

Prefabrikovaná tunelová konstrukce na rychlostní komunikaci R 35

Precast Tunnel Structure on R 35 Motorway

**Slavomír Kolčava, Martin Řehulka,
Magda Zdražilová, Bohuslav Slánský**

Tunelová konstrukce dvoukomorového průřezu, železobetonová, prefabrikovaná, je tvořena v podélném směru jednotlivými prstenci, v příčném směru je dělena na několik samonosných prvků. Konstrukce je popsána z hlediska konstrukčního řešení, statického působení a technologie výstavby. Článek je doplněn údaji o časovém postupu výstavby a dosažené spotřebě hlavních materiálů.

A twin arch precast tunnel structure from reinforced concrete is formed by separate rings in the longitudinal direction and is divided into several self-stabilizing prefabricated elements in the transversal direction. The structure is described from the point of view of construction, structural analysis and assembly. The article is completed with statements of the time schedule of the construction and the total consumption of main materials.



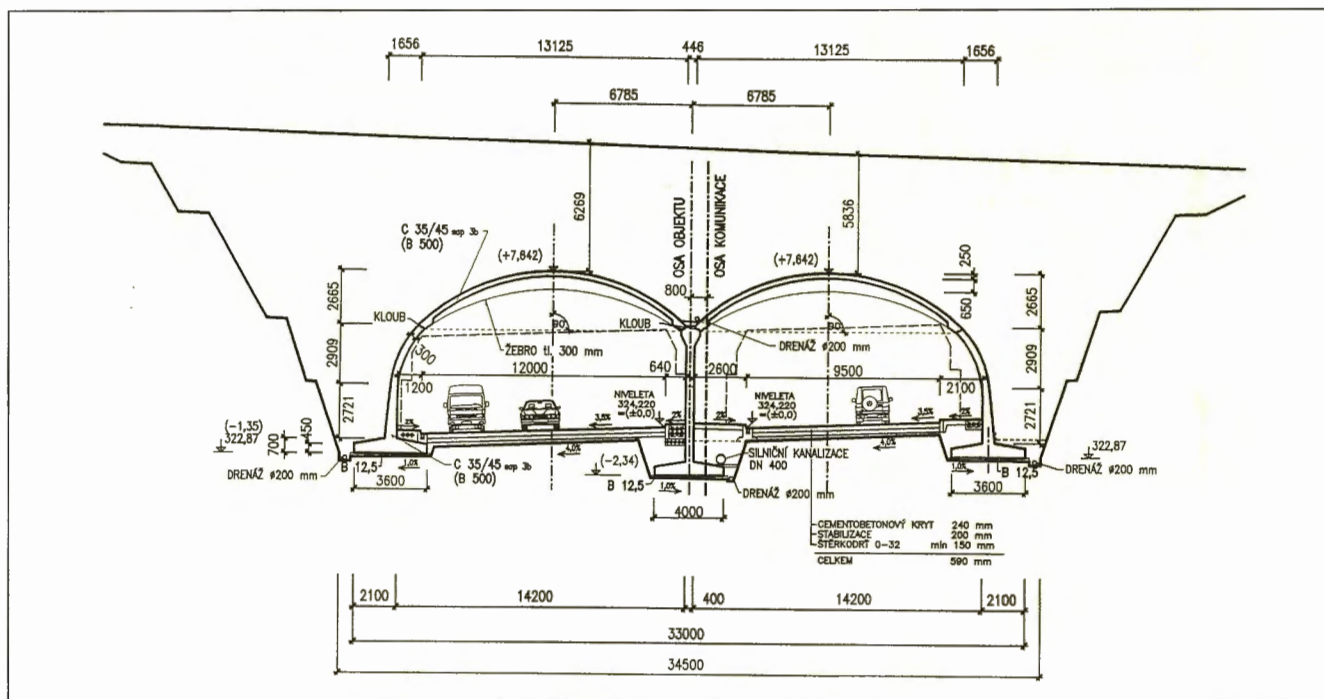
Obr. 2 – Montáž konstrukce / Assembly of structure

Na rychlostní komunikaci R 35 v úseku 3511 je navržen tunel z důvodů zachování biokoridoru. Jedná se o jednu z prvních ekologických staveb tohoto druhu u nás. Vrácení terénu v dostatečném rozsahu do původního tvaru a obnovení původní vegetace by mělo dostatečně vyřešit propojení biokoridoru významného krajinného prvku Provázky.

Hlavní údaje o konstrukci

Šířkové uspořádání komunikace v tunelu odpovídá čtyřpruhové směrově rozdělené komunikaci R 26,5/120. Ve směru na Olomouc

je zřízen přídatný stoupací pruh pro pomalá vozidla. Šířka mezi obrubami je pro směr Lipník nad Bečvou 9,50 m a pro směr Olomouc 12,00 m. Ve srovnání s normovým uspořádáním byla zvětšena šířka pro směr Lipník nad Bečvou o 0,50 m, aby bylo možno v případě provozu v jedné tunelové rouře vést provoz v třech pružích. Délka objektu mezi portály je 93,39 m. Tunel je vybaven odpovídajícím osvětlením, vodorovným dopravním značením a služebními chodníky po stranách každé tunelové trouby. Pod chodníky jsou umístěny prostory pro ka-



Obr. 1 – Příčný řez tunelem / Cross section of tunnel structure

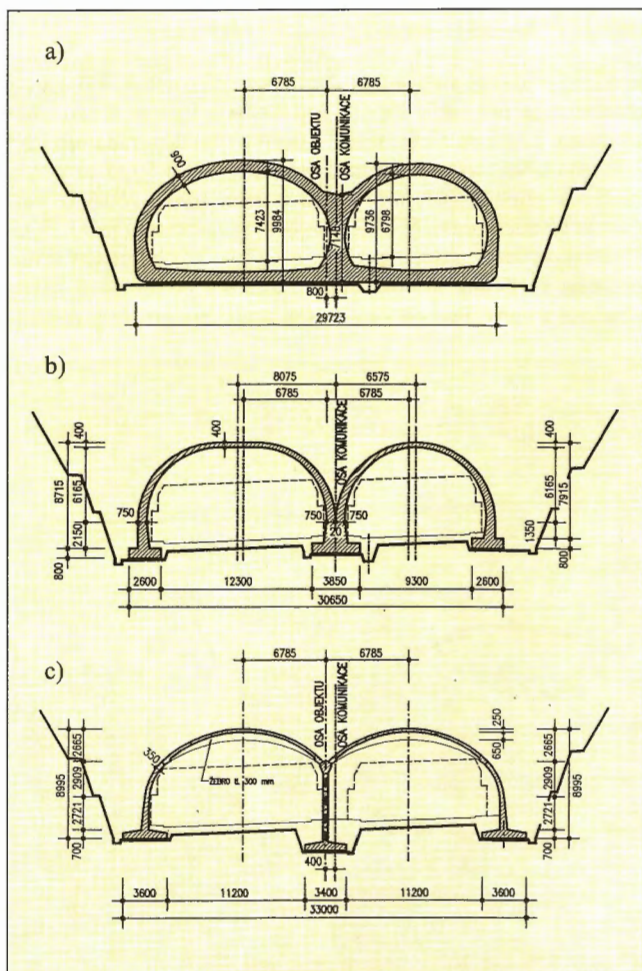
belová vedení, ve středním pásu je vedena středová kanalizace. Trasa komunikace je v úseku tunelu ve směrovém oblouku $R = 1300$ m. Niveleta komunikace je v konstantním klesání 3,95 %. Příčný sklon vozovky je jednostranný 3,5 %.

Původním řešením ve stupni DZPS byla klasická masivní monolitická konstrukce uzavřeného průřezu ze dvou tunelových trub, se společnou střední opěrou. S odvoláním na situování objektu v blízkosti oblasti s avizovanou seismicitou 6° MCS byl navrhován masivní uzavřený průřez s tloušťkou klenby i stěn 0,95 m (obr. 3a). Současnou podmínkou bylo umožnění nepřetržitého provozu staveništní dopravy minimálně v jednom jízdním pásu.

Konstrukční řešení

Po provedení alternativních návrhů a jejich vyhodnocení (obr. 3), po provedení seismického posouzení konstrukce a po zvážení výrobních možností dodavatele bylo jako nevhodnější vybráno alternativní řešení – subtilnější prefabrikovaná konstrukce (obr. 1, 3c), umožňující urychlit postup výstavby, vyžadující menší zásah do souvisejících objektů a současně zachovávající všechny požadované parametry původního řešení.

Navržená konstrukce vychází z principu řešení poprvé použité firmou Matiere. Vlastní návrh konstrukce, řešení detailů, výrobních zařízení a montáže konstrukce byl řešen projektanty firmy PRIS s. r. o. a dodavatelem DSH a. s. bez využití jakýchkoliv cizích podkladů.



Obr. 3 – Alternativy řešení: a) původní řešení, b) monolitická konstrukce, c) prefabrikovaná konstrukce / Alternatives of solution: a) primary design, b) monolithic alternative, c) precast alternative

Sdružená tunelová konstrukce sestává ze dvou klenbových otevřených tunelových trub shodného tvaru se společnou střední stěnou. Vlastní konstrukce je prefabrikovaná, železobetonová, v podélném směru dělená na skladebný rozměr 2,50 m v ose komunikace. Je z betonu C 35/45 sap 3a (B 500). V příčném směru je tvořena vnějšími stěnami, horními klenbovými segmenty a vnitřní stěnou. Konstrukce je montována ve sklonu komunikace, tj. 3,95 % a je sestavena do dilatačních celků délky 20 m. Po 10 m jsou vytvořeny příčné železobetonové prahy z betonu C -/28 sap 2bb (B 330) pro zabezpečení celkové stability.

Vnější stěny jsou ve spodní části opatřeny patkami šířky 3,60 m a tloušťky 0,45 – 0,70 m. Vlastní stěna je výšky 5,63 m a proměnné tloušťky od 0,60 m do 0,35 m. Stěna přechází plynule do kruhového poloměru horního klenbového segmentu. V oblasti portálů jsou krajní stěny seříznuty a sledují tvar násypového tělesa. Hmotnost prefabrikátu je přibližně 26 tun.

Horní klenbový segment ve tvaru soustředných oblouků má délku 12,63 m, vzepětí 2,66 m (poloměr přibližně 9,40 m) a tloušťku 0,25 m. Segment je vyztužen dvěma žebry výšky 0,65 m a šířky 0,30 m. Žebra mají statickou funkci, výrazně redukuje deformaci prvku a zlepšují akustické poměry v tunelu. Hmotnost prefabrikátu je přibližně 36 tun.

Vnitřní stěna je ve spodní části rovněž opatřena patkou, šířky 3,40 m a tloušťky 0,45 – 0,70 m. Vlastní stěna je výšky 6,63 m a konstantní tloušťky 0,40 m. V horní části je vytvořena hlavice pro uložení horních klenbových segmentů. Hmotnost prefabrikátu je přibližně 32 tun.

Vzájemné spojení prvků příčného řezu je kloubové. Podélné spáry mezi stěnovými prvky jsou vytvořeny spojením na pero a drážku. Vytuž prvků je provedena z betonářské oceli 10 505 ($\varnothing R$).

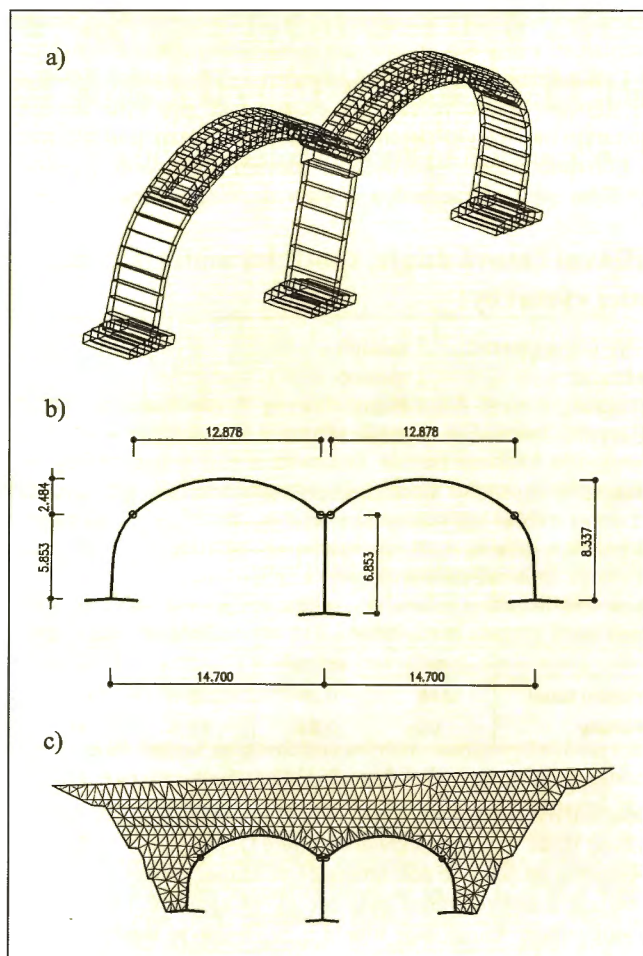
Statická analýza

Konstrukce je navržena tak, že využívá spolupůsobení konstrukce se zeminou. Pro materiál obsypu byly požadovány nutné parametry, které byly uvažovány ve výpočtu, tyto byly zajištěny výběrem vhodného materiálu a intenzitou hutnění. Před prováděním zásypu byly tyto vlastnosti hutnicím pokusem ověřeny. Při bočním zásypu je konstrukce stlačována dovnitř a je do ní vnášeno opačné napětí, než které vzniká při působení nadnáspy. Vhodně voleným postupem je konstrukce jakoby předeplněna.

Pro statickou analýzu byl vytvořen prostorový model pro program FEAT 4.03 jako deskostěnová konstrukce s pruty. Vlastní tunelová konstrukce byla modelována na šířku jednoho segmentu, tj. 2,5 m. Pruty byly proloženy střednicí průřezu, a to i v části oblouku, kde je průřez modelován od obdélníkového průřezu na krajích až po průřez se dvěma žebry proměnné výšky (obr. 4a). Spojení mezi jednotlivými prefabrikáty byly modelovány vložením kloubu s umožněním pootočení kolem osy kolmé na osu prvku. Na střední stěnu byl obloukový prvek připraven pomocí tuhého ramene a kloubu (obr. 4b).

Pruty základů jsou uloženy na Winkler-Pasternakově podloží, jednotlivé konstanty byly řešeny programem SOILIN pro příslušné úrovně zatížení.

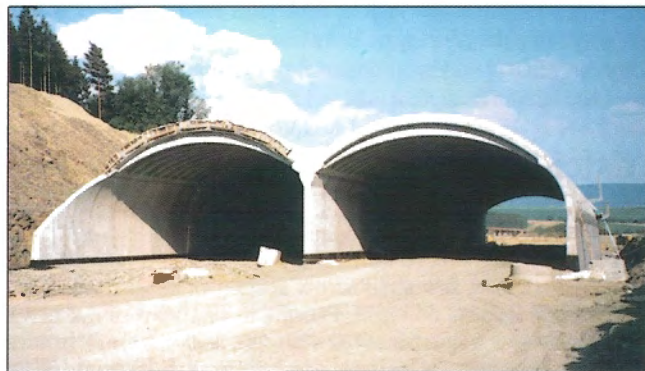
Vlastní násyp je modelován stěnovými prvky s fyzikálními vlastnostmi odpovídajícími zásypovému materiálu, a to rozdílně pro šterkopiskový zásyp těsně kolem tunelu a jinak pro zbývající násyp (obr. 3c). Model byl pro různé úrovně zasypávání upravován pomocí pracovních součinitelů, kterými byly eliminovány ty prvky násypu, které v daném zatěžovacím stavu nebyly ještě vytvořeny. Programem NE-14 byl proveden kontrolní výpočet, kdy spolupůsobení se zeminou bylo zadáváno jako proměnlivě vnější zatížení. Jednotlivé konstrukční díly byly navíc podrobeny analýze na prostorových modelech (kroucení prvku při výrobních imperfekcích).



Obr. 4 – Výpočtový model: a) axonometrický pohled, b) řez, c) řez včetně zásypu / Analysis model: a) axonometrical view, b) cross section, c) cross section, including backfill

Zatížení tunelu bylo řešeno následujícími zatěžovacími stavy:

- ♦ vlastní tíha, včetně účinků výrobních tolerancí,
- ♦ zatížení od postupného zasypávání tunelu, (včetně nerovnoměrného, uvažováno maximálně 0,5 m), včetně účinků hutnicích válců a dopravních mechanismů,
- ♦ přetížení podzemní vodou (nad těsnící jílovou vrstvou),
- ♦ zatížení od nahodilého zatížení na povrchu terénu,
- ♦ zatížení od rovnoměrné změny teploty,
- ♦ seismické zatížení,
- ♦ zatížení od nárazu vozidel na střední stěnu.



Obr. 5 – Konstrukce před zasypáním / Structure before backfilling

Pro konstrukci byl použit beton C 35/45 (B 500), ocel 10 505. Dimenzování bylo provedeno programem PT04A. Krajiní i vnitřní stěnové prvky jsou vyztuženy 9 Ø R 25 na bm, při extrémním namáhání výztuže 187,3 MPa a betonu –15,6 MPa. Horní klenbový segment je vyztužen Ø R 14 popř. Ø R 20 v deskové části a 6 Ø R 25 v každém žebru. Extrémní namáhání výztuže je 255,6 MPa a betonu – 9,8 MPa. Zvláštní pozornost byla věnována posouzení soustředěného tlaku v místech kloubů konstrukce. Zároveň bylo řešeno namáhání prvků při manipulaci a jejich uložení na skládce tak, aby byly eliminovány účinky dotvarování.

Výroba a montáž

Výroba prvků tunelu probíhala ve výrobě DSH a. s. v Tovačově, která má mnohaleté zkušenosti s výrobou prefabrikátů různých typů. Blízkost výroby, možnost přesunutí výroby do zimních měsíců a zkrácení doby výstavby byly rozhodující argumenty, které podpořily použití tohoto typu konstrukce.

Pro každý prvek byla vyrobena samostatná forma. Již v projektu byly stanoveny rozměrové a tvarové tolerance segmentů, které bylo nutno dodržet jako předpoklad úspěšné montáže konstrukce na stavbě.

Jako rozhodující tvarové tolerance byly sledovány:

- ♦ odklon stěny od kolmice mezi základovou plochou a svislou částí stěny: maximálně 0,5° ,
- ♦ rovnoběžnost základové a kloubové přímky: maximálně 5 mm/2,5 m.

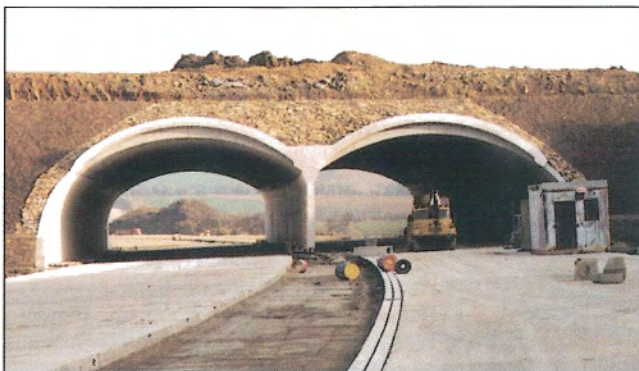
Zároveň byly sledovány rozměrové tolerance prvků:

- ♦ tloušťka prvku: +10, -3 mm,
- ♦ výška prvku: +7 / 7330 mm,
- ♦ šířka prvku: +6 / 2500 mm.

Vlastní montáž byla realizována těžkým kolovým jeřábem. V rýhách základů stěn byl proveden podkladní beton ve dvou vrstvách, horní vrstva s přesností ± 1,5 mm. Dále bylo provedeno přesné vytýčení bodů (přesnost 3 mm) pro osazení segmentů a jako první byly osazovány střední stěnové prvky za pečlivého geodetického sledování postupu montáže.

Po uložení byla zkontrolována svislost stěny a její návaznost na předchozí smontovanou část. Případná nesrovnalost byla opravena pomocí zvedacích zařízení osazených v patce segmentu. Po montáži střední stěny následuje osazení vnějších stěnových segmentů, postup je analogický jako u vnitřní stěny, jako rozhodující kritérium je měření vzdálenosti a rovnoběžnosti úložných přímek příčle.

Příčle jsou ukládány přímo z přepravního prostředku. Po jejich osazení bylo vždy zkontrolováno uložení v kloubech. Pokud nebyla příčle správně uložena, byla provedena manipulace s vnější stěnou tak, aby bylo dosaženo přímkového uložení



Obr. 6 – Konstrukce během zasypání / Structure in the time of backfilling

v kloubech. Případné výrobní nerovnosti v oblasti kloubu byly vyplněny jemnou cementovou maltou.

Jako závěrečný krok bylo provedeno podinjektování patek stěnových prvků cementovou maltou. V patce byly k tomuto účelu vytvořeny drážky pro lepší rozvod malty ve spáře. Toto řešení, na rozdíl od jednoduššího způsobu např. uložení na tenkou vrstvičku písku, bylo voleno proto, že konstrukce byla montována ve značném podélném sklonu (3,9 %) a spára byla v oblasti výskytu kolísavého vývěru spodní vody.

Kontrola montáže a provádění obsypu

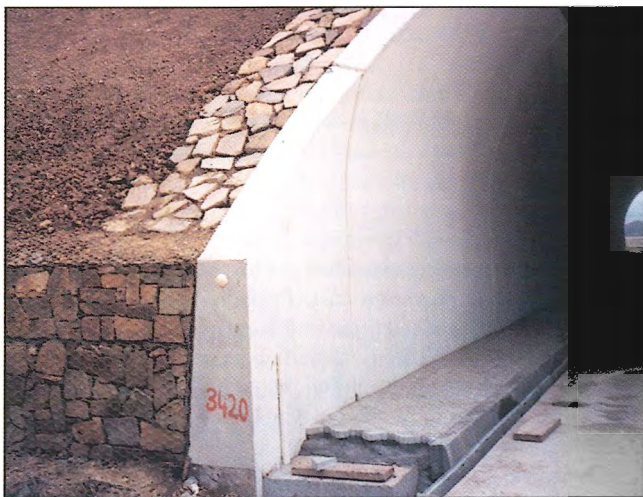
Pro vytyčení objektu byla zbudována lokální vytyčovací síť, která sloužila i pro měření deformací objektu během provádění zásypu.

Vlastní sledování tunelu během výstavby bylo prováděno třemi nezávislými metodami:

- konvergenční metodou
- nivelační metodou
- měřením deformací při současném stanovení modulu pružnosti

Konvergenční metodou byla sledována deformace příčného řezu obou tubusů konstrukce v 9 profilech a pro 8 zatěžovacích stavů konstrukce s přesností měření $\pm 0,1$ mm. V době, kdy byl psán tento příspěvek, proběhlo již 5 měření, která potvrdila chování konstrukce podle statických předpokladů.

Měření nivelační metodou probíhala vždy současně s konvergenčním měřením ve stejných profilech při dodržení zásad pro velmi přesná měření.



Obr. 7 – Detail přechodu konstrukce do terénu / Detail of joining the structure with field

Na vybraných průřezích konstrukce byl zjišťován průběh napjatosti v průběhu zasypávání konstrukce měřením deformací na základnách délky 200 mm sázecím deformetrem typ Hollan. Měření probíhalo ve stejných řezech jako pro výše uvedené metody, navíc bylo doplněno sledování oblasti pod kloubem na obvodové stěně pro ověření chování podkloubové oblasti, ověření rovnoměrnosti dosednutí a rozevírání spáry.

Hlavní časové údaje, spotřeba materiálů, účastníci výstavby:

Výroba segmentů:	7 měsíců
Montáž:	2 měsíce
Izolace:	3 týdny
Zásyp:	4 měsíce

Tab. 1 - Spotřeby hlavních materiálů: půdorysná plocha tunelu 2400 m², půdorysná plocha portálů 375 m² / Consumption of main materials: square area of tunnel 2400 m², square area of portals 375 m²

	Beton		Betonářská výztuž	
	m ³	m ³ /m ²	t	kg/m ²
Vlastní tunel	1945	0,81	349,8	145,8
Portály	90	0,24	17,4	46,4

Investorem stavby 3511 rychlostní komunikace R 35, jejíž součástí byl popisovaný tunel, bylo Ředitelství silnic a dálnic ČR, závod Brno. Vyšším dodavatelem byly Dopravní stavby IES a. s. Autorem projektové dokumentace ve stupni změny DSP a celé realizační dokumentace byla projekční kancelář PRIS s. r. o. Dodavatelem konstrukce tunelu byly Dopravní stavby Holding a. s., závod Mosty.

Literatura:

[1] Makovička D.: Výpočet seismických účinků na tunelovou konstrukci objektu dálnice D 35, stavba 3511, mezi Velkým Újezdem a Lipníkem nad Bečvou, Praha únor 1996.

[2] Mathieu M., Fournier B., Aguirre J.-E., Perojo F.: The San Jose Cut and Cover Tunnel Project Malaga, Spain, Enterprise Matiere, Paris 1992.

Ing. Slavomír Kolčava, Ing. Martin Řehulka, Ing. Magda Zdražilová, projekční kancelář PRIS s. r. o., Bohunická 50, 659 27 Brno
Ing. Bohuslav Slánský, DS Holding a. s., závod Mosty, Holická 31/9, 772 00 Olomouc

Před dvěma tisíci lety...



Řím, Imperium Romanum – MRAMOR SE NEVYSKYTUJE V TĚMŽ DRUHU VE VŠECH KRAJINÁCH. NA NĚKTERÝCH MÍSTECH SE VYTVÁŘEJÍ KUSY, KTERÉ MAJÍ PRŮSVITNÁ ZRNKA JAKO ZE SOLI A JICHŽ SE DÁ PO ROZDRČENÍ A PO ROZEMLETÍ DOBRĚ POUŽÍT PŘI STAVEBNÍCH PRACÍCH. V MÍSTECH VŠAK, KDE TAKOVÝ MATERIÁL NENÍ, SE ROZTLUKAJÍ A ROZEMÍLAJÍ KOUSKY MRAMORU, NAZÝVANÉHO TAKÉ ODŠTĚPKY, KTERÉ DÉLNÍCI PŘI OPRACOVÁVÁNÍ KAMENE ODHAZUJÍ. PROSETÉHO MRAMORU SE PAK UŽÍVÁ PŘI STAVEBNÍCH PRACÍCH. V JINÝCH KRAJINÁCH, NAPŘÍKLAD NA HRANICÍCH MEZI MAGNĚSÍÍ A EFESEM, JSOU MÍSTA, KDE SE KOPE JIŽ HOTOVÁ MOUČKA, KTERÁ SE NEMUSÍ ANI ROZTLUKAT, ANI PŘESÍVAT, NÝBRŽ JE TAK JEMNÁ, JAKO BY BYLA UMĚLB ROZTLUČENA A PROSETA. (Vitruvius: De architectura libri decem, kniha II., kapitola VIII. Řím, Imperium Romanum, cca 20 př. Kr.)

Milík Tichý