



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra Betonových a Zděných Konstrukcí

**APLIKACE TECHNOLOGIE STŘÍKANÉHO VLÁKNOBETONU
V KONSTRUKCÍCH PODZEMNÍCH STAVEB**

Doktorská práce o využití recyklovaného materiálu ocelových vláken
z pneumatik do stříkaného drátkobetonu

**APPLICATION OF FIBRE SCHOTCTRETE IN UNDERGROUND
STRUCTURES**

DISERTAČNÍ PRÁCE

Jan Sochůrek Ing. a.i.

Doktorský studijní program: STAVEBNÍ INŽENÝRSTVÍ

Studijní obor: Konstrukce a dopravní stavby

Školitel: doc. Ing. Jan Vodička, CSc.

Praha 2021



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta stavební
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

PROHLÁŠENÍ

Jméno doktoranda: Ing. Jan Sochůrek, a.i.

Název disertační práce:

Aplikace technologie stříkaného drátkobetonu v konstrukcích podzemních staveb

Prohlašuji, že jsem uvedenou disertační práci vypracoval/a samostatně pod vedením školitele Doc. Ing. Jana Vodičky, CSc..

Použitou literaturu a další materiály uvádím v seznamu použité literatury.

Disertační práce vznikla v souvislosti s řešením projektu:

V Praze dne 30. 10. 2020

_____ podpis

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval svému školiteli Doc. Ing. Janu Vodičkovi, CSc. za jeho vedení, cenné rady a přínosné poznámky k obsahu a zpracování dizertační práce.

Dále bych rád poděkoval Prof. Ing. Vladimíru Křístkovi, DrSC., Dr.h.c., FEng. za výzvu k uskutečnění externího doktorského studia, cenným radám k obsahu zkoumání a radám k obsahu práce a korekturám odborných publikací do časopisu Research Inventy (IJES).

Velké poděkování náleží kolegovi Ing. Lubošovi Musilovi za celkovou spolupráci při zajišťování zkoušení drátkobetonových zkušebních těles a jejich vyhodnocení. Děkuji také za jeho psychickou pomoc jako kolegy doktoranda.

Děkuji také Ing. Jaroslavu Zámyslickému ze společnosti EKAZ Praha, a.s., který mě inspiroval k využití ocelových drátků z pneumatik z Recyklace pneumatik pomocí ozonu na firemní lince Perpetis.

Významné poděkování patří manželce a mé rodině, která se mě snažila všemožně pomoci při zpracování mé dizertační práce.

V neposlední řadě bych rád poděkoval celému kolektivu katedry betonových a zděných konstrukcí, za pomoc při výrobě jednotlivých vzorků, jejich zkoušení, za technickou pomoc při přípravě a zkoušení vzorků.

ABSTRAKT

DOKTORSKÁ PRÁCE O VYUŽITÍ RECYKLOVANÉHO MATERIÁLU - OCELOVÝCH VLÁKEN Z PNEUMATIK DO STŘÍKANÉHO DRÁTKOBETONU

Předpokládané využití: PŘI REALIZACI RAŽENÝCH KOLEKTOROVÝCH TRAS

Anotace

Stříkaný drátkobeton (vláknobeton) je technologie, která se uplatňuje v podzemním stavitelství při budování provizorních a definitivních obezdívek menších tunelových profilů, která dovoluje vynechat klasickou měkkou výztuž svařovanými sítěmi a nahradit jí stříkaným drátkobetonem, kde získaná vlákna z recyklovaných pneumatik uspoří velkou část ceny takového betonu za m³.

První zařízení pro nástřik suchých betonových směsí bylo sestrojeno v roce 1907 v USA. Firma Cement-Gun Company si následně nechala patentovat anglický název „Gunité“ (stříkaná malta). Původně používaná směs se skládala z jemného kameniva a měla vysoký obsah cementu. V současné době užívaný název „stříkaný beton“ je obecně používán pro každou směs zahrnující cement a kamenivo, která je nanášena nástřikem. Původně bylo stříkání suchých směsí převládající technologií, avšak v poslední době stále více převažuje nástřik mokrou cestou. Ve stejném časovém období začalo také docházet k přechodu od manuálního způsobu nástřiku k automatickému stříkání pomocí manipulátorů. Od sedmdesátých let jsou také stále častěji přidávány do mokré směsi mikrosilika nebo vlákna. Dnes se provádí v celosvětovém měřítku přibližně 70 % všech stříkaných betonů technologií nástřiku mokrou cestou.

V ČR začala být více využívána nová rakouská tunelovací metoda (dále jen NRTM) až po roce 1989, kdy v tuzemsku nastal značný rozmach výstavby podzemních staveb. Narůstající počet podzemních konstrukcí realizovaných pomocí NRTM přirozeně souvisel se značným nárůstem využití mokrého stříkaného betonu a jeho ceny při použití tržních výrobků drátků.

Stříkané drátkobetony s vysokou pevností s využitím drátků získaných z recyklace starých pneumatik jsou předmětem výzkumu a řešení této doktorantské práce. Zejména bylo nutno nejdříve získat dostatečné množství recyklovaných pneumatik, ze kterých zbývá jen ocelová kostra, která je jinak původně výztuží v gumové hmotě

Aplikace technologie mokrého stříkaného vláknobetonu v konstrukcích primáru podzemních staveb.

pneumatik, zajišťuje jejich tuhost a odolnost proti nárazům a různým provozním stavům, které mohou vzniknout u provozu osobního automobilu. Kromě ocelových vláken se v pneumatice nacházejí i textilní vlákna, speciální pruhy pevné látky. Tato konstrukce je schována v gumové pneumatice. Zatím byly k dispozici pouze pneumatiky k osobním vozům a jsou různé velikosti a provedení desénu, jak letní tak zimní. Jedná se zásadně o odpadové pneumatiky, které byly již jako odpad získány společností EKAZ, s.r.o., která jako hlavní předmět podnikání má získávání gumy z pneumatik pomocí ozonového záření. Základní záměr výzkumu této práce je získání a využití vytěžených a délkově upravených vláken z těchto pneumatik.

Klíčová slova: Stříkaný vláknobeton, využití drátků z recyklovaných pneumatik, náhrada měkké výztuže, ražený kolektorový profil, dělení a délková úprava ocelových drátků, využití druhotné suroviny vysoko pevnostních vláken z pneumatik.

ABSTRACT:

Technical infrastructure regeneration by means of installation of utilities in underground services ducts. Description of difficult conditions of urban area for location and construction of driven routes and cut and cover objects. Construction in the environment with concentrated services, buildings and municipal transport. Difficult geological and hydrogeological conditions (cohesionless soils). Application of fibre shotcrete in underground structures with fiber from recycling tyres.

OBSAH

PODĚKOVÁNÍ	1
ABSTRAKT	4
1. CÍLE PRÁCE	7
2. KONCEPCE ŘEŠENÍ KOLEKTOROVÝCH SYSTÉMŮ V CENTRÁLNÍ ČÁSTI HLAVNÍHO MĚSTA PRAHY	8
3. KOLEKTORY 2. KATEGORIE	9
4. KOLEKTORY 3. KATEGORIE	9
4.1 LIMITUJÍCÍ FAKTORY PRO NÁVRH VEDENÍ KOLEKTOROVÝCH TRAS	11
4.2 NAVRHOVANÉ ZPŮSOBY PROVÁDĚNÍ SDRUŽENÝCH TRAS.....	12
4.3 ZÁKLADNÍ POJMY MOKRÉ BETONOVÉ SMĚSI S DRÁTKY	23
4.4 BETONOVÁ SMĚS PRO MOKRÝ STŘÍKANÝ BETON	25
4.5 ZÍSKÁNÍ OCELOVÝCH DRÁTKŮ Z DRUHOTNÉ RECYKLACE PNEUMATIK	28
4.6 NÁVRH SMĚSI PRO STŘÍKANÝ MOKRÝ BETON	34
4.7 EXPERIMENTÁLNÍ ZKOUŠENÍ BETONOVÉ SMĚSI	35
4.8 MATEMATICKÉ ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ LABORATORNÍCH ZKOUŠEK	48
4.9 VZOROVÝ KONSTRUKČNÍ PŘÍČNÝ ŘEZ HLAVNÍ KOLEKTOROVOU TRASOU POD UL. ČESKÁ V BRNĚ	52
4.9 POROVNÁVACÍ STATICKÝ VÝPOČET REÁLNÉHO KOLEKTORU v Brně, ulice Česká	57
5.0 STATICKÝ VÝPOČET PRIMÁRNÍ OBEZDÍVKY HLAVNÍ KOLEKTOROVÉ TRASY (3,92x5,24 m)	59
Zatížení kolektorové trasy.....	60
Ražba tohoto kolektorového profilu se předpokládá členěná na dílčí etapy. Výsledné posouzení náhrady navrhovaného ostění bude řešeno až v případě celého neděleného profilu. Posouzení primárního ostění hlavní kolektorové trasy – 1. etapy (1. dílčí výrub):.....	61
Posouzení primárního ostění hlavní kolektorové trasy – 2. etapy (2. dílčí výrub).....	64
Posouzení primárního ostění hlavní kolektorové trasy – 3. etapy (plný profil)	66
Závěr parametrické studie provedené na primárním ostění – vyhodnocení únosnosti ostění.....	70
5.1 VÝSLEDNÉ POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ PŘEDCHOZÍHO VÝPOČTU S VÝSLEDKY ZJIŠTĚNÝMI ZKOUMÁNÍM STŘÍKANÉHO DRÁTKOBETONU (SB) S POUŽITÍM RECYKLOVANÝCH DRÁTKŮ Z PNEUMATIK	70
5.2 POROVNÁNÍ VÝSKEDNÝCH HODNOT VYPOČTENÉHO SKUTEČNÉHO NAPĚTÍ ÚNOSNOSTI NAVRHOVANÉ KOLEKTOROVÉ OBEZDÍVKY KOLEKTORU V ČESKÉ ULICI V BRNĚ S VÝSLEDKY ZKOUŠENÍ DRÁTKOBETONOVÉ SMĚSI PRO MOKRÝ SB.....	72
5.3 ZÁVĚREČNÉ HODNOCENÍ A MOŽNOSTI DALŠÍHO POKRAČOVÁNÍ VÝZKUMU	73
5.4 LITERATURA	78

1. CÍLE PRÁCE

V Praze a České republice bylo v posledních 50 letech postaveno mnoho kilometrů kolektorových tras (do současnosti je to celkem v Praze 95 km, z toho ražených 20 km v centru Prahy), které díky své koncepci a vzniklé legislativě patří k jednomu z technicky nejdokonalejších na světě. Podstatnou předností kolektorových tras je předcházet nenadálým škodám způsobeným výkopovými pracemi, čímž je zvyšována bezpečnost před následky náhlých havárií, jako např. výbuchu plynu, porušení vodovodního potrubí, atd. Sítě je možno průběžně sledovat, vizuálně kontrolovat, a tak předcházet výše uvedeným haváriím, což uložení v chodníku nebo vozovce neumožňuje. Sledování provozu kolektoru je jednoduché pomocí počítačové techniky propojené s moderními monitorovacími systémy nepřetržitě 24 hod.

Toto vše včetně skutečnosti, že práce při stavbě probíhají převážně v podzemí jako ražené dílo bez dopadu na povrch a na provoz, má kladný vliv nejen na životní prostředí, ale i na život obyvatel města. Prospěšnost kolektorů, které znamenají z počátku (na první pohled) vysoké investice, je během času rychle potvrzena komerčním využitím místa v kolektoru, což bylo prakticky prokázáno na již realizovaných stavbách kolektorů v Praze. Důležitým prvkem pro rozvoj kolektorové sítě je uvažovaný systém a výhledový záměr celé sítě kolektorů, podle kterého se jednotlivé úseky dají finančně plánovat a po realizaci pak uvádět do samostatného provozu. Tímto plánovacím dokumentem byl v minulosti „Generel kolektORIZACE centrální oblasti Prahy“ (vydán v roce 1982, další v roce 1984 a poslední v roce 1991), dle něhož bylo v minulosti realizováno několik kolektorů 2. a 3. kategorie. Pro plánování rozvoje kolektorové sítě na další období, která jsou stanovena do roku 2010 a po roce 2021, by měla sloužit vypracovaná plánovací dokumentace kolektorové sítě, která je součástí „Urbanistické studie pražské památkové rezervace“ a ta je i podkladem územního plánu této oblasti, případně slouží jako podklad i pro regulační plány dílčích městských částí. Další etapa studie kolektORIZACE v rozšířené oblasti i do městských částí mimo hranice pražské památkové rezervace byla dokončena a předána v listopadu 2015. Jedná se o nový dokument, který doplňuje územní plán kolektorové sítě z roku 1999 o nové rozvojové oblasti.

Při realizaci této popisované kolektorové sítě při ražbách pod centem měst se používal stříkaný beton ze suché směsi betonu + síťová výztuž pro ostění

Aplikace technologie mokrého stříkaného vláknobetonu v konstrukcích primáru podzemních staveb.

kolektorových profilů, tak jsem již dříve přemýšlel o možnosti zjednodušení a zkvalitnění této metody. Cílem této dizertační práce je navrhnout a využít nový zdroj velmi kvalitních a cenově velmi levných vláken použitelných do stříkané mokré směsi vláknobetonu. Předpokladem tohoto průkazu je vyšetřit materiálové vlastnosti zkoumaného betonu s rozptýlenou drátkovou výztuží, jako náhradu vyztužení provizorních obezdívek ražených kolektorů. Využití stříkaného drátkobetonu (vláknobetonu) technologií mokré směsi, která by nahradila dosud používané svařované sítě měkké výztuže, vkládané do výrubu s příhradovými bretexovými rámy. Jedná se o rámy, které oproti původním, tvořeným ocelovým korýtkovým profilem, jsou nahrazeny svařovanými profily betonářské výztuže. Jejich nosnost je aktivována až po zastříkání betonem. Předností tohoto řešení by bylo, že bude beton nanášen plnoplošně přímo na povrch výrubu raženého profilu. Tato disertační práce má prokázat vlastnosti takto navržené betonové směsi, které je možno přísadami upravovat vlastnosti vhodné do podzemí, významnou redukcí spadu materiálu při stříkání a přilnavost na mokrý povrch skály. Zkouškami a dalším šetřením prokázat na vzorcích vlastnosti a propočítat únosnost ostění kolektoru.

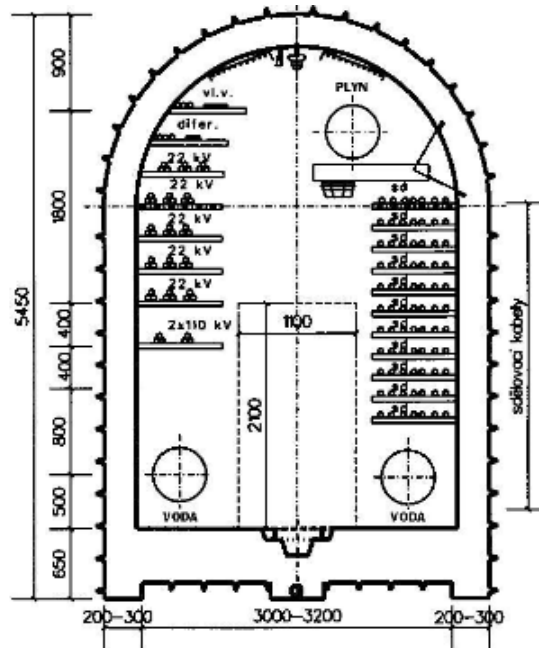
2. KONCEPCE ŘEŠENÍ KOLEKTOROVÝCH SYSTÉMŮ V CENTRÁLNÍ ČÁSTI HLAVNÍHO MĚSTA PRAHY

Koncepce kolektorových systémů v centrální části Prahy je založena s ohledem na rozlohu předmětného prostoru, to jest na principu uložení sítí podle toho, zda mají význam pro celou centrální část, nebo pouze pro úzce vymezenou oblast. Jedná se o dva typy rozvodů, z nichž první slouží pro přivedení média nebo informační cesty do centrální oblasti a rozvedení do uzlových bodů a druhý pro přímý rozvod ke konkrétním odběratelům či klientům do jednotlivých nadzemních objektů. Prvně uvedené sítě jsou vlastně páteřními systémy 2. kategorie. Druhou skupinu tvoří rozvody z těchto napojení zajišťující zásobování nebo spojení konkrétních odběratelů a účastníků. Jedná se tedy o sítě 3. kategorie. Podle tohoto klíče je řešena i koncepce kolektorové sítě s tím, že i označení kolektorů je odvozeno od uložených sítí a rozeznáváme tedy:

- Kolektory 2. kategorie – páteřní
- Kolektory 3. kategorie – distribuční

3. KOLEKTORY 2. KATEGORIE

Tyto páteřní kolektory jsou situovány do hloubek cca 25 až 30 m pod upraveným terénem, tedy jejich trasy nekolidují s úložnými systémy inženýrských sítí a je možno navrhnut co nejpřímější propojení jednotlivých bodů, které určují kudy je třeba dílo vést s potřebou dopravit tam média nebo zajistit spojové a inf. cesty.



Obr. 1 Vzorový příčný řez kolektorem 2. kategorie - typ A.

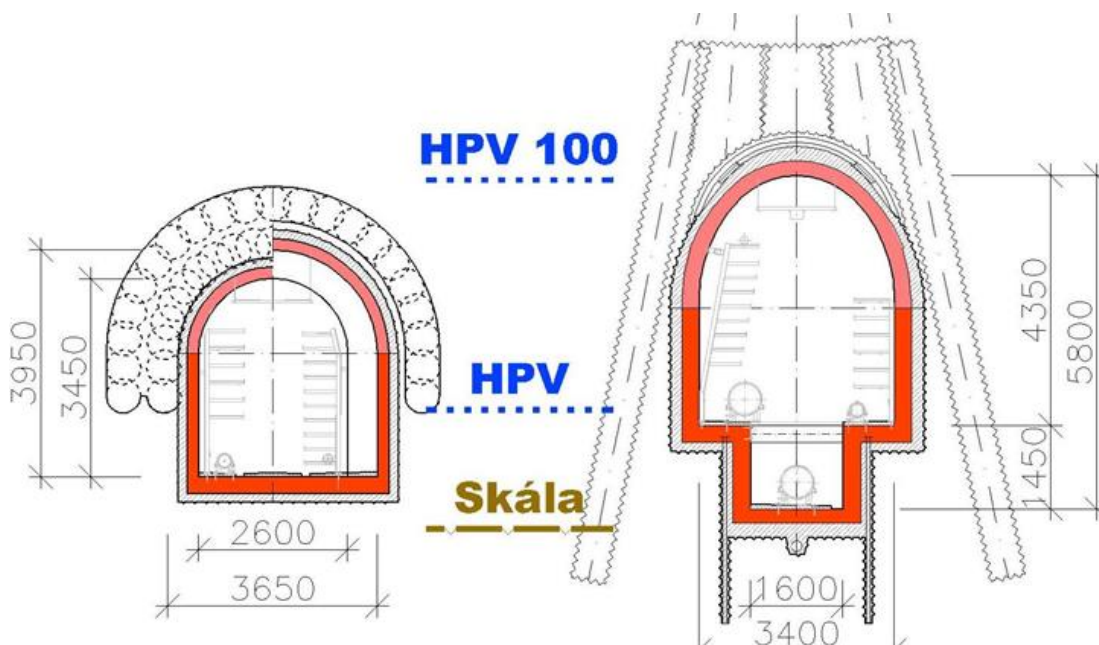
Vstupy a výstupy sítí na tomto systému jsou řešeny pomocí šachet, které je spojují buď přímo s povrchem, nebo s kolektorem 3. kategorie, často pak povrch s oběma kolektory současně. Posledně jmenované řešení je výhodné hlavně proto, že sdružuje dopravní a únikové cesty obou systémů.

4. KOLEKTORY 3. KATEGORIE

Kolektory 3. kategorie, tedy distribuční sloužící pro rozvedení sítí do povrchových objektů, jsou situovány do hloubek cca 6 až 11 m. Limitující provolbu založení stavby jsou hlavně průběhy stávajících stokových sítí, kanalizačních

Aplikace technologie mokrého stříkaného vláknobetonu v konstrukcích primáru podzemních staveb.

rozvodů, vč. přípojek a tvárniceových tratí sdělovacích a informačních systémů. Podle konfigurace povrchové zástavby a požadavků na četnost ukládaných sítí se zřizuje buď jeden kolektor s oboustrannými přípojkami, nebo kolektory dva, každý při jedné čáře zastavění s jednosměrnými přípojkami. Navíc se pak realizují příčná propojení obou souběžných kolektorů 3. kategorie z důvodu nutného dílčího zokruhování některých inženýrských sítí. Vstupy a výstupy sítí jsou řešeny tak, jak je uvedeno v předchozí kapitole s tím, že je snahou navrhovatele trasy zajistit průchozí propojení i mezi sousedními stavbami kolektorů jak 2., tak 3. kategorie. Pokud toto nelze řešit průchozím profilem s požadovanou světlostí pro pohyb osob, řeší se takový propoj systémem sestavy chrániček umožňujících alespoň průchod sítí, týká 3. kategorie. Spojení kolektorů 3. kategorie s objekty na povrchu je řešeno tak, že z kolektorové přípojky jsou provedeny vrty, které podle cílového místa, kde má síť přejít k odběrateli nebo účastníkovi, směřují do suterénů, do průjezdu, nebo před objekt do chodníku.



Obr. 2 Vzorové profily kolektorů 3. kategorie pod Václavským Náměstím.

4.1 LIMITUJÍCÍ FAKTORY PRO NÁVRH VEDENÍ KOLEKTOROVÝCH TRAS

Limitující faktory, které zásadně ovlivňují jednak směrové vedení, jednak výškové vedení tras kolektorů 3. kategorie, lze rozčlenit do následujících okruhů problematik:

- uspořádání technologických profilů sdružené trasy podle problémových nároků na počet uložených sítí,
- velikost výrubu tunelu a jeho zajištění podle technologie ražby a skladby ostění tunelu,
- vliv přilehlé zástavby (charakter objektu, hloubka založení, celkový statický stav),
- vliv stávajících inženýrských sítí (hustota uložení, stav, event. přeložitelnost),
- nároky na řešení místních komunikací a zachování dopravy na povrchu vč. městské hromadné dopravy,
- geologické a hydrogeologické poměry,
- statické aspekty – přípustné deformace na okolní zástavbě a sítích v nadloží, vliv výstavby na zástavbu a provoz města,
- vliv výstavby na životní prostředí,
- koordinace se stavbami jiných investorů, uvážení možnosti sdružených investic v podzemí,
- prognóza urbanistických záměrů v území (včetně prognózy rozvoje inženýrských sítí),
- investiční náročnost, časová a materiálová náročnost.

Ze srovnání těchto kritérií vyplývá zásadní rozdíl mezi podmínkami pro návrh kolektorů 2. a 3. kategorie. Pro kolektory 2. kategorie, zpravidla uložené a ražené v přímých trasách a ve větších hloubkách ve skalním podloží, se prakticky neuplatní vliv stávajících sítí a provozu města. Limitující faktory vedení tras se redukuje na podmínky omezení vlivu ražby na deformace povrchu a zástavby, které však mohou být ve srovnání s kolektory 3. kategorie rozsáhlejší a s dalekosáhlými negativními důsledky. Výjimkou je pouze vyústění hloubených šachet na povrch, kde je kontakt s

Aplikace technologie mokrého stříkaného vláknobetonu v konstrukcích primáru podzemních staveb.

provozem města a sítěmi bezprostřední a plně odpovídá limitujícím faktorům kolektorů 3. kategorie.

4.2 NAVRHOVANÉ ZPŮSOBY PROVÁDĚNÍ SDRUŽENÝCH TRAS

Řešené území zahrnuje Starého Město, Nového Město, Malou Stranu a část Smíchova. Kolektory jsou nadále zařazovány dle účelu, jak bylo již uvedeno do dvou kategorií:

KOLEKTORY 2. KATEGORIE

Jsou navrhovány ražené pomocí frézy (např. Eikhof), nebo pomocí klasické metody trhacích prací a členěného výrubu. Ražba probíhá převážně ve skalním podkladu geologických vrstev pražského algonkia. Vyztužení díla se realizovalo dle podmínek Nové rakouské tunelovací metody (dále NRTM) s plným využitím důlních rámců, stříkaného betonu ze suché směsi a prefabrikované betonářské výztuže. Definitivní konstrukce kolektoru je tvořena také stříkaným betonem s přísadami zajišťujícími vodotěsnost. V podlaze kolektoru jedle ČSN 73 7505 osazena ocelová kolejová drážka pro usnadnění pohybu, montáží a revizí v kolektoru. Parametry sklonu kolektorové trasy se navrhuje tak, aby bylo možno gravitačně všechny trasy odvodnit směrem k šachtě J 50 na Staroměstském náměstí. Inženýrské sítě ukládají dle již dříve úspěšně vyzkoušených zvyklostí z realizovaného kolektoru Centrum I, i v jiných městech, např. kolektorů v Brně, Jihlavě, Ostravě a Českém Krumlově.

Kolektor 2. kategorie je podzemní liniová stavba, která svým uspořádáním včetně všech doplňujících objektů zpravidla ovlivňuje širší okolí. Proto pro výběr směrového a výškového vedení tras kolektoru nelze rozhodovat pouze z jediného hlediska, byť případně i optimálního z pohledu navrhovatele či realizátora nebo provozovatele. Výsledné řešení musí splňovat celou řadu určujících a hodnotících kritérií, které je třeba při koncepci vedení trasy komplexně zvážit a s určitým kompromisem optimalizovat. Hlavní technické řešení je navrhováno pomocí NRTM. Technologie ražby vycházejí z příznivých zkušeností s aplikací použitých technologií na

Aplikace technologie mokrého stříkaného vláknobetonu v konstrukcích primáru podzemních staveb.

předchozích trasách kolektorů 2. kategorie budovaných v centru Prahy, s plným využitím úspěšných zkušeností s Novou rakouskou tunelovací metodou (dále NRTM) aplikovanou v Praze pro nejrůznější podzemní stavby podobného charakteru jako tento kolektor. Takto byly bezproblémově zhotoveny kilometry ražených tras pro kolektorový systém C I. Při výstavbě bylo dosaženo příznivých výsledků ve vývoji deformací, kde z počátečních hodnot deformací 10 – 15 mm na úrovni terénu se pro poslední trasy a úseky hodnoty snížily hluboce pod hranici 10 mm. Příznivý byl i rozvoj poklesové zóny, která vykazuje relativně užší půdorysné pásmo oproti teoretickým předpokladům stanoveným ze zálomového úhlu. Pro charakteristický řez hlavní trasy bylo jako výchozí zatížení použito zatížení stanovené pro provizorní ostění. To bylo stanoveno z vytvořené horninové klenby v nadloží tvořeného nevětralými skalními horninami dle teorie Terzaghiho (vývoj klenby v horninovém masivu) redukujících plnou tíhu. (pro srovnání užito i teorie Bierbaumera dávající pro zastižené uspořádání příznivější hodnoty). Přetížení povrchu silniční dopravou kategorie A bylo zohledněno náhradním zatížením $15 \text{ kN} / \text{m}^2$. Vliv základů zástavby byl uvažován v osově 8 m vzdálenosti průčelí od osy raženého díla.. Svislá hodnota provozního zatížení čelby se pohybuje v oboru 450 – 550 kN/bm čelby. Pro roznesení tohoto zatížení jako jednostranného bočního přetížení ostění byla uplatněna teorie pružného poloprostoru s využitím koncentračního faktoru.

Pro návrh výztuže definitivního ostění byly stanoveny vnitřní síly na vyšetřované definitivní konstrukci vycházející z logické úvahy funkce primárního pružného ostění, které již vytvořilo nový rovnovážný stav v napjatostních poměrech horninového masivu při vývoji příslušných deformací masivu i ostění. Tento nevratný jev, jakož i funkčnost provizorního ostění po celé stávající stavební stadium dává možnost předpokladu redukce deformací, které vzniknou na definitivním ostění vlivem reologie zatížení. Z toho je vyvozena hypotéza procentuální redukce zatěžovacích účinků uvažovaných na provizorní ostění. Na takto redukované zatížení je vyšetřováno definitivní ostění. Samostatnou složkou zatížení je opět hydrostatický tlak na celý profil vč. desky dna a spodní část stěn, který nemůže být redukován. Tento tlak je závislý na těsnosti ostění proti vodě. V minulosti se s výhodou tento vliv téměř zrušil povolením přítoku podzemní vody do profilu kolektoru do výše 1l/sec.

Zájemným typem ostění, které bylo zkoumáno touto dizertační prací, je provizorní ostění, (dále jen Primér), které zajišťuje stabilitu výrubu ihned po vyražení potřebného profilu kolektoru. Původní řešení spočívalo v tom, že byly do výrubu

Aplikace technologie mokrého stříkaného vláknobetonu v konstrukcích primáru podzemních staveb.

postaveny výztužné rámy po vzdálenostech, které zabezpečily stabilitu výrubu. Za ně se zatahovala svařovaná síťovina, která se zachytila trny do hory, aby bylo zajištěno krytí výztuže a provedl se první nástřik betonu. Používala se doposud technologie suchého stříkaného betonu, který se vlhčil vodou až ve stříkací pistoli. Potom se zatahovala ještě jedna vrstva svařované sítě. Počet těchto vrstev se řídil stabilitou výrubu. Po zastříkání této vrstvy byl primér jediným ostěním, v nouzi i na dobu jednoho roku. Primární ostění má povoleny vlasové trhliny a tím i průsak vody do díla. Využití vláken z recyklovaných pneumatik navrhuji využít jako plnohodnotnou náhradu vkládaných svařovaných sítí měkké výztuže. Provedení stříkaného mokrého betonu s vlákny, minimálním spadem při stříkání by ve stejné konstrukční tloušťce vytvořil nový kvalitní primér.



Obr. 3 Pohled do výrubu kolektoru 2. kategorie, ražba výložníkovou frézou, rámy + stříkaný beton



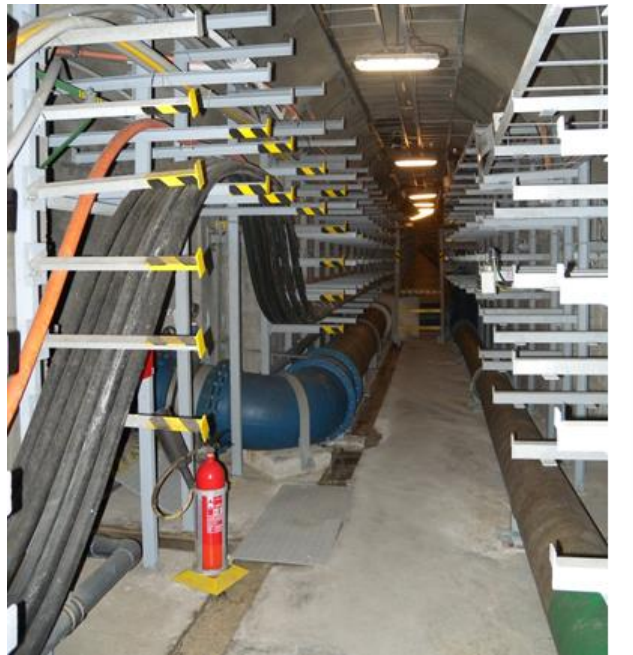
Obr. 4 Výsledný profil kolektoru 2. kategorie + kolejová dráha a uloženými sítěmi technického vybavení kolektoru.

KOLEKTORY 3. KATEGORIE – DISTRIBUČNÍ

Kolektory 3. kategorie jsou navrhovány ražené klasicky, ražba pomocí mechanizace s prefabrikovaným ostěním se po mnoha pokusech v minulosti neosvědčila. Pro nové trasy kolektorů 3. kategorie lze proto využít zkušeností z realizace kolektoru C1A a kolektoru Příkopy, kde bylo docíleno v samotném centru města v extrémně složitých geologických podmínkách vltavské terasy výborných výsledků díky prstencové metodě, která byla realizována při realizaci metra ve Vídni v kombinaci s metodou NRTM. Příklady z realizace:



Obr. 5 Fotografie z realizace kolektoru Na Příkopech – výstavba.



Obr. 6 Fotografie hotového kolektoru Na Příkopech - definitivní stav.

V rámci geotechnického monitoringu byla převážná většina naměřených hodnot poklesů nadloží do max. hodnoty 4 mm. Ražba v úrovni pod kanalizací, tj. nadloží cca 10 a více m ve zcela nesoudržných jemných pískách vltavské terasy, je navrhována s primárním zajištěním nadloží pomocí dopředně injektovaných pilířů tryskové injektáže, (Prstencovou metodou). Vlastní ražba je navrhována klasická v důlních rámech nebo příhradové výztuži a s ostěním z vyztuženého stříkaného betonu. Definitivní konstrukce je ze stříkaného betonu jako u kolektorů 2. kategorie. Domovní přípojky jsou navrženy ražené „dovrchně“ kolmo na líc domů. Z konce přípojky se navrhuje „dovrchní“ vystrojené vrty pro jednotlivá média. Mělce navržené trasy jsou raženy klasickým způsobem s vyztužením důlními profily a hnaným pažením s ocelovými pažinami. Definitivní ostění se navrhuje ze stříkaného nebo monolitického betonu, přípojky k domům jsou navrhovány také až na líc zdíva suterénu. Z přípojek se provádějí vystrojené vrty do míst napojení inženýrských sítí.

Provizorní ostění není uvažováno jako staticky spolupůsobící, neboť jeho konstrukční uspořádání (zejména nechráněná příhradová důlní výztuž vůči rubu kolektoru a korozivním vlivům horninového prostředí včetně vlivu podzemní vody v profilu) nezajišťuje požadovanou životnost kolektoru jako celku, musí ale přenést celkové zatížení nadloží a boků profilu během celé doby stavby. Pro výpočet

Aplikace technologie mokrého stříkaného vláknobetonu v konstrukcích primáru podzemních staveb.

provizorního ostění (priméru) se ve stavebním stadiu budování jednotlivých záběrů nově v této disertační práci navrhuje využití stříkaného betonu z mokré směsi s drátkovou výztuží do příhradových min. tříprutových ráků s obchodním názvem Bretex a vloženými 2 vrstvami stříkaného drátkobetonu místo dříve navrhovaných měkkých výztuží ze svařovaných sítí jako úsporného řešení využívajícího ocelová vlákna z recyklovaných pneumatik, (Hlavní předmět této dizertační práce).

Provizorní ostění návrh využití výsledků tohoto zkoumání

Toto ostění by se navrhovalo ze stříkaného drátkobetonu (beton C20/25 užití směsí ze struskoportlandského cementu s doplňujícími přísadami zvyšujícími vodotěsnost a zpracovatelnost) stříkanou do výrubu jako maximálně kontaktní ostění přes příhradové ocelové rámy. Vláknobeton s využitím recyklovaných drátků, bude zastříkán do předního líce příhradových ráků. Kromě ražeb pomocí NRTM je stříkaný beton využíván jako hlavní konstrukční materiál pro dočasné zajištění výrubu i při ražbách pomocí ostatních konvenčních metod, v některých případech je využíván také při mechanizovaných ražbách pomocí tunelovacích strojů (TBM). Stříkaný beton je v některých případech využíván i jako konstrukční materiál definitivního ostění, což obecně přináší podstatné zvýšení nároků na kvalitu a zejména životnost nastříkaného betonu. Tento materiál je možné využít i pro další účely (zajištění stability svahů a stěn, sanace, atd.).

Statické výpočty ostění ze stříkaného vláknobetonu:

Tunelové ostění ze stříkaného betonu je stavební konstrukcí, která je charakterizována některými skutečnostmi, které se u jiných stavebních konstrukcí vyskytují jen velmi vzácně. Těmito skutečnostmi jsou specifické zatížení, jeho proměnnost v čase, velmi časná vystavení konstrukce účinkům zatížení a v neposlední řadě i použití technologie nástřiku, kterou je tunelové ostění zhotoveno. Každá z těchto okolností má bezprostřední dopad na návrh a posouzení této konstrukce. Konstrukce tunelového ostění je zatížena působením horninového masivu, který s konstrukcí bezprostředně sousedí. Horninový masiv se po velmi dlouhou dobu nacházel ustáleném rovnovážném stavu napjatosti. Výstavba tunelu

Aplikace technologie mokrého stříkaného vláknobetonu v konstrukcích primáru podzemních staveb.

znamená narušení původního rovnovážného stavu, přeskupení napětí v horninovém masivu a vytvoření horninového rovnovážného stavu mezi zatížením a reakcí ostění. Nová rakouská tunelování metoda (NRTM) využívá samonosných vlastností horninového masivu, ostění ze stříkaného betonu je zatíženo pouze částí tíhy nadloží, nad tunelem se vytvoří horninová klenba, nebo právě u kolektorů 3. kategorie se muselo počítat s plným nadložím bez vytvoření klenby a dokonce i se zatížením povrchu nad kolektorem, viz příložené ruční výpočty.

V současné době jsou výpočty primárního ostění ze stříkaného betonu zpravidla prováděny pomocí numerických metod pro výpočet kontinua (metoda konečných prvků, metoda konečných diferencí, metoda hraničních prvků, metoda oddělených prvků). Z těchto metod je pro zmíněný účel většinou používána metoda konečných prvků (MKP). Vzhledem ke komplexnosti problému jsou statické výpočty primárního ostění ze stříkaného betonu značným zjednodušením skutečnosti. Proto je kromě kvalitních vstupních údajů velmi důležitá zkušenost statika. Základní statické výpočty jsou zpravidla dvourozměrné. Pokles napjatosti horninového masivu v prostoru před čelbou a vytvoření horninové klenby nad tunelem je zpravidla simulováno pomocí tzv. relaxace: nevystrojený výrub je zatížen částí napjatosti horninového masivu, ostění je následně zatíženo zbytkem zatížení po přeskupení napjatosti v horninovém masivu. Do výpočtu je třeba zahrnout jednotlivé kroky výstavby, které mají vliv na napjatost horninového masivu. Tuhost primárního ostění v jednotlivých krocích by měla korespondovat s realitou.

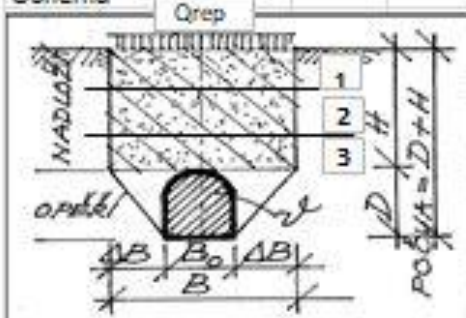
Jako příklad jak jsem počítal tyto profily kolektorů 3. kategorie v minulosti, uvádím původní excelový statický výpočet obezdívky kolektoru v prostředí zemin. Tyto programy byly vytvořeny na koleně s pomocí excelu a v té době hodně pomáhaly s poměrně přesnými výsledky. Omlouvám se za horší kvalitu, ale příklad stanovení zatížení a deformace nadloží a výpočtu statických hodnot jsem získal jako vystřižení a úprava obrázku v programu Word:

AKCE:	
Posuzovaný profil	
Návrh ostění	PROVIZORNÍ - PRIMÁRNÍ OSTĚNÍ

B 1 VSTUPNÍ UDAJE - GEOMETRIE A GEOLOGIE

Předpoklad zastiženého prostředí bez účinků podzemní vody. Při případném výskytu zvodněných vrstev bude HPV při ražbě a budování provizorního ostění snižována čerpáním.

Schéma



Zadávané parametry

Zadáni geometrie

šířka tunelu	B_0 (m)	4,00
výška tunelu	D (m)	4,50
tloušťka ostění	d (m)	0,15
hloubka počvy	Z (m)	14,50
výška nadloží	H (m)	10,00

Zastižené prostředí v okolí výrubu :

■ ZE - zeminy a polaskalní horniny	
■ SH - skalní horniny	ZE

GEOLOGICKÝ PROFIL

primární $\gamma_e = 1,1$

NADLOŽÍ TUNELU			úroveň		mocnost	obj. hm.	tíha vrst.	návrhová
Vrstva	popis vrstvy	zařídění	povrch (m)	základ (m)	h_i (m)	G (kN/m ³)	$G_v \cdot h_i$ (kN/m ²)	G_d (kN/m ²)
1	navážky	Y	0,0	4,0	4,00	19,0	76,0	20,9
2	pisky	S	4,0	8,0	4,00	20,0	80,0	22,0
3	pisky a štěrky	S + G	8,0	10,0	2,00	21,0	42,0	23,1
Součtové, resp. průměrné hodnoty vrstev nadloží					10,00	19,8	198,0	21,8

OPĚŘÍ TUNELU

uvažováno jako kvazihomogenní prostředí

D	štěrky	G	10,00	14,50	4,50	21,0	94,5	23,1
---	--------	---	-------	-------	------	------	------	------

GEOTECHNICKÉ PARAMETRY

$\gamma_m = 1,25$

NADLOŽÍ (m)		10,00	deformační		parametry smykové pevnosti					
vstupní hodnoty			charakteristické		charakteristické			návrhové		
vrstva	zařídění	h_i (m)	E _{def} (MPa)	ν	c_k	c_k (kN/m ²)	$\tan \phi_k$	$\tan \phi_d$	ϕ_d	c_d (kN/m ²)
1	Y	4,00			30	0	0,577	0,462	24,8	0
2	S	4,00			35	0	0,700	0,560	29,3	0
3	S + G	2,00			38	0	0,781	0,625	32,0	0
Průměrné hodnoty			0	0	33,7		0,667	0,534	28,1	

OPĚŘÍ TUNELU

uvažováno jako kvazihomogenní prostředí

D	G	4,50	100	0,25	38	0	0,781	0,625	32,0	0
---	---	------	-----	------	----	---	-------	-------	------	---

Obory parametrů opěří

E _{def} (MPa)	min	max

Nejdříve je nutno vyhodnotit parametry deformačních a smykových vlastností reálné vrstev nadloží kolektorového tunelu. Omlouvám se za přehlednost tabulky, ale musel jsem využít pomoci výstřižku.

STATICKÝ VÝPOČET PRIMÁRNÍHO OSTĚNÍ

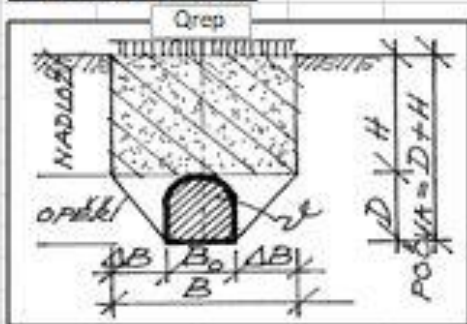
Ize použit pro stanovení extrémů vodorovného zatížení při $\gamma_{bl} = 1$	σ_r	(°)		
Koeficient lažnosti, modul reaktce prosředí	zkušební	k_{osk}	MN(m3)	

B 2 SVISLE ZATÍZENÍ
SVISLÝ HORNINOVÝ TLAK

Stanovení redukovaného zatížení plné tíhy nadloží dle Terzaghiho

Zmenšení plné tíhy nadloží přitížení povrchu o účinky tření na bocích horninového bloku

Schéma konstrukce



Geometrie

dle předchází strany		
šířka tunelu	B_0 (m)	4,00
výška tunelu	D (m)	4,50
hloubka počvy	Z (m)	14,50
výška nadloží	H (m)	10,00

Stanovení horninového bloku

opěři - úhel ϕ_k	(°)	38,0	
úhel $\theta = (45 - \sigma_{rk} / 2)$	(°)	28,0	
rozšíření $\Delta B = D \cdot \text{tg } \sigma_r$	(m)	2,2	
šíře horninového bloku	$B = B_0 + 2 \cdot \Delta B$	(m)	8,4
zatížení dopravou Q_{dov}	(kN/m ²)	20,0	

Přitížení povrchu terénu nahodilým zatížením

Svislé zatížení dle Terzaghiho

$$q_s = \frac{B(\gamma - \frac{2c}{B})}{2K \cdot \text{tg } \phi} (1 - e^{-K \cdot \text{tg } \phi \cdot \frac{2H}{B}}) + Q \cdot e^{-K \cdot \text{tg } \phi \cdot \frac{2H}{B}}$$

Pomocné veličiny výpočtu redukovaného svislého zatížení nadloží
 průměrné hodnoty vrstev nadloží (dle předchází str.) →

			$\tan \sigma_{rk}$	c	γ	ν
	plné nadloží (kN/m ²)	198,0	0,687	0	19,8	0,30
koeficient K	$= \frac{c}{(1 - \nu)}$	0,429				
exponent e	$= -K \cdot \text{tg } \sigma_r \cdot 2H / B$	-0,682		a - exponens		0,506
	číslel	166,1		jmenovatel		0,572
Svislé zatížení od zeminy (kN/m ²)	F_G	143,55	(odpovídá	72,5	% plného nadloží)	
Svislé zatížení od přitížení povrchu	F_Q	10,11	(odpovídá	50,6	% povrch. zatížení)	
Celkem svislé zatížení (kN/m ²)	q_s	153,7				

Návrhové hodnoty pro zatížení stálé a proměnné

Výběr návrhových koeficientů γ_F podle způsobu stanovení zatěžovací výšky nadloží

<ul style="list-style-type: none"> plné výška nadloží, vlastní tíha ostění redukovaná výška nadloží horninová klenba ve skalních horninách hor. klenba v polaskal. horninách a zemínách 	<table border="1"> <tr><td>1,1</td></tr> <tr><td>1,25</td></tr> <tr><td>1,5</td></tr> <tr><td>1,7</td></tr> </table>	1,1	1,25	1,5	1,7	Odpovídající koeficient pro zatěžovací stavy s $\gamma_{bl} > 1$
1,1						
1,25						
1,5						
1,7						
		1,25				

Stálé zatížení - svislý horninový tlak - F_G

nadloží	plné	redukované		
γ_G	1,0	1,0	1,1	1,25
$F_{G,ed}$	198,0	143,6	157,9	179,4

Proměnné zatížení - doprava na povrchu - F_Q

přítížení	plné	redukované		
γ_Q	1,0	1,0	1,3	1,5
$F_{Q,ed}$	20,0	10,1	13,1	15,2

Příslušné koeficienty budou dále ve výpočtu zatížení použity podle konkrétních kombinací

Hodnota pro součinitel $\gamma_G = 1,1$ je použita pro stav s $\gamma_{bl} = 1$ jako vyjádření nepříznivého zatížení F_G

V této fázi se vyhodnocuje celkové zatížení stálého a nahodilého zatížení nad raženým profilem.

VLASTNÍ TIHA OSTĚNÍ																							
Provizorní ostění je navrženo z rámu z tuhé výztuže doplněných stříkaným betonem se svařovanou sítí v celkové tloušťce $d = 0,15$ m.																							
Sřední hodnota objemové tíhy betonu G_{00}	25 kN/m ³	$\times d =$	$3,75$ kN/m ²																				
Návrhová hodnota pro součinitel γ_F	$1,1$	$G_{ed} =$	$4,13$ kN/m ²																				
B 3 VODOROVNE ZATÍŽENÍ																							
<ul style="list-style-type: none"> Jako vodorovné zatížení je uvažován symetrický vodorovný horninový tlak v klidu Hydrostatický tlak není uvažován (snižování HPV čerpáním při ražbě a provizorním ostění) Boční tlak charakterizovaný součinitelem bočního tlaku K_0 je odvozen z velikosti geostatického napětí σ_z v příslušné úrovni raženého díla (klenba a počva). Velikost geostatického napětí (reprezentativní nebo návrhová) odpovídá kombinaci zatížení Součinitel bočního tlaku je podle zatíženého prostředí odvozen z hodnot: <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr> <td>--</td> <td>Poissonovy konstanty ν</td> <td>(skalní horniny)</td> <td>$K = \nu / (1 - \nu) =$</td> <td>$0,333$</td> </tr> <tr> <td>--</td> <td>úhlu vnitřního tření ϕ</td> <td>(zeminy a polaskalní horniny)</td> <td>$K = 1 - \sin \phi$</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="5">(pro soudržné zeminy je užit náhradní úhel vnitřního tření)</td> </tr> </table> 				--	Poissonovy konstanty ν	(skalní horniny)	$K = \nu / (1 - \nu) =$	$0,333$	--	úhlu vnitřního tření ϕ	(zeminy a polaskalní horniny)	$K = 1 - \sin \phi$		(pro soudržné zeminy je užit náhradní úhel vnitřního tření)									
--	Poissonovy konstanty ν	(skalní horniny)	$K = \nu / (1 - \nu) =$	$0,333$																			
--	úhlu vnitřního tření ϕ	(zeminy a polaskalní horniny)	$K = 1 - \sin \phi$																				
(pro soudržné zeminy je užit náhradní úhel vnitřního tření)																							
<ul style="list-style-type: none"> Návrhová hodnota součinitele bočního tlaku K_{ed} je užitá podle kombinace zatížení $\gamma_{M1} = 1$ da výše uvedených vzorců dosazeny charakteristické hodnoty <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <tr> <td>→</td> <td>Pro stanovení extrémních účinků zatížení je v sestavách zatížení použit součinitel pro příznivé a nepříznivé působení</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>nepříznivé</td> <td>$1,1$</td> <td>příznivé</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>$0,9$</td> </tr> </table> Variantně lze pro extrémny využít oboru vstupních hodnot ϕ při zavedení redukci geotechnických parametrů dle EC 7 je přihlédnuto k "Doporučení pro zpracování statických výpočtů..." (viz úvodní část) Odvození vychází z normálního statistického rozdělení příslušné veličiny a oboru oboustranné odchylky pro X_k od její střední hodnoty. Tím je získán obor návrhových koeficientů K_{ed}, který bude dále využit pro stanovení extrémních účinků v jednotlivých sestavách zatížení 				→	Pro stanovení extrémních účinků zatížení je v sestavách zatížení použit součinitel pro příznivé a nepříznivé působení						nepříznivé	$1,1$	příznivé					$0,9$					
→	Pro stanovení extrémních účinků zatížení je v sestavách zatížení použit součinitel pro příznivé a nepříznivé působení																						
		nepříznivé	$1,1$	příznivé																			
				$0,9$																			
<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>Účinky boč. tlaku</td> <td>Vstupní veličina</td> <td>symbol</td> <td>horní mez</td> <td>spodní mez</td> </tr> <tr> <td>horní mez = <u>max</u></td> <td>úhel vnitřního tření</td> <td>ϕ_k</td> <td>$1 - \sin(0,83 \phi_k)$</td> <td>$1 - \sin(1,17 \phi_k)$</td> </tr> <tr> <td>spodní mez = <u>min</u></td> <td>(variantní stanovení)</td> <td>ϕ_d</td> <td>$1 - \sin \phi_d$</td> <td>$1 - \sin(1,4 \phi_d)$</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Poissonova konstanta</td> <td>ν</td> <td>$1,2 \nu / (1 - \nu)$</td> <td>$0,8 \nu / (1 - \nu)$</td> </tr> </table>				Účinky boč. tlaku	Vstupní veličina	symbol	horní mez	spodní mez	horní mez = <u>max</u>	úhel vnitřního tření	ϕ_k	$1 - \sin(0,83 \phi_k)$	$1 - \sin(1,17 \phi_k)$	spodní mez = <u>min</u>	(variantní stanovení)	ϕ_d	$1 - \sin \phi_d$	$1 - \sin(1,4 \phi_d)$		Poissonova konstanta	ν	$1,2 \nu / (1 - \nu)$	$0,8 \nu / (1 - \nu)$
Účinky boč. tlaku	Vstupní veličina	symbol	horní mez	spodní mez																			
horní mez = <u>max</u>	úhel vnitřního tření	ϕ_k	$1 - \sin(0,83 \phi_k)$	$1 - \sin(1,17 \phi_k)$																			
spodní mez = <u>min</u>	(variantní stanovení)	ϕ_d	$1 - \sin \phi_d$	$1 - \sin(1,4 \phi_d)$																			
	Poissonova konstanta	ν	$1,2 \nu / (1 - \nu)$	$0,8 \nu / (1 - \nu)$																			
Vstupy pro výpočet vodorovného zatížení																							
Opěti - prostředí zemin - výpočet K_0 dle úhlu vnitřního tření ϕ (°)																							
		ϕ_k	$38,0$	ϕ_d	$32,0$																		
Stanovení součinitele bočního horninového tlaku																							
--	základní hodnoty	$K = 1 - \sin \phi$	K_k	$0,384$	K_d	$0,470$																	
--	hodnoty pro stanovení extrémních účinků																						
Parametr	$\gamma_{M1} = 1$	(neredukované)	$\gamma_{M1} > 1,25$	(redukované)																			
úhel	horní mez	spodní mez	úhel	horní mez	spodní mez																		
ϕ_k	$1,1 * (1 - \sin \phi_k)$	$0,9 * (1 - \sin \phi_k)$	ϕ_d	$1 - \sin \phi_d$	$1 - \sin(1,4 \phi_d)$																		
	$38,0$	$0,423$		$0,470$	$0,295$																		

V poslední fázi se musel vyhodnotit vliv vlastní váhy ostění, vodorovné zatížení na kolektorový profil a vliv parametrů vnitřního tření v zemině.

Tlha vrstvy na výšku (m)	4,50	je dle sestavy geologického profilu	(kN / m ²)	94,5			
Návrhová hodnota pro součinitel	$\gamma_F = 1,1$	je rovna	(kN / m ²)	104,0			
Výpočet pořadnic bočního horninového tlaku (kN / m²)							
KOMBINACE (dle rovnice "Doporučení")	3	2	1				
návrhový součinitel pro zatížení	γ_F	1,0	1,0 - 1,1 / 1,3	1,25 / 1,5			
návrh. součinitel pro geotech. param.	γ_M	1,0	1,25	1,25			
extrémny kombinace	→	min	max	min			
svislé zatížení od zeminy (Terzaghi)	F_G	143,6	143,6	143,6	157,9	179,4	179,4
svislé zatížení přitížení povrchu	F_Q	0	10,1	0	13,1	0	15,2
vlastní tlha ostění	G_p	3,8	3,8	3,8	3,8	4,1	4,1
geostatické napětí v klenbě - svislé	$\sigma_{y,kl}$	147,3	157,4	147,3	174,8	183,6	198,7
přitížení horninou) na výšku tunelu	$\Delta\sigma_y$	94,5	94,5	94,5	94,5	104,0	104,0
geostatické napětí ve dně tunelu	$\sigma_{y,dn}$	241,8	251,9	241,8	269,3	287,5	302,7
návrh. součinitel bočního tlaku	K_d	0,348	0,423	0,295	0,470	0,295	0,470
boční horninový tlak - klenba	$\sigma_{x,kl}$	51,0	66,6	43,5	82,2	54,2	93,4
boční horninový tlak - dně tunelu	$\sigma_{x,dn}$	83,6	106,5	71,4	126,6	84,9	142,3

B 4 KOMBINACE A SESTAVY ZATÍŽENÍ

"Doporučení pro zpracování statických

Diferencované vyjádření mezního stavu únosnosti

výpočtů ražených tunelů dle EC"

(prof. Barták a kol. - CzTA - 2010)

uvádí možný postup výpočtu statických

veličin podle uvedených rovnic

(viz metodika výpočtu v úvodní části)

Tyto přístupy jsou vedeny jako **kombinace**

$$E_d = E(\gamma_F F_{rep}; X_{ed}/\gamma_{xi}; X_{kd}/\gamma_{kci}; Y_{mi}; a_k), \quad 1$$

$$E_d = \gamma_F E(F_{rep}; X_{ed}/\gamma_{xi}; X_{kd}/\gamma_{kci}; Y_{mi}; a_k), \quad 2$$

$$E_d = \gamma^F E(F_{rep}; X_{ed}; X_{kd}; Y_{mi}; a_k), \quad 3$$

Pro každou z kombinací je třeba vybrat

sestavu zatížení pro stanovení

extrémních účinků na pruzivnosti ostění

sestava zatížení	A	B	C
zatížení svislé	MAX	MAX	MIN
zatížení vodorovné	MAX	MIN	MAX

SESTAVA ZATÍŽENÍ

-- Kompletní sestava 9 stavů pro úplné řešení v prostředí bez podzemní vody.

-- Výběr dle řešených sestav zatížení je učiněn podle konkrétních rozdílů v extrémních hodnot

-- Minimálně musí být řešeny sestavy A s maximem zatížení v obou směrech

-- Tabulka je doplněna o dílčí součinitele účinku E pro rovnice (3) a (2)

Sestava zatížení	KOMBINACE		Rovnice 3		Rovnice 2		Rovnice 1	
	svislé	boční	svislé	boční	svislé	boční	svislé	boční
A	max	max	157,4	66,6	174,8	82,2	198,7	93,4
				106,5		126,6		142,3
		název souboru	A3		A2		A1	
B	max	min	157,4	51,0	174,8	43,5	198,7	54,2
				83,6		71,4		84,9
		název souboru	B3		B2		B1	

Na základě těchto hodnot se potom vypočetly hodnoty momentů, posouvajících a normálových sil na ostění. V současné době je tento poměrně složitý postup nahrazen programem, který pomocí metody konečných prvků se řeší komplexně včetně dimenzí vyztužení železobetonového ostění kolektoru. K těmto výsledkům se vracím z toho důvodu, že při mé 45 leté praxi se nikdy nestalo, že by ostění kolektoru

Aplikace technologie mokrého stříkaného vláknobetonu v konstrukcích primáru podzemních staveb.

mělo při délce kolektoru 20km nějaké problémy ze stabilitou. Všechny hodnoty se tímto mohly ověřit a jednoduše kontrolovat, předešlo se případným omylům v návrhu ostění. Někdy lze těmito metodami provést i rychlou kontrolu výsledků digitálního řešení.

4.3 ZÁKLADNÍ POJMY MOKRÉ BETONOVÉ SMĚSI S DRÁTKY

■ **Přísady a příměsi** – materiály, které se přidávají do betonu za účelem ovlivnění jeho vlastností.

■ **Stříkaný beton** – beton, který je ukládán na podklad pomocí proudu stlačeného vzduchu, čímž vytváří hutnou homogenní vrstvu. Stříkaný beton zpravidla obsahuje přísady ovlivňující zpracovatelnost použité směsi a přísady urychlující proces hydratace. Bude obsahovat příměsi, ocelové drátky, které jsou experimentálně získané při ozonovém rozkladu starých pneumatik, z jejich ocelové výztuže v plášti pneumatik, které budou tvořit výztužení betonu. Toto je hlavní předmět zkoumání této disertační práce.

■ **Mladý stříkaný beton** – beton stárí do 24 hodin od okamžiku nástřiku.

■ **Nezralý stříkaný beton** – beton stárí do 28 dní od okamžiku nástřiku.

■ **Zralý stříkaný beton** – beton stárí 28 dní a více od okamžiku nástřiku. Stříkaný beton pro primární ostění musí plnit statickou funkci již několik hodin po nástřiku.

■ **Operátor trysky (nastříkávač)** – pracovník, který obsluhuje trysku. Trysku lze ovládat ručně nebo pomocí dálkově ovládaného manipulátoru.

■ **Spad** část objemu nezhutněného čerstvého stříkaného betonu, která se neudržela na podkladu. U této popisované technologie stříkání mokré betonové směsi je tento spad díky plastifikátorům minimální. U suché směsi činil až 30% stříkaného množství. Složení spadu je menší než složení nezhutněného stříkaného betonu, spad obsahuje vyšší podíl hrubých zrn kameniva, případně vyšší podíl ocelových vláken. Proto se pro tento druh směsi používá menší zrnitost kameniva do max. 5mm. Navrhovaný stříkaný beton s obsahem popisovaných drátků, která jsou velmi lehká a tento stav by při stříkání neměl nikdy nastat.

■ **Mokrý způsob nástřiku (mokrý cesta)** – technologie, při které se suchá betonová směs mísí s vodou před umístěním do čerpadla, kterým se následně ve stavu mokré

Aplikace technologie mokrého stříkaného vláknobetonu v konstrukcích primáru podzemních staveb.

betonové směsi dopravuje hadicemi do trysky. Stlačený vzduch a urychlující přísada jsou do směsi přidávány odděleně až v prostoru komory před tryskou.

■ **Průkazní zkoušky** – zkoušky, kterými se před začátkem výroby ověřuje složení nově vyráběného betonu, zda vyhovuje všem požadavkům na vlastnosti betonu.

■ **Kontrolní zkoušky** (zkoušky pro hodnocení shody) – ověřují požadovanou kvalitu aplikovaného stříkaného betonu během stavby.

Z důvodu, že nebylo možno betonovou zkoušenou směs nastříkat do vzorkovnic, nebo provést odvrtý do nastříkané vrstvy na stěně raženého profilu tunelu a ty potom vyzkoušet. Důvodem bylo omezené množství recyklovaných pneumatik a poměrně obtížné získání ocelových výztužných drátků a jejich nařezání na zvolenou délku od 30 – do 50mm. Byla proto zvolena metoda laboratorního zpracování a použití klasických normových laboratorních vzorků. Zvolená betonová směs dle receptury z publikace „ **Stříkaný beton v podzemním stavitelství**“ Českého tunelářského komitétu Svazek 3. vydání. 1. Směs byla namíchána a v rámci této práce na vzorcích vyzkoušena. Byly stanoveny veškeré skutečné hodnoty parametrů únosnosti vláknobetonu s drátky z druhotné recyklace pneumatik.



Obr. 7 Ruční stříkání betonu do výrubu operátorem trysky.

4.4 BETONOVÁ SMĚS PRO MOKRÝ STŘÍKANÝ BETON

Cement slouží ve stříkaném betonu jako pojivo. Typ a množství použitého cementu má především vliv na pevnost a trvanlivost betonu. V ČR jsou pro stříkaný beton nejčastěji využívány portlandské cementy vyšších pevností (např. CEM I 42,5 R). Množství cementu je voleno obvykle mezi 370 až 430 kg na m³ betonu pro suchý proces a mezi 400 až 450 kg/m³ pro mokrý proces.

Kamenivo slouží ve stříkaném betonu jako plnivo. Jako u všech speciálních druhů betonu je kvalita použitého kameniva betonu velmi důležitá. Z ekonomických důvodů je obecně nutné při návrhu receptury vycházet z dostupného kameniva, které je zatíženo minimalizovanými dopravními náklady. Při použití kameniva s velikostí zrn do 4 mm je produkt označován jako stříkaná cementová malta, při uplatnění frakcí kameniva nad 4 mm se používá název stříkaný beton. Dodržení křivky zrnitosti kameniva je velmi důležité, značný význam mají především obsah a vlastnosti jemných frakcí kameniva.

Maximální velikost zrn: Podíl kameniva zrn nad 4 mm by neměl přesahovat 10 %. Větší zrna kameniva odpadají především při stříkání na tvrdé povrchy (počátek nástřiku) nebo vnikají do povrchové vrstvy již naneseného stříkaného betonu, kde způsobují poškození, které již není možné tímto materiálem vyplnit. Dále mohou větší zrna způsobit nežádoucí deformace či vibrace výztuže, ucpávání trysky a navíc jsou při odrazu nebezpečná pro přítomné pracovníky. Pro konstrukční stříkaný beton s ocelovou armaturou by velikost zrn neměla překračovat 4–5 mm.

Mokrý směs: Při mokrém stříkaném betonu je již praxí vyzkoušená receptura, jen je třeba sladit složení zrnitosti kameniva zejména s požadavky na čerpatelnost betonu. Příliš nízký podíl jemného kameniva vede k segregaci, špatné lubrikaci a k ucpávání zařízení. V případě stříkaného betonu s vlákny je přebytek jemného kameniva důležitý pro čerpatelnost a dostatečné zhutnění. Vyšší podíl jemného kameniva též zlepšuje přilnavost stříkaného betonu k podkladu a umožňuje docílení vyšší hutnosti výsledného betonu v oblasti kontaktní spáry nově nanášené vrstvy na stěnu výrubu.

Poměr vody a cementu je jedním z nejdůležitějších faktorů pro konečnou kvalitu stříkaného betonu. Celkové množství vody, které je použito při technologii nástřiků suchou cestou, se skládá z vody přivedené k trysce a vlastní vlhkosti obsažené v kamenivu. Ve srovnání s technologií nástřiku mokrou cestou neexistuje u technologie nástřiků suchou cestou předem přesně daná hodnota poměru vody a cementu, protože množství přidávané vody je určováno obsluhou trysky. U příliš nízkého dávkování vody vzniká okamžitě nadměrná prašnost. V případě vysokého dávkování vody nedrží nastříkaný beton na svislém nebo převislém podkladu a stéká dolů. V případě správného dávkování kolísá vodní součinitel, tj. hodnota poměru vody a cementu, jen velmi málo a drží se pod 0,5. Zvětšení vodního součinitele nad 0,5 je technologicky vyloučeno s ohledem na stékání či opadávání nanesené směsi z ukloněných či převislých ploch. V extrémních případech je možné dosáhnout poměru vody a cementu až 0,4. Množství vody ve stříkaném betonu také může být účinně korigováno použitím některé z přísad upravujících zpracovatelnost čerstvého betonu.

Urychlovače: Přísady urychlující tuhnutí a tvrdnutí (urychlovače) jsou pro výrobu stříkaného betonu ve většině případů nezbytné. Tyto přísady zkracují dobu tuhnutí a tvrdnutí, což znamená rychlejší nárůst počáteční pevnosti. Proto mohou být prováděny nástřiky najednou v tloušťkách nad 10 cm a jednotlivé vrstvy mohou být nastříkány rychleji za sebou. U větších staveb přispívají urychlovače tuhnutí značnou měrou k zvýšení výkonů. V podzemním stavitelství je rychlý nárůst počáteční pevnosti stříkaného betonu základní podmínkou pro bezpečnou ražbu v provizorní obezdívce, tzv. priméru.

Přednostně jsou používány nealkalické urychlovače. Jejich použití oproti alkalickým urychlujícím přísadám poskytuje výhody pracovní-hygienické, ekologické i technologické. Navíc tyto urychlovače při obvyklém dávkování nevyvolávají výrazné snížení konečné pevnosti stříkaného betonu. Urychlující přísady musí být sladěny (ověření snášenlivosti) s používaným cementem z hlediska průběhu nárůstu pevnosti stříkaného betonu v tlaku a její hodnoty po 28 dnech (případně i dalších vlastností). Urychlovače mohou být používány v práškové nebo tekuté formě. Práškové urychlovače jsou zpravidla přidávány do míchačky, ve které je připravována suchá směs kameniva a cementu před nasypáním do stříkacího stroje. Bohužel je poměrně často přidáván prášek urychlovače ručně, což znemožňuje jeho přesné dávkování. Tekuté urychlovače umožňují přesnější dávkování dávkovacím čerpadlem. Mají

Aplikace technologie mokrého stříkaného vláknobetonu v konstrukcích primáru podzemních staveb.

navíc i další přednosti, protože nezpůsobují vznik dráždivého prachu v ovzduší a nevzniká možnost předčasného tuhnutí. V ČR se nejčastěji používají tekuté urychlovače přidávané v trysce. Urychlovače jsou dávkovány v závislosti na nastaveném výkonu čerpadla (mokrý způsob) nebo na výkonu použitého stříkacího stroje (suchý způsob). Pro dosažení potřebné kvality stříkaného betonu musí být urychlovač přidáván rovnoměrně. Množství urychlovače musí být nastavováno podle místních podmínek s ohledem na různé faktory (teplota směsi a vzduchu, zvodnění a sklon podkladu, tloušťka zhotovované vrstvy, stabilita výrubu, atd.). Doporučované hodnoty se obvykle pohybují mezi 5,5 a 8 % hmotnosti cementu.

Další přísady: Pro nástřik suchou cestou jsou někdy používány přísady pro snížení prašnosti, které se v praxi zatím příliš neosvědčily. Dále je možné použít vodní sklo, které zvyšuje vaznost a lepivost stříkaného betonu. Použití vodního skla je možné jen ve výjimečných případech s ohledem na výrazné snížení konečné pevnosti betonu. Dostříkaného betonu aplikovaného mokrým způsobem lze při míchání betonové směsi přidávat plastifikační, ztekucující, zpoždující, případně i další vlastnosti upravující přísady. Účinnost přísad do stříkaného betonu a jejich vzájemnou snášenlivost (při více přísadách) je nutné prokázat ověřovacími laboratorními a případně i průkaznými zkouškami.

Mikrosilika: Mikrosilika je nejznámějším příkladem příměsí, používaných ve světě stále častěji do stříkaného betonu. Jedná se o jemnou látku s velkou plochou povrchu (20–35 m²/g) a s vysokým podílem SiO₂ (mezi 65 až 97 % hmotnosti – podle kvality výrobku). Použití mikrosilik vede k výraznému zlepšení vlastností stříkaného betonu. Zejména se jedná o vyšší pevnost v tlaku a vyšší hutnost. Díky zvýšení soudržnosti a lepivosti již ve stadiu namíchání betonové směsi mikrosilika umožňuje nástřik silnějších vrstev při srovnatelném množství urychlujících přísad. Mikrosilika mohou být dávkována buď jako suspenze, anebo v práškové podobě. Dávka pevných složek mikrosiliky se obvykle pohybuje od 2 do 8 % hmotnosti cementu.

Další příměsí: Plastifikátory, které zajistí tekutost směsi bez zvyšování vodního součinitele, možno použít i materiály měnící zabarvení stříkaného betonu. S výhodou

Aplikace technologie mokrého stříkaného vláknobetonu v konstrukcích primáru podzemních staveb.

bylo použito při stavbě kolektorů v Brně, kde bylo jasně vidět, kde byl primár nastříkán a kde ne.

Ocelová drátky: Pro zlepšení vlastností mokré směsi stříkaného betonu se navrhuje ocelové drátky získané z recyklace pneumatik pomocí ozonu, viz popis v další kapitole. Tato směs ale může obsahovat i přídavek syntetických vláken, které zlepšují protipožární vlastnosti výsledné betonové obezdívky raženého kolektoru. Hlavní přínos použití mokré stříkané směsi s drátky z recyklovaných pneumatik spočívají v náhradě měkké výztuže, snížení negativního efektu smršťování betonu primární obezdívky a zvýšení odolnosti betonu ve zvětšení pevnosti v tahu.

4.5 ZÍSKÁNÍ OCELOVÝCH DRÁTKŮ Z DRUHOTNÉ RECYKLACE PNEUMATIK

Dohodou se společností EKAZ Praha a.s. jsme s panem Doc. Ing. Janem Vodičkou, CSc. navštívili halu č. 13 Vědeckotechnického parku v Buštěhradu, kde jmenovaná společnost získávala převratnou metodou gumu z odpadových pneumatik osobních aut a vznikal jim odpad, tzv. železo – zbytek konstrukce výztuže v pneumatikách. Zde vznikl nápad použití ocelových drátků z pneumatik do stříkaného betonu. Získané drátky z recyklovaných pneumatik jsou závislé na místě získání, co se týče tvaru pneumatiky, její velikosti a druhu pneumatiky, zda letní či zimní. Po vyjmutí jsou to ocelová velmi kvalitní drátky spletené ze základní tloušťky vlákna o průměru 0,2 mm. Tyto drátky, které jsou vkládány do pneumatiky jsou spleteny ze čtyřech až šesti drátků dohromady. Pneumatika osobního vozu váží cca 10 kg, z takové pneumatiky se získá 1,5 až 2 kg čistých ocelových drátků. V rámci recyklace se velmi dobře dá využít gumová hmota z pneumatiky, dají se z ní vyrábět gumové rohože a tlumící desky, které se dají pokládat pod kolejové tratě, na tlumení dynamických rázů, na tlumení hluku u vjezdů do silničních a železničních tunelů, jako povrchy na sportovištích aj. Při rozkladu pomocí ozonu vznikají různé zrnitosti gumové drtě, od prachu až po kusové zbytky viz obrázek:

Aplikace technologie mokrého stříkaného vláknobetonu v konstrukcích primáru podzemních staveb.



Obr. 8a Pytle s gumovou hmotou pro další využití.



Obr. 8b Vědra s rozpadlou gumovou hmotou různé zrnitosti.



Obr. 9 Výsledné produkty z recyklované gummy.

Aplikace technologie mokrého stříkaného vláknobetonu v konstrukcích primáru podzemních staveb.



Obr. 10 Zbytek tzv. železa po recyklaci pneumatiky, základní produkt pro druhotnou recyklaci ocelových drátků.



Obr. 11 Vytěžené čisté drátky délky 300 – 500mm, které je nutno nařezat na potřebnou délku 35 – 50mm.



Obr.12 Malá domácí mechanizace na řezání drátků.

Prvotní pokusy na rozebrání zbytků z recyklované pneumatiky málem skončily nezdarem, protože pneumatiku se nepodařilo zcela ozonem rozložit a její rozebrání

Aplikace technologie mokrého stříkaného vláknobetonu v konstrukcích primáru podzemních staveb.

bylo velmi namáhavé, protože na ní bylo ještě hodně zbytků gummy. K recyklaci se berou staré pneumatiky všech velikostí a vzorků pro osobní automobily a bez rozdílů značek výrobců. Úvodem bylo nutno zajistit dostatek recyklovaných pneumatik, to bylo zajištěno společností Ekaz Praha, a.s., která vlastní ozonační linku **Perpetis** na separaci gummy z pneumatik ve Vědeckotechnickém parku v Buštěhradě u Kladna. V další části mé práce společnost EKAZ Praha, a.s. provedla úpravu na lince a před komisí provedla nový funkční pokus. Byl jsem stanoven předsedou komise. Od této doby dokázala linka Perpetis recyklovat pneumatiky na 80 - 95 %. Zbývající kostra pneumatiky – „železo“ se dala snadno rozebrat, oddělit textilní vlákna a zbytky gummy na plátně, které měly váhu jen 0,5kg a čisté ocelové drátky měly váhu 1,5 až 1,8 kg/1 pneu. Celá operace trvala pouze do 20minut. Ozonový rozklad podléhá patentní ochraně, ozon má koncentraci v lince vyšší pro usnadnění rozkladu pneumatiky a v okolí linky bylo naměřeno jen 4,13% ozonu ve vzduchu. Celá linka je vzduchotěsná a výsledný zbytek recyklované pneumatiky díky vzduchotěsnosti linky, vypadává do nádrže s vodou:



Obr.13 a 14 popisované detaily linky. Na tomto snímku je znázorněna koncentrace ozonu se vzduchem okolo linky.



Obr. 15 Výsledný zbytek ocelové kostry pneumatiky, po recyklaci více pneumatik.

Pro další použití těchto drátků jako výztuže do stříkání mokré betonové směsi jsem se pokusil ještě najít metodu a technologii jak by bylo možno pro hromadné použití stříhat tyto ocelové drátky průmyslově na požadovanou délku. Zjistil jsem, že by to bylo možné pomocí upravené pásové linky a hydraulického lisu, kde by bylo nutno ještě pneumaticky odstranit nekovové zbytky pneumatiky. Určitě by musela předcházet fáze rozebrání zbytků pneumatiky na vlákna a ostatní odpad. Bohužel pro ověření vlastností jak kvality drátků, tak jejich začlenění do drátkobetonové směsi jsem si drátky řezal pomocí řezacího kotouče, protože jenom pomocí štípacích kleští bych to nikdy nestihl připravit. Vlákna jsou tak tvrdá, že je možno přestříhnout max. 2 ks najednou a já jsem podle výpočtu receptury betonové směsi potřeboval minimálně 2,5 kg vláken. Řezání více drátků najednou jsem vyzkoušel pomocí frikční pily, pro kterou jsem vyzkoušel několik kotoučů, ale nejvýhodnější byl tenký řezací kotouč (tl. pouze 1mm), o průměru 125mm a pila s proměnným množstvím otáček. Délku jsem se snažil, pokud možno dodržet mezi 35 a 45 mm, maximálně 50mm. Základní délka vytěžených drátků byla závislá na profilu a průměru pneumatiky, ale pohybovala se mezi 300 – 500 mm. Samotné ruční rozebrání zbytku jedné pneumatiky mě trvalo maximálně 15 - 20min.



Pohled na pilu, kterou jsem nakonec nejvíce používal

Pro daný účel jsou v této dizertační práci použity drátky vyztužující boky a pojižděnou část pneumatiky pod vzorkem. V pneumatice se nacházejí výztužná patní lana, která jsem zatím nepoužil pro jejich tuhost a průměr prvků lan, který je kolem 1 mm/ks, celkem průměr lana je cca 8mm. Vybrané vytěžené drátky mají výsledný tvar šroubovice, protože jsou složeny stočením z 0,2mm plochých vláken, jsou z nejlepší pérové oceli, velmi obtížně se dělí. Drátky jsou pokoveny kadmíem, mnohdy mají na povrchu i zbytky gumy, což je pro zapojení do betonové směsi vítáno. K ocelovým drátkům je vhodné přimíchat do výsledné směsi i syntetická vlákna např. polypropylenová, která významně zvyšují požární odolnost stříkaného betonu. Syntetická vlákna musí být dostatečně jemná, aby se rozmístila v betonu s ocelovými, při použití běžných míchaček betonu a mohla být stříkána běžným stříkacím zařízením. V této práci jsem zkoumal pouze ocelové drátky v mokré betonové směsi, abych prověřil jejich použitelnost v podzemním stavitelství, zejména při realizaci kolektorových profilů hornickým způsobem v centrech měst. Její receptura byla převzata z praxe z publikace „Stříkaný beton v podzemním stavitelství“ vydanou Českým tunelářským komitétem ITA – AITES v roce 2008, svazek 3.

4.6 NÁVRH SMĚSI PRO STŘÍKANÝ MOKRÝ BETON

Specifikace předepsané směsi:

Složení betonové směsi musí zaručit řadu vlastností betonu, ze kterých jsou nejdůležitější dosažení předepsaného průběhu pevnosti v tlaku bezprostředně po nástřiku (dle oboru) a po 28 dnech. Technické podmínky mohou specifikovat další požadavky jako:

- Zpracovatelnost a čerpatelnost.
- Odolnost vůči účinkům agresivních (podzemních) vod.
- Přílnavost k podkladu, důležité je i na výrub kolektorového profilu, který je zvlhčován mnohdy podzemní vodou.
- Životnost.
- Propustnost.
- Schopnost přenášet zatížení po vzniku trhliny.
- Dlouhodobou chemickou stabilitu.
- Odolnost vůči chloridům.

Specifikace předepsané směsi na 1 m³ musí obsahovat následující údaje:

- Druh, třídu a množství cementu.
- Druh a množství kameniva s dokladovanou čarou zrnitosti, vlhkostí a množstvím odplavitelných částic.
- Druh a množství příměsí.
- Množství vody – vodní součinitel (pouze u mokré směsi).
- Určení konzistence před aplikací (pouze u mokré směsi).
- Druh a množství přísad.
- Druh a obsah vláken.

Pro návrh betonové směsi je vhodné vycházet z objemové hmotnosti stříkaného betonu, která se pohybuje zpravidla v rozmezí 2100 až 2250 kg/m³ (zjišťovaná například při kontrole na jádrových vývrtech). První návrh váhového složení směsi na 1 m³ se proto doporučuje sestavovat ze složek, jejichž hmotnostní součet bez započtení hmotnosti vody a přísad je 2100 kg/m³.

Mokrý směr: Technologie nástřiku mokrou cestou je technologií, která přináší výrazně lepší výsledky. Pro jejich dosažení je však nezbytné pracovat v prostředí s podstatně vyšší technologickou kázní. Výrobu i zpracování betonové směsi je třeba

Aplikace technologie mokrého stříkaného vláknobetonu v konstrukcích primáru podzemních staveb.

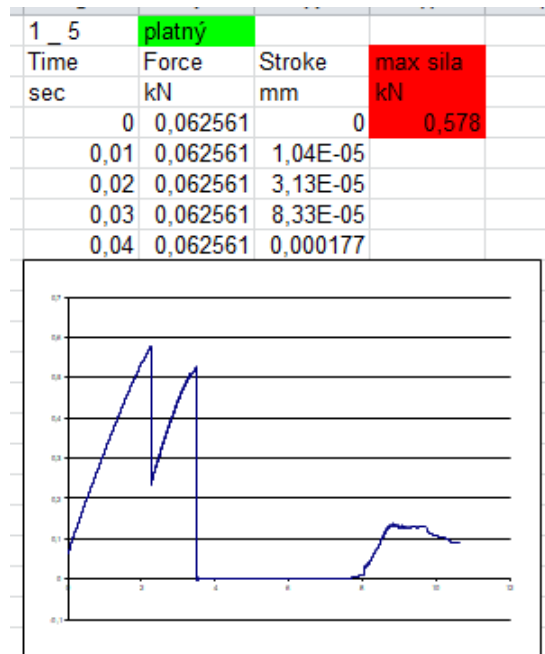
svěřit výrobcům s certifikací. Pro průkazní zkoušku i pro průběžné provádění stříkaného betonu musí být vyhotovovány dodací listy každé záměsi (uvedení množství cementu, frakcí kameniva, příměsí, přísad a vody). Údaje by měly být vyhodnoceny vůči předepsaným dávkám použitých komponentů (odchylky dávek). Současně by se měla zaznamenat teplota čerstvého betonu, údaje o době míchání a podle možnosti i statistické vyhodnocení výsledků. Při teplotách čerstvého betonu nad 20 °C může docházet k rychlejšímu zahájení procesu hydratace, v důsledku čehož může nastávat k ucpávání potrubí při čerpání. Doba zpracování by neměla překročit 1,5 hod. K prodloužení doby zpracovatelnosti je možné použít zpomalujících přísad různé účinnosti. Konzistence betonu potřebná pro mokré nástřiky závisí na druhu dopravy a na postupu nástřiku. Prodaný obsah cementu a daný vodní součinitel lze upravit konzistenci přidáním plastifikační nebo ztekucující přísady. Vyztužení stříkaného betonu vlákny se doporučuje provádět výhradně při mokrému způsobu stříkání. Ze zkušeností již realizovaných staveb prováděných báňským způsobem se doporučuje tento druh vyztužení, který se navrhuje především na základě požadavku dosáhnout vlastností charakteristických pro stříkaný beton s výztuží z vláken. Aby se dosáhlo potřebných vlastností, je nutné při různých typech vláken měnit jejich dávkování. Délka ocelových drátků by neměla přesáhnout 50mm vnitřního průměru použitého potrubí nebo hadic, delší vlákna zvyšují riziko ucpávání.

4.7 EXPERIMENTÁLNÍ ZKOUŠENÍ BETONOVÉ SMĚSI

Úvodem bylo nutno zajistit dostatek recyklovaných pneumatik, to bylo zajištěno vzájemnou dohodou se společností Ekaz Praha, a.s., která vlastní ozonační linku **Perpetis** na separaci gumy z pneumatik ve vědeckotechnickém parku v Buštěhradě u Kladna. Příprava potřebných drátků pro zajištění zkušebních vzorků potom sestávala v jejich separaci a nadělení na délku 35 – 50 mm vlastními silami. Záměrně byla použita drátky z boků pneumatik a horní obvodové části kde je pneumatika pojížděna. Veškerá takto získaná vlákna jsou z kvalitní oceli, jsou opatřena kadmiovým povrchem a jsou tvarově plochá spojená smotáním do šroubovice. Jejich složení je většinou spojení 3 – 6 vláken dohromady. Z hlediska kvality materiálu kovu, ze kterého jsou výztužné prvky v pneumatikách vyrobeny, jsem inicioval s katedrou ocelových konstrukcí Fakulty stavební ČVUT trhací zkoušku

Aplikace technologie mokrého stříkaného vláknobetonu v konstrukcích primáru podzemních staveb.

vlákna větší délky aby se dalo do lisu bezpečně upnout. Základní ocelové vlákno o tloušťce 0,2 mm bylo podrobena zatěžovací zkoušce v laboratoři zkoušení ocelových konstrukcí Fakulty stavební ČVUT, kterou provedl Ing. Zdeněk Sokol, Ph.D.



Obr.16 Výsledek zkoušky na tah.

Maximální hodnota je 0,578 kN, kdy došlo k přetržení u čelisti lisu. Tato hodnota se potom podle počtu drátků sčítá lineárně. Jednotlivá vlákna v pneumatice jsou navíc posilována síťovou textilií a jednotlivými vysoko pevnostními nitěmi. Také na sobě mnohdy mají i zbytky gumy z pneumatiky, což bylo experimentálně vyhodnoceno jako vhodné, co se týče soudržnosti s betonem a i jeho kvalitě v samostatné pevnosti v tahu. Zkouškou se potvrdila houževnatost materiálu drátků. Pro vlastní zkoušení funkce těchto recyklovaných vláken s betonem, bylo použito následující složení betonové směsi:

Aplikace technologie mokrého stříkaného vláknobetonu v konstrukcích primáru podzemních staveb.

Orientační složení betonové směsi pro nástřik 1 m³ mokrou cestou

Složka	Množství
Cement CEM I 42,5 R	430 kg
Kamenivo 0–4 mm	1025 kg
Kamenivo 4–8 mm	645 kg
Plastifikátor	4 kg
Roztok urychlující přísady s vodou	185 kg
Urychlující přísada	5 až 8 % k váze cementu
Váhový objem ocelových vláken byl uvažován	40 kg/m ³

Tabulka č.1

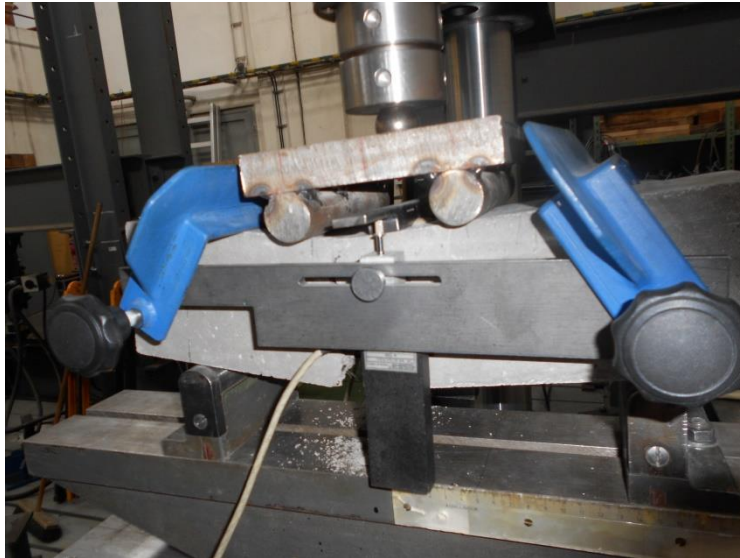
Test č. 1

Tato směs byla přizpůsobena poměrově podmínkám laboratoře a bylo namícháno množství pro 9 ks krychlí 150/150/150 mm a 4ks trámek 100/100/400. Vzorky byly ponechány 28 dní vyzrát ve vodě a potom byly zkoušeny. Drátkobetonové krychle byly zkoušeny na tlak a smyk, celkem 3 + 3 krychle, Další 3 krychle byl prostý beton na porovnání hodnot. Trámky byly zkoušeny na tlak za ohybu a tah za ohybu.

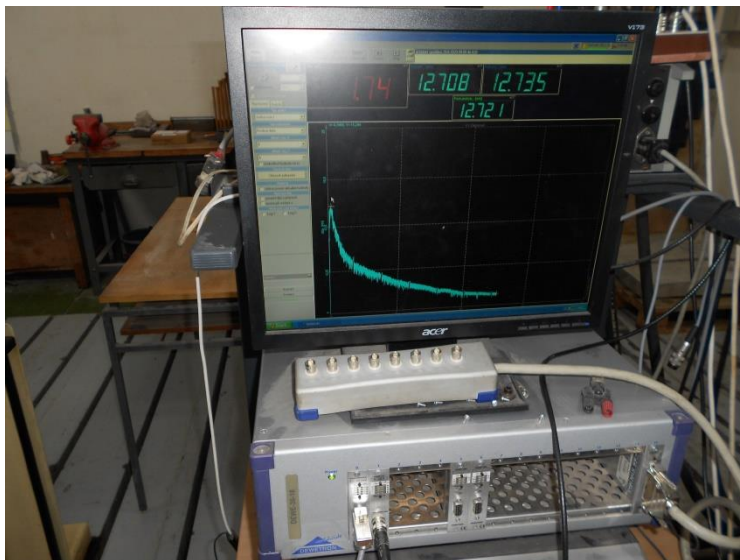


Obr.17 Schéma uspořádání zkoušky tlaku za ohybu.

Aplikace technologie mokrého stříkaného vláknobetonu v konstrukcích primáru podzemních staveb.

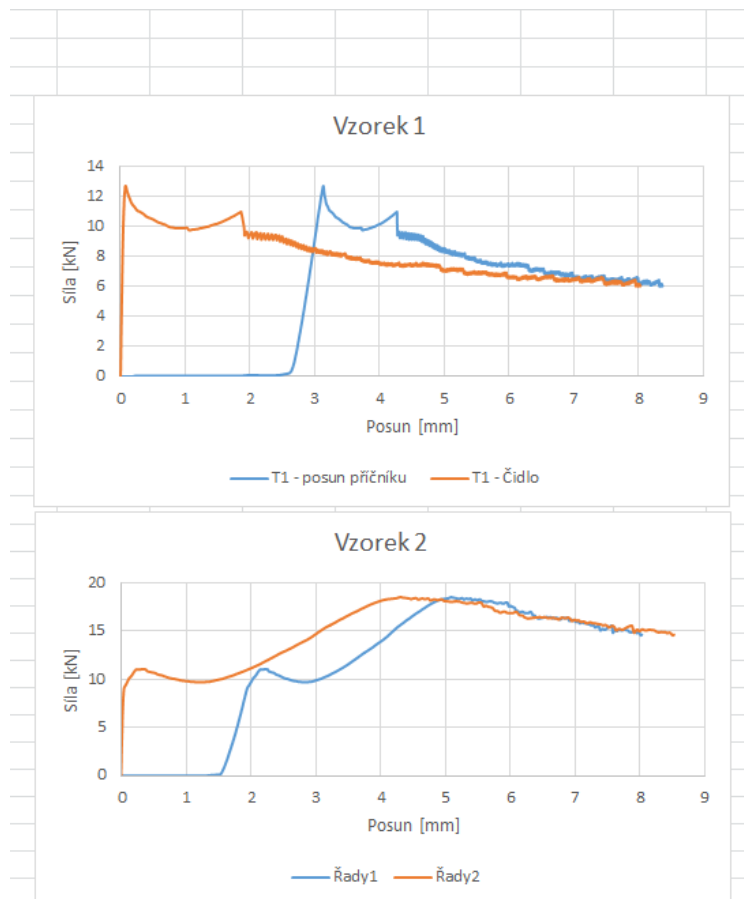


Obr. 18 Boční pohled na průhyb 20mm.

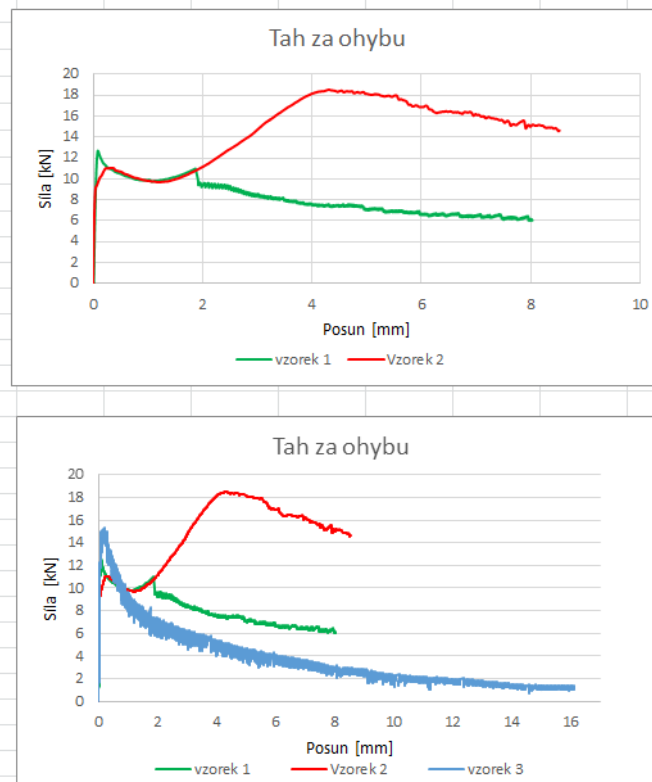


Obr. 19 Grafický průběh zkoušky trámů, doba trvání 90 min.

V dalším dokládám grafické výsledky zkoušení této etapy. Výsledky betonových kostek při zkoušení pevnosti v tlaku a příčného smyku, byly velmi neuspokojivé. Zřejmě došlo k tomu, že drátky nebyly patřičně rozptýleny v míchané betonové směsi. Bylo zjištěno, že směs nebyla dostatečně zvlivována, porovnáním specifické váhy prostého betonu a vyztuženého betonu bylo zjištěno, že krychle prostého betonu mají větší váhu než krychle s výztuží, vše viz následující grafy a tabulky. Totéž potom ze zkoušení trámů, byly výsledky špatné, byl nestandardní průběh tlaku za ohybu.



Obr. 20 Pevnost v tlaku za ohybu.



Obr. 21 Pevnost v tahu za ohybu.

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE														
FAKULTA STAVEBNÍ														
Thákurova 7, 166 28 PRAHA - 6, tel : 224 354 627 , fax : 224 354 446 , email : k133@fsv.cvut.cz														
ODBORNÁ LABORATOŘ KATEDRY BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ														
Zpráva o zkoušce										ze dne:	30.06.20	Číslo protokolu	: t_t_v	
Zákazník											Pořadované číslo	:		
Akce										:	Poznámka	:		
Výsledky laboratorních zkoušek														
Číslo vzorku	Ozn. tělesa	Rozměry tělesa			Hmot. tělesa g	Objem. hmot. kg/m ³	Datum		Stáří vzorku dny	Tah za ohybu		Tlak		Poznámka
		Délka mm	Šířka mm	Výška mm			výroby d.m.r.	zkoušky d.m.r.		síla kN	pevnost MPa	síla kN	pevnost MPa	
1	Vodicka	149,4	150,4	149,5	4563,0	1359						492,70	21,9	
2	Vodicka	151,7	151,8	151,7	4560,0	1305						486,95	21,1	
1	urek Prosty E	147,5	148,0	149,7	7346,0	2247						1286,57	58,9	
2	urek Prosty E	149,4	148,2	149,4	7474,0	2260						972,61	43,9	
3	urek Prosty E	148,4	148,3	149,5	7326,0	2228						1228,41	55,8	
1	urek Dratkob	156,2	149,4	151,9	6644,0	1873						499,92	21,4	
2	urek Dratkob	150,5	156,0	149,7	6528,0	1857						435,65	18,6	
3	urek Dratkob	150,0	152,7	149,8	6554,0	1910						537,15	23,5	

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE															
FAKULTA STAVEBNÍ															
Thákurova 7, 166 28 PRAHA - 6, tel : 224 354 627 , fax : 224 354 446 , email : k133@fsv.cvut.cz															
ODBORNÁ LABORATOŘ KATEDRY BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ															
Zpráva o zkoušce										ze dne:	30.06.20	Číslo protokolu	: r_p_vodicka_pricny tah/2020		
Zákazník											Pořadované číslo	:			
Akce										:	Poznámka	:			
Výsledky laboratorních zkoušek															
Číslo vzorku	Ozn. tělesa	Rozměry tělesa			Hmot. tělesa g	Objem. hmot. kg/m ³	Datum		Stáří vzorku dny	Tah za ohybu		Tlak		Příčný tah	Poznámka
		Délka mm	Šířka mm	Výška mm			výroby d.m.r.	zkoušky d.m.r.		síla kN	pevnost MPa	síla kN	pevnost MPa		
1	díčka Příčný	150,4	148,9	149,7	4493,0	1340							87,11	2,49	
2	díčka Příčný	151,7	152,5	149,4	4478,0	1296							76,57	2,14	
1	Příčný tah-Pr	150,1	146,9	149,6	7260,0	2201							102,99	2,98	
2	Příčný tah-Pr	149,5	148,4	149,5	7396,0	2231							111,76	3,21	
3	Příčný tah-Pr	150,4	151,1	150,2	7561,0	2214							128,87	3,61	
1	Příčný tah-Dr	150,1	143,8	150,1	6346,0	1959							105,88	3,12	
2	Příčný tah-Dr	149,7	156,5	149,4	6346,0	1810							101,64	2,77	
3	Příčný tah-Dr	150,4	153,9	149,4	6422,0	1858							93,61	2,59	

Obr. 22 Výsledky laboratorních zkoušek vláknobetonových kostek a kostek z prostého betonu u prvního testu.

Protože výsledky ze zkoušení první várky vzorků nebyly uspokojivé, bylo podezření na vadné rozptýlení vláken a malé zvibrování vzorků na vibračním stole. Rozhodl jsem se spolu s vedoucím mé dizertace p. Doc. Ing. Vodičkou, CSc. provést ještě jednu novou skupinu vzorků, u kterých byly použity nově připravené kvalitnější drátky z pneumatik. Pro tento úkol bylo třeba urychleně připravit drátky z pneumatik. Na štěstí společnost EKAZ, a.s. předváděla nové vzorky výrobků z pneumatik a tak bylo rozložení pneumatik dost a drátky se mohly bez problémů zajistit.

Nová betonáž vzorků proběhla začátkem září 2020. Drátky byly díky způsobu rozložení pneumatik zachovány rovné a byly nakráčeny ve větších svazcích a tím zůstaly zcela rovné. Také se více pečlivě provedlo vibrování betonových vzorků.

Aplikace technologie mokrého stříkaného vláknobetonu v konstrukcích primáru podzemních staveb.

Betonová směs s vlákny byla také volena ve dvou variantách procentuálního obsahu množství vláken v betonu, (4% a 6% drátků objemovém množství betonu), aby se zjistil vliv množství drátků na únosnost drátkobetonu. Pro zvládnutí celé zkoušky a porovnání výsledků se navrhly dvě odlišné receptury, viz následující tabulky:

1. SMĚS: 0,4% OBJEMU DRÁTKŮ

6x krychle (150/150/150mm) =	3,375 l x 6 = 20,25 litru směsi
3x malý trámek (100/100/400mm) =	4 l x3l = 12 litrů směsi
3x velký trámek (150/150/700mm) =	15,75 l x3l= 47,25 litrů směsi
Celkem	79,50 l = cca 80 litrů směsi

Směs na 80 l:

Složka:	Množství
Cement 42,5 –	34,400 kg
Kamenivo 0 – 4	82,0 kg
Kamenivo 4 – 8	51,6 kg
Voda 1	14,8 l
Plastifikátor (Stachement 2000 FM)	0,32 g
Drátky:	2,512 kg

Tabulka 2.

2. SMĚS: 0,6% OBJEMU DRÁTKŮ

6X krychle (150/150/150mm) =	3,375l x 6 = 20,25 litrů směsi
1x malý trámek (100/100/400mm) =	4.0 litrů směsi
1x velký trámek (150/150/700mm) =	15,75 l x1 = 15,75 litrů směsi
Celkem	40 l

Směs na 40 l:

Složka:	Množství
Cement 42,5	17,2 kg
Kamenivo 0- 4	41 kg
Kamenivo 4 – 8	25,8 kg
Plastifikátor (Stachement 2000FM)	0,16 kg
Voda	7,4 l
Drátky:	1,884 kg

Tabulka č.3.

Aplikace technologie mokrého stříkaného vláknobetonu v konstrukcích primáru podzemních staveb.

Vzorky byly nechány 28 dní vyzrát a potom bylo přikročeno ke zkoušení jejich vlastností. U trámů bylo dbáno na pomalé zatížení, deformace byla ve všech vzorcích trámů zastavena u 5 cm, jednalo se o cca 10 – 30 000 dat, které byly převedeny do grafického vyjádření. U krychlí bylo zkoušení úspěšné a hodnoty dosažené jsou velmi dobré pro použití v praxi.

Níže je uvedena obrazová reportáž z realizace vzorků drátkobetonu:



Obr. 23 Příprava přísad nové betonové směsi pro vláknobeton v laboratoři.



Obr. 24 Pro zpracování směsi byla vybrána nová moderní míchačka.

Aplikace technologie mokrého stříkaného vláknobetonu v konstrukcích primáru podzemních staveb.



Obr. 25 Postupné vkládání ocelových vláken do míchačky.



Obr. 26 Naplněné formy s vláknobetonem.

Po 28 dnech bylo zahájeno zkoušení:



Aplikace technologie mokrého stříkaného vláknobetonu v konstrukcích primáru podzemních staveb.

Obr. 27 Zkouška pevnosti tlaku za ohybu dne 5. 10. 2020.

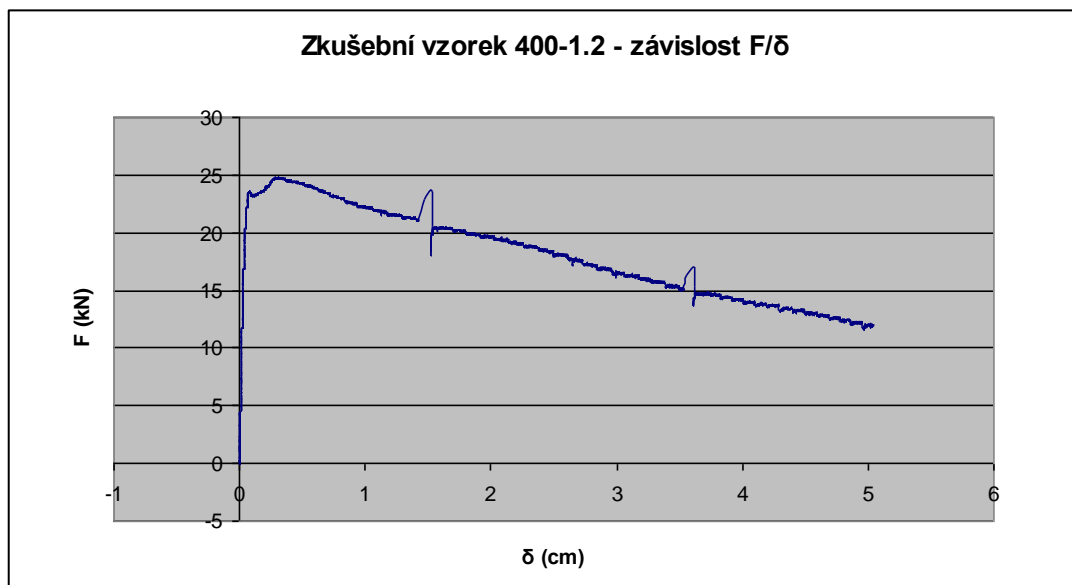


Obr. 28 Pohled na trhlinu v trámku po ukončení měření při průhybu 40mm rozevření se vrátilo o 40% zpět.

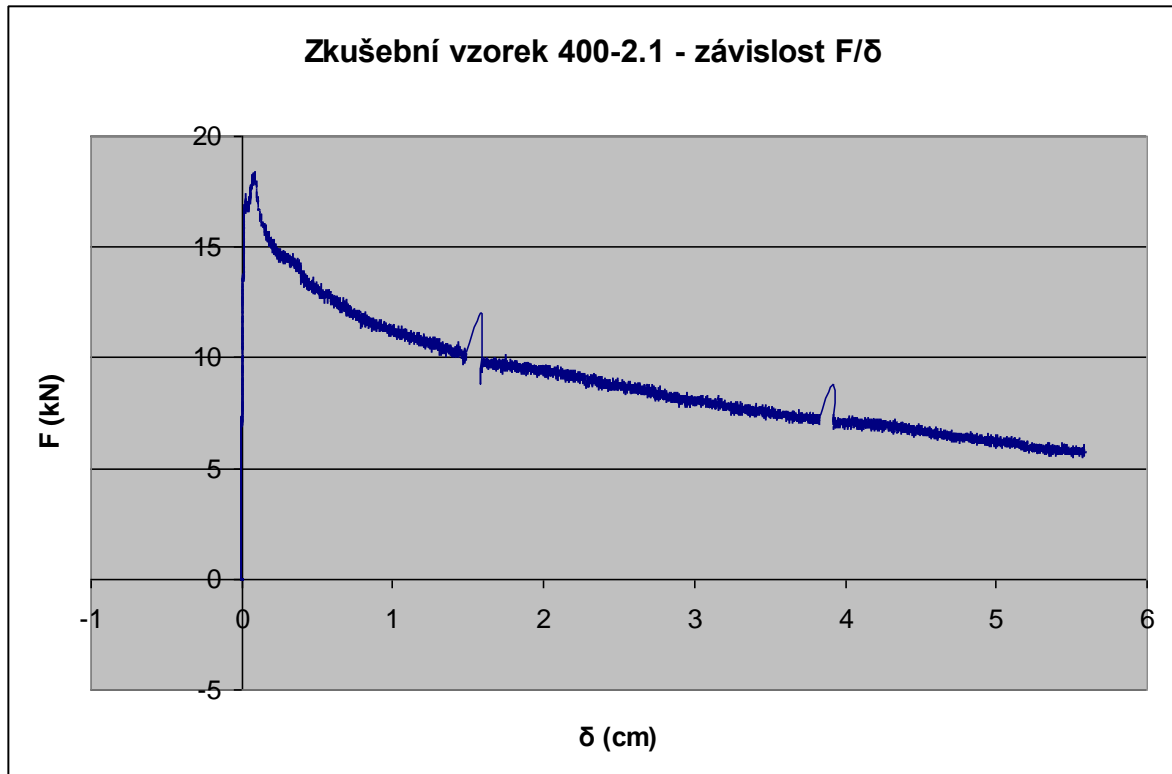


Obr. 29 Pohled na zkoušku drátkobetonové krychle na pevnost v tlaku.

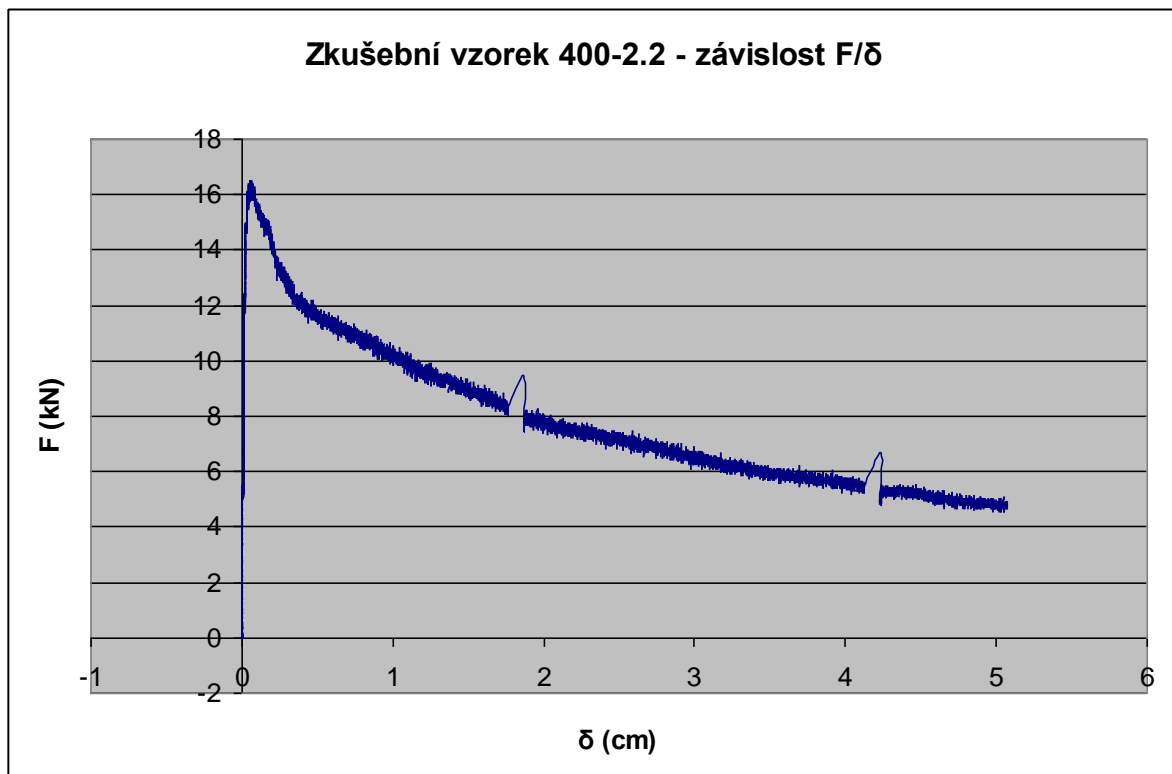
Výsledky provedených zkoušek a analýz jsou přiloženy v grafickém vyjádření:



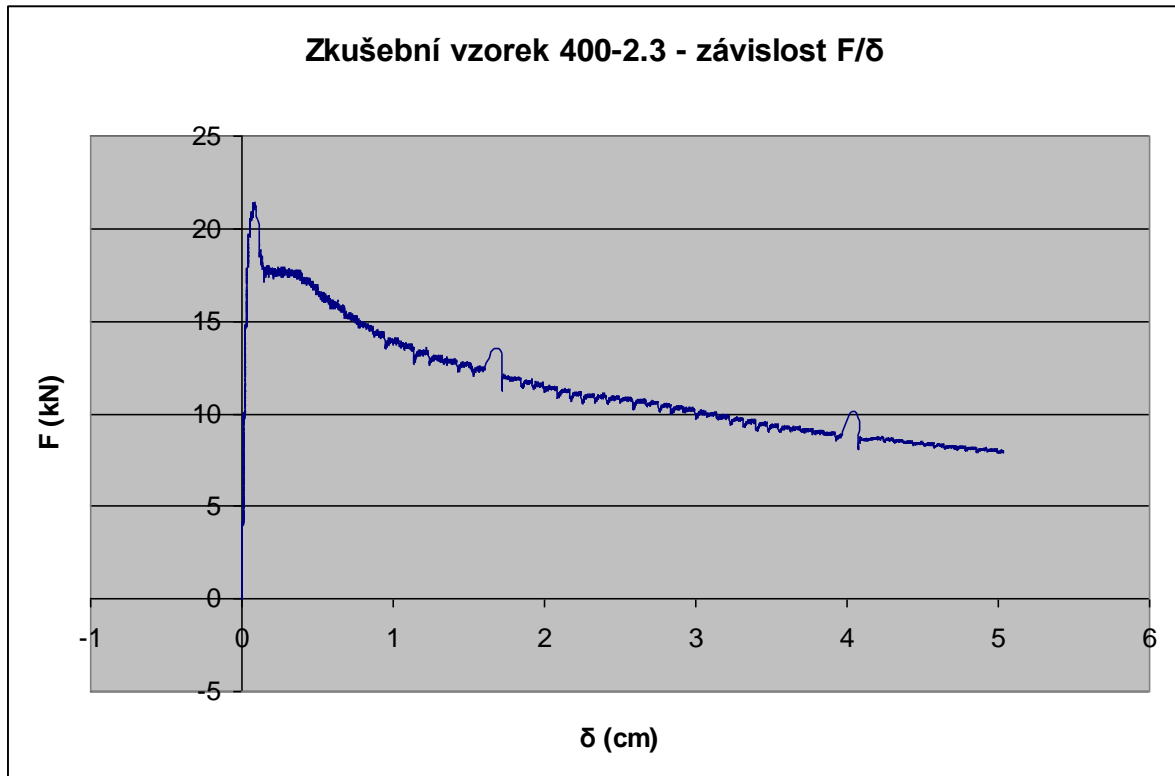
Obr.30 Trámek 100/100/400 mm, obsah vláken 0,6%.



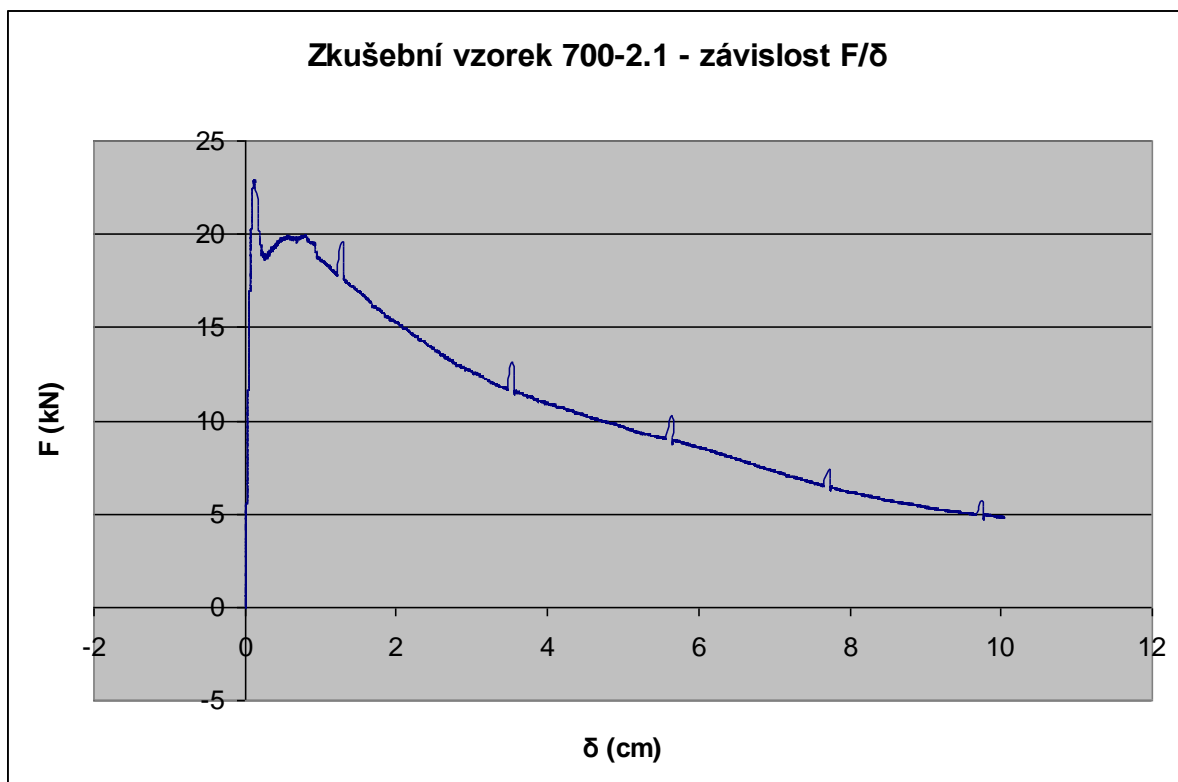
Obr. 31 Trámek 100/100/400 mm, obsah vláken 0,4%.



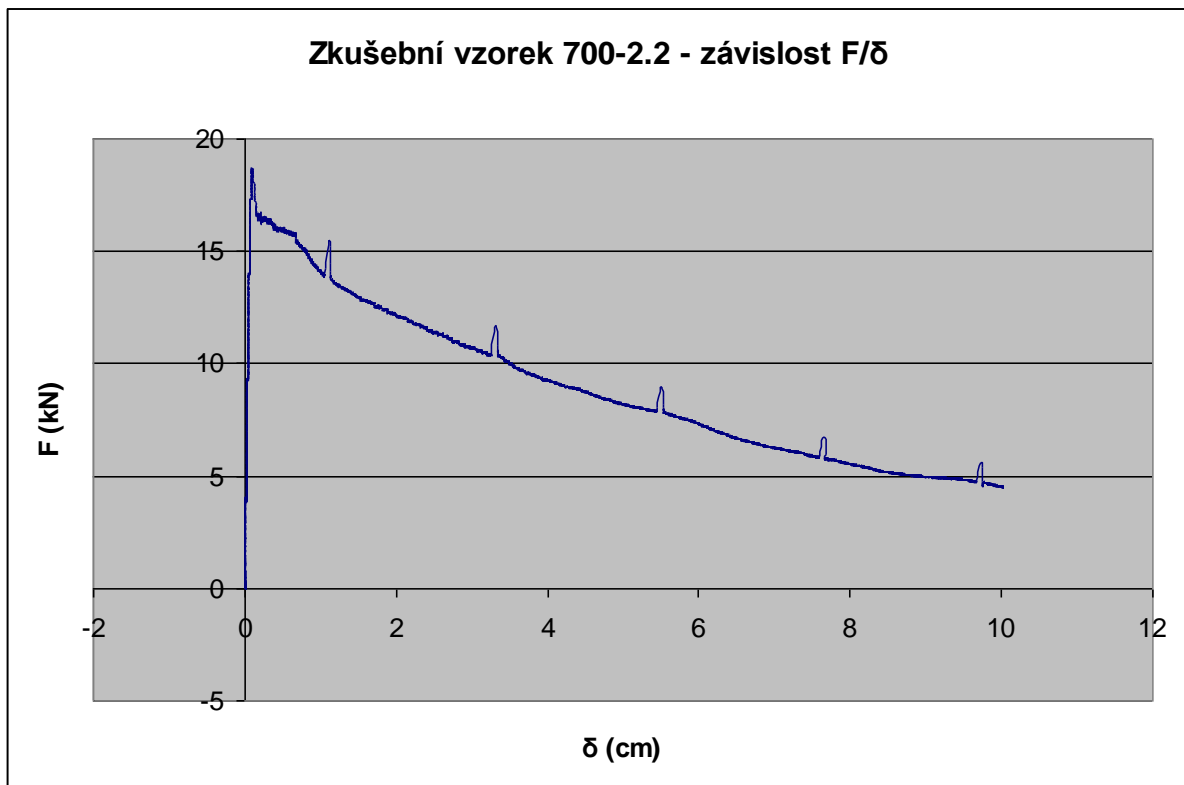
Obr. 32 Trámek 100/100/400 mm, obsah vláken 0,4%.



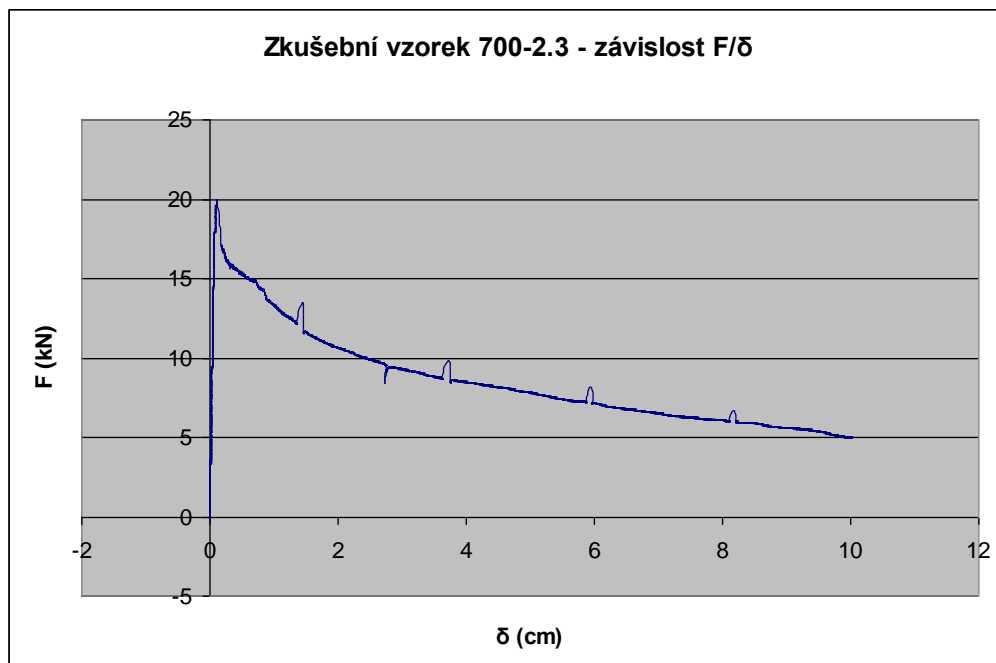
Obr. 32 Trámek 100/100/400 mm, obsah vláken 0,6%.



Obr.33 Trámek 150/150/700 mm, obsah vláken 0,4%.



Obr. 34 Trámek 150/150/700 mm, obsah vláken 0,6%.



Obr. 35 Trámek 150/150/700 mm, obsah vláken 0,6%.

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE													
FAKULTA STAVEBNÍ													
Thákurova 7, 166 28 PRAHA - 6, tel : 224 354 627 , fax : 224 354 446 , email : k133@fsv.cvut.cz													
ODBORNÁ LABORATOŘ KATEDRY BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ													
Zpráva o zkoušce										ze dne:	05.10.20	Číslo protokolu	: tt
Zákazník											Pořadované číslo	:	
Akce										:	Poznámka	:	
Výsledky laboratorních zkoušek													
Číslo vzorku	Ozn. tělesa	Rozměry tělesa			Hmot. tělesa	Objem. hmot.	Datum		Stáří vzorku	Tah za ohybu		Tlak	
		Délka	Šířka	Výška			výroby	zkoušky		síla	pevnost	síla	pevnost
		mm	mm	mm	g	kg/m ³	d.m.r.	d.m.r.	dny	kN	MPa	kN	MPa
1	1	149,5	148,1	149,6	7511,0	2267						969,09	43,8
1	2	149,8	150,2	149,5	7334,0	2180						810,35	36,0
1	3	149,6	147,8	149,9	7313,0	2205						949,27	42,9
2	1	149,8	147,5	149,6	7505,0	2271						964,65	43,7
2	2	149,3	151,9	149,4	7652,0	2257						842,77	37,1
2	3	149,4	150,1	149,4	7740,0	2310						1017,06	45,3
2	4	147,7	149,6	149,6	7425,0	2248						1040,59	47,1

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE															
FAKULTA STAVEBNÍ															
Thákurova 7, 166 28 PRAHA - 6, tel : 224 354 627 , fax : 224 354 446 , email : k133@fsv.cvut.cz															
ODBORNÁ LABORATOŘ KATEDRY BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ															
Zpráva o zkoušce										ze dne:	05.10.20	Číslo protokolu	: tt_lubos_2_5.10.2020/2		
Zákazník											Pořadované číslo	:			
Akce										:	Poznámka	:			
Výsledky laboratorních zkoušek															
Číslo vzorku	Ozn. tělesa	Rozměry tělesa			Hmot. tělesa	Objem. hmot.	Datum		Stáří vzorku	Tah za ohybu		Tlak		Příčný tah	
		Délka	Šířka	Výška			výroby	zkoušky		síla	pevnost	síla	pevnost	síla	pevnost
		mm	mm	mm	g	kg/m ³	d.m.r.	d.m.r.	dny	kN	MPa	kN	MPa	kN	MPa
1	1	149,5	154,0	149,5	7555,0	2197								135,53	3,75
1	2	149,4	149,8	149,4	7425,0	2222								153,41	4,37
1	3	149,2	151,8	149,4	7450,0	0								142,10	0,01
2	1	149,3	149,8	149,4	7545,0	2258								153,41	4,36
2	2	149,5	152,6	149,8	7390,0	2163								125,26	3,49
2	3	149,7	149,6	149,4	7615,0	2276								142,26	4,05

Obr.36 Výsledky laboratorních zkoušek kostek z vláknobetonu.

4.8 MATEMATICKÉ ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ LABORATORNÍCH ZKOUŠEK

Přehledná tabulka získaných hodnot:

Zkouška 2 přehled hodnot +statistické vyhodnocení			
Kostky	Síla kN	pevnost MPa	průměr SD
Tlak	969,09	43,8	Mpa 42,27143 4,149986
	810,35	36	
	949,27	42,9	
	964,65	43,7	
	842,77	37,1	
	1017,06	45,3	
	1040,59	47,1	
Příčný tah	kN	MPa	Mpa
Trám tlak za ohybu	135,53	3,75	4,004 0,384552
	153,41	4,37	
	147,1	4,36	
	153,41	3,49	
	125,26	4,05	
	142,16		
		kN	průměr SD
	400	24,749	20,0785 3,904804
		18,435	
		15,68	
		21,45	
	700	22,77	20,80575 2,004634
		22,193	
		18,557	
		19,703	

Tabulka č. 4

S těmito naměřenými hodnotami bude realizován další výpočet porovnání se skutečnou obezdívkou distribučního kolektoru v České ulici v Brně, kde se projektuje nová trasa takového kolektoru. Pravá strana tabulky vyjadřuje průměr naměřených hodnot testovaných vzorků a směrodatnou odchylku těchto hodnot. Na základě těchto hodnot pevnosti v tlaku a únosnosti zkoušených vzorků stanoví skutečná únosnost podle velikosti jednotlivých trámků. Byly zkoušeny trámky 100/100/400 mm a 150/150/700 mm. S dosaženými výsledky se stanoví parametry únosností vláknobetonu a budou dále vyzkoušeny v praktické situaci statického řešení provizorní obezdívky (priméru) reálného kolektoru v Brně.

V předchozí tabulce jsou uspořádány hodnoty výsledků laboratorních zkoušek, tabulkově je proveden jejich vážený průměr a směrodatná odchylka.

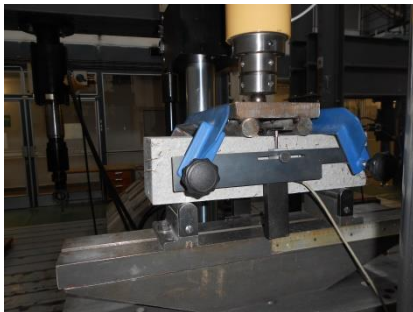
Aplikace technologie mokrého stříkaného vláknobetonu v konstrukcích primáru podzemních staveb.

$$\text{Aritmetický průměr: } X_a = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n X(i)$$

Geometrický průměr: $X_g = \sqrt[n]{x \cdot x \dots x}$ nebylo nutno díky charakteru a počtu vzorků vůbec dělat

$$\text{Směrodatná odchylka: } SD = \sqrt{\frac{\sum_{x=1}^n (x + x)^2}{n-1}}$$

Na základě výsledků zatížení zkušebního trámku, kde jako první byl zkoušen trámek o rozměrech 100/100mm délky 400mm, kde podpory byly od sebe 300mm a hlavní zatížení bylo roznášeno přes válečky po polovinách hodnoty po 100mm.



Příklad uspořádání zkoušky

moment v místě zatížení na prostém nosníku je :

$$M = \frac{F}{2} \cdot 0,2, \text{ pro sílu } F_{\max} = 22,77 \text{ kN}, F_{\text{střed}} = 20,81 \text{ kN}$$

Jsou příslušné momenty:

$$M_{\max} = 2,277 \text{ kNm}, M_{\text{střed}} = 2,081 \text{ kNm}$$

Průměrná krychelná pevnost zkoušeného betonu byla: $f_{cu} = 42,27 \text{ MPa}$

Průměrná pevnost v příčném tahu byla: $f_{st} = 4,004 \text{ MPa}$

Průřezový modul trámku 10/10cm:

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = 166,67 \text{ cm}^3$$

Výpočet hodnoty maximálního přenášeného napětí:

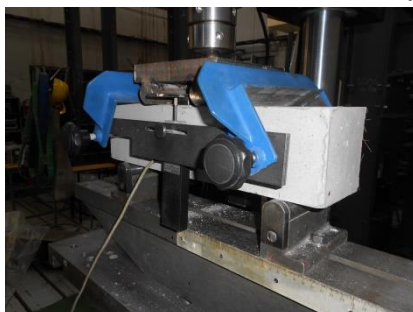
$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{12350}{166,67} = 74,22 \text{ kpcm} = 7,422 \text{ MPa}$$

Výpočet hodnoty přenášeného napětí ze střední hodnoty...

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{10040}{166,67} = 60,24 \text{ kpcm} = 6,024 \text{ MPa}$$

Jako druhý byl zkoušen trámek 150/150, délky 700mm, kde podpory prostého nosníku jsou 600mm, hlavní zatížení je přenášeno přes válečky po polovinách hodnoty 200mm viz schéma uspořádání zkoušky:

Moment v místě zatížení na prostém nosníku je:



$$M = \frac{F}{2} \cdot 0,2, \text{ pro sílu } F_{\max} = 24,7 \text{ kN}, F_{\text{střed}} = 20,08 \text{ kN}$$

Jsou příslušné momenty:

$$M_{\max} = 2,47 \text{ kNm}, M_{\text{střed}} = 2,008 \text{ kNm}$$

Aplikace technologie mokrého stříkaného vláknobetonu v konstrukcích primáru podzemních staveb.

Průměrná krychelná pevnost zkoušeného betonu

byla: $f_{cu} = 42,27$ MPa

Průměrná pevnost v příčném tahu byla: $f_{st} = 4,004$ MPa

Výpočet hodnoty přenášeného napětí vláknobetonem s použitými vlákny z pneumatik:

Průřezový modul trámku 15/15cm:

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = 562,5 \text{ cm}^3$$

Výpočet hodnoty maximálního přenášeného napětí:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{24700}{562,5} = 43,91 \text{ kpcm} = 4,391 \text{ MPa}$$

Výpočet hodnoty přenášeného napětí ze střední hodnoty...

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{20080}{562,5} = 60,24 \text{ kpcm} = 6,024 \text{ MPa}$$

Tyto hodnoty budou porovnávány s hodnotami výsledného výpočtu priméru ostění kolektoru v České ulici v Brně, který je momentálně navrhován klasicky, stříkaným betonem ze suché směsi a vyztužením měkkou výztuží. V projektu tohoto ostění je nutno podle báňských předpisů nutno dodržet určitá pravidla, která dbají na životnost takového ostění a jeho vlastností. Zejména jeho trvanlivost je povolena pouze měsíc a v mimořádné situaci, když dojde například k přerušení stavby, je tato doba jeden rok. Je povolena v mimořádných případech za dozoru státní báňské správy a báňské záchranné služby. Primér nemusí těsnit, jsou povoleny trhliny. Jeho hlavním úkolem je stabilizovat výrub, aby nedocházelo k deformacím skalního masivu nebo dokonce poruchám celistvosti výrubu. Primér je první ostění, které se realizuje ihned po vyražení jednoho postupu. Délka postupu je odvislá na kvalitě geologie, na koeficientu ložnosti, množství přitékající vody do výrubu. V posuzovaném případě je vzdálenost rámů zvolena osově 1 m. Úroveň hladiny podzemní vody stanovuje hydrogeologický průzkum, parametry pro stanovení stability výrubu jsou stanovovány podrobným inženýrskogeologickým posudkem.

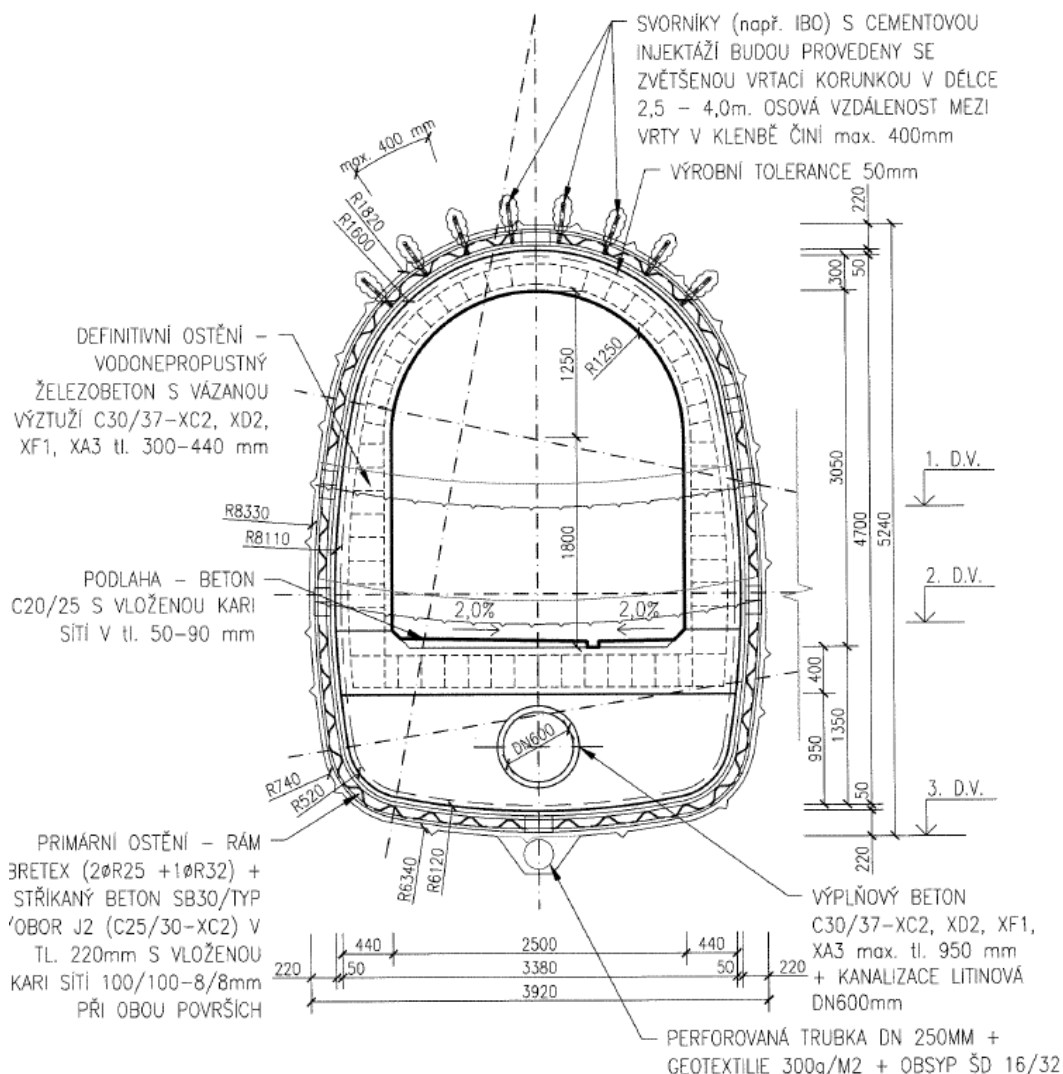
Z hlediska typu a postupu ražby byly zvoleny jako hlavní výztuž příhradové rámy Bretex po vzdálenostech 1m, jsou tříprutové, zastříkány stejně jako celý výrub stříkaným betonem. V klasickém provedení se stříkaný beton doplňuje, jak již bylo uvedeno měkkou výztuží ze svařovaných sítí a v náročnějších polohách se ještě může doplnit osamělými pruty výztuže. Předmětem tohoto řešení je posouzení

Aplikace technologie mokrého stříkaného vláknobetonu v konstrukcích primáru podzemních staveb.

návrhu náhrady této vložené výztuže pouze stříkaným vláknobetonem mokrou směsí s využitím recyklovaných ocelových vláken z použitých a posléze recyklovaných pneumatik osobních automobilů.

4.9 VZOROVÝ KONSTRUKČNÍ PŘÍČNÝ ŘEZ HLAVNÍ KOLEKTOROVOU TRASOU POD UL. ČESKÁ V BRNĚ

Na obrázku je uspořádání výztuže výrubu před nastříkáním betonu. Výrub je vyztužen tříprutovým Bretexovým rámem a za něj zatažena svařovaná výztužná síť. Toto provedení je připraveno na stříkání suché směsi.



Aplikace technologie mokrého stříkaného vláknobetonu v konstrukcích primáru podzemních staveb.

V přiloženém vzorovém příčném řezu je patrné celkové uspořádání profilu složeného z primární obezdívky, definitivního ostění a v případě klenbové nestability výrubu se navrhuje ještě lepené svorníky, jako pojistná svorníková výztuž. Celkově je profil řešen jako podkovový a protože město Brno využívá spodní část podlahy kolektoru na umístění splaškové kanalizace, tak se výhodně navrhuje protiklenba podlahy, která stabilizuje celý profil. Navrhované ostění je, jak již bylo napsáno ze stříkaného betonu suchou směsí. Na příčném řezu je dobře patrné řešení primární obezdívky s Bretexovým rámem. Tloušťka primáru je navržena 220 mm. Pro ověření výsledků v této dizertační práci je předpoklad využití stříkaného vláknobetonu zejména tam kde se dá technicky stříkat, tj. obou stěn a horní klenba profilu, spodní klenba až po definitivní podlahu kolektoru bude výhodně betonem postupně vylita.



Příklad provedení bretexových rámu ze svařených z betonářské výztuže, které bude nutno při realizaci primární obezdívky vždy stavět. Jejich vzdálenost je min. 1m a mezi ně a do nich se bude realizovat řešení nástřik drátkobetonu.

Aplikace technologie mokrého stříkaného vláknobetonu v konstrukcích primáru podzemních staveb.

Nejnižše se nachází na pravé straně potrubí pitné vody. Pod úrovní podlahy je uložena splašková kanalizace DN 600 a pod profilem kolektoru je umístěna drenáž.

Brněnské kolektory jsou koncipovány ve dvou úrovních, jako je to řešeno v Praze. Kolektor v České ulici je kategorie Distribuční, což znamená, že navazuje na stávající systém pod náměstím Svobody a pokračuje ulicí Českou. Distribuční znamená, že zásobuje médii každý dům v ulici a z každého domu odvádí splaškovou kanalizaci. To je specialitou města Brna, podobně to je řešeno ještě v Jihlavě a Českém Krumlově. Praha nedovolila kanalizaci v kolektorech vést.

V Brně je také specifická geologie a tak je nutno pečlivě dbát na to, aby při ražbě byl primár co nejdříve a co nejlépe stabilizován. V dalším výpočtu je řešen typový příčný řez kolektoru. Na trase se ještě nacházejí i jiné typy kolektorových profilů. Jedná se o např. přípojkový profil, který se realizuje v menším rozměru až na líc suterénu objektu, další je profil technické komory ty se nacházejí zejména na křižovatkách uvnitř kolektoru nebo na normální trase v místě přípojek. Tento profil je větší než klasický kolektorový ale ke velmi krátký, složí jen na odbočení inženýrských sítí do přípojky, nebo do jiné větve. Příklady řešený popisovaných příčných profilů kolektorem:

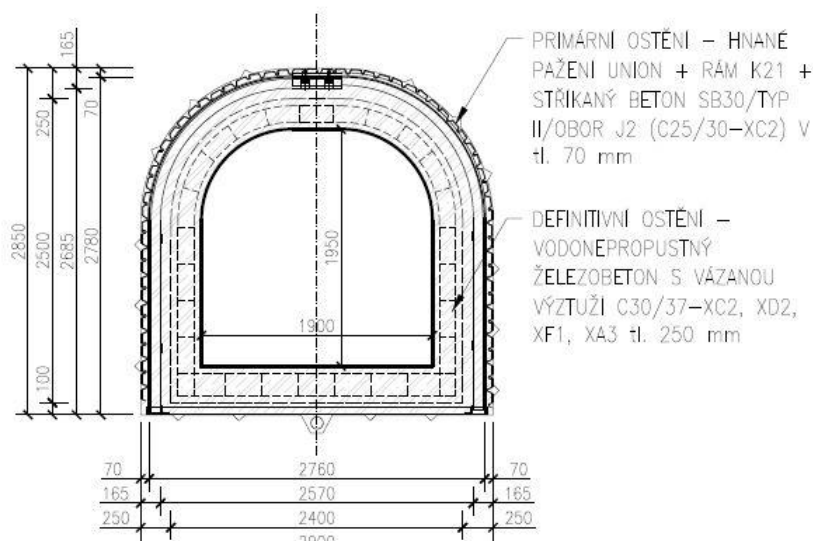
KOLEKTOROVÉ ODBOČKY

PŘÍČNÝ ŘEZ ODBOČKOU

O VNITŘNÍCH ROZMĚRECH PRIM. ZAJIŠTĚNÍ 2,57x2,685m

O VNITŘNÍCH ROZMĚRECH DEF. OSTĚNÍ 1,9x1,95 m

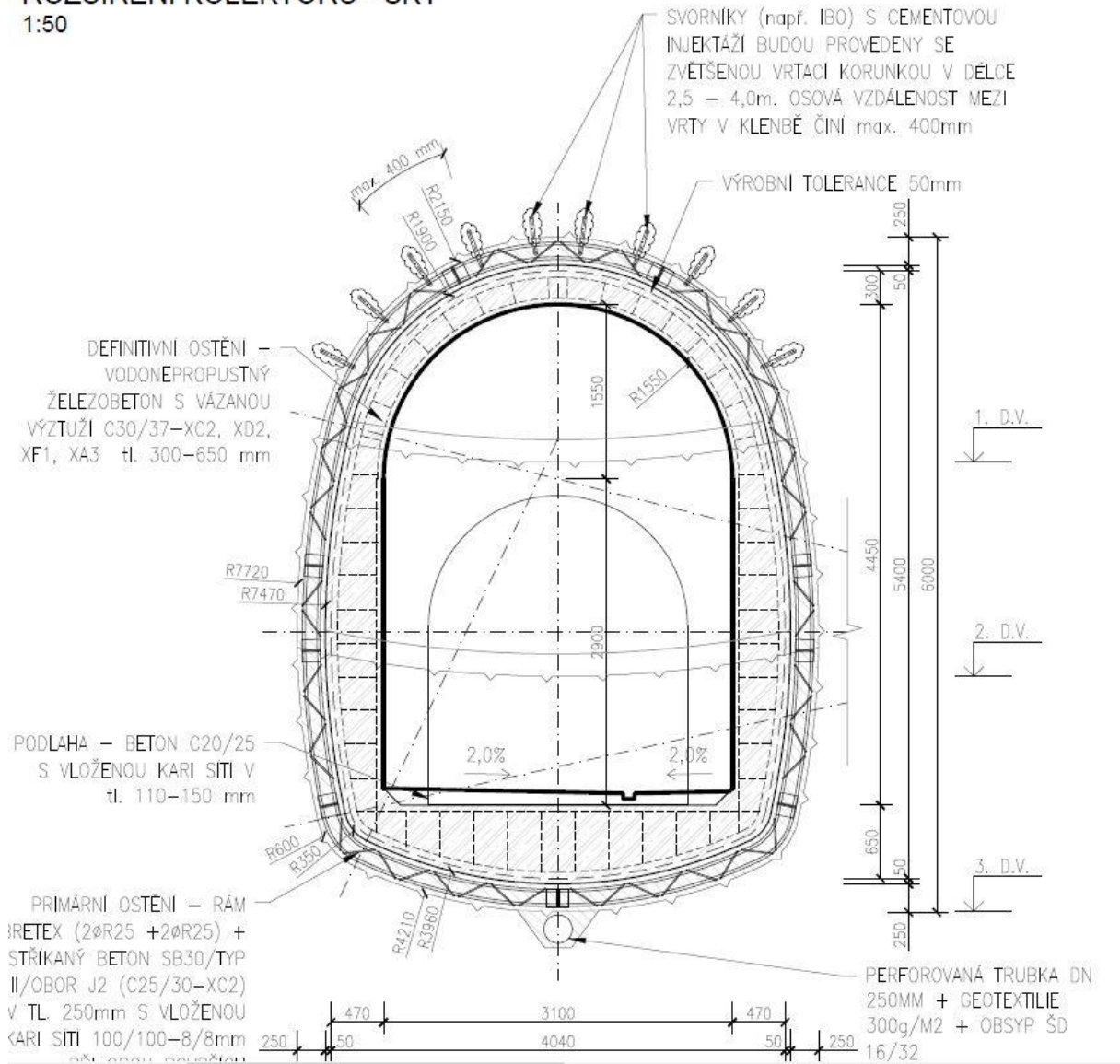
1:50



Aplikace technologie mokrého stříkaného vláknobetonu v konstrukcích primáru podzemních staveb.

Jedná se o krátké propojení hlavní trasy s domem, jejich délka je do 15m od hlavní trasy.

ROZŠÍŘENÍ KOLEKTORU - SK1 1:50



Toto je profil klasické technické komory, jedná se již o poměrně velký profil, který umožňuje odbočení z hlavní trasy do přípojky.

4.9 POROVNÁVACÍ STATICKÝ VÝPOČET REÁLNÉHO KOLEKTORU V BRNĚ, ULICE ČESKÁ

Obecné zásady přístupu statického výpočtu:

Statický výpočet je proveden v souladu s ČSN EN 1997-1. Generálně lze metodu výpočtu charakterizovat jako polygonální metodu za použité obecné deformační metody.

Numerický model, na kterém je aplikována parametrická studie s různým modulem deformace a různými poměry zatížení, dává komplexní (podrobnou) informaci o chování konstrukce v různém geologickém prostředí. Důslednost volení parametrů a množství provedených výpočtů na numerickém modelu, umožňuje nejen velmi přesně nastavit požadavky na hodnoty varovných stavů (deformací), ale zároveň i velmi pružně reagovat na nahodilé změny oproti očekávané geologii. Tento celý systém zahrnuje metoda NRTM – nové rakouské tunelovací metody.

Předmět a metoda statického výpočtu

Výpočet ostění je proveden obecnou deformační metodou, spojitá střednice je nahrazena polygonem a spolupůsobení ostění s horninou je modelováno soustavou kyvných prutů. Pro stanovení dat nutných pro výpočet ostění zjistíme výpočtový koeficient pružného odporu podle následující metodiky.

Reálné hodnoty zkušební koeficientu pružného odporu jsou pro potřeby výpočtu stanoveny z rovnice:

$$k_{zk} = \frac{E_{def}}{\alpha(1-\nu^2)\sqrt{A_{zk}}}$$

Kde značí:	E_{def} . . . modul přetvárnosti	[MPa]
	k_{zk} . . . zkušební koeficient pružného odporu	[kNm ⁻³]
	A_{zk} . . . plocha zkušební desky	[m ²]
	ν Poissonovo číslo	[1]
	α . . součinitel závislý na tvaru a tuhosti zkušební desky	
	(pro tuhou kruhovou desku $\alpha = 0,89$)	

$$k_{všp} = k_{zk} \sqrt{\frac{A_{zk}}{A_{skut}}}$$

Aplikace technologie mokrého stříkaného vláknobetonu v konstrukcích primáru podzemních staveb.

Zkušební koeficient pružného odporu je závislý na ploše zatěžovací plochy. Tento teoretický nedostatek je eliminován přepočtem na skutečnou velikost stavební konstrukce podle vztahu:

Kde značí: $k_{výp}$. . . výpočtový koeficient pružného odporu [kNm⁻³]
 k_{zk} . . . zkušební koeficient pružného odporu [kNm⁻³]
 A_{zk} . . . plocha zkušební desky [m²]
 A_{skut} . . . skutečná plocha základové spáry [m²]
 (pro $A_{skut} > 10 \text{ m}^2$ se bere $k_{výp}$ k odpovídající ploše 10 m^2)

Výsledky inženýrskogeologického průzkumu:

Stratigrafické zařazení	Geologický popis	Objemová hmotnost γ (kNm ⁻³)	Modul přetv. E_{def} (MPa)	Úhel vnitř. tření φ (°)	C_{ef} (kPa)	Poissonovo číslo ν	Zkušební koef. pruž. odporu k_{zk} (kNm ⁻³)	Výpočtový koef. pruž. odporu $k_{výp}$ (kNm ⁻³)	Zařídění podle ČSN 73 1001
Pokryvné útvary	Navážka	19,5	8	16	6	0,4	33839	19536	F6Y-F4Y
	Fluviální jílovité písky	20	7	18	10	0,37	28817	16637	F6CL, S5SC
	Eolické jíly a hlíny středně plastické	20	25	3	19	0,4	105748	61050	F6CL, S5SC
	Eolické jíly a hlíny vysoce plastické	19	24	0	5	0,42	103539	59775	F8CH-CV
	Terciérní jíly plastické	20	6	25	20	0,38	24917	14385	F8CH-CV, F6CI

Tabulka č. 5 Výpočtové charakteristiky zemin a hornin

Nahodilé svislé zatížení uvažujeme jako ideální pohyblivé zatížení dle ČSN 73 6203 podle změny b -11/1989 čl. 60 zatěžovací třída A seskupení zatížení II 9,0 kNm⁻².

Výpočet zatížení na konstrukci bude vypočten z následujících rovnic:

Tlak v klidu bude stanoven podle rovnice:

$$e_{kl} = \gamma \cdot H \cdot K_r \quad \text{kde} \quad K_r = \frac{\nu}{1 - \nu} \text{ a nebo} \quad K_r = 1 - \sin\varphi$$

Tlak aktivní bude stanoven podle rovnice:

$$\text{Pro nesoudržné zemin} \quad e_{ak} = \gamma H K_a$$

$$\text{Pro soudržné zemin} \quad e_{ak} = \gamma H K_a - 2c\sqrt{K_a}$$

$$\text{kde} \quad K_a = \text{tg}^2(45 - \varphi/2)$$

Odtud pak vypočteme redukovaný tlak na rozepřené konstrukce (pro případ nutnosti zmenšit přetvoření terénu podle rovnice 56 - ČSN 73 0037),

Aplikace technologie mokrého stříkaného vláknobetonu v konstrukcích primáru podzemních staveb.

$$e_{\text{red}} = 0,50 \times e_{\text{kl}} + 0,50 \times e_{\text{ak}}$$

Aktivní tlak podle ČSN 73 0037 Zemní tlak na stavební konstrukce, čl. 100

Výpočet zatížení hnaného pažení byl proveden podle ČSN 73 0037 Zemní tlak na stavební konstrukce, čl. 100 a podle kapitoly V. Zemní tlak na rozepřené konstrukce. Konstrukce bude posouzena buď na aktivní zemní tlak, vypočtený z reálných geotechnických hodnot nebo s využitím náhradního součinitele aktivního zemního tlaku $K_{\text{an}} = 0,20$ v souladu s ustanovením čl. 100 a, b a obr. 21. Pro dimenzování konstrukce se využije zatěžovací obrazec, který vyvodí v konstrukci nejnepříznivější vnitřní síly.

5.0 STATICKÝ VÝPOČET PRIMÁRNÍ OBEZDÍVKY HLAVNÍ KOLEKTOROVÉ TRASY (3,92x5,24 m)

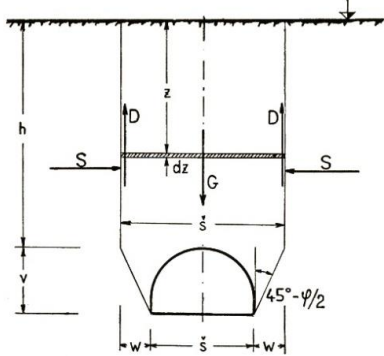
Hlavní kolektorová trasa je členěna na 3 výškové úrovně. Primární ostění sestává z příhradového rámu BRETEX (2ØR25 + 1ØR32) a stříkaného betonu SB30/typ II/obor J2 (C25/30) v tl. 220mm vyztuženého při obou površích místo KARI sítěmi 100/100-8/8mm z výztuže B500B pouze stříkaným vláknobetonem zkoumaným touto disertační prací. Maximální osová vzdálenost rámu BRETEX činí 1,0 m a musí být bezpodmínečně dodržena. Parametrická studie posuzuje primární ostění ve všech etapách výstavby na poměry svislého/vodorovného tlaku $p/s = 0,2; 0,4; 0,6$ a pro výpočtový koeficient pružného odporu 50 MNm^{-3} . Výpočet vnitřních sil byl proveden programem PROS3, polygonální metodou 2D.

Parametry posuzovaného průřezu: výška = 0,22m, beton SB30/typ II/obor J2 (C25/30), vliv prostředí XC2, ocel B500B, výztuž při horním povrchu 100/100-8/8mm (ØR8 á 100mm), krytí 34mm + 2ØR25/m' (BRETEX –krytí 42mm), výztuž při spodním povrchu 100/100-8/8mm (ØR8 á 100mm), krytí 34mm + 1ØR32/m' (BRETEX - krytí 42mm).

Betonový průřez je posuzován pro stáří 2 dnů, tj. pro modul pružnosti stříkaného betonu odpovídající 14 GPa a válcové pevnosti v tlaku 12 MPa (hodnoty na straně bezpečnosti).

Zatížení na konstrukci bylo stanoveno dle teorie Bierbäumera. Posouzení betonového průřezu je provedeno v programu FIN EC v5 – Beton podle ČSN EN 1992 – 1 – 1.

Aplikace technologie mokrého stříkaného vláknobetonu v konstrukcích primáru podzemních staveb.



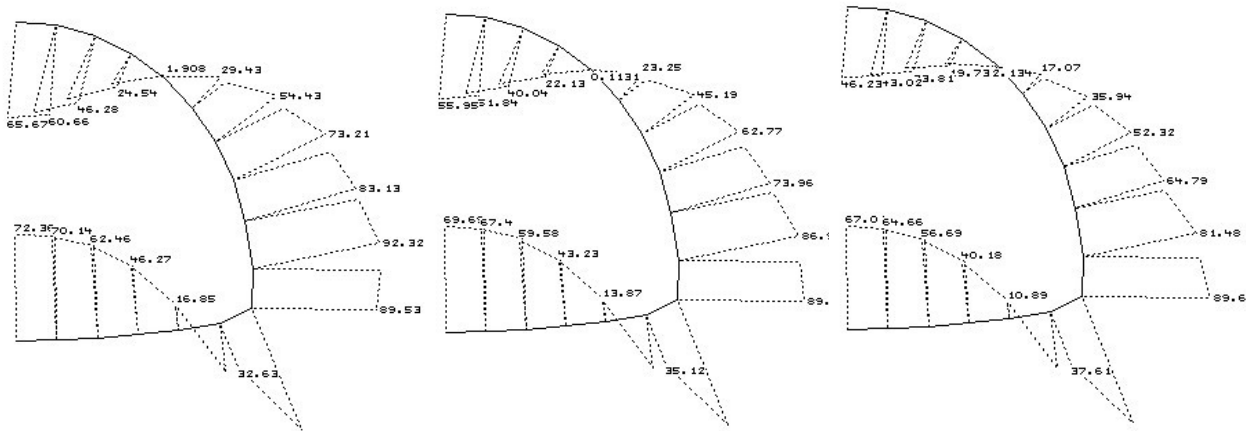
Metoda výpočtu zatížení klenby podle Bierbäumera

Účinek celé tíhy nadloží G se snižuje o účinek tření T, které vzniká podél sloupce horniny nad klenbou díla.

	š=	3,92	m	h=	4,52	m
	γ=	21,0	kNm ⁻³	φ=	6	°
	Součinitel zatížení=	1,35				
	Nahodilé zatížení (9,0 x 1,5) =	13,50	kNm ⁻²			
	Zatížení výrubu horninou a nahodilým zatížením:	515,26	kN			
	Zatížení klenby: q _v = G/š=	131,44	kNm ⁻²			
	Aktivní tlak od klínu zeminy:					
	S=1/2 γ×h ² ×tg ² (45-φ/2)=	173,53	kN			
	Tření: D = S×tgφ=	18,172	kN			
	Rovnováha sil: Q = G - 2×D=	646,537	kN			
	Zatížení klenby: p _v = Q/š=	164,93	kNm ⁻²			
	Zatížení boku: s _h = p _v ×0,2=	32,99	kNm ⁻²			
	Zatížení boku: s _h = p _v ×0,4=	65,97	kNm ⁻²			
	Zatížení boku: s _h = p _v ×0,6=	98,96	kNm ⁻²			

Tabulka č. 7: Výpočet zatížení na ostění štoly podle Bierbäumera

Ražba tohoto kolektorového profilu se předpokládá členěná na dílčí etapy. Výsledné posouzení náhrady navrhovaného ostění bude řešeno až v případě celého neděleného profilu. Posouzení primárního ostění hlavní kolektorové trasy – 1. etapy (1. dílčí výrub):



Průběhy vnitřních sil M (kNm) pro $k_{výp} = 50 \text{ MNm}^{-3}$ a pro $p/q = 0,2; 0,4; 0,6$

Objekt	Místo posouzení	Posuzované styčnický	50 [MNm ⁻³] p/q=0,2			50 [MNm ⁻³] p/q=0,4			50 [MNm ⁻³] p/q=0,6		
			$M_{ed,max}$ [kNm]	Využití [%]	Posouzení	$M_{ed,max}$ [kNm]	Využití [%]	Posouzení	$M_{ed,max}$ [kNm]	Využití [%]	Posouzení
			N_{ed} [kN]			N_{ed} [kN]			N_{ed} [kN]		
Hlavní kolektorová trasa	dno	1	72,36	85,7	Vyhovuje	69,69	80,9	Vyhovuje	67,01	76,2	Vyhovuje
			-83,87			-113,51			-143,16		
			7,41			7,62			7,82		
	bok	7	-89,53	85,7	Vyhovuje	-89,58	85,8	Vyhovuje	-89,63	85,9	Vyhovuje
			-290,01			-289,30			-288,60		
			10,09			9,73			29,55		
	vrchol klenba	17	65,67	77,7	Vyhovuje	55,95	64,6	Vyhovuje	46,23	52,0	Vyhovuje
			-84,63			-120,55			-156,49		
			17,03			13,96			10,90		

Tabulka č. 8 Posouzení primárního ostění hlavního kolektorového profilu – 1. etapy

Norma

Norma **EN 1992-1-1/Česko.**

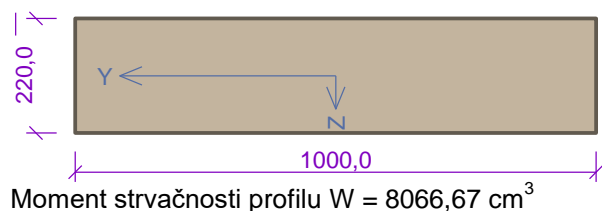
1 HI. trasa - 1.F - primár

1.1 Vstupní data

Typovku: stěna

Prostředí: XC2

Průřez



Materiály

Beton: C 25/30 (uživ.)

Válcová pevnost v tlaku $f_{ck} = 12,0$ MPa

Pevnost v tahu $f_{ct} = 1,2$ MPa

Modul pružnosti $E_c = 14000$ MPa

Ocel podélná: B500B

Mez kluzu $f_{yk} = 500,0$ MPa

Modul pružnosti $E_s = 200000$ MPa

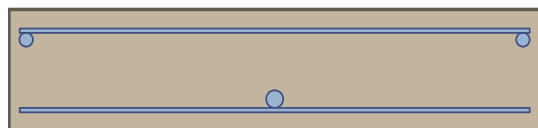
Ocel příčná: B500

Mez kluzu $f_{yk} = 500,0$ MPa

Modul pružnosti $E_s = 200000$ MPa

Podélná výztuž

Počet	Profil [mm]	Krytí [mm]	Umístění
10	8	34,0	horní výztuž
2	25	42,0	horní výztuž
1	32	42,0	dolní výztuž
10	8	34,0	dolní výztuž



10x8 (pp 100,0mm) kr. 34,0

2x25 (pp 100,0mm) kr. 42,0

1x32 (pp 100,0mm) kr. 42,0

S tlačenou výztuží je počítáno.

Průřez bez smykové výztuže.

Výsledky:

Ideální průřez

Poměr tuhosti výztuže a betonu: $I_e = 14,29$

Průřezová plocha: $A = 260 \cdot 10^3$ mm²

Poloha těžiště (od levého spodního rohu obálky průřezu): $y_t = 500$ mm; $z_t = 110,7$ mm

Moment setrvačnosti: $I_y = 1,04 \cdot 10^9$ mm⁴; $I_z = 22,7 \cdot 10^9$ mm⁴

Aplikace technologie mokrého stříkaného vláknobetonu v konstrukcích primáru podzemních staveb.

Statický moment výztuže vůči těžišti průřezu: $S_{y,S} = -1,94 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$; $S_{z,S} = 0 \text{ mm}^4$

Posouzení min. a max. stupně vyztužení

Stěna (celková výztuž):

$s = 0,0127$ $s_{\text{min.}} = 0,002$ **Vyhovuje**
 $s = 0,0127$ $s_{\text{max.}} = 0,04$ **Vyhovuje**

Minimální plocha vodorovné výztuže: $A_{sh,\text{min}} = 697,8 \text{ mm}^2$

Posouzení mezního stavu únosnosti:

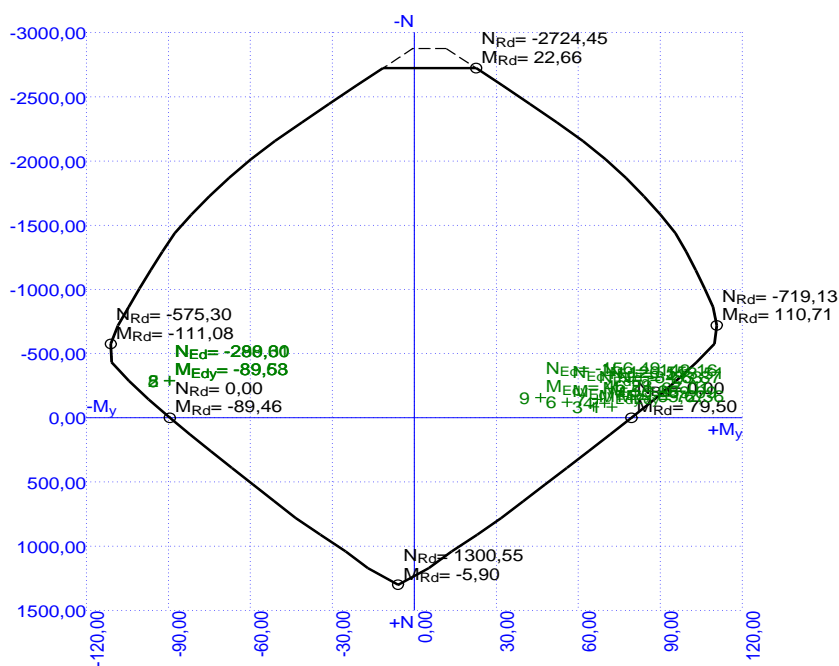
č.	Název	NEd [kN]	NRd [kN]	Medy [kNm]	Mrdy [kNm]	Vedz [kN]	VRdz [kN]	Využití [%]	Posouzení
1	50000_0/2_1	-83,87	-2876,52	72,36	84,41	7,41	95,17	85,7	Vyhovuje
2	50000_0/2_2	-290,01	-2876,52	-89,53	-104,53	10,09	123,49	85,7	Vyhovuje
3	50000_0/2_3	-84,63	-2876,52	65,67	84,45	17,03	95,26	77,7	Vyhovuje
4	50000_0/4_1	-113,51	-2876,52	69,69	86,12	7,62	98,60	80,9	Vyhovuje
5	50000_0/4_2	-289,30	-2876,52	-89,58	-104,50	9,73	123,41	85,8	Vyhovuje
6	50000_0/4_3	-120,55	-2876,52	55,95	86,53	13,96	99,42	64,6	Vyhovuje
7	50000_0/6_1	-143,16	-2876,52	67,01	87,82	7,82	102,03	76,2	Vyhovuje
8	50000_0/6_2	-288,60	-2876,52	-89,63	-104,47	29,55	123,33	85,9	Vyhovuje
9	50000_0/6_3	-156,49	-2876,52	46,23	88,58	10,90	103,58	52,0	Vyhovuje

Tabulka č. 9 Mezní stav únosnosti VYHOVUJE - 85,9 %

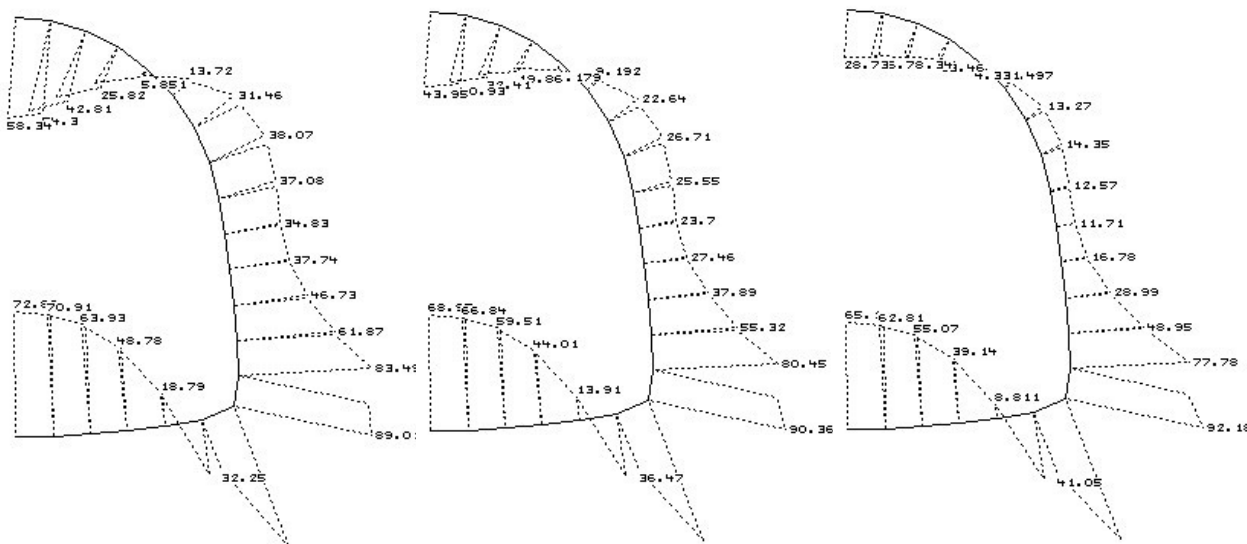
Celkové posouzení - Průřez VYHOVUJE

Využití: 85,9 %

Interakční diagram:



Posouzení primárního ostění hlavní kolektorové trasy – 2. etapy (2. dílčí výrub)



Průběhy vnitřních sil M (kNm) pro $k_{vyp} = 50 \text{ MNm}^{-3}$ a pro $p/q = 0,2; 0,4; 0,6$

Objekt	Místo posouzení	Posuzované styčnický	50 $[\text{MNm}^{-3}]$ $p/q=0,2$			50 $[\text{MNm}^{-3}]$ $p/q=0,4$			50 $[\text{MNm}^{-3}]$ $p/q=0,6$		
			$M_{ed,max}$ [kNm]	Využití [%]	Posouzení	$M_{ed,max}$ [kNm]	Využití [%]	Posouzení	$M_{ed,max}$ [kNm]	Využití [%]	Posouzení
			N_{ed} [kN]			N_{ed} [kN]			N_{ed} [kN]		
Hlavní kolektorová trasa	dno	1	72,89	80,8	Vyhovuje	68,97	75,2	Vyhovuje	65,10	69,8	Vyhovuje
			-183,98			-210,32			-237,30		
			6,41			6,88			7,40		
	bok	7	89,01	83,7	Vyhovuje	90,36	85,0	Vyhovuje	92,18	86,7	Vyhovuje
			-331,64			-330,50			-330,12		
			24,06			43,22			62,81		
	vrchol klenba	21	58,34	67,2	Vyhovuje	43,95	49,2	Vyhovuje	28,73	31,2	Vyhovuje
			-123,06			-164,05			-206,69		
			13,75			10,25			6,61		

Tabulka č. 10 Posouzení primárního ostění hlavního kolektorového profilu – 2. etapy

Norma EN 1992-1-1/Česko.

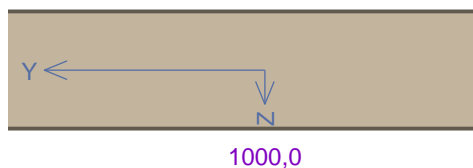
1 Hl. trasa - 2.F - primár

1.1 Vstupní data

Typ prvku: stěna

Prostředí: XC2

Průřez:



Materiály:

Beton: C 25/30 (uživ.)

Válcová pevnost v tlaku $f_{ck} = 12,0$ MPa

Pevnost v tahu $f_{ctm} = 1,2$ MPa

Modul pružnosti $E_{cm} = 14000$ MPa

Ocel podélná: B500B

Mez kluzu $f_{yk} = 500,0$ MPa

Modul pružnosti $E_s = 200000$ MPa

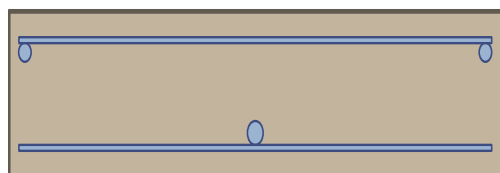
Ocel příčná: B500

Mez kluzu $f_{yk} = 500,0$ MPa

Modul pružnosti $E_s = 200000$ MPa

Podélná výztuž

Počet	Profil [mm]	Krytí [mm]	Umístění
10	8	34,0	horní výztuž
2	25	42,0	horní výztuž
1	32	42,0	dolní výztuž
10	8	34,0	dolní výztuž



10x8 (po 100,0mm) kr. 34,0
2x25 (po 42,0)

1x32 (po 42,0)
10x8 (po 100,0mm) kr. 34,0

S tlačnou výztuží je počítáno.

Smyková výztuž

Průřez bez smykové výztuže.

Výsledky:

Ideální průřez

Poměr tuhosti výztuže a betonu: $\eta_e = 14,29$

Průřezová plocha: $A = 260 \cdot 10^3$ mm²

Poloha těžiště (od levého spodního rohu obálky průřezu): $y_t = 500$ mm; $z_t = 110,7$ mm

Moment setrvačnosti: $I_y = 1,04 \cdot 10^9$ mm⁴; $I_z = 22,7 \cdot 10^9$ mm⁴

Statický moment výztuže vůči těžišti průřezu: $S_{y,s} = -1,94 \cdot 10^6$ mm⁴; $S_{z,s} = 0$ mm⁴

Posouzení min. a max. stupně vyztužení

Stěna (celková výztuž):

$\rho_s = 0,0127$? $\rho_{s,min} = 0,002$? **Vyhovuje**

$\rho_s = 0,0127$? $\rho_{s,max} = 0,04$? **Vyhovuje**

Minimální plocha vodorovné výztuže: $A_{sh,min} = 697,8$ m²

Posouzení mezního stavu únosnosti:

č.	Název	N_{Ed} [kN]	N_{Rd} [kN]	M_{Edy} [kNm]	M_{Rdy} [kNm]	V_{Edz} [kN]	V_{Rdz} [kN]	Využití [%]	Posouzení
1	50000_0/2_1	-183,98	-2876,52	72,89	90,13	6,41	106,76	80,8	Vyhovuje
2	50000_0/2_2	-331,64	-2876,52	-89,01	-106,46	24,06	128,35	83,7	Vyhovuje

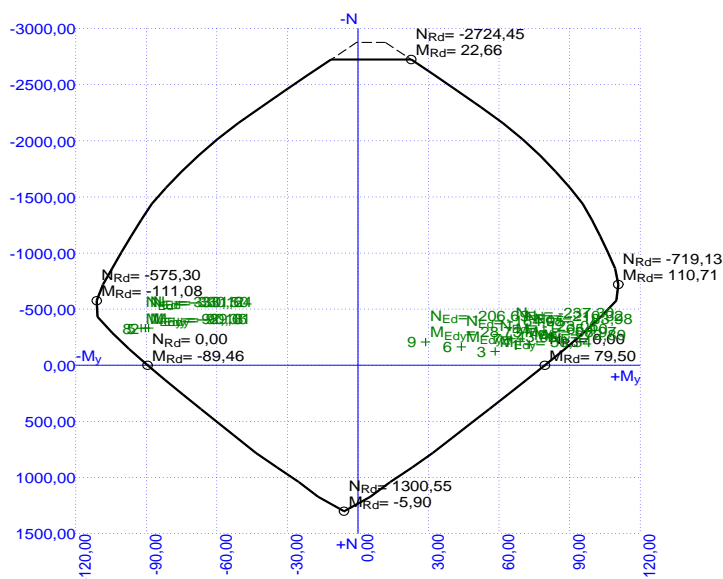
č.	Název	N_{Ed} [kN]	N_{Rd} [kN]	M_{Edy} [kNm]	M_{Rdy} [kNm]	V_{Edz} [kN]	V_{Rdz} [kN]	Využití [%]	Posouzení
3	50000_0/2_3	-123,06	-2876,52	58,34	86,67	13,75	99,71	67,2	Vyhovuje
4	50000_0/4_1	-210,32	-2876,52	68,97	91,60	6,88	109,80	75,2	Vyhovuje
5	50000_0/4_2	-330,50	-2876,52	-90,36	-106,41	43,22	128,22	85,0	Vyhovuje
6	50000_0/4_3	-164,05	-2876,52	43,95	89,01	10,25	104,45	49,2	Vyhovuje
7	50000_0/6_1	-237,30	-2876,52	65,10	93,09	7,40	112,93	69,8	Vyhovuje
8	50000_0/6_2	-330,12	-2876,52	-92,18	-106,39	62,81	128,17	86,7	Vyhovuje
9	50000_0/6_3	-206,69	-2876,52	28,73	91,40	6,61	109,38	31,2	Vyhovuje

Tabulka č. 11 Mezní stav únosnosti VYHOVUJE - 86,7 %

Celkové posouzení - Průřez VYHOVUJE

Využití: 86,7 %

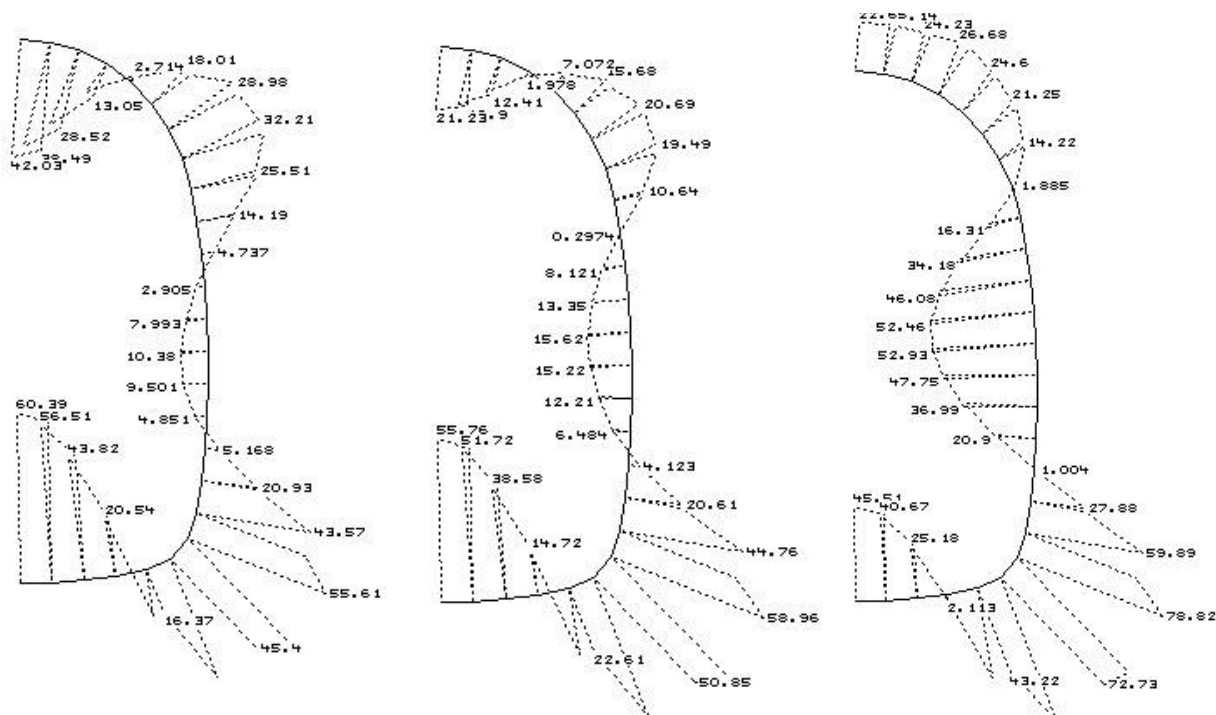
Interakční diagram



Posouzení primárního ostění hlavní kolektorové trasy – 3. etapy (plný profil)

Tento profil bude porovnán s výsledky pevnostního napětí drátkobetonu stříkaného mokrou cestou. Budou porovnávány hodnoty pouze ty úseky příčného řezu, kde by bylo možné realizovat stříkaný vláknobeton mokrou cestou.

Aplikace technologie mokrého stříkaného vláknobetonu v konstrukcích primáru podzemních staveb.



Průběhy vnitřních sil M (kNm) pro $k_{vyp} = 50 \text{ MNm}^{-3}$ a pro $p/q = 0,2; 0,4; 0,6$

Objekt	Místo posouzení	Posuzované styčníky	50 [MNm ⁻³] p/q=0,2			50 [MNm ⁻³] p/q=0,4			50 [MNm ⁻³] p/q=0,6															
			$M_{ed,max}$ [kNm]	N_{ed} [kN]	V_{ed} [kN]	Využití [%]	Posouzení	$M_{ed,max}$ [kNm]	N_{ed} [kN]	V_{ed} [kN]	Využití [%]	Posouzení												
Hlavní kolektorová trasa	dno	1	60,39	-278,1	12,42	63,2	Vyhovuje	55,76	-300,37	12,93	57,5	Vyhovuje	45,51	-330,92	15,52	46,1	Vyhovuje							
			55,61	-336,92	47,46			52,4	Vyhovuje	58,96			-347,4	55,97	55,3			Vyhovuje	78,82	-371,13	74,62	73	Vyhovuje	
			10,38	-308,26	7,92					10,7			Vyhovuje	15,62					-303,83	1,31	15,7			Vyhovuje
	bok	13,14	32,21	-287,6	22,75	31,2	Vyhovuje	20,69	-282,93		17,01	20,2		Vyhovuje	26,68	-283,56	8,42	26	Vyhovuje					
			19,20,23	42,03	-143,13			12,04	47,7	Vyhovuje	21,23		-191,14		7,94	23,2	Vyhovuje			22,65	-264,46	1,69	23,6	Vyhovuje
			vrchol klenba	26	42,03			-143,13			12,04		47,7		Vyhovuje					21,23	-191,14	7,94		

Tabulka č. 12 Posouzení primárního ostění hlavního kolektorového profilu – 3. etapy

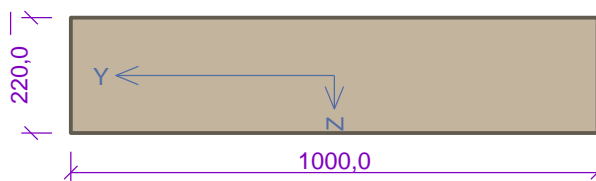
Aplikace technologie mokrého stříkaného vláknobetonu v konstrukcích primáru podzemních staveb.

Norma EN 1992-1-1/Česko.

HI. trasa - 3.F – primár 1 Vstupní data

Prostředí XC2

Průřez:



Materiály:

Beton: C 25/30 (uživ.)

Válcová pevnost v tlaku $f_{ck} = 12,0$ MPa
 Pevnost v tahu $f_{ctm} = 1,2$ MPa
 Modul pružnosti $E_{cm} = 14000$ MPa

Ocel podélná: B500B

Mez kluzu $f_{yk} = 500,0$ MPa
 Modul pružnosti $E_s = 200000$ MPa

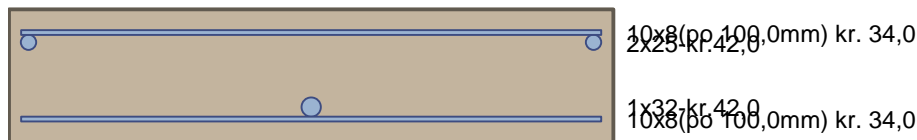
Ocel příčná: B500

Mez kluzu $f_{yk} = 500,0$ MPa
 Modul pružnosti $E_s = 200000$ MPa

Průřezový modul $W = 8066,67$ cm³

Podélná výztuž

Počet	Profil [mm]	Krytí [mm]	Umístění
10	8	34,0	horní výztuž
2	25	42,0	horní výztuž
1	32	42,0	dolní výztuž
10	8	34,0	dolní výztuž



S tlačenou výztuží je počítáno.

Smyková výztuž: Průřez bez smykové výztuže.

Výsledky

Ideální průřez: Poměr tuhosti výztuže a betonu: $\epsilon = 14,29$

Průřezová plocha: $A = 260 \cdot 10^3$ mm²

Poloha těžiště (od levého spodního rohu obálky průřezu): $y_t = 500$ mm; $z_t = 110,7$ mm

Moment setrvačnosti: $I_y = 1,04 \cdot 10^9$ mm⁴; $I_z = 22,7 \cdot 10^9$ mm⁴

Statický moment výztuže vůči těžišti průřezu: $S_{y,s} = -1,94 \cdot 10^6$ mm⁴; $S_{z,s} = 0$ mm⁴

Posouzení min. a max. stupně vyztužení

Stěna (celková výztuž):

$$s = 0,0127 \quad s_{,min} = 0,002$$

Vyhovuje

Aplikace technologie mokrého stříkaného vláknobetonu v konstrukcích primáru podzemních staveb.

$s = 0,0127$ $s_{,max} = 0,04$ **Vyhovuje**

Minimální plocha vodorovné výztuže: $A_{sh,min} = 697,8 \text{ mm}^2$

Posouzení mezního stavu únosnosti:

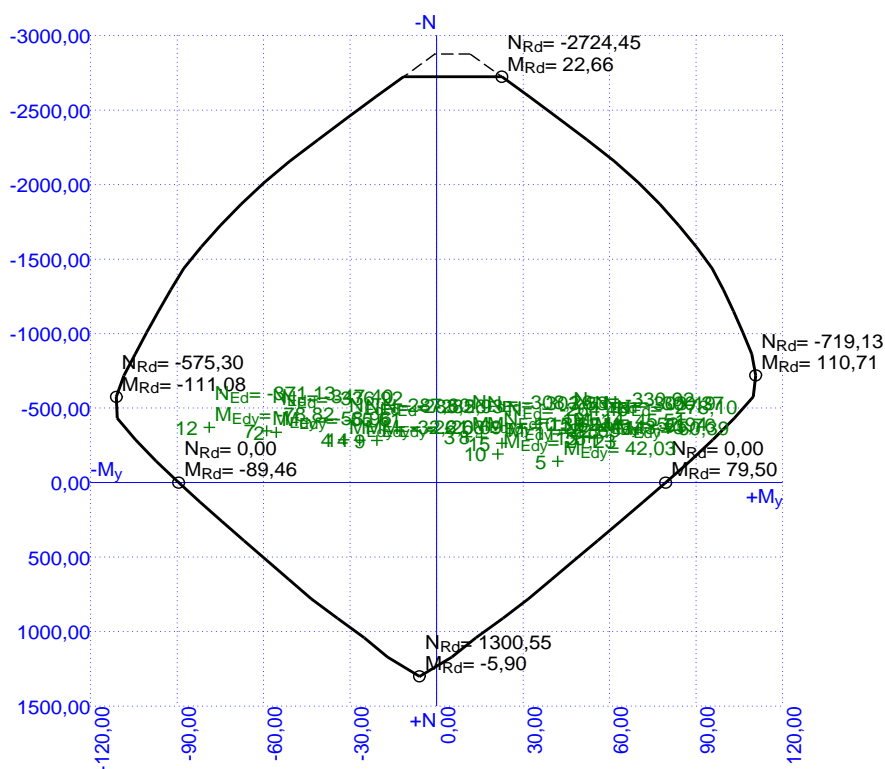
č.	Název	N_{Ed} [kN]	N_{Rd} [kN]	M_{Edy} [kNm]	M_{Rdy} [kNm]	V_{Edz} [kN]	V_{Rdz} [kN]	Využití [%]	Posouzení
1	50000_0/2_1	-278,10	-2876,52	60,39	95,32	12,42	117,65	63,2	Vyhovuje
2	50000_0/2_2	-336,92	-2876,52	-55,61	-106,70	47,46	128,96	52,4	Vyhovuje
3	50000_0/2_3	-308,26	-2876,52	10,38	96,93	7,92	121,14	10,7	Vyhovuje
4	50000_0/2_4	-287,60	-2876,52	-32,21	-104,42	22,75	123,21	31,2	Vyhovuje
5	50000_0/2_5	-143,13	-2876,52	42,03	87,82	12,04	102,03	47,7	Vyhovuje
6	50000_0/4_1	-300,37	-2876,52	55,76	96,51	12,93	120,22	57,5	Vyhovuje
7	50000_0/4_2	-347,40	-2876,52	-58,96	-107,17	55,97	130,19	55,3	Vyhovuje
8	50000_0/4_3	-303,83	-2876,52	15,62	96,70	1,31	120,62	15,7	Vyhovuje
9	50000_0/4_4	-282,93	-2876,52	-20,69	-104,20	17,01	122,67	20,2	Vyhovuje
10	50000_0/4_5	-191,14	-2876,52	21,23	90,53	7,94	107,58	23,2	Vyhovuje
11	50000_0/6_1	-330,92	-2876,52	45,51	98,13	15,52	123,76	46,1	Vyhovuje
12	50000_0/6_2	-371,13	-2876,52	-78,82	-108,22	74,62	130,72	73,0	Vyhovuje
13	50000_0/6_3	-303,19	-2876,52	52,94	96,66	17,21	120,55	54,5	Vyhovuje
14	50000_0/6_4	-283,56	-2876,52	-26,68	-104,23	8,42	122,74	26,0	Vyhovuje
15	50000_0/6_5	-264,46	-2876,52	22,65	94,58	1,69	116,07	23,6	Vyhovuje

Tabulka č. 13 Mezní stav únosnosti VYHOVUJE - 73,0 %

Celkové posouzení - Průřez VYHOVUJE

Využití: 73,0 %

Interakční diagram:



Závěr parametrické studie provedené na primárním ostění – vyhodnocení únosnosti ostění

Po provedení parametrické studie, kde byla posouzena únosnost primárního ostění ve všech etapách výstavby, pro poměry svislého/vodorovného tlaku $p/s = 0,2; 0,4; 0,6$ a pro výpočtový koeficient pružného odporu 50 MNm^{-3} , lze konstatovat, že navržený způsob zajištění (tj. skladba provizorního ostění, vzdálenost ráků apod.) je vyhovující.

5.1 VÝSLEDNÉ POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ PŘEDCHOZÍHO VÝPOČTU S VÝSLEDKY ZJIŠTĚNÝMI ZKOUMÁNÍM STŘÍKANÉHO DRÁTKOBETONU (SB) S POUŽITÍM RECYKLOVANÝCH DRÁTKŮ Z PNEUMATIK

Výpočet hodnoty přenášeného napětí z předchozího výpočtu reálného ostění kolektoru v Brně, České ulici:

Aplikace technologie mokrého stříkaného vláknobetonu v konstrukcích primáru podzemních staveb.

Pro hodnocení budou vybrány hodnoty výsledných momentů z předchozího výpočtu plného profilu kolektoru z následujících částí profilu, které se budou bezpečně realizovat ze stříkaného betonu:

- a) boční stěny profilu, výpočtové body na střednici rámu č. 10 - 18
- b) horní klenba profilu výpočtové body na střednici rámu č. 19 - 26

Spodní protiklenba se předpokládá, že by mohla být vybetonována jinou metodou než stříkáním vláknobetonem.

Výčet hodnot ohybových momentů na obezdívce priméru, momenty jsou uspořádány díky souměrnosti kolektorového profilu dle výpočetních bodů:

Stěna profilu – číslo bodu-

	10,	11,	12,	13,	14,	15,	16,	17,	18
kNm	5,17	-4,85	-9,5	-10,4	-7,99	-2,91	4,74	14,19	25,51

(průměrná hodnota 9,47 kNm)

Stropní klenba profilu – číslo bodu

	19	20	21	22	23	24	25	26
kNm	32,21	28,98	15,01	2,714	-13,05	-28,52	-30,49	42,03

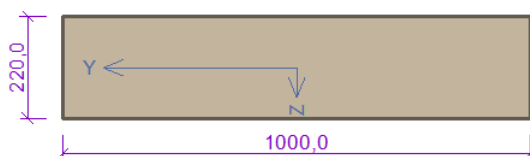
(průměrná hodnota 24,13 kNm)

Vyhodnocení pro další výpočet: maximální hodnota ohybového momentu:

$$M_{\max. \text{ stěna}} = 25,51 \text{ kNm}$$

$$M_{\max. \text{ klenba}} = 42,03 \text{ kNm}$$

Výpočet průřezového modulu primárního ostění tl. $h = 22 \text{ cm}$, šířka $b = 100 \text{ cm}$



$$W_{\text{prim.}} = (bxh^2)/6 = 0,0484 : 6 = 0,0080666 \text{ m}^3$$

Výpočet hodnoty přenášeného napětí :

průměrná hodnota momentu kolektorové stěny 9,47 kNm

$$\sigma_p = \frac{M}{W} = \frac{9,47}{0,008066} = 1174,06 \text{ kPa} = 1,174 \text{ MPa}$$

průměrná hodnota momentu kolektorového stropu 24,13 kNm

$$\sigma_p = \frac{M}{W} = \frac{24,13}{0,008066} = 2991,57 = 2,991 \text{ MPa}$$

Maximální hodnota momentu na stěně 25,51 kNm

$$\sigma_p = \frac{M}{W} = \frac{25,51}{0,008066} = 3162,422 \text{ kPa} = 3,162 \text{ MPa}$$

Maximální hodnota momentu v klenbě 42,03 kNm

$$\sigma_p = \frac{M}{W} = \frac{42,03}{0,008066} = 5210,761 \text{ kPa} = 5,21 \text{ MPa}$$

5.2 POROVNÁNÍ VÝSKEDNÝCH HODNOT VYPOČTENÉHO SKUTEČNÉHO NAPĚTÍ ÚNOSNOSTI NAVRHOVANÉ KOLEKTOROVÉ OBEZDÍVKY KOLEKTORU V ČESKÉ ULICI V BRNĚ S VÝSLEDKY ZKOUŠENÍ DRÁTKOBETONOVÉ SMĚSI PRO MOKRÝ SB

Porovnání bude pouze pro stříkaný beton primární obezdívky kolektorových profilů s možným zobecněním v celé České republice. Jako vhodný příklad pro porovnání se hodil momentálně připravovaný profil kolektoru v Brně, neboť zde jsou stávající inženýrskogeologické podmínky velmi komplikované nadloží kolektorového profilu je také malé a proto je nutno počítat s tím, že se nevytvoří klasická horninová klenba a je nutno počítat s plným zatížením až z povrchu terénu + plné zatížení dopravou. Jedině pro tento druh obezdívky nebylo nutno řešit zatížení podzemní vodou. Obezdívka primáru může mít i trhliny a tím může do profilu přitékat i případná podzemní voda. S tou se při ražbách klasicky musí počítat a jednoduše se čerpá z podzemí ven na terén, nebo do dešťové kanalizace.

Aplikace technologie mokrého stříkaného vláknobetonu v konstrukcích primáru podzemních staveb.

K porovnání se z kapitoly **5. Matematické zpracování výsledků laboratorních zkoušek**, uvedu získané výsledky vypočteného napětí únosnosti na zkoušených trámcích z vláknobetonu.

Průřezový modul trámku 15/15cm:

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = 562,5 \text{ cm}^3$$

Výpočet hodnoty maximálního přenášeného napětí:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{24700}{562,5} = 43,91 \text{ kpcm} = 4,391 \text{ MPa}$$

Výpočet hodnoty přenášeného napětí ze střední hodnoty...

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{20080}{562,5} = 60,24 \text{ kpcm} = 6,024 \text{ MPa}$$

Průřezový modul trámku 10/10cm:

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = 166,67 \text{ cm}^3$$

Výpočet hodnoty maximálního přenášeného napětí:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{12350}{166,67} = 74,22 \text{ kpcm} = 7,422 \text{ MPa}$$

Výpočet hodnoty přenášeného napětí ze střední hodnoty...

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{10040}{166,67} = 60,24 \text{ kpcm} = 6,024 \text{ MPa}$$

5.3 ZÁVĚREČNÉ HODNOCENÍ A MOŽNOSTI DALŠÍHO POKRAČOVÁNÍ VÝZKUMU

Závěrem lze konstatovat:

největší hodnota napětí únosnosti klasicky vyztuženého primárního ostění reálného kolektoru v klenbě a má hodnotu:

$\underline{\sigma} = 5,21 \text{ MPa} < 6,024 \text{ MPa}$ což je hodnota snižená střední odchylkou.

Kvalita namíchaného vláknobetonu je mimořádná:

– pevnost v tlaku je 42,27143 MPa

– pevnost v tahu je 4,004 MPa

Z výše uvedeného vyplývá, že by nově získaný vláknobeton s použitými vlákny z vyřazených a recyklovaných pneumatik by byl schopen konkurovat komerčně vyráběným drátkům a pro stříkanou mokrou směs vláknobetonu použitou při řešení stability výrubu ražených kolektorových profilů. Jedná se o velmi rychlé a levné řešení primární obezdívky. Ta by se nově skládala jen z rámu Bretex po vzdálenostech stanovených statickým výpočtem, maximálně však 1m osově a stříkaného drátkobetonu mokrou směsí do stanovené tloušťky. Pro spotřebu drátkobetonu by se dalo, při šířce záběru 1m vystříkat z 1 m³ směsi 4,5 m výšky obezdívky. Do 1 m³ směsi by se přimíchávalo cca 40 – 45 Kg drátků, což by představovalo cca 18 použitých a již recyklovaných pneumatik na gumu. Cenu drátků na toto množství odhaduji na 450 Kč. Klasická vlákna na toto množství by stála 1575 Kč.

V budoucnosti by bylo třeba vyzkoušet tento druh drátkobetonu in situ, přímo na reálné obezdívce ze stříkaného drátkobetonu, odebrat potom z ní vzorky odvrtem a vyzkoušet různé stáří směsi.

Dalším úkolem by bylo spojit vznik toho produktu, tzv. železa s ozonem očištěné pneumatiky od gumy a jeho zpracování a nastříhání drátků přesných délek a hlavně aby byly rovné, nebyly poškozeny nějakým tepelným procesem při nešetrném řezání. Dále by bylo vhodné pokračovat ve zkoušení odpadu jiných pneumatik, než těch z osobních aut. v budoucnu by dokonce vhodné třídít i velikost pneumatik po jednotlivých druzích a typech aut.

Výzkum společností Ekaz Praha, a.s., která vlastní ozonační linku **Perpetis** na separaci gumy z pneumatik ve vědeckotechnickém parku v Buštěhradě je sestrojena i pro jiné druhy pneumatik než jsou ty od osobních aut. V současnosti nebyla možnost jiné pneumatiky než ty z osobních aut zatím zkoušet. Je fakt, že jako odpadu je nejvíc pneumatik od osobních aut, protože se musí velmi často povinně měnit.

Vzhledem k svému věku bych rád ještě ve výzkumu pokračoval, ale musím být realista a jen doufám, že budu moci nabyté zkušenosti a výsledky ještě někomu mladšímu předat.

Aplikace technologie mokrého stříkaného vláknobetonu v konstrukcích primáru podzemních staveb.



Pohled na sklad pneumatik a halu, kde se výzkum realizuje.

Pro:
EKAZ Praha a.s.
Ing. Jaroslav Zámyslický
K Botiči 1453/6, Praha 10

Zpráva k provedené zkoušce rozpadu pneumatiky s ukončenou životností s využitím ozonové metody.

Jako účastník zkoušky, konané 17.12.2019 v SVT Parku Buštěhrad prohlašuji a potvrzuji realizaci vyhovujícího výsledku výstupu z rozkladu pneumatiky ozonovou metodou v lince PERPETIS.

Prezentace funkce a výsledku technologické linky PERPETIS, konané firmou EKAZ Praha a.s. potvrdila funkčnost rozkladu pneumatiky ozonovou metodou dle projektového zadání.

Po ukončení prezentace jsem převzal separovaný předvedený výstup / ocelovou drátěnou výztuž / v čistotě potřebné pro realizaci VaV jejího dalšího využití jako plniva do speciálních betonů, prováděného na ČVUT stavební fakultě.

V Praze 18.12.2019

Ing. Jan Sochůrek a.i.

INGUTIS s.r.o.



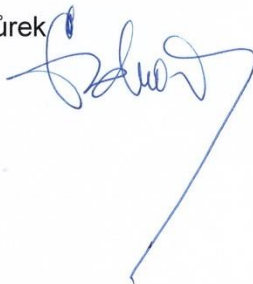
Zpráva z měření

Předseda komise Ing. Jan Sochůrek prohlašuje a potvrzuje že za účasti dle presenční listiny se potvrdil vyhovující výstup dle zadání smlouvy od MPO EKAZ Praha, a.s. v aplikaci na recyklaci pneumatik s ukončenou životností **ozonovou metodou**.

Po dokončení prezentace recyklace převzal výstup oceli pro další využití

17.12. 2019

Ing. Jan Sochůrek



EKAZ Praha, a.s.

K Botiči 1453/6, Praha 10

5.4 LITERATURA

Hilar, M.; Thomas, A.; Falkner, L. (2005): Nejnovější inovace v provádění ostění ze stříkaného betonu – metoda LaserShell. Tunel 4/2005.

Melbye, T.; Dimmock, R.; Garshol, K. (2006): Sprayed Concrete for Rock Support. Zurich, 1994 (publikace UGC International, division of BASF).

Polák, P.; Mika, V. (2004): Stříkaný beton při výstavbě dopravních tunelů. Tunel 3/2004.

Pracovní skupina ČTuK pro konvenční tunelování (2006): Zásady a principy NRTM jako převažující metody konvenčního tunelování v ČR. Praha (elektronická verze je dostupná na www.ita-aites.cz).

Pracovní skupina ČTuK pro stříkaný beton (2003): Zásady pro používání stříkaného betonu. Praha (elektronická verze je dostupná na www.ita-aites.cz).

Pracovní skupina ČTuK pro stříkaný beton (2006): Příručka o zásadách aplikace stříkaného betonu. Praha.

Jiří Krátký, Karel Trtík, Jan Vodička SMĚRNICE PRO DRÁTKOBETONOVÉ KONSTRUKCE

Jiří Krátký, Karel Trtík, Jan Vodička SMĚRNICE PRO DRÁTKOBETONOVÉ KONSTRUKCE – KOMENTÁŘ A PŘÍKLADY

Specifikace EFNARC:

EFNARC (1996), European Specification for Sprayed Concrete, Farnham, United Kingdom

EFNARC (1999), European Specification For Sprayed Concrete-Execution Of Spraying, (revised version of Section 8), Farnham, United Kingdom

EFNARC (1999), European Specification For Sprayed Concrete-Guidelines For Specifiers And Contractors, Farnham (UK), United Kingdom

EFNARC (2002), European Specification For Sprayed Concrete-Checklist For Specifiers And Contractors, Farnham, United Kingdom

Prof. Dr. Ing. Bernard Maidl- Handbuch des Tunnel und Stollenbaus, Stahlfaserspritzbeton.

Sochůrek J. , Technické standardy spol. Kolektory Praha

Sochůrek J., Technické standardy spol. PVS

Sochůrek J., Středa J., Kupilík D., Aktualizace ČSN 73 7505

Sochůrek J., Generel kolektorů v Hl. městě Praze, 1995, 2005, 2015

Normy:

ČSN EN 14487-1 (73 2431) Stříkaný beton – Část 1: Definice, specifikace, shoda

ČSN EN 14487-2 (73 2131) Stříkaný beton – Část 2: Provádění

ČSN EN 14488-7 (73 1304) Zkoušení stříkaného betonu – Část 7: Obsah vláken ve vláknobetonu