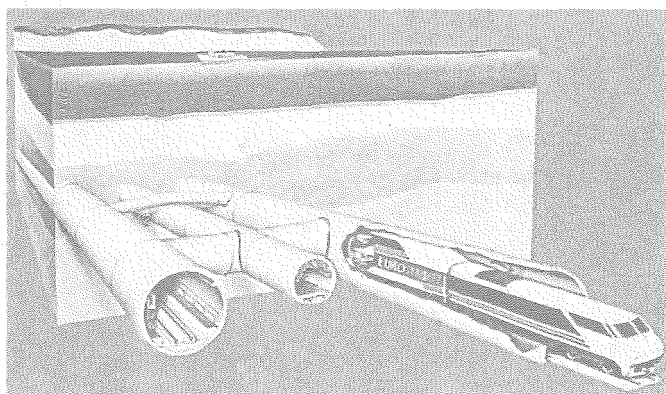
Ob koncu bi dodal le še tole: čeprav nisem bil zraven pri gradnji predora, sem vseeno zelo ponosen na dejstvo, da so geodeti svoje delo tako dobro opravili. Ob takih dosežkih še posebej cenim svojo stroko. Upam, da se je vsaj nekaj tega ponosa med branjem članka vsadilo tudi v vas, spoštovane geodetke in geodeti.

Literatura:

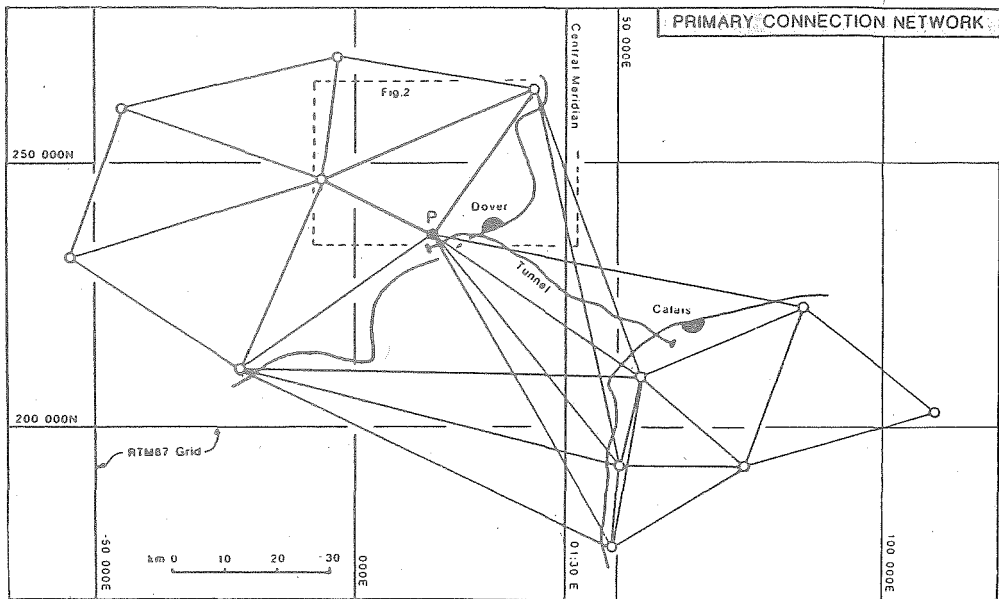
Staudacher, F., 1990, Eurotunnel Report, Reporter 25, 4-8, Leica AG, Heerbrugg.

Radcliffe, E., 1991, Control Surveys and Setting Out for the Channel Tunnel, Geodetical Info Magazine, Vol. 5, No. 4, Lemmer, 64-67.

Katowski, O., 1993, Motorized Theodolite Systems for Automatic Guidance of Slow Moving Tunnel Construction Machines, Application Description, Leica AG, Heerbrugg.
Civil Engineering Surveyor, 1990, Channel Tunnel Update, 14-15.



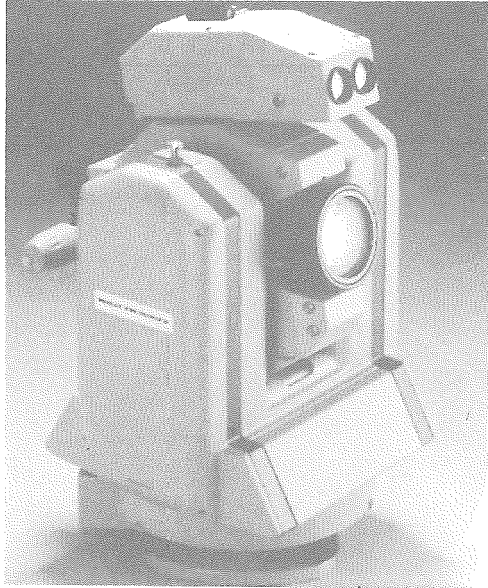
Slika 1: Chunnel sestavljajo trije predori, dva prometna in srednji servisni; prečni prehodi med njimi so na vsakih 375 metrov, kanali za izravnavo zračnega pritiska pa povezujejo prometna predora na vsakih 250 m



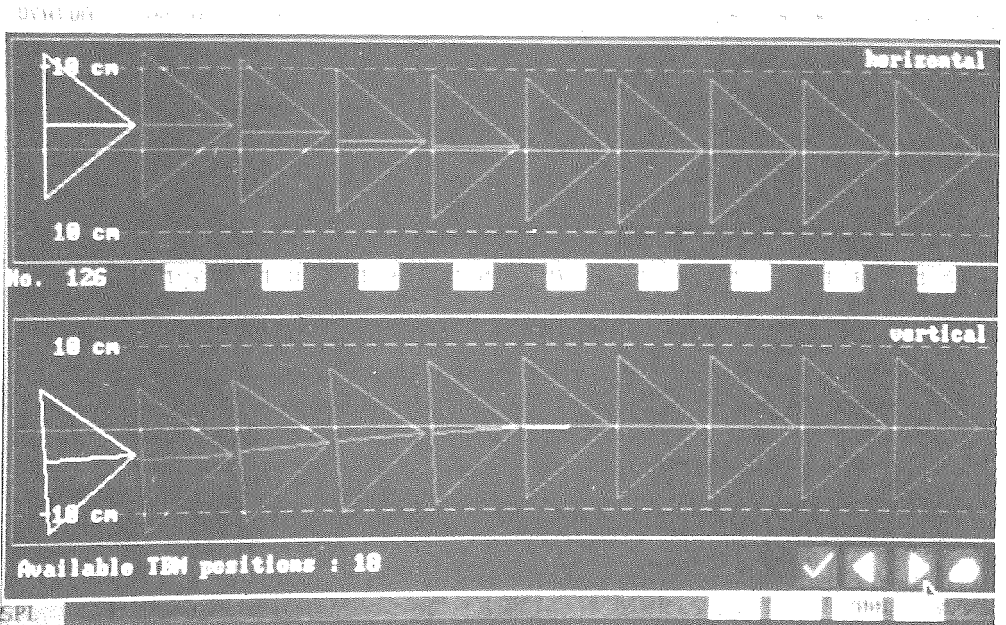
Slika 2: Prikaz konfiguracije primarne mreže geodetskih točk na obeh straneh Rokavskega preliva



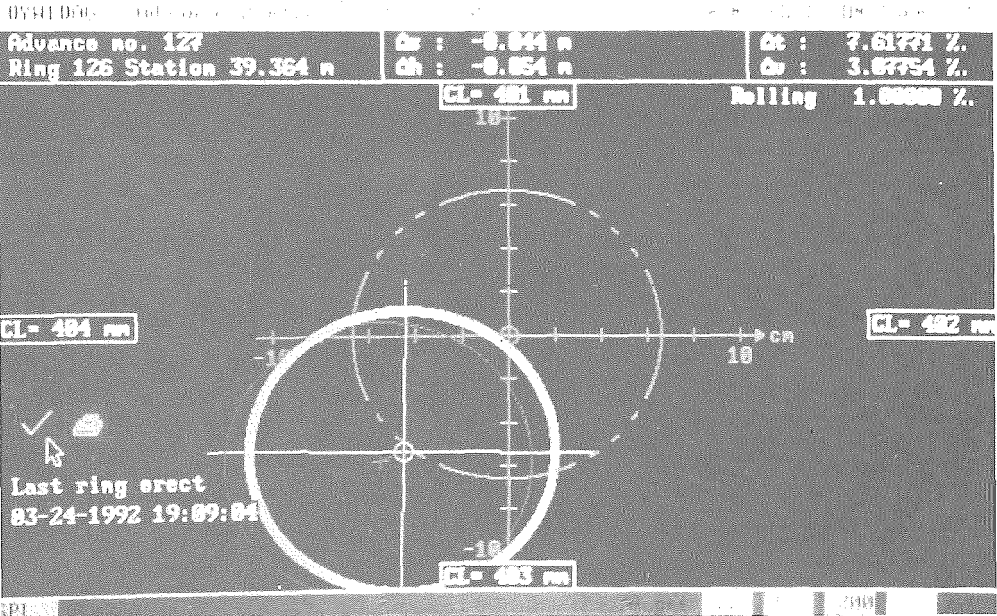
Slika 3: Le pogledite jih, geode, kako se veselijo svoje milimetrske natančnosti



Slika 4: Avtomatski teodolit Wild TM3000V, ki so ga uporabljali za vodenje strojev TBM, zagotavlja določitev položaja prizme z natančnostjo 0,5 mm na 100 m



Slika 5: Prikaz projektirane osi in dejanskega položaja osi na računalniku. Okoli projektirane osi je določen tolerančni valj s polmerom 10 cm. Operativni inženir vidi na zaslonu odmike od osi v projekciji na horizontalno in vertikalno ravnino, softver pa poskrbi za vodenje stroja TBM tako, da ni nenadnih kotnih zasukov osi



Slika 6: Merjenje dejanskega položaja prizem na stroju TBM spremlja operativni inženir na zaslonu računalnika; za vsako meritev vidi grafični prikaz projektiranega in dejanskega položaja stroja TBM

*Joc Triglav
Geodetska uprava Murska Sobota, Murska Sobota*

Prispelo za objavo: 4.11.1994