

MONOLITICKÉ OSTĚNÍ TUNELŮ RAŽENÝCH TBM

P. Vítek

HOCHTIEF CZ, Praha, Česká republika

Š. Pešková

ČVUT, Praha, Česká republika

ABSTRAKT:

K ražbě tunelů pomocí tunelovacích strojů TBM patří segmentové ostění. Systémy výroby a montáže ostění jsou vyvinuté a zavedené. Kromě výhod má segmentové ostění i určité nevýhody a těmi je především velké množství spár v ostění a výroba vyžadující velké plochy a dopravní nároky. Aby se výroba ostění zjednodušila byl navržen a ověřen systém monolitického ostění, který hlavní nevýhody eliminuje.

Ostění se zhotovuje z betonu vyztuženého ocelovou rozptýlenou výztuží, který se k čelbě tunelu vozí v domíchačce umístěném na podvozku MSV (víceúčelové vozidlo). Sekce stroje, kde probíhá montáž ostění je vybavena ocelovou formou. Prostor mezi formou a horninou se vyplní dovezeným betonem. Následně během ražby dalšího úseku tlačné válce stroje vystavují betonovou směs značnému tlaku, čímž dojde k jejímu zhutnění. Následně beton tuhne a tvrdne, stále za podpory formy. Poté co dosáhne dostatečné pevnosti, aby ostění vzdorovalo horninovému tlaku, je forma přemístěna směrem k čelbě k použití na betonáž dalšího prstence. Takto se proces cyklicky opakuje.

Výzkum se věnoval výhradně materiálu a technologii výroby vlastního ostění, nikoliv návrhu strojních součástí. Využití technologie se předpokládá především v soudržných horninách. Rozhodující procesy byly experimentálně ověřeny na vzorcích dostatečné velikosti.

1. VYUŽITÍ TECHNOLOGIE V MINULOSTI

Technologie monolitického ostění byla využita mimo jiné v Praze během výstavby metra I.A. v úseku Malostranská – Můstek. Součástí úseku je i podchod Vltavy. Pro ražbu byl využit sovětský tunelovací stroj TŠČB, který se svými parametry a výkony ani zdaleka nepřibližoval současným strojům TBM. I přes řadu problémů, mezi které patřila i vysoká poruchovost, vzniklé tunelové ostění z prostého monolitického betonu vykazuje spolehlivost a nízké průsaky. Připomeňme, že stavebnictví v 70. letech 20. století obecně nebylo příliš zaměřeno na pečlivost a spolehlivost, jak je tomu nyní, a přesto časem prověřený výsledkem můžeme hodnotit pozitivně.

2. SEGMENTOVÉ OSTĚNÍ

Připomeňme si v krátkosti typickou výrobu a montáž segmentového ostění. Segmenty se obvykle vyrábějí ve výrobně, která je vybavena mísicím centrem pro výrobu betonu. Beton se dopravuje do forem, kam se uloží a následně hutní. Následuje tuhnutí a tvrdnutí, které se někdy urychluje proteplováním. Když beton dosáhne požadované pevnosti umožňující manipulaci, je segment vyjmut z formy, náležitě ošetřen a pak dopraven na skládku. Výrobna obvykle nedosahuje výkonu odpovídajícímu potřebě tunelovacích strojů, proto se zahajuje v předstihu před ražbou. S tím je spojena potřeba velké plochy pro deponování vyrobených segmentů. Segmenty jsou vybaveny po celém obvodu těsněním, které se buď nalepuje na hotový segment, nebo vkládá do formy před betonáží. Obvyklá délka prstence je 1.5 až 2 m, při čemž prstenec bývá sestaven z 6 až 8 segmentů včetně klenáku. Parametry jsou závislé zejména na průměru tunelu.

Podle vzdálenosti výroby segmentů od přístupu do tunelu se volí vhodný druh dopravy. Na staveništi u portálu tunelu se segmenty přeloží na speciální vozidlo (MSV), které je upraveno pro jízdu v tunelu po sestaveném ostění. Na konci závěsu stroje (TBM) se segmenty přeloží na podavač a dopraví k erektoru, který segmenty ukládá na předepsané pozice. Délka prstence je po obvodě mírně proměnná. Vhodnou

sekvencí postupných rotací prstenců se zajistí aproximace směrových a výškových oblouků. Přítlak stroje TBM při ražbě je zajištěn proti sestavenému ostění.

Normálová síla od přítlaku válců stroje je pro segmenty významný zatěžovací stav, který rozhoduje o materiálu a dimenzi segmentu. Působení uvedeného zatížení je zcela odlišné od vlivu horninového tlaku. Každý segment je vystaven tlaku stroje pouze jednou, a to během ražby a další zatížení působící po dobu životnosti je jiné. Na některých stavbách např. při ražbě metra V.A1. (ale i jinde v zahraničí) právě v tomto stavu docházelo k porušení segmentů trhlinami v plné tloušťce, čímž se narušila vodonepropustnost ostění.

Dalším problémem je těsnění spár mezi segmenty. Těsnost je podmíněna přesným sestavením prstence. Pokud na sebe jednotlivé segmenty nedoléhají, nebo jsou vzájemně posunuté z roviny, kontaktní plocha těsnění se zmenšuje, a tak hrozí riziko průsaků vody spárami. Tento problém se projevil ve větší míře na železničním tunelu u Ejovic.

Běžně se segmenty vyrábějí ze železobetonu nebo drátkobetonu. Drátkobeton je materiál duktilnější. Porovnáme-li drátkobeton a železobeton stejných pevností zatížený tahem, rozptýlená výztuž drátkobetonu brání lokalizaci trhlin, proto vznikne větší počet drobných trhlinek. To je stav příznivější pro vodonepropustnost ostění.

Prostor mezi ostěním a výrubem se vyplňuje injektážní hmotou. Injektážní hmoty jsou různé, v ČR se dosud užívala tekutá injektáž, kde hlavními složkami jsou voda (cca 700 l/m³), cement, bentonit a gelovací přísada. Injektáž po zaplnění prostoru rychle přejde v gel a je odolná proti rozplavení podzemní vodou. Vzniklá hmota má však velmi malou pevnost a v suchém prostředí vysychá a ztrácí objem.

3. MONOLITICKÉ OSTĚNÍ

Základní myšlenka monolitického ostění není nová, jak bylo zmíněno v úvodu. Řešitelský tým si vytkl cíl vypracovat novou technologii, která bude splňovat výkonové parametry běžných strojů TBM. Materiál pro ostění se předpokládá beton s rozptýlenou ocelovou výztuží.

3.1 VÝROBA A DOPRAVA BETONU

Výroba betonu se předpokládá v mísicím centru umístěném přímo na staveništi v blízkosti portálu. Kvalitně rozmísený beton je základním předpokladem spolehlivosti ostění, proto se počítá s dávkováním rozptýlené výztuže přímo do míchačky, a to ve formě drátků vzájemně odseparovaných distributorem. Proces přidávání drátků zabere čas, o který se prodlouží vlastní doba míchání. Nepřímé dávkování drátků spolu s kamenivem se nedoporučuje, protože nastává velké riziko vzniku shluků drátků tzv. ježků. Dimenze míchačky tedy musí odpovídat potřebě betonu, aby bylo možné dostatečně zásobit stroj TBM. S ohledem na spolehlivost se předpokládají dvě nezávislá mísicí centra v rámci jedné betonárny.

Betonová směs se postupně plní do domíchávače namontovaném na tunelovém vozidle MSV (kterým se běžně zavážejí segmenty). Rychlost jízdy vozidla v tunelu se předpokládá 15 km/h z čehož plyne, že čistý čas na dopravu tunelem délky 5 km je 20 min. Přičteme-li k tomu dobu míchání směsi a čas potřebný na vyplnění prostoru získáme potřebnou dobu zpracovatelnosti přes v rozmezí 1-2 hodin. To je parametr splnitelný.

V souvislosti s výstavbou ostění kromě betonu není již potřebné ke stroji dopravovat žádný materiál. Nespotřebovaný beton, který zbude v domíchávači se odseparuje, při čemž kamenivo a drátky lze znovu použít.

3.2 ODLIŠNOSTI TECHNOLOGIE OPROTI STANDARDNÍMU TBM

Zatímco u standardního TBM je segmentové ostění montováno přímo do obálky štítu, u monolitického ostění je do zadní části obálky vložen ještě teleskop (obr. 1). Jedná se o ocelový válec zasunutý do obálky a ovládaný separátní hydraulikou. Během ražby zůstává na místě a zajišťuje tak výrub. V případě, že se v prostředí vyskytuje tlaková podzemní voda, je na vnitřní stěnu teleskopu natažena izolační fólie. Primární smysl fólie je v zamezení rozplavení betonové směsi podzemní vodou. Fólie samozřejmě kolem ostění zůstane a lze počítat s jejím druhotným přičínkem k těsnosti ostění, nebo odolnosti proti vlivu

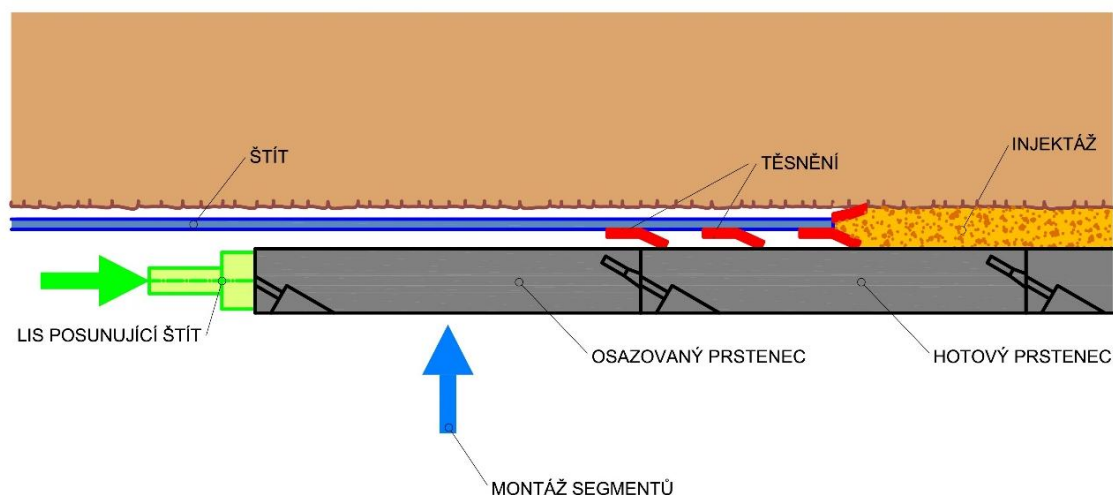
bludných proudů. Ostění je však navrženo jako vodonepropustné, protože nelze zaručit, že nedojde k poškození fólie.

Razicí sekce stroje TBM je se závěsem spojena tzv. mostem. U technologie monolitického ostění se most využívá pro transport bednicích forem ostění (obr. 2). Forma kruhového tvaru se složena ze sekcí, které lze sbalit do menšího průměru, který se protáhne rozbalenou formou. Jednotlivé formy mají délku záběru TBM, tedy standardně 1.5 až 2 m. Na mostě se pohybuje manipulátor, což je obdoba erektoru. Manipulátor sbalí poslední díl formy a přesune jej směrem k čelbě do prostoru, kde se buduje ostění, tedy na úroveň teleskopu. Tam se forma opěr rozbalí. Forma tvaru válce je mírně kónická, tedy podstavy opsaného válce nejsou rovnoběžné, obdobně jako u segmentového prstence. Rotací formy se zajistí aproximace směrových a výškových oblouků, rotaci provede manipulátor jako poslední fázi uložení formy. Forma se připne k předcházející sekci.

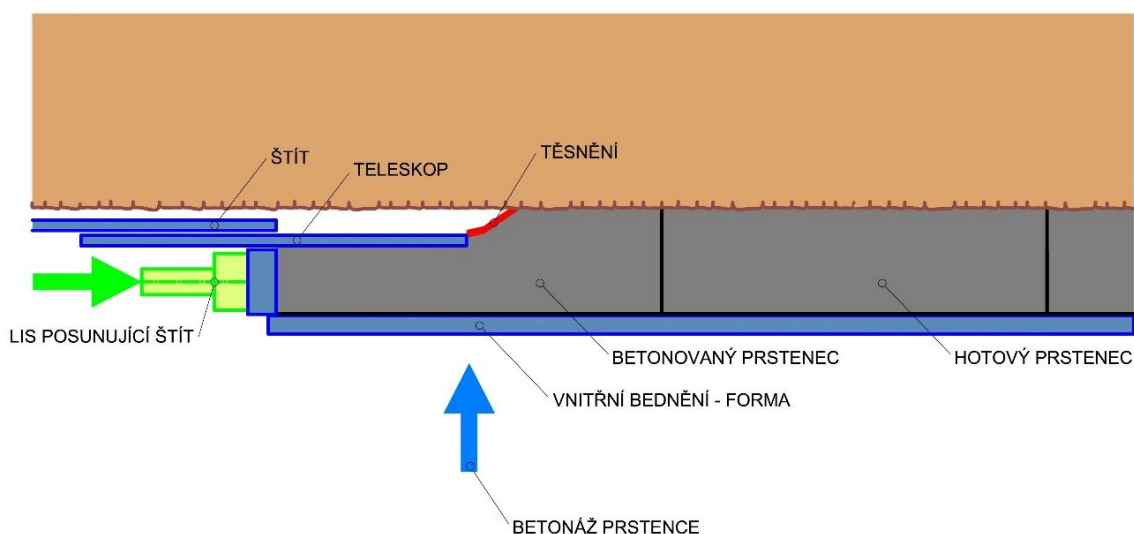
Tlačné válce stroje jsou zakončené čílkem, které zabední prostor mezi formou a teleskopem. Čílko je upraveno tak, že do něj lze vložit izolační plech, který zabrání případnému pronikání vody pracovní spárou mezi jednotlivými prstenci.

Kromě uvedeného stroj není vybaven prvky pro manipulaci se segmenty a rovněž odpadá celá technologie injektáže za ostění.

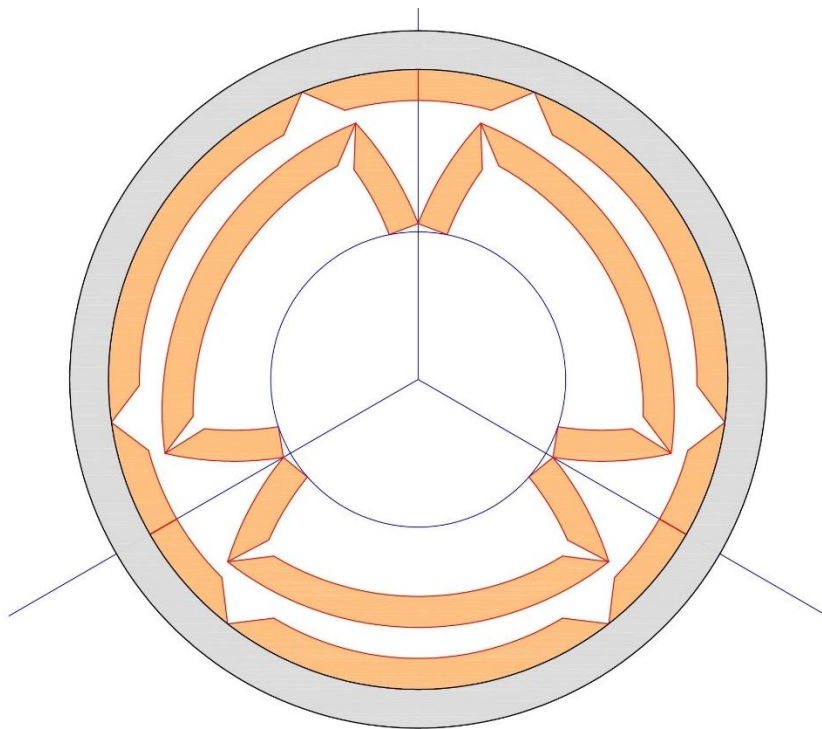
SEGMENTOVÉ OSTĚNÍ



MONOLITICKÉ OSTĚNÍ



Obrázek 1: Porovnání segmentového a monolitického ostění



Obrázek 2: Rozbalená a sbalená forma pro monolitické prstencové ostění

3.3 BETONÁŽ PRSTENCE

Beton se do určeného prostoru vymezeného z vnější strany teleskopem, z vnitřní strany ocelovou formou, zředu čílkem a vzadu navazujícím prstencem načerpá tak, že zmíněný prostor zcela vyplní. Dále se ve směsi vyvodí tlak odpovídající tlaku podzemní vody. V našich podmínkách se předpokládá maximálně 50 m vodního sloupce tedy 5 bar = 500 kPa. Poté se za udržování tlaku postupně zasouvá teleskop. Doplněvaná směs tedy vyplňuje prostor vně teleskopu. Během této činnosti se protahuje těsnicí fólie a dotlačuje se k výrubu, případně vyplňuje nadvýlomy. Posun teleskopu je natolik pomalý, že čerpadlo směsi stačí dodávat směs a nepoklesne požadovaný tlak. Takto se postupuje až do vyplnění celého prostoru.

Tloušťka ostění mezi formou a teleskopem je garantována jako minimální. V případě, že se uvolněná hornina opře o teleskop, nepředpokládá se její proniknutí do první vrstvy. Tloušťka ostění bude ve většině rozsahu zvýšená o vzdálenost mezi lícem teleskopu a výrubem. Ojedinele může tloušťka ostění stoupnout o rozměr nadvýlomu.

Po zasunutí teleskopu a zaplnění mezikruží je prostor zcela vyplněn kvalitním materiálem betonu ostění. Následuje zahájení ražeb. Čílko je zatíženo normálovou silou od tlačných válců stroje. Tato síla je značná a obvykle odpovídá tlaku čílka na beton 5 MPa. Při tomto tlaku dochází k zatlačení betonu do horniny a k velmi účinnému zhutnění směsi. Směs musí být čerpatelná, proto se předpokládá jisté nadbytečné množství vody. Během stlačení dojde k vytlačování vody ze směsi. Samotným stlačením dojde ke zpevnění struktury betonu a zdánlivé pevnosti betonu v řádech desetin MPa (např. 0.3 MPa).

Nově vytvořený prstenec je zatížen přítlakem stroje ve fázi betonové směsi. Je tedy zcela eliminováno riziko vzniku trhlin vlivem přítlaku stroje. Směs začne tvrdnout a předpokládá se že za 16 hodin dosáhne pevnosti pro možné odbednění.

Alternativně se počítá s možností využití odpadního tepla stroje k proteplování betonu prstence. Standardně jsou TBM vybavena vodním chlazením, kdy se tunelem přivádí chladná voda a od stroje se odvádí teplá voda využitá k chlazení strojních technologií. Tuto vodu lze zavést do výměníků tepla umístěných na formách, a tak část tepla předat betonové směsi k urychlení procesu tuhnutí.

3.4 ČASOVÝ PRŮBĚH

Předpokládejme průměr tunelu 6 m, min. tloušťku ostění 30 cm, a délku prstence 1.5 m. Pracovní cyklus ražby – vlastní ražba 30 min, přesun formy + montáž fólie 30 min. Čerpání směsi také 30 minut. Celý cyklus je tedy 1.5 h.

Objem betonu bude při reálné tloušťce ostění 40 cm a nadvýlomů zhruba 12 m³. Výroba betonu si vyžádá 6 cyklů v míchačce o velikosti 2 m³. Prodloužené míchání včetně dávkování drátků lze zvládnout za 10 minut. Výroba betonu na jeden prstenec si vyžádá cca 1 hodinu, což je méně než předpokládaný cyklus ražby 1.5 h. Lze tedy zvládnout s jedním mísicím centrem, ale ta stejně z důvodů spolehlivosti a případných oprav jsou potřebná dvě.

Ražba při rychlosti 1.5 m za 1.5 hodiny dosahuje výkonu 24 m/den. Tedy za potřebnou dobu tvrdnutí betonu 16 hodin se vyrazí 16 m tunelu. Postačuje tedy 16 m forem (11 ks forem). S ohledem na odchylky předpokládáme 13 forem a délku podbednění 19.5 m. To odpovídá běžné délce mostu u strojů TBM kolem 20 m. Tedy stroj není třeba v tomto parametru zásadně upravovat.

4. EXPERIMENTÁLNÍ ČINNOST

Technologie je postavena na předpokladech, které bylo vhodné experimentálně ověřit. Návrh experimentu a velikost vzorku vycházela z charakteru testovaných veličin. Přestože testů bylo realizováno více, v tomto textu se soustředíme na nejdůležitější.

4.1 TEST NÁRŮSTU PEVNOSTI

Předpokládá se použití betonu stejné pevnostní třídy, jaká se běžně užívá pro výrobu segmentů – C 50/60. Odbedňovací pevnosti v době, kdy je možné demontovat formu byla stanovena na 15 MPa. Takové ostění by mělo vzdorovat horninovým tlakům i účinkům tlakové vody. Byl zaveden předpoklad, že pevnosti bude dosaženo za 16 hodin. V tabulce nárůstů pevností je stanovený požadavek splněn.

Pokud by byl požadavek na vyšší pevnost ostění, lze např. zvýšit počet forem, a tak prodloužit dobu tvrdnutí betonu ve stavu podepřeném formou. Tvrdnutí lze také urychlit proteplováním betonu odpadním teplem TBM.

Tabulka 1: Nárůst pevnosti betonu v průběhu času

Hodiny	Dny	Pevnost v tlaku (MPa)
16		17,2
18		17,3
24	1	24,1
	2	35,2
	3	44,8
	7	55,7
	28	67,4

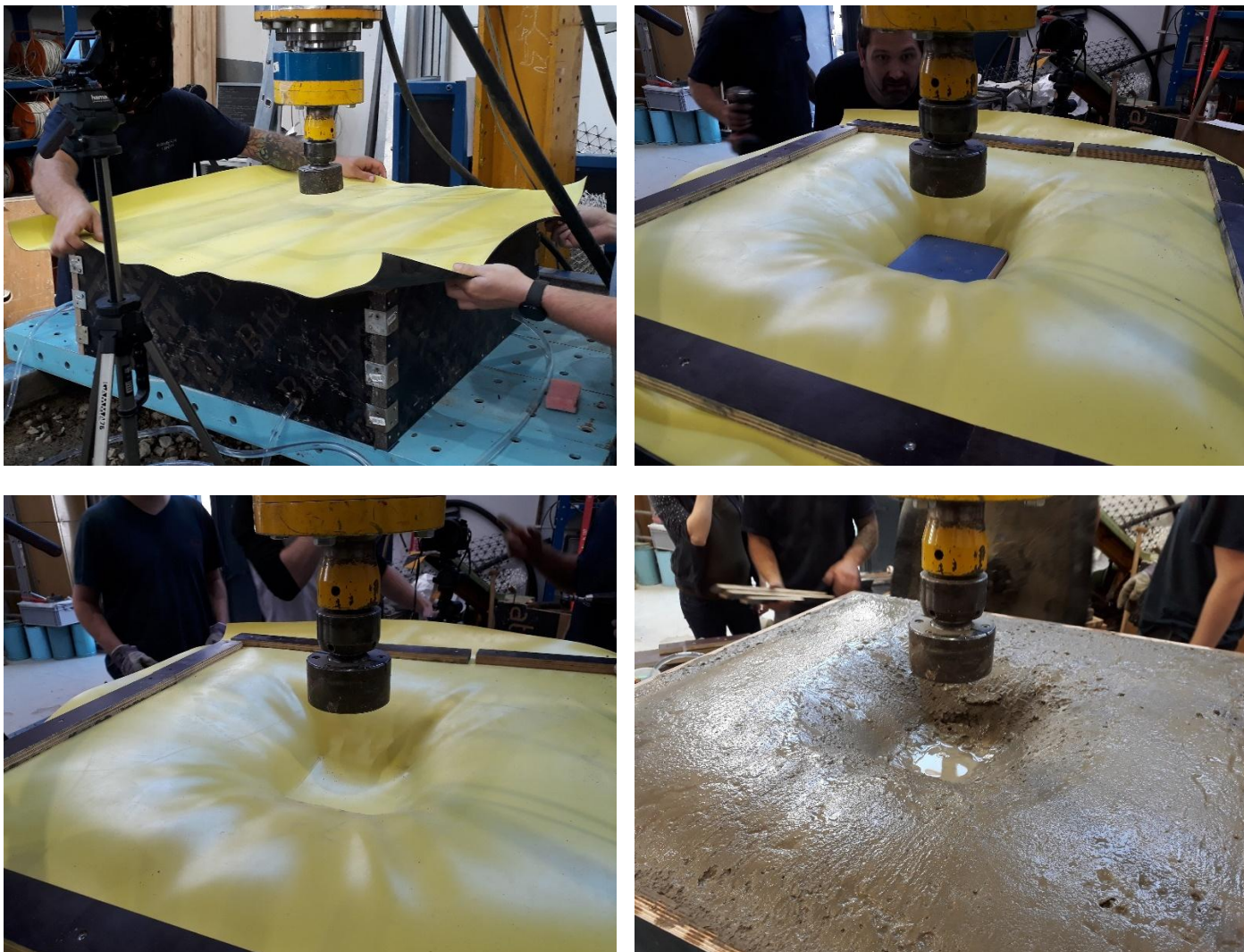
4.2 TEST ODOLNOSTI SEPARAČNÍ FÓLIE

Separáční fólie má primární cíl zamezit rozplavení betonu podzemní vodou. Zvláště problematický je stav, kdy podzemní voda proudí trhlinami v hornině a může výrazně degradovat beton. Druhotně zajišťuje čistotu prostoru pro uložení betonu a v dlouhodobém horizontu přispívá k vodonepropustnosti ostění a k eliminaci vlivu bludných proudů.

Při vytipování rizik vznikla obava, k čemu dojde v případě uvolnění ostrohranného úlomku horniny, který bude pronikat do čerstvého betonu ostění. Během ražby je prostor chráněn obálkou štítu a dále teleskopem. Případný úlomek může do ostění proniknout při zasouvání teleskopu, tedy v době, kdy je prostor vyplněn betonem. Nedoje tedy k volnému pádu na formu, ale proniknutí do betonu uloženého pod tlakem cca 500 kPa. Testována byla fólie, za jakých okolností dojde k jejímu protržení.

Experiment byl tvořen blokem čerstvého betonu v bednění bez zhutnění, pokrytý fólií, do které se lisem zatlačoval čtverec o straně 10 cm vyrobený z překližky (obr. 3). Měřeno bylo zatlačení desky při zatížení postupně rostoucí na 10 kN a zároveň byl vizuálně sledován stav fólie. Na vzorku tvaru desky výšky 25 cm došlo k postupnému zatlačení 125 mm, tedy do poloviny tloušťky prvku. Při tom se nedošlo k porušení separáční fólie. Připomeňme, že se jedná především o test fólie, síla 10 kN (1 t) na plochu

0.01 m² odpovídá tlaku 1 MPa, což je velmi nepříznivá hodnota odpovídající nadloží výšky 40 m, která by v reálu zdaleka neměla nastat, proto i zatlačení 125 mm je výrazně nad skutečnými hodnotami.



Obrázek 3: Postup testu odolnosti separační fólie

4.3 TEST ZHUTNĚNÍ BETONÉ SMĚSI TLAKEM

Je zřejmé, že tlakem vytvořeným na beton dochází ke zhutnění směsi a rovněž i k vytlačování přebytečné vody. Dostatečné množství záměsové vody je potřebné pro zpracovatelnost a čerpatelnost směsi. Odseparování přebytečné vody v uloženém betonu tedy není na závadu. Zároveň bylo zajímavé ověřit jaký má vliv tlak stroje na beton v dalších dříve realizovaných prstencích.

Zde je na místě připomenout, že názory na opakované hutnění se značně liší od zvýšení výsledné pevnosti ke snížení pevnosti. To je zřejmě způsobeno podmínkami testu a způsobem hutnění. Proto bylo na místě ověřit, jak se projeví druhotné stlačení na předcházejícím prstenci.

Experiment byl uspořádán tak, že betonové směs byla vložena do válcové nádoby, a byla zatížena tlakovou silou působící na směs vytvářejí tlak 5 MPa. Po hodině se na nádobu se stlačenou směsí osadila druhá nádoba, naplnila směsí a rovněž se zatížila stejným tlakem. Rovnoměrný tlak na směs se realizoval přes betonový válec, aby bylo vytvořeno rovnoměrné zatížení simulující čítko formy prstence (obr 4).

Zatímco 28denní pevnost referenčních nezatažených vzorků vykazovala průměrnou hodnotu 71 MPa, vzorky zatížené v jednom cyklu dosahovaly průměrné pevnosti 88 MPa a vzorky zatížené dvěma cykly vykazovaly průměrnou pevnost 83 MPa. Z toho vyplývá, že hutnění tlakem oproti běžné vibraci na referenčních vzorcích vede ke výraznému zvýšení pevnosti, zatímco druhý zatěžovací cyklus pevnost mírně snížil, ale zůstává stále výrazně vyšší než ta na referenčním vzorku.

Během zatěžování vzorků došlo k vyplavení vody, a to především v rámci prvního zatěžovacího cyklu. Každý vzorek je tvořen válcem průměru 150 mm a výšky 300 mm. Množství uvolněné vody je cca 250 ml/vzorek, což činí cca 5 % objemu.



Obrázek 4: Uspořádání testu zhutnění betonové směsi tlakem

4.4 TEST PRSTENCE OSTĚNÍ

Nejdůležitějším experimentem bylo ověření celého procesu výroby ostění na velkém vzorku v měřítku 1:3. Jelikož nebylo vhodné experiment realizovat v podmínkách ostění, byla vytvořena masivní betonová vnější forma simulující horninový masiv. Vnitřní ocelová forma byla z ekonomických důvodů nahrazena rovněž masivním betonovým prvkem. Mezi formami vznikl prostor pro ostění. Na jedné straně byly obě formy pevně spojeny betonovou deskou simulující předchozí prsteneček, na druhé straně bylo instalováno posuvné čílko, na které působilo tlakem celkem 10 lisů.

Test probíhal v souladu s reálným předpokladem. Na místo byl dovezen beton C 50/60 s ocelovou rozptýlenou výztuží z drátků profilu 0.8 mm a délkou 60 mm. Doprava z betonárny trvala asi hodinu, což odpovídá době dopravy do tunelu v reálu. Beton byl pumpou začerpán do prostoru mezi formami tlakem až 500 kPa. Dále se přistoupilo k zatížení betonu přes čílko. Měřily se síly v lisech a zatlačení čílka. Lisy byly zapojeny do dvou okruhů, takže byly vytvářeny i nesymetrické sestavy zatížení, což simuluje potřebu nerovnoměrného tlaku ke změně vektoru pohybu TBM. Podmínky experimentu byly nastaveny tak, aby co nejdříve odpovídaly realitě.

Experimentem se prokázal očekávaný proces vytlačování vody, a to již v době natlakování směsi čerpadlem na 500 kPa. Následovalo postupně narůstající plné zatížení všemi lisy po obvodě až na požadovanou hodnotu tlaku 4.5 MPa, která simuluje přítlak TBM na ostění. Tomu odpovídalo zatlačení čílka o 23 mm v dolní části prstence a 30 mm v horní části.

Následně se odlehčilo a zatěžovací schéma se upravilo tak, že v horních válcích byla jen třetina zatížení cca 1.5 MPa a v dolních válcích plný tlak 4.5 MPa. Tomu odpovídalo zatlačení čílka cca 25 mm po celém obvodě.

Po odlehčení se deformace ustálily na 18 mm (nahore) až 22 mm (dole).

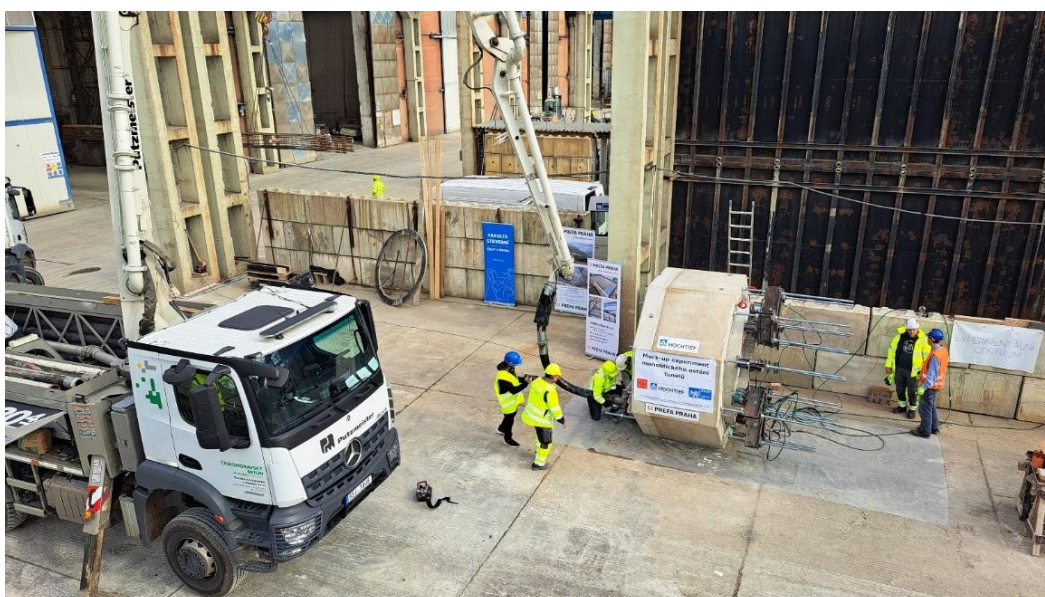
Test byl realizován dvakrát s velmi obdobnými výsledky. U prvního vzorku bylo odformováno čílko již cca po 1 hodině od zahájení zatěžování. Beton byl již velmi tuhý a bylo velmi obtížné jej z prostoru odstranit. Bylo k tomu zapotřebí použít sbíječku a zbytky rozplavit tlakovou vodou. Tím se prokazuje, že nehrozí riziko narušení betonu prstence při odstranění čílka.



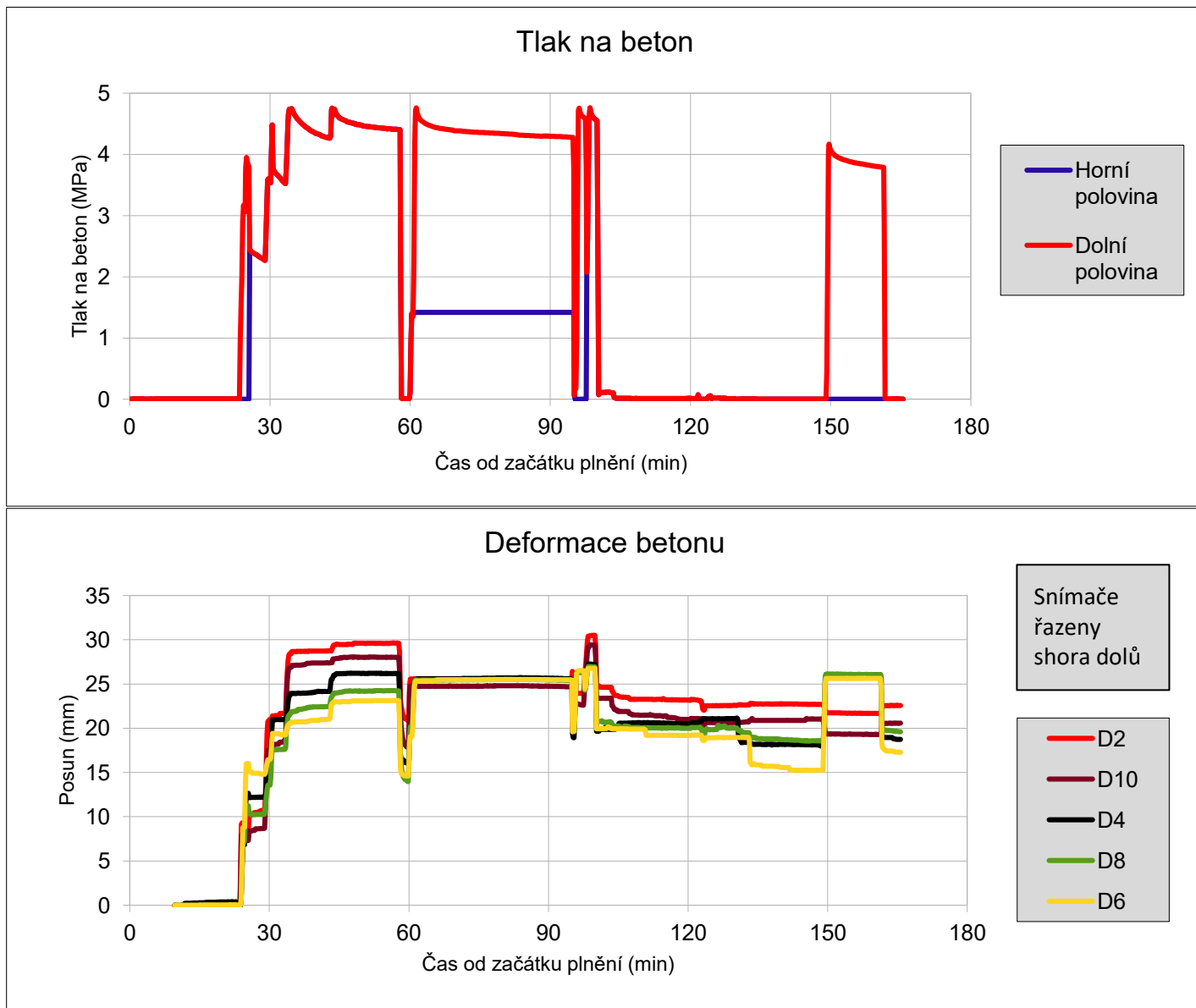
Obrázek 5: Vkládání čílka do připraveného modelu horniny a formy



Obrázek 6: Sestavený a instrumentovaný vzorek



Obrázek 7: Čerpání betonu do prostoru mezikruží tlakem až 500 kPa



Obrázek 8: Vývoj zatlačení čílka v čase. Čas 25-28 min postupný nárůst na plný tlak 4.5MPa, 60-95 min. dolní polovina tlak 4.5MPa, horní polovina tlak 1.5 MPa, 102-150 min úplné odlehčení.

5. ZÁVĚR

V rámci výzkumného projektu byla úspěšně ověřena technologie výroby monolitického ostění. Tato technologie není universální, není vhodná zejména do nestabilního prostředí, kde se užívají bentonitová TBM. Naopak je vhodná do soudržných zemin a měkkých i tvrdých hornin.

K hlavním výhodám monolitu patří:

- Eliminace výroby segmentů, skladových ploch a dopravy segmentů.
- Absence celé technologie injektáže za rub ostění.
- Omezení počtu spár v ostění, vytvoření spojitého jedolitého prstence, pouze s příčnými pracovními spárami mezi prstenci, které je možné těsnit běžnými prvky.
- Snížení tloušťky ostění v tom smyslu, že prostor na injektáž za segmenty se stává součástí ostění. Předpokládá se, že celková tloušťka monolitu bude větší než tloušťka segmentu, ale menší než tloušťka segmentů spolu s injektáží.
- Zcela se eliminuje riziko narušení ostění trhlinami přitlakem hnacích lisů stroje. Místo hotových segmentů se zatěžuje betonová směs a síla přitlaku se využívá k procesu zhutnění.
- Případné nadvýlomy se řádně vyplní kvalitním materiálem vpraveným pod vysokým tlakem.

Uvedené výhody vedou ke zvýšení výsledné kvality díla a rovněž k menší ekonomické náročnosti. V neposlední řadě mají i příznivý vliv na životní prostředí.

6. ŘEŠITELSKÝ TÝM

Dr. Ing. Petr Vítek – hlavní řešitel

Ing. Šárka Pešková, Ph.D. – spoluřešitel

Ing. Libor Mařík – člen řešitelského týmu

Prof. Ing. Vít Šmilauer, Ph.D. – člen řešitelského týmu

Ing. Pavel Růžička Ph.D. – člen řešitelského týmu

doc. Ing. Jan Valentin Ph.D. – člen řešitelského týmu

Ing. Marcel Jogl, Ph.D. – člen řešitelského týmu

Ing. Martin Válek Ph.D. – člen řešitelského týmu

Ing. Michal Mára Ph.D. - člen řešitelského týmu

Ing. Rostislav Šulc Ph.D. – člen řešitelského týmu

prof. Ing. Bc. Radoslav Sovják Ph.D., LL.M. – člen řešitelského týmu

Prof. Ing. Miroslav Petrtýl DrSc. – člen řešitelského týmu

prof. Ing. Petr Konvalinka CSc., FEng. - člen řešitelského týmu

Ing. Robert Coufal, Ph.D. – člen řešitelského týmu

7. PODĚKOVÁNÍ

Projekt „CK03000045 – implementace nové technologie monolitického ostění tunelů ražených TBM ve stavebním inženýrství“ je financován se státní podporou Technologické agentury ČR a Ministerstva dopravy ČR v rámci Programu 3.VS DOPRAVA 2020+.

Ověření navržené technologie proběhlo během mock-up experimentu, který byl realizován v závodě Prefa Praha, ve spolupráci společností HOCHTIEF CZ a.s., Fakulty stavební ČVUT v Praze, TBG METROSTAV, Ředitelství silnic a dálnic ČR a Ministerstva dopravy ČR.

Dr. Ing. Petr Vítek

HOCHTIEF CZ, Plzeňská 16/3217, 150 00 Praha 5, Česká republika

Petr.Vitek@hochtief.cz

Ing. Šárka Pešková, Ph.D.

ČVUT, Fakulta Stavební, Thákurova 7/2077, 166 29 Praha 6, Česká republika

Sarka.Peskova@fsv.cvut.cz