



ČESKÝ TUNELÁŘSKÝ KOMITÉT ITA/AITES

ZÁSADY PRO POUŽÍVÁNÍ STŘÍKANÉHO BETONU

Zpracovala pracovní skupina Českého tunelářského komitétu pro stříkaný beton

*Kontakt: Ing. Pavel Polák, Metrostav - Divize 5, NA ZATLANCE 1350/13, 150 00 PRAHA 5
e-mail: polak@metrostav.cz, tel.: 251 015 554*

ZÁSADY PRO POUŽÍVÁNÍ STŘÍKANÉHO BETONU

Návrh, provádění a zkoušení stříkaného betonu

Obsah	strana
1. Úvod	4
2. Rozsah použití a platnost.....	4
3. Použité normy.....	5
4. Definice	6
5. Požadavky na základní složky	7
5.1 Cementy.....	7
5.2 Kamenivo.....	8
5.3 Záměsová voda.....	9
5.4 Ocelová výztuž.....	9
5.5 Vlákna.....	9
5.5.1 Ocelová vlákna.....	9
5.5.2 Syntetická vlákna.....	10
5.5.3 Vlákna z jiných materiálů.....	10
5.6 Přísady	10
5.6.4 Přísady urychlující tuhnutí a tvrdnutí	10
5.6.4.1 Nealkalické urychlující přísady.....	10
5.6.4.2 Alkalické urychlující přísady.....	10
5.6.4.3 Vodní sklo.....	11
5.6.5 Ostatní přísady	11
5.7 Příměsi	11
5.7.1 Všeobecně.....	11
5.7.2 Polétavý popílek.....	11
5.7.3 Mletá granulovaná vysokopecní struska (MGVS).....	11
5.7.4 Mikrosilika	11
5.7.5 Pigmenty.....	12
5.8 Prostředky pro ošetřování.....	12
6. Směs pro stříkaný beton	12
6.1 Suchá směs	14
6.1.1 Směs s vysušeným kamenivem.....	14
6.1.2 Směs s vlhkým kamenivem.....	14
6.2 Mokrý směs	14
7. Způsoby stříkání betonu	15
7.1 Suchý způsob stříkání betonu	15
7.2 Mokrý způsob nástřiku betonu	15
8. Provádění nástřiku	16
8.1 Přípravné práce.....	16
8.2 Provádění nástřiku – všeobecně.....	16
8.3 Nanášení betonu mokrým způsobem	17
9. Požadavky na stříkaný beton.....	17
9.1 Typy stříkaného betonu	17
9.1.1 Stříkaný beton bez konstrukční funkce	18

9.1.2	<i>Stříkaný beton s konstrukční funkcí</i>	18
9.1.3	<i>Stříkaný beton se zvláštní konstrukční funkcí</i>	18
9.2	<i>Třídy pevnosti</i>	18
9.3	<i>Pevnosti mladého stříkaného betonu</i>	19
9.4	<i>Druhy stříkaného betonu</i>	20
9.5	<i>Zvláštní požadavky na stříkaný beton</i>	20
9.6	<i>Vybrané vlastnosti stříkaného betonu</i>	21
9.6.1	<i>Vodonepropustnost</i>	21
9.6.2	<i>Mrazuvzdornost</i>	21
9.6.3	<i>Odolnost proti chemické agresivitě</i>	21
9.6.4	<i>Tuhost</i>	21
9.6.5	<i>Modul pružnosti</i>	21
9.6.6	<i>Přilnavost</i>	22
9.6.7	<i>Obsah vláken</i>	22
10.	<i>Řízení jakosti</i>	22
11.	<i>Bezpečnost práce a ochrana zdraví</i>	22
12.	<i>Zkoušky stříkaného betonu</i>	23
12.1	<i>Zkoušky složek stříkaného betonu</i>	23
12.2	<i>Zkoušení betonové směsi a stříkaného betonu</i>	23
12.3	<i>Průkazní zkoušky stříkaného betonu</i>	24
12.4	<i>Kontrolní zkoušky stříkaného betonu</i>	26
13.	<i>Zkušební metody</i>	26
13.1	<i>Laboratorní zkouška cementu a tekuté urychlující přísady s ohledem na urychlení tuhnutí</i>	26
13.2	<i>Zhotovení zkušebních těles referenčního stříkaného betonu</i>	27
13.3	<i>Zkoušky porovnávacího (nulového) betonu</i>	28
13.4	<i>Zkoušení nárůstu pevnosti mladého stříkaného betonu penetrační jehlou</i>	28
13.5	<i>Zkoušení nárůstu pevnosti stříkaného betonu přístrojem Hilti – Tester 4</i>	29
13.6	<i>Zkoušení stříkaného betonu na odvrtných jádrech</i>	30
13.7	<i>Zjišťování přetvárnosti stříkaného betonu</i>	31
13.8	<i>Ověřování dávkovaného množství tekuté urychlující přísady</i>	31
13.9	<i>Zjišťování spadu</i>	32

1. ÚVOD

V nedávno minulé době byla pro beton nanášený stříkáním vydána v zahraničí řada technických dokumentů, které v různé šíři postihují problematiku stříkaného betonu. Kromě již vydaných obecněji pojatých směrnic a podrobněji zaměřených manuálů pro správnou aplikaci jsou vydávány či inovovány rovněž národní normy pro stříkaný beton. Ty jsou koncipovány zpravidla v souladu se záměrem harmonizace s vydávanými evropskými normami. V případě stříkaného betonu jako dominující hmoty uplatňované v podzemním stavitelství je navíc tato problematika podrobně sledována v rámci činnosti pracovní skupiny pro stříkaný beton při Mezinárodní tunelářské asociaci (ITA–AITES).

V České republice jsou v současné době zpracovávány či upravovány technické podmínky pro liniové dopravní stavby, které zaznamenávají výrazný rozvoj. Zejména jsou doplňovány pasáže vztahující se na aplikace stříkaného betonu a výstavbu tunelů. Česká pracovní skupina pro stříkaný beton při vědomí přechodného stavu, kdy nejsou plně dokončeny Evropské normy v celé šíři problematiky betonu a národní norma ČSN 73 2430 (Provádění a kontrola konstrukcí ze stříkaného betonu) již plně nepokrývá současné požadavky na stříkaný beton vydává tyto zásady jako vybraný kompilát níže uvedených podkladů a požadavků vycházejících ze současné tuzemské praxe. Cílem je postihnout šíři problematiky stříkaného betonu v oblasti výstavby podzemních staveb v míře poskytující základní technickou oporu projektantovi, zhotoviteli i investorovi.

2. ROZSAH POUŽITÍ A PLATNOST

Ustanovení těchto zásad pro stříkaný beton se vztahuje na beton nebo maltu využívané v podzemním stavitelství, které jsou ukládané na podklad v proudu stlačeného vzduchu. Pojem stříkaný beton zahrnuje jak mokrý, tak i suchý postup procesu výroby prostého nebo vyztuženého betonu (s ocelovou armaturou nebo vlákny). Stříkaný beton se připravuje ze stanovených složek betonu (pojiva, příměsí, kameniva, vody a přísad) tak, aby za očekávaných poměrů na stavbě bylo možné jeho nastříkání odborným způsobem a byly s jistotou dodrženy požadované vlastnosti. Obzvláště výhodně se používá tam, kde se vyžadují zvláštní podmínky jako na příklad:

- vyloučení bednění
- nanášení v tenkých vrstvách
- rychlé tuhnutí a vysoká počáteční pevnost
- speciální metody výstavby.

Stříkaný beton může být dělen do kategorií podle účelu použití následujícím způsobem:

- konstrukční funkce
- zajišťování horniny a výrubu při ražbách
- krátkodobé zajištění stability horninového prostředí
- úpravy povrchů
- opravy.

Pro navrhování a provádění se člení hotový stříkaný beton v oboru podzemních staveb takto:

- stříkaný beton bez konstrukční (statické) úlohy (SB I), např. pro zlepšení či vyrovnání povrchu podkladu, krátkodobé podepření během výstavby
- stříkaný beton s konstrukční úlohou (SB II), např. při nástřiku povrchu horniny, při hloubení stavebních jam, při ražení tunelů, štol a při hloubení studní
- stříkaný beton se zvláštní konstrukční úlohou a vlastnostmi (SB III).

Ve zvláštních případech je možné i zvláštní používání a zřizování stříkaného betonu, např.:

- stříkaný beton z prefabrikované směsi (pro údržbu a opravy, zesílení a speciální použití)
- stříkaný beton s rozptýlenou výztuží
- stříkaný beton za přetlaku vzduchu
- stříkaný beton s lehkým kamenivem
- stříkaný beton do obvodového vrubu.

V současné době se především v tuzemsku používá:

- suchý způsob nástřiku používající namíchané betonové směsi s přírodní vlhkostí těžného kameniva nebo předsušené prefabrikované směsi (do maximální vlhkosti kameniva 0,2%)
- mokry způsob nástřiku s dovozem betonové směsi z certifikované betonárny.

Jako podkladní plocha pro nástřik betonu přichází v úvahu:

- celá škála podmínek od skalní horniny až po kyprou zeminu
- stříkaný beton
- různé druhy bednění
- stavební díly z betonu, zdiva a oceli
- zmrzlá skalní hornina nebo zemina, případně led.

Platnost zásad je limitována souhlasem partnerů výstavby a písemným odvoláním na její platnost v závazné dokumentaci stavby (realizační dokumentace, stavební deník, apod.). Platnost může být ukončena či omezen její rozsah vydáním nové evropské nebo národní normy.

3. POUŽITÉ NORMY

Dále uvedené normy a směrnice s problematikou těchto zásad bezprostředně souvisejí. Jakákoliv následně vydaná nebo revidovaná evropská norma (EN) v konečném znění by však měla mít vždy přednost před zde uváděnými normami. Doporučená sestupná posloupnost závaznosti je: norma EN, norma ISO, státní norma, tuzemské či zahraniční směrnice nebo technické podmínky.

ČSN EN 197	Cement; Složení, technické podmínky a kritéria shody
ČSN EN 206 – 1	Beton – Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda
ČSN EN 13670–1	Provádění betonových konstrukcí – část 1: Společná ustanovení
EN 450	Popílek do betonu – Definice, požadavky a řízení jakosti
EN 934–2	Přísady do betonu, malt a injektážních směsí – Část 2: Přísady do betonu – definice, technické podmínky a kritéria shody
EN 934–5	Přísady do betonů, malt a injektážních směsí – Část 5: Přísady do stříkaného betonu – definice, technické podmínky a kritéria shody
EN 934–6	Přísady do betonů, malt a injektážních směsí – Část 6: Odebírání vzorků, řízení jakosti, posuzování shody, značení a etikety
EN 1008	Záměsová voda do betonu
PrEN 14487-1	Sprayed concrete – Part1: Definitions, specifications and conformity
PrEN 14488-1	Testing sprayed concrete – Part1: Sampling fresh and hardened concrete
PrEN 14488-2	Testing sprayed concrete–Part2:Compressive strength of young sprayed concrete
PrEN 14488-3	Testing sprayed concrete–Part3: Flexural strength of reinforced beam specimens
PrEN 14488-4	Testing sprayed concrete – Part4: Bond strength of cores by direct tension
PrEN 14488-7	Testing sprayed concrete – Part7: Fibre content of fibre reinforced concrete
EN 1504	Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí
EN 1542	Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí – Zkušební metody – Měření přilnavosti odtrháváním
EN 4012	Zkoušení betonu – Stanovení pevnosti v tlaku zkušebních vzorků
EN 6275	Zkoušení betonu – Stanovení objemové hmotnosti ztvrdlého betonu
EN 6784	Zkoušení betonu – Stanovení statického modulu pružnosti při stlačování
EN 7031	Zkoušení betonu – Stanovení hloubky proniknutí vody pod tlakem
EN 7034	Zkoušení betonu – Jádrové vzorky – Odběr, zkoumání a zkoušení v tlaku
EN 10080	Oceli pro betonářskou výztuž. Svařitelná hřebíková výztuž z oceli B 500. Technické dodací podmínky pro výztužné pruty, kola drátů a svařované sítě

Poznámka: Některé z těchto norem EN jsou ve stádiu zpracování.

Evropské technické podmínky pro stříkaný beton - směrnice (EFNARC 1999)

Směrnice pro stříkaný beton (Rakouský betonářský spolek 1998)

Shotcrete for Rock Support: a Summary Report on the State of Art in 15 Countries (1993)
Evropské technické podmínky pro stříkaný beton - kontrolní seznam pro odběratele a dodavatele (EFNARC 2002).

4. DEFINICE

Betonárna pro transportbeton – soubor zařízení podle požadavků ISO norem a dalších vnitřních předpisů, ve kterém se složky pro zhotovení betonové směsi odměřují podle hmotnosti a zpracovávají na reprodukovatelnou předem vyzkoušenou betonovou směs.

Betonová směs – směs pojiva, příměsí, kameniva a případně vody (v závislosti na způsobu nástřiku) eventuelně i rozptýlených vláken výztuže, připravená pro příslušný způsob nanášení stříkáním.

Doba reakce betonu – maximální přípustná doba zpracovatelnosti betonové směsi (bez kvalitativních nedostatků).

Doprava směsi hutným proudem – označuje dopravu čerpáním mokré betonové směsi potrubím nebo hadicí bez nakypření (provzdušnění).

Doprava směsi řídkým proudem – označuje pneumatickou dopravu nakypřené suché nebo mokré betonové směsi proudem stlačeného vzduchu potrubím nebo hadicí k trysce.

Dvouplášťové ostění – tunelové ostění sestávající ze dvou plášťů ostění s rozdílnými statickými a konstrukčními požadavky i dosaženými vlastnostmi (bez spřažení). Ostění je zřizováno v nezávislých pracovních krocích a rozdílnými stavebními postupy (vnější plášť = např. primární ostění ze stříkaného betonu; vnitřní plášť = např. definitivní ostění z monolitického betonu)."

Jednoplášťové ostění – všechny statické i konstrukční požadavky na tunelové ostění bude plnit jediný plášť ostění, který sestává z jedné nebo několika vrstev, které jsou mezi sebou spřaženy.

Kontrolní zkoušky stříkaného betonu – souhrn zkoušek, které prokazují shodu vlastností aplikovaného stříkaného betonu se stanoveným vzorem z průkazní zkoušky.

Mladý stříkaný beton – stříkaný beton do stáří 24 hodin.

Mokrá betonová směs – směs pro mokrý způsob stříkání (čerpaný beton).

Mokrý proces – technologie, při které se pojivo, kamenivo a voda dávkuje a mísí dohromady před vsypáním do čerpadla na beton (případně do stříkacího stroje na mokrou směs), kterým se mokrá namíchaná směs dopravuje potrubím do trysky odkud se v proudu vzduchu nanáší na místo uložení. Směs obvykle obsahuje přísady a může též obsahovat příměsí nebo vlákna.

Mokrý stříkaný beton – stříkaný beton s použitím mokré betonové směsi jako výchozí.

Nastříkávač (operátor trysky) – pracovník, který obsluhuje trysku, a to buď ručně nebo s pomocí manipulátoru.

Nealkalický urychlovač tuhnutí – urychlovač tuhnutí s vymezenou hodnotou pH (2,0 – 8,0) a omezeným obsahem ekvivalentu Na₂O menším než 1%.

Nulový beton – stříkaný beton bez urychlovače tuhnutí a tvrdnutí pro porovnání změn technologických vlastností (např. průběhu nárůstu tuhnutí a tvrdnutí i konečné pevnosti).

Plášť ze stříkaného betonu – prostorová stavební konstrukce ze stříkaného betonu, zhotovená z jedné nebo několika vrstev, která má samostatnou dočasnou (primární ostění) nebo trvalou nosnou úlohu (definitivní ostění).

Pojivo – cement a hydratačně působící příměsí (např. popílek, mikrosilika, mletá struska ap.).

Průkazní zkoušky stříkaného betonu – zkoušky dokládající před zahájením stavby se stanovenými recepturami dosažení projektovaných parametrů stříkaného betonu.

Příměs – práškovitý materiál, který se přidává do betonu za účelem zlepšení určitých vlastností nebo docílení speciálních vlastností betonu

Přísada – materiál, který upravuje vlastnosti mladého nebo ztvrdlého stříkaného betonu. Přidává se během míchání betonu (např. plastifikační přísada) nebo v trysce (urychlující přísada). Přísady se dávkuje v malých množstvích v poměru ke hmotnosti cementu.

Spad – ta část betonové směsi, která se v průběhu nanášení stříkaného betonu odrazí od podkladu. Spad obsahuje převážně kamenivo větších frakcí a jen nepatrně pojivo či vodu.

Stříkací tryska – koncovka, kterou opouští betonová směs materiálový přívod; je to trubka s míchací komorou pro přidávání vody, přísady a případně i vzduchu. Při suchém nástřiku se v trysce přidává zpravidla roztok vody s tekutou urychlující přísadou; při mokřém nástřiku se přidává tekutá urychlující přísada a stlačený vzduch nutný pro nastříkání směsi.

Stříkaný beton – směs pojiva, kameniva a vody, která se nanáší na podklad vysokou tryskací rychlostí a tím se zhutňuje a vytváří hutnou homogenní hmotu. Stříkaný beton obvykle obsahuje přísady a může též obsahovat příměsi nebo vlákna nebo jejich kombinaci.

Stříkaný drátkobeton – je vláknobeton, u něhož rozptýlenou výztuž tvoří ocelová vlákna – drátky.

Stříkaný vláknobeton – je vyráběn z pojiva, kameniva, vody a výztužných vláken. Vlákna, vhodná pro vyztužování betonu či malty se vyrábí nejčastěji z oceli nebo organických polymerů. Jako příměs do cementových malt s vyztužujícím účinkem se také užívají skelná a uhlíková vlákna.

Suchá betonová směs – směs pro suchý způsob stříkání při použití suchého nebo zavlhělého kameniva.

Suchý proces – technologie, při které se pojivo a kamenivo dávkuje, mísí a dopravuje do stříkacího stroje, kde se směs dávkuje do proudu stlačeného vzduchu. Pneumatikou je směs přepravována hadicemi nebo potrubím do trysky, kde se přidává tlaková voda zpravidla s tekutou urychlující přísadou a kde se směs provlhuje před nanesením na místo uložení.

Suchý stříkaný beton – stříkaný beton s použitím suché betonové směsi (předsušené v pytlích nebo obsahující kamenivo s přirozenou vlhkostí) jako výchozí.

Urychlovač tuhnutí a tvrdnutí – prášková nebo tekutá přísada pro urychlení reakce cementu v nanášeném stříkaném betonu.

Vlákna – ocelová, z organických polymerů, skla nebo uhlíku, která jsou dostatečně krátká, aby se rozmístila v betonu při použití běžných míchaček

Vrstva nástřiku – nástřik betonu provedený v jednom nepřerušeném pracovním kroku, kterému je pak po přerušení nástřiku umožněno jeho zatuhnutí.

Vrstva stříkaného betonu – plošně nanesená část stavební konstrukce s definovanou minimální tloušťkou, která sestává z jedné nebo několika vrstev nástřiku (včetně např. uzavírací vrstvy nástřiku).

Výztužný prvek – jednotlivá součást výztuže stříkaného betonu. Může jím být např.: příhradová výztuž (např. Bretex), důlní zvonková výztuž, kari síť, prutová vázaná výztuž nebo v hmotě betonu rozptýlené ocelové drátky nebo vlákna z jiných materiálů (např. z polypropylenu).

5. POŽADAVKY NA ZÁKLADNÍ SLOŽKY

Použité materiály musí splňovat nebo zohledňovat dále uvedené všeobecné požadavky.

5.1 Cementy

Cementy musí vyhovovat ustanovením normy ČSN EN 197. Smí se použít pouze cement s prokázanou vhodností pro využití do stříkaných betonů.

Podmínky a vlastnosti cementu pro stříkaný beton:

- počátek tuhnutí cementu musí být v rozmezí od 1,5 hodiny do 4 hodin pro jemnost mletí vyšší než 3500 cm²/g.
- průměrná hodnota specifického povrchu podle Blainea (jemnost mletí) musí být pro portlandské cementy v rozmezí od 3500 cm²/g do 5000 cm²/g. Pro ostatní cementy je třeba stanovit průměrnou hodnotu zvláštní dohodou. Standardní odchylka pro specifický povrch podle Blainea smí dosáhnout maximálně 5% od příslušné střední hodnoty.
- pevnost v tlaku ztvrdlé normové cementové malty musí vykazat po 1 dni hodnotu vyšší než 9 MPa a po 28 dnech vyšší než 40 MPa. Standardní odchylka 28 denní pevnosti v tlaku nesmí

přestoupit 3,5 MPa. S ohledem na požadavek rychlého náběhu tuhnutí a pevností se doporučuje používat čisté portlandské cementy třídy CEM I 42,5 R a vyšší.

- při požadavku na síranovzdornost stříkaného betonu (požadavek zvýšení trvanlivosti betonu a jeho odolnosti proti síranové chemické reakci) je třeba při výskytu podzemních vod s obsahem SO_4^{-2} nad 600 mg/l používat portlandský cement se zvýšenou síranovzdorností s malým obsahem C_3A , což minimalizuje chemickou reakci ale současně může mít také vliv na prodloužení doby tuhnutí a tvrdnutí betonu. Použití síranovzdorných cementů nezajišťuje automaticky trvanlivost betonu s ohledem na fyzikální charakteristiky jako je pórovitost a propustnost cementové hmoty, které rovněž ovlivňují trvanlivost stříkaného betonu. Přidání mikrosilika může rovněž zajistit zvýšení trvanlivosti stříkaného betonu.
- s ohledem na vliv teploty a chemické složení cementu je třeba dbát na dobu zpracovatelnosti a případně jí vhodnou metodou přezkoušet
- teplota cementu při odběru v cementárně nesmí překročit + 80 °C respektive při přefukování do zásobního cementového sila betonárny + 70 °C. V době míchání betonové směsi nesmí teplota cementu překročit 50°C. Cement musí být čerstvý a uložený na suchém místě nebo v silech.
- při požadavku na vysokou reaktivitu k urychlující přísadě se nesmí používat cement starší než 3 měsíce od doby výroby.
- typ a množství cementu použitého pro výrobu stříkaného betonu musí být zvoleno tak, aby odpovídalo požadavkům projektu na pevnost a trvanlivost. Jakýkoliv jiný materiál navržený jako pojivo, který není zahrnut v ČSN EN 197 musí být nejprve testován a zjišťována vhodnost jeho použití a musí vyhovovat minimálním požadavkům na cement.
- množství cementu bývá obvykle mezi 370 – 430 kg na m^3 betonu pro suchý proces a mezi 400 až 450 kg/m^3 pro mokřý proces. Přesné množství musí být určeno v projektu nebo na základě předchozích zkušeností zhotovitelem.

5.2 Kamenivo

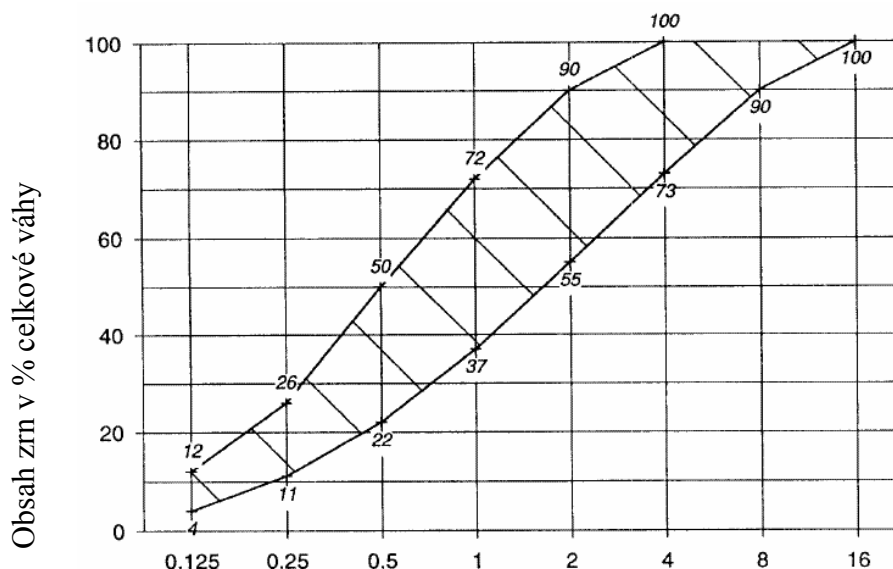
Kamenivo musí vyhovovat ustanovením státní normy a souvisejících předpisů, platných v místě použití stříkaného betonu a musí být vhodné vzhledem k požadavkům dané aplikace. Pro stříkaný beton SB II (konstrukční beton) a SB III (zvláštní konstrukční funkce) se používá kamenivo (přednostně oblé přírodně těžené, v jednotlivých případech ostrohranné–drcené) užité třídy A či B široké frakce nebo s tříděným zrnem dle frakcí s normovým označením. Rozdělení frakcí zrn má být provedeno tak, aby byl zajištěn správný rozsah pásma čáry zrnitosti podle tabulky I. Při použití výhradně šterkopísku do velikosti zrn 4 mm se jedná o stříkané cementové malty, při uplatnění frakcí kameniva nad 4 mm se používá označení stříkané betony.

Tabulka I – Doporučené pásmo čáry zrnitosti pro rozsah frakcí 0/4 až 0/16

velikost oka	propad na síť v % hmotnosti
16	100
8	90 – 100
4	73 – 100
2	55 – 90
1	37 – 72
0,5	22 – 50
0,25	11 – 26
0,125	4 – 12

Největší zrna kameniva se volí v závislosti na účelu použití mezi 4 mm a 16 mm. Pro stříkaný beton s konstrukční úlohou, který obsahuje osazenou ocelovou armaturu je horní hranice zrnitosti vymezena sítí 11,2 mm. Při mokřém stříkaném betonu je třeba sladit složení zrnitosti kameniva zejména s požadavky čerpatelnosti betonu. Nejvyšší podíl odplavitelných částic v kamenivu nesmí

přesáhnout 5%. Při volbě kameniva (petrografie, soudržnost zrn, tvar zrn, skladba zrn, množství odplavitelných částic apod.) je třeba mít na zřeteli, aby účinná pevnost kameniva umožňovala dodržet v projektu stanovenou pevnost stříkaného betonu. Obsah vody v kamenivu pro nástřík suché betonové směsi nesmí přesáhnout 5,5% z jeho váhy, aby se zajistilo vyhovující namíchání, přeprava směsi a vlastní pneumatická doprava v hadici bez ucpávání. Kamenivo, se kterým nejsou dlouhodobé zkušenosti, je nutné u trvalých konstrukcí ze stříkaného betonu přezkoušet kromě čáry zrnitosti na případné možné reakce s cementem, eventuelně s příměsemi a přísadami. U definitivních konstrukcí ze SB je nutno zvážit např. alkalickou reakci kameniva a zjistit množství stejného typu reaktivních křemičitanů v cementu a v kamenivu



Obr. 5.2.1 – Doporučené pásmo čáry zrnitosti (EFNARC 1996)

5.3 Záměsová voda

Záměsová voda musí vyhovovat ustanovením EN 1008. Doporučuje se, aby kvalita vody odpovídala rovněž požadavkům Směrnice EFNARC 1996].

5.4 Ocelová výztuž

Ocelová výztuž se používá ke zvýšení ohybové pevnosti a k omezení vzniku trhlinek na povrchu betonu. Plošně se stříkaný beton vyztužuje převážně ve formě sítě a jejich použití se doporučuje pro tloušťku vrstvy nástříku ≥ 50 mm. Pevně se používají sítě s rozměrem oka od 100 do 150 mm s průměrem výztužných prutů od 6 do 10mm. Výztuž musí vyhovovat požadavkům EN 10080 pro betonářskou ocel případně EN 10138 pro předpínanou ocel.

5.5 Vlákna

Vlákna se používají hlavně ke snížení výskytu trhlin a zvýšení odolnosti betonu na zatížení, která se zjišťuje vyšetřením přetvárných charakteristik na příklad při deskové zkoušce.

5.5.1 Ocelová vlákna

Ocelová vlákna jsou buď přímého nebo deformovaného tvaru z drátu taženého za studena. Méně často se používají vlákna stříhaná z plechu, získaná např. při opracování ocelových bloků. Nejčastěji se používají drátky o délce 25-35 mm a obvykle jejich délka nepřekračuje 50 mm. Drátky, které při dávkování mají tendenci k vytváření drátkových shluků jsou pro použití ve stříkaném betonu nevhodné. Ocelová vlákna musí vyhovovat požadavkům, daným v ASTM A 820.

5.5.2 Syntetická vlákna

Syntetická vlákna jsou vyráběna hlavně z organických polymerů, o různém příčném řezu vlákna a jsou dostatečně malá, aby se rozmístila v betonu při použití běžných míchaček betonu a mohla být stříkána běžným stříkacím zařízením. Technické parametry syntetických vláken musí být v souladu se státními normami nebo předpisy, platnými v místě použití stříkaného betonu.

5.5.3 Vlákna z jiných materiálů

Používání jiných materiálů pro vlákna musí být v souladu se souvisejícími normami a po dohodě se zadavatelem.

5.6 Přísady

Přísady usnadňují nanášení vrstvy stříkaného betonu a musí splňovat požadavek na počáteční nárůst pevnosti. Přísady musí vyhovovat ustanovením EN 934–2 respektive EN 934–5. Odběr jejich vzorků, posouzení shody, značení a etikety musí vyhovovat EN 934–6.

5.6.4 Přísady urychlující tuhnutí a tvrdnutí

Urychlovač tuhnutí se používá vždy s odzkoušeným cementem a eventuálně v kombinaci s další přísadou. Přednostně se používá stříkaný beton s tekutými nealkalickými urychlovači tuhnutí a tvrdnutí. Jejich použití oproti alkalickým urychlujícím přísadám poskytuje výhody pracovní-hygienické, ekologické i technologické, nevyvolává podstatné snížení konečné pevnosti stříkaného betonu, neboť vykazuje hutnější skladbu betonu s omezenější možností výluhů při působení vody na stříkaný beton.

Urychlující přísady musí být sladěny (ověření snášenlivosti) včas před zahájením prací s používaným cementem, z hlediska náběhu i konečné pevnosti a případně dalších vlastností pokud jsou požadovány. K tomu se použijí laboratorní zkušební metody. Laboratorní zkoušky udávají směrné hodnoty pro výsledky na staveništi, ale nemohou obsáhnout veškeré staveništní vlivy a proto nemohou nahradit průkazní zkoušky se zjištěním vlastností stříkaného betonu s konečným vybavením staveniště. Pro nevyzkoušenou recepturu s urychlovačem tuhnutí se proto musí provést akreditovanou zkušební na stavbě průkazní zkoušky. Zkušebna musí být způsobilá i po stránce personální, tj. vyhodnocování výsledků a shody musí provádět pracovník se zkušenostmi se SB. Průkazní zkoušky musí stanovit optimální i maximální přípustné dávkování urychlovače při jeho aplikaci.

5.6.4.1 Nealkalické urychlující přísady

Pro nealkalické přísady urychlující tuhnutí a tvrdnutí platí Tabulka II.

Tabulka II – Požadavky na nealkalické urychlovače

hodnota pH	2 až 8
ekvivalent Na_2O	menší než 1%
obsah sulfátů jako SO_3	menší než 4,5% včetně obsahu v cementu
pokles pevnosti po 28 dnech	menší než 10 %

5.6.4.2 Alkalické urychlující přísady

Alkalické urychlující přísady se nesmějí přidávat do stříkaných betonů se zvláštní konstrukční úlohou SB III. Pro dávkování platí Tabulka III.

Tabulka III – Požadavky na tekuté alkalické urychlovače

	obvyklé dávkování v % k hmotnosti cementu	maximální dávkování v % k hmotnosti cementu	maximální přípustný pokles pevnosti po 28 dnech v %
tekutý urychlovač tuhnutí	5 až 7	8	30

5.6.4.3 Vodní sklo

Vodní sklo má hodnotu pH nad 12, patří tedy k zásaditým přísadám. Objem zásaditých součástí ($\text{Na}_2\text{O}_{\text{ekv.}}$) je mezi 10% - 18%. Vodní sklo působí méně jako urychlovač tuhnutí cementu, avšak zvyšuje vaznost a lepivost stříkaného betonu, protože spolu s vodou vytváří gel. Vodní sklo se smí používat jen pro výjimečné případy (např. pro SB I) s ohledem na značné negativní ovlivnění struktury stříkaného betonu a výrazné snížení konečné pevnosti betonu. Dávkování se pohybuje zpravidla v mezích 10 až 15% z hmotnosti cementu. Při tomto dávkování kromě výrazného snížení konečné pevnosti dochází ke zvýšení alkalicko-křemičité reakce v betonu doprovázené dlouhodobými projevy objemových změn ve struktuře betonu způsobujících jeho postupné narušování.

5.6.5 Ostatní přísady

Do stříkaného betonu aplikovaného mokřím způsobem se mohou přidávat plastifikační, ztekucující, zpochďující případně i další vlastnosti upravující přísady. Účinnost přísad do stříkaného betonu a jejich vzájemná snášenlivost (při více přísadách) je třeba prokázat ověřovacími laboratorními a potom i průkaznými zkouškami. Písady musí vyhovět EN či ČSN normám a podle požadavků technických předpisů musí být k dispozici certifikát případně doklady o zkouškách, které nejsou starší 3 let.

5.7 Příměsi

5.7.1 Všeobecně

Do stříkaného betonu se mohou použít pouze příměsi zaručeně vhodné. Příměsi jsou dávkovány v přípravně betonové směsi jako samostatná součást a jsou promíchávány s ostatními komponenty. Nejpoužívanější příměsi do stříkaných betonů je popílek, mletá granulovaná vysokopecní struska a mikrosilika. Tyto příměsi musí odpovídat příslušným evropským nebo státním normám. Přidávání hydratačně působících příměsí je účelné s ohledem na zlepšení vlastností stříkaného betonu jako je zpracovatelnost, lepivost, snížený vývin prachu, nižší spad, vyšší pevnost a hutnost (vodotěsnost) případně i s ohledem na snížení vývinu tepla. Nejpříznivější poměr cementu vůči příměsi se musí stanovit zkouškami vlastností. Celkový podíl příměsí a přísad nesmí překročit 35% z váhového množství cementu.

5.7.2 Poléťavý popílek

Poléťavý popílek je jemnozrnný anorganický pucolánový materiál, zachytávaný na elektrofiltrech a musí být bez jakýchkoliv stop popelů (produktů procesu odsířeni) a strusek, který se může přidávat do betonu za účelem zlepšení nebo dosažení určitých vlastností betonu v plastickém anebo ztvrdlém stavu.

5.7.3 Mletá granulovaná vysokopecní struska (MGVS)

MGVS je jemně granulované latentní hydraulické pojivo, které lze do betonu přidat za účelem zlepšení nebo dosažení určitých vlastností v plastickém anebo ztvrdlém stavu.

5.7.4 Mikrosilika

Mikrosilika jsou velmi jemné částice vysoce aktivního anorganického pucolánového materiálu, který se může přidávat do betonu za účelem dosažení lepších vlastností betonu. Mikrosilika používaná do stříkaných betonů musí vyhovovat evropským normám nebo státním normám nebo předpisům, platným v místě použití stříkaného betonu. Kde tyto normy nebo předpisy neexistují, musí použití mikrosilik vyhovět doporučením dodavatelů. Přidání silikátového prachu se může dávkovat jako suspenze (slurry) nebo v práškové formě od 2% do 8% podílu pevných složek hmoty cementu.

Osvědčily se kombinace silikátových prachů v tekutém médiu, které se přimíchají do betonové směsi vhodným dávkovacím zařízením. Hydraulickou účinnost silikátového prachu je třeba ověřit a má být blízká 100%. Je třeba dodržet požadavky podle Tabulky IV.

Tabulka IV – požadavky na mikrosilika

obsah amorfního SiO ₂	větší než 85 % z hmotnosti
obsah MgO	menší než 5 % z hmotnosti
ztráta žiháním	do 4% z hmotnosti
specifický povrch (podle BET)	větší než 150 000 cm ² /g

5.7.5 Pigmenty

Přidání pigmentu musí být v souladu s evropskými či státními normami. Použití a typ pigmentů musí být stanoveny s ohledem na ostatní komponenty použité pro výrobu stříkaného betonu.

5.8 Prostředky pro ošetřování

Prostředky pro ošetřování betonu se stanovují tak, aby maximalizovaly hydrataci cementu redukcí nekontrolovaného vypařování vody. Prostředky pro ošetřování musí odpovídat evropským či státním normám.

6. SMĚS PRO STŘÍKANÝ BETON

Betonová směs obsahující pojivo, kamenivo, vodu, přísady, příměsi a případně vlákna musí splňovat všechna kritéria pro vlastnosti stříkaného betonu v čerstvém i ztvrdlém stavu. Směs musí být navržena tak, aby dosahovala specifikované pevnosti po 28 dnech v tlaku a nebo splňovala jiné specifikované vlastnosti za použití materiálů odpovídajících kapitole 5 i vyhověla kritériím bezpečnosti a ochrany zdraví pracovníků.

Technické podmínky mohou obsahovat další požadavky, jako např.:

- stanovený nárůst pevnosti mladého stříkaného betonu
- zvýšenou odolnost vůči účinku agresivní podzemní vody
- sníženou nasákavost vodou
- zvýšenou přilnavost k podkladu
- zvýšenou odolnost vůči chloridům (u trvalých konstrukcí pozemních komunikací)

Předepsanou směs, která je podle zkušenosti vhodná pro plánované záměry, zajistí nebo navrhne zpravidla zhotovitel se souhlasem projektanta a předloží ji ke schválení zadavateli.

Specifikace předepsané směsi na 1 m³ musí obsahovat následující údaje:

- typ a množství cementu
- druh a množství kameniva s dokladovanou čarou zrnitosti, vlhkostí a množstvím odplavitelných částic
- druh a množství příměsí
- u mokré směsi množství vody (vodní součinitel)
- u mokré směsi určení konzistence před aplikací
- druh a množství přísad
- druh a obsah vláken.

Není jednoduché předepsat obsah vody pro suchý proces, ale vodní součinitel v podmínkách stavby se může podle místních podmínek pohybovat v rozmezí 0,40 až 0,50. Překročení vodního součinitele nad 0,5 je technologicky vyloučeno s ohledem na stékání či opadávání nanesené směsi z ukloněných či převislých ploch.

Pro návrh betonové směsi je vhodné vycházet z objemové hmotnosti stříkaného betonu, která se u vývrtů pohybuje zpravidla v rozmezí 2150 až 2250 kg/m³. První návrh váhového složení směsi na 1

m³ se proto doporučuje sestavovat ze složek, jejichž váhový součet bez započtení hmotnosti vody a hmotnosti přísad je 2100 kg/m³.

Teplota namíchané betonové směsi nesmí před stříkáním klesnout pod 5°C a neměla by přesáhnout 30°C. Příznivé teplotní pásmo leží mezi 13°C a 25°C. Teploty ležící pod 13°C zpomalují náběh počáteční pevnosti, teploty nad 25°C urychlují u zavlhklých a mokřých směsí předhydrataci, mohou zkrátit dobu zpracovatelnosti a mají vliv na konečnou pevnost stříkaného betonu.

Za opatření pro přiblížení se k příznivé teplotě namíchané směsi se hodí:

- ohřívání vody přiváděné do trysky
- zateplení či ohřívání kameniva
- zateplení či ohřívání tekuté urychlující přísady
- odkryté nebo uzavřené skladování kameniva, ve zvláštních případech chlazení výchozích hmot.

Tabulka V – doporučené hodnoty pro skladbu betonových směsí

	suchý stříkaný beton	mokřý stříkaný beton
portlandský cement	370 až 430 kg/m ³	400 – 450 kg/m ³
příměsi (mikrosilika, popílek, struska) při současném snížení hmotnosti cementu do celkové váhy dle předchozího řádku	30 – 50 kg/m ³	50 – 80 kg/m ³
vodní součinitel w (voda/pojivo)	reguluje obsluha trysky (cca 0,45)	menší než 0,50 při požadavcích na průběh nárůstu pevnosti
konzistence směsi před nástřikem (rozlitím)	–	50 – 55 cm
rozsah frakcí kameniva	do 8 mm, max. do 11,2 mm	do 8 mm, max. do 11,2 mm
obsah jemných prachových součástí	–	minimálně 550 kg/m ³

Směsi, které jsou výchozím produktem pro suchý a mokřý stříkaný beton lze rozlišit dle Tabulky VI:

Tabulka VI – Rozlišení směsí pro suchý a mokřý způsob aplikace

	suchý stříkaný beton		mokřý stříkaný beton
označení	prefabrikovaná suchá směs	vlhká směs okamžitě používaná	mokrá směs (zpravidla čerpaný beton)
obsah vody v kamenivu	méně než 0,2 %	zpravidla od 1,5 do 5%	méně než 8 %
pojivo	speciální cement (příměsi i přísady)	portlandský cement* (příměs)	portlandský cement* + (příměs)
přidání urychlovače	bez urychlovače případně možné přidání v trysce	v trysce	v trysce
zhotovení směsi	výrobce prefabrikovaných směsí	betonárna nebo staveništní míchárna	betonárna
skladování	silu, pytle	chráněné před deštěm a mrazem	chráněné
použitelnost	dle údajů výrobce (měsíce)	omezená použitelnost zpracovat do 1,5 hod.	– omezená použitelnost dle účinnosti přísad

* - u trvalých konstrukcí ze stříkaného betonu lze použít i jiné cementy (zejména v prostředí XA1-XA3 s agresivním CO₂) při pomalejších náběžích tuhnutí a pevnosti než udává obor J₂.

6.1 Suchá směs

6.1.1 Směs s vysušeným kamenivem

Suchá směs se zpravidla míchá z vysušeného kameniva s kombinací speciálního cementu včetně možné volby příměsí a urychlovače tuhnutí v míchacím centru specializovaného výrobce. Ve výrobně namíchaná suchá směs musí být dozorovaná nezávislou akreditovanou kontrolní zkušebnou. Maximální vnitřní vlhkost musí být menší než 0,2 %. Suchá směs se skladuje v uzavřených parotěsných originálních obalech a během přepravy se nesmí otevírat. Podle místních podmínek je třeba učinit případná opatření pro vyloučení rozměšování namíchané směsi během přepravy. Směs, která se rozsype při překládání, nebo se rozptýlí při činnosti stříkacího stroje, se nesmí znovu použít. Skladovatelnost prefabrikované suché směsi se řídí údaji výrobce.

6.1.2 Směs s vlhkým kamenivem

Betonovou směs pro suchý způsob stříkání se zavlhkým kamenivem lze zhotovit na betonárně nebo ve staveništní míchárně a je nutné ji bezprostředně dopravit k místu aplikace stříkaného betonu. Míchací zařízení a přesnost dávkování výchozích hmot musí odpovídat požadavkům pro řízení jakosti výroby. Betonárna se volí nebo míchací zařízení se zřizuje tak blízko od místa provádění stříkaného betonu, aby se nepřekročila maximální přípustná doba zpracovatelnosti 1,5 hodiny. U stříkaných betonů nesmí překročit teplota cementu v místě násypky do míchacího zařízení 50 °C.

Vnitřní vlhkost veškerého kameniva ve směsi musí být v mezích 1,5 - 5,0 % (zpravidla od 2 do 4 procent). Dodržování příznivého pásma vlhkosti je důležité především při nízkých výkonech stříkacích strojů, kde je zvýšená pravděpodobnost ucpání dopravního vedení. Zpravidla je k tomu nutné zakrytí skládky kameniva proti vlivům počasí při skladování a namíchané směsi při dopravě. Při nižší vnitřní vlhkosti dochází k velkému vývinu prachu při stříkání. Směs, která se při manipulaci rozsype nebo je rozfoukána stříkacím stojem se nesmí znovu použít. Doba zpracovatelnosti směsi je značně závislá, na druhu a dávkování pojiva, obsahu vody v kamenivu stejně jako na vnějších vlivech zejména na teplotách směsi i okolního prostředí. Aby se zajistila bezvadná kvalita stříkaného betonu, nesmí se přestoupit doba, ve které bude směs zpracována - zpravidla 1,5 hodiny od namíchaní směsi.

Stříkaný beton se zavlhkým kamenivem bez zvláštních požadavků se může zhotovovat pouze do pevnostní třídy SB 15 (C 12/15) bez průkazných zkoušek s následující skladbou suché směsi dle tabulky VII:

Tabulka VII

suchá směs	kamenivo do 8 až max. 11,2 mm	1730 kg
	portlandský cement třídy CEM I 42,5 R	370 kg

6.2 Mokrý směs

Na základě vysokých kvalitativních požadavků na zpracování mokré směsi zpravidla čerpadlem na beton je nutné svěřit výrobu betonové směsi betonárně s výrobní certifikací. Pro průkazní zkoušku i pro průběžné provádění stříkaného betonu musí být vyhotovovány dodací listy každé záměsi s udaným váhovým měřením cementu, frakcí kameniva, příměsí, přísad a vody a případně vyhodnocením vůči předepsaným hmotnostem všech komponentů (váhové odchylky). Současně by se měla zaznamenat teplota čerstvého betonu, údaje o době míchání a podle možnosti statistické vyhodnocení. Při teplotách čerstvého betonu nad 20 °C může předhydratace pojiva vést ke zkrácení účinnosti plastifikační přísady a k rychlé změně konsistence čerpaného betonu. Může dojít k ucpávání potrubí při čerpání a k nepříznivému průběhu tuhnutí a tvrdnutí. Doba zpracování nemá přestoupit 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. Pro daný obsah cementu a vodní součinitel lze upravit konzistenci přidáním plastifikačních přísad na betonárně případně i na stavbě.

Výztuž stříkaného betonu vlákny se doporučuje provádět výhradně při mokrému způsobu stříkání. Tento druh vyztužení se určuje především na základě požadavku dosažení vlastností charakteristických pro stříkaný beton s výztuží z vláken. Aby se dosáhlo stejných vlastností, může být při různých typech vláken nutné měnit jejich dávkování. Délka ocelových vláken nesmí přesáhnout 0,7 vnitřního průměru použitého potrubí nebo hadic, pokud se ovšem předem testováním neověřilo, že lze k nástřiku použít i delší vlákna bez rizika ucpávání.

7. ZPŮSOBY STŘÍKÁNÍ BETONU

7.1 Suchý způsob stříkání betonu

Betonová směs pro suchý způsob stříkání betonu se dopravuje stlačeným vzduchem (provzdušněným proudem) hadicí od stříkacího stroje k trysce, kde se mísí s vodou a nanáší se na podkladní plochu stříkáním. Pro suchý způsob nástřiku betonu se může použít suchá směs nebo směs s vlhkým kamenivem podle kapitoly 6.

Směs pro suchý způsob nástřiku se dávkuje do proudu vzduchu zpravidla rotujícím válcem s komorami. Stříkací stroj musí zajistit rovnoměrný materiálový proud k trysce. Při provozu je třeba dbát na bezvadnou těsnost strojního zařízení (zvýšený vývin prachu). Nespotřebované zbytky směsi a rozptýlené hmoty se musí průběžně odstraňovat. Stroj se musí řádně udržovat a čistit.

Jako materiálové přívody slouží hadice nebo potrubí, které se má vést přímo nebo oblouky co možno největších poloměrů. U spojů je třeba dbát na dokonalé těsnění. Materiálové přívody nemají mít pokud možno mezi stříkacím strojem a tryskou žádné změny průřezu.

Tryska s přívodem vody musí být uspořádána tak, aby bylo zajištěno dobré promíchání vody se směsí a podle potřeby i urychlovače či jiných přísad. Voda se přivádí k trysce při dostačujícím tlaku vyšším než 4 bary hadicí nebo potrubím a její teplota nemá podle možnosti klesnout pod +8 °C a přestoupit 50 °C.

Dávkovací zařízení pro urychlující přísadu musí zajišťovat rovnoměrné přidávání stanoveného množství urychlovače, vztaženého k přepravovanému výkonu stříkacího stroje a odpovídající hmotnosti zpracovaného cementu. Tekutý urychlovač se přidává kontinuálně do vody přiváděné k trysce dávkovacím čerpadlem. Dávkování se nastavuje na dávkovacím čerpadle. Pro zabezpečení rovnoměrného dávkování po dobu nasazení dávkovacího čerpadla na staveništi je třeba provádět pravidelnou údržbu, čištění a seřizování dávkovacího zařízení. Nasávání urychlovače ze zásobníku má být bez vzduchových bublin. Nasávání je třeba zabezpečit proti znečištění například sítkem. Před použitím urychlující přísady je nutné zajistit její rovnoměrné promíchání. Stabilita tekutého urychlovače se uchová při skladování při teplotách nad bodem mrazu.

7.2 Mokrý způsob nástřiku betonu

Provádí se buď hutným proudem s pomocí upravených čerpadel na beton, které mají sníženou pulsaci při čerpání směsi nebo řídkým proudem (provzdušněným) ze stříkacího stroje, kde dopravním médiem je vzduch. Při použití čerpadla odpovídají materiálové přívody strojním potrubím používaným pro normální čerpaný beton. Přívody se vedou co možno přímo. Počet spojů se minimalizuje. Při dopravě řídkým proudem v hadicích se smí používat pouze spojky silově přitlačené. Stříkací tryska musí být pro mokrý způsob nástřiku upravena. V případě použití čerpadel se v trysce přidává s urychlující přísadou také stlačený vzduch. Pro dávkování urychlující přísady, která je zpravidla ve formě suspenze se přednostně užívají bezventilová dávkovací čerpadla (např. čerpadlo se stlačovanou hadicí).

8. PROVÁDĚNÍ NÁSTŘIKU

Pro provádění nástřiku musí být zpracován technologický postup podle konkrétních podmínek aplikace stříkaného betonu.

Požaduje-li to objednatel, dokladuje se či provádí se pro zhotovení trvalých konstrukcí nebo prvků a pro opravy s využitím stříkaného betonu či stříkaných malt osobní certifikace pracovníků, především nastříkavače, spočívající v provedení školení, písemného testu a praktické zkoušky.

8.1 Přípravné práce

Před započítím nástřiku se musí provést přípravné práce.

Pro zajišťování horniny:

- uvolněné a nekvalitní části horniny se musí odstranit
- větší průsaky vody musí být odvedeny pomocí drenážních kanálků nebo nopovaných fólií. Podle místních podmínek lze průsaky utěsnit pomocí pasty z rychle tuhajícího cementu nebo injektáží.

Pro opravy betonu:

- je nutné zjistit příčiny poškození a provést opatření, aby se zabránilo dalšímu poškození
- uvolněné a nekvalitní podklad je nutno odstranit
- je-li betonový podklad karbonizovaný nebo prosycený chloridy, je nutné beton realkalizovat nebo chloridy odstranit. Není-li to možné, musíme kontaminovaný beton odstranit – přičemž se musí brát zřetel na nebezpečí porušení celistvosti konstrukce.

8.2 Provádění nástřiku – všeobecně

Je nezbytné provést předvlhčení podkladu – za předpokladu, že není stanoveno jinak. Velké prohlubeniny (ve výrubu tunelu či štoly) musí být před vlastním stříkáním betonu zaplněny.

Nanášení se musí provádět po vrstvách rovnoměrnými pohyby, aniž by se přerušovala spojitost nanášení stříkaného betonu. Struktura betonu má být co nejhutnější, povrch uzavřený a má vykazovat pokud možno rovnoměrnou a plošně rovinnou skladbu.

Při velkých tloušťkách stříkaného betonu je nutno nanášet dvě nebo více vrstev, aby se zabránilo odpadávání čerstvého betonu vlastní vahou. To platí zejména při nástřiku na klenbách a převislých plochách. Při delších časových přerušeních nástřiku jednotlivých vrstev (více než 24 hodin) pro dosažení požadované celkové tloušťky, musí se stará vrstva stříkaného betonu očistit směsí tlakového vzduchu a vody. Nástřik se má provádět od spodu nahoru, aby se vyloučilo zastříkávání napadaného spadu.

Vzhledem k přepravnímu výkonu, přepravní rychlosti proudu směsi dané rychlostí a množstvím vzduchu je třeba udržovat odstup stříkací trysky od podkladu ve vzdálenosti mezi 0,8 až 1,5 m. Úhel nástřiku, tj. úhel nasměrování trysky k ploše podkladu musí být co možno nejkolmější. Zmenšení nebo překročení doporučeného odstupu trysky stejně tak i šikmé odklonění trysky od podkladu snižuje kvalitu zhutnění stříkaného betonu a zvyšuje spad.

Průkaznými zkouškami stanovené správné dávkování cementu a urychlující přísady se může mírně přizpůsobit místním podmínkám. To může být vyvoláno na příklad polohou a stavem podkladu nástřiku, vlivem meziročního kolísání teploty, vlhkosti, vlivem výronů vody a vlivem změny geologických podmínek.

Vliv na množství spadu mají skladba směsi (velikost a tvar zrn kameniva, dávkování cementu a přísady), výstupní rychlost proudu z trysky, množství vzduchu (poměr vzduchu k betonové hmotě), tloušťka vrstvy stříkaného betonu, vlastnosti podkladu a způsob vedení stříkací trysky.

Spad a nespoteřované zbytky směsi při delších přerušeních práce se nesmí pro stříkaný beton používat. Výztuž a zabudovávané ocelové vkládané prvky musí být dostatečně upevněny tak, aby při nástřiku nedocházelo k jejich kmitání. Při zastříkávání výztuže i systémových ocelových prvků jako ocelových příhradových oblouků, ocelových profilů, styčných plechů, trubek apod. nelze zcela vyloučit vznik stínů ve stříkaném betonu, odborným vedením trysky lze však tyto stíny podstatně

omezit. Zvláštní pozornost je nutné věnovat předepsanému přesahu výztužných sítí, které je nutné (s ohledem na zmenšení vzniku stínů za sítěmi o polovičním rastru) osazovat v zákrytu.

Pokud se má provést výztuž ve dvou a více vrstvách (např. vnější a vnitřní výztužná síť), smí se druhá vrstva výztuže osadit teprve tehdy, když první vrstva je zastříkána.

Nízké teploty podkladních ploch nástřiku, především při zmrzlé hornině, zemině nebo ledu, vyžadují zvětšení tloušťky stříkaného betonu minimálně o 3 cm.

Zpracování stříkaného betonu při teplotě vzduchu a podkladu nižší než +5 °C vyžaduje doplňující opatření. Minimální teplota betonové směsi se za těchto podmínek doporučuje +15 °C. Jako účinná opatření se hodí ohřívání přídavné vody až do maxima 50 °C (na betonárně či vody před tryskou) nebo zahřívání kameniva případně i směsi.

Následné ošetření stříkaného betonu je potřebné jen tehdy, pokud jsou požadovány zvláštní vlastnosti (např. stříkaný beton pro trvalé konstrukční účely, pro opravy a zesilování konstrukcí, stříkaný beton v tenkých vrstvách) nebo se vyskytují zvláštní okolnosti (silné vysušování). V takových případech se stříkaný beton musí ošetřovat v souladu s doporučeními, danými normou ČSN EN 206-1 nebo jiným způsobem, u kterého je prokázáno, že zajišťuje nepřerušovanou hydrataci cementu v době jeho ošetřování. Obvykle se pak povrchy stříkaného betonu udržují vlhké nepřímo s pomocí dostatečně máčeného krytu nebo se postřikují ošetřovacím prostředkem. Ošetřovací přípravky, které poškozují přilnavost, se nesmí používat v případě, že se nanáší další vrstva stříkaného betonu. Používá-li se jakýkoli jiný ošetřovací přípravek, je nutno provést před započítáním práce zkoušky přilnavosti mezi jednotlivými vrstvami.

Ochrana proti mrazu je nutná do doby, než stříkaný beton dosáhne pevnosti v tlaku o hodnotě 5 N/mm².

8.3 Nanášení betonu mokrým způsobem

Nanášení betonu mokrým způsobem se provádí zpravidla pomocí dálkově řízeného stříkacího ramene (manipulátoru), protože v důsledku velké váhy hutného proudu dopravovaného čerstvého betonu a těžkého stříkacího vybavení ruční obsluha řízení trysky není možná. Mechanická ramena umožňují při použití větších průměrů přívodů a strojů s vysokým výkonem také vyšší produktivitu při stříkání, zejména pokud jsou připraveny dostatečně veliké souvislé plochy pro nástřik.

Odstup trysky a směr trysky jakož i rychlost přísunu směsi mohou být optimalizovány nastříkávacem pro jakýkoliv případ použití. Operátor trysky se pohybuje stranou od nastříkované plochy a tím mimo přímý prostor odráženého spadu a vlivu prachu. Zaujímá místo podle typu stroje v řídicím stanovišti na nosiči ramene nebo se volně pohybuje s řídicím modulem po dně pracoviště. Tím je pro operátora zaručena vyšší pracovní hygiena a bezpečnost. Dálkové ovládání zajišťuje vyšší bezpečnost obsluhy zvláště v nestabilních horninových podmínkách. Velký odstup s horším dohledem operátora na plochu nástřiku a vysoký výkon při nástřiku však poněkud ztěžují provádění rovnoměrného povrchu a tloušťky stříkaného betonu.

9. POŽADAVKY NA STŘÍKANÝ BETON

Kvalitativní vlastnosti stříkaného betonu jsou definovány pomocí tříd stříkaného betonu a dalších specifikovaných vlastností. Požadované vlastnosti se specifikují v projektové dokumentaci popisem v technické zprávě a příslušným vyznačením v prováděcích výkresech.

9.1 Typy stříkaného betonu

Zařazení do typů stříkaného betonu zohledňuje účel použití stříkaného betonu i jeho úloha v konstrukci. Pro jednotlivé typy stříkaného betonu jsou rozdílné požadavky na počáteční pevnost, homogenitu, hutnost skladby stříkaného betonu a z ní odvozené další vlastnosti jako např. zvýšená vodotěsnost, mrazuvdornost apod. Podle finální kvality stříkaného betonu se odlišují i požadavky na zkoušení. Pro snížení zásaditosti stříkaného betonu z hlediska zlepšení pracovní hygieny a pro snížení množství výluhových usazenin se doporučuje používání nealkalických urychlujících přísad.

9.1.1 Stříkaný beton bez konstrukční funkce

Úloha tohoto stříkaného betonu typu SB I spočívá vesměs ve zřizování určité úpravy líce (např. podkladu pod foliovou izolaci), výplně dutin (puklin, nadvýlomů) a uzavření povrchu horniny (např. ochránění povrchu horniny proti vzdušné vlhkosti). Zpravidla se udávají pouze minimální požadavky na kvalitativní vlastnosti, např. třída pevnosti.

9.1.2 Stříkaný beton s konstrukční funkcí

Úloha tohoto typu stříkaného betonu (zpravidla SB II) spočívá všeobecně ve funkci „zabezpečení a podepření“. Používá se zejména pro primární ostění podzemních staveb ražených a zajišťovaných podle NRTM (Nové rakouské tunelovací metody), stabilizaci čelby ražených staveb jakož i zajištění stěn stavebních jam a přírodních svahů. U tohoto stříkaného betonu je třeba určit zvláštní požadavky na vývoj pevností mladého stříkaného betonu. Vývoj pevnosti je vymezen oborem J_1 až J_3 (viz tabulka IX), kdy je třeba uvážit stupeň přetížení v příslušném stáří stříkaného betonu a při použití alkalických urychlovačů také vliv na snížení konečné pevnosti. Konstrukce a provádění musí být navrhovány tak, aby byla zajištěna co možná nejhutnější skladba stříkaného betonu. Místní nehomogennost tohoto typu stříkaného betonu (např. stíny při zástříkávání tunelových plnostěnných oblouků) nelze zcela vyloučit.

9.1.3 Stříkaný beton se zvláštní konstrukční funkcí

Tento stříkaný beton typu SB III přejímá trvalou statickou úlohu (např. vnitřní plášť ražených staveb pod zástavbou a při nízkém nadloží, jednoplášťové ostění tunelů či stěn ze stříkaného betonu vodních nádrží apod.). Patří sem rovněž stříkaný beton pro aktivní zabudování do stavebních dílů z betonu, železobetonu nebo zdiva pozemních staveb. Kromě třídy stříkaného betonu je třeba specifikovat další zvláštní požadavky. Při určování oboru (J_1 , J_2 nebo J_3) je třeba uvážit stupeň přetížení v příslušném stáří stříkaného betonu. Požadavky na pevnost je tedy třeba přizpůsobit časovému průběhu zatěžování. Pro stříkaný beton SB III se požadují zpravidla zvláštní nároky na hutnou a homogenní skladbu stříkaného betonu zvláště s ohledem na trvanlivost. Je nutné používat nealkalické urychlovače tuhnutí a kamenivo s velikostí zrna do 11,2 mm. Bezprostřední nastříkání SB III na plochy se silným přítokem vody bez vhodných opatření je nutno vyloučit (např. předběžný těsnící nástřik, odvedení vody drenážemi apod.). Při stříkaném betonu se zvláštními požadavky je třeba zásadně pamatovat na ověřování požadovaných vlastností prováděním zkoušek v odpovídající četnosti (po průkazných zkouškách, kontrolní zkoušky).

9.2 Třídy pevnosti

Stříkaný beton se zařídí do pevnostních tříd analogicky dle ČSN EN 206 – 1 (viz tabulka VIII). Pro klasifikaci se použije charakteristická pevnost betonu v tlaku zjištěná na válcových zkušebních tělesech (nejčastěji odvrtných jádrech o průměru 100 mm a výšce 100 mm). Třída pevnosti se může vztahovat na stáří 28, 56 nebo 90 dnů. Při době 56 nebo 90 dnů je třeba uvést stáří vzorku do závorky za třídu pevnosti - např. SB 25 (90).

Pokud je zjištěno alespoň 30 výsledků kontrolních zkoušek, může se další výroba řídit podle statistického vyhodnocení kontrolních zkoušek následovně:

- 90% výsledků z celkového množství v souboru musí odpovídat alespoň třídě pevnosti
- nejvýše 10% jednotlivých výsledků smí poklesnout pod požadovanou pevnost, ale nejvýše do hodnoty 90% pevnosti. Podkročené pevnosti musí být statisticky rozděleny, nesmí tedy v časovém sledu vystupovat sloučeny.

Tabulka VIII: Třídy pevnosti stříkaného betonu

Třída pevnosti stříkaného betonu	Průměrná hodnota pevnosti v tlaku v N/mm ²
SB 15 (C 12/15)	15
SB 20 (C 16/20)	20
SB 25 (C 20/25)	25
SB 30 (C 25/30)	30

Pevnosti uvedené za značkou stříkaného betonu (SB), by měly být převáděny pokud možno na hodnotu krychelné pevnosti a měly by být stanoveny v souladu s třídami pevnosti betonu, jak jsou uvedeny v normě ČSN EN 206-1. Navíc se mohou ke třídám pevnosti stanovit požadavky na pevnost v určitém čase (stáří) na příklad pevnost po 24 hodinách, 3 dnech apod. Hodnoty, uvedené v tabulce jsou průměrné hodnoty alespoň ze 3 vzorků, zkoušených po 28 dnech. Posouzení shody bude prováděno rovněž v souladu s ČSN EN 206-1. Je-li to možné, průběh pevnosti v tlaku bude stanoven zkouškami pevnosti v tlaku v dohodnutých termínech stáří betonu. Bude-li nutno brát v úvahu vliv přírodních podmínek na průběh pevnosti (zejména nízké teploty), měly by být dohodnuty zvláštní podmínky ošetřování vzorků.

9.3 Pevnosti mladého stříkaného betonu

Mladý stříkaný beton je stříkaný beton do stáří 24 hodin po nástřiku. Z hlediska nárůstu pevnosti a požadavků na pevnost se dělí mladý beton do třech oborů J₁, J₂, J₃ dle tabulky IX.

Nárůst pevnosti v prvních minutách po nástřiku má velký vliv na množství spadu zejména při nástřiku větší tloušťky vrstvy najednou či na převislé podkladní plochy. Naopak při příliš rychlém nárůstu pevnosti stříkaný beton bezprostředně po nanesení na stěnu ztvdne a hrubší částice v proudu následujícího stříkaného betonu se již nemohou uložit a odrazí se. Při silném přítoku vody nebo při nestabilním podkladu je vyšší pevnost v prvních minutách potřebná, je však nutno přitom počítat krátkodobě se zvýšenou prašností a odrazem spadu. Nárůst pevnosti mladého betonu do hodnoty 1 N/mm² se zjišťuje penetrační jehlou. Doby měření a postup zkoušení je třeba přizpůsobit nárůstu pevnosti aplikovaného stříkaného betonu. Zpravidla se prokazuje průběh od 6 minut do 6 hodin a pevnost po 24 hodinách. Průkaz pevnosti po 9 a 12 hodinách je potřebný jen ve zvláštních případech (např. u mělce pod povrchem vedených tunelů při bezprostředním zatížení celým nadložím).

Stříkaný beton oboru J₁ (hodnoty vyšší než vymezuje čára J₁ a nižší než J₂) se hodí pro nástřik v tenkých vrstvách na suchý podklad bez zvláštních statických požadavků v prvých hodinách po nástřiku a je výhodný pro malou prašnost a malý spad.

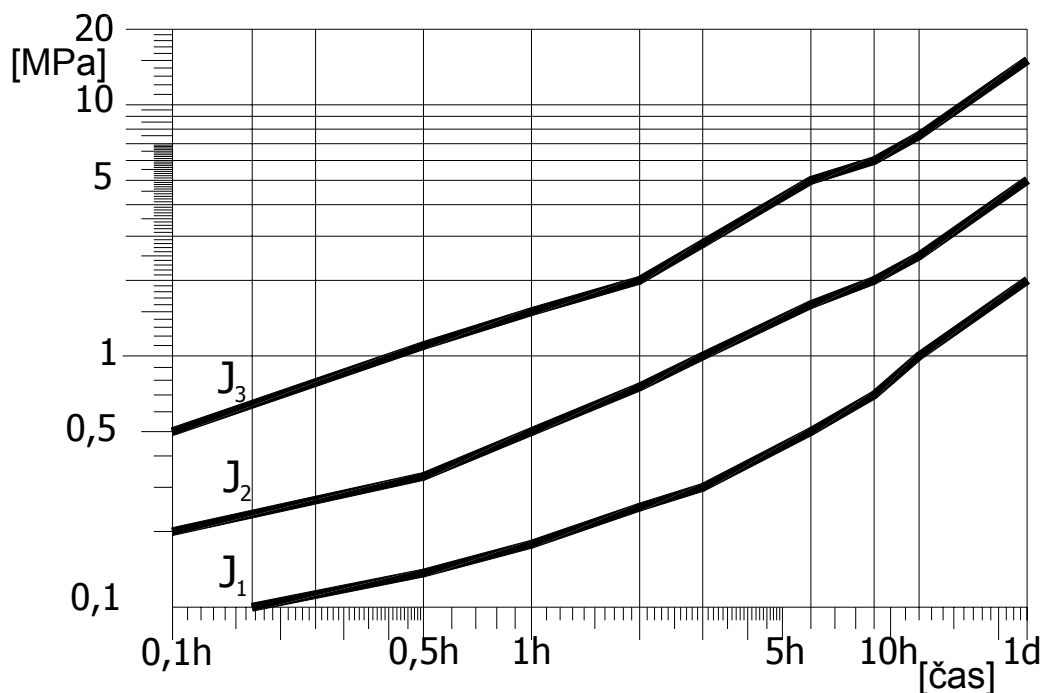
Požadavky na obor J₂ se udávají, když stříkaný beton má být nanesen co nejrychleji v silných vrstvách (i nad hlavou), při přítocích podzemní vody a při následném působení bezprostředně navazujících pracovních kroků (např. u ražených staveb zřizování kotevních vrtů, zahánění pažin, otřesy při trhacích pracích). Požadavky na tento obor jsou dány také při rychlém nárůstu zatížení horninovým či zeminovým tlakem nebo vyvolaným přitížením.

Stříkaný beton J₃ se má používat pouze ve zvláštních případech (např. v silně porušené hornině, silném přítoku vody) pro zvýšený vývin prachu a zvýšený spad.

Vysoké počáteční pevnosti vedou při použití alkalických urychlujících přísad také k vysokému poklesu konečné pevnosti oproti nulovému betonu (bez urychlovače). Tyto důsledky je třeba zvážit při stanovování třídy pevnosti. V důsledku silného ovlivňování pevnosti v dalším nárůstu pevnosti se má předepisovat v oboru J₂ použití alkalických urychlovačů jen ve zvláštních případech. Při nealkalických urychlovačích nenastává pro obory J₁ až J₃ žádné podstatné snížení konečné pevnosti.

Tabulka IX – nejnižší pevnosti stříkaného betonu v N/mm² dle oborů J₁, J₂, J₃

	doba po nástřiku									
	6 min.	10 min.	30 min.	1 hod.	2 hod.	3 hod.	6 hod.	9 hod.	12 hod.	24 hod.
čára J ₁		0,10	0,14	0,18	0,25	0,30	0,50	0,70	1,00	2,00
čára J ₂	0,20	0,25	0,33	0,50	0,75	1,00	1,60	2,00	2,50	5,00
čára J ₃	0,50	0,75	1,10	1,50	2,00	2,80	5,00	6,00	7,50	15,00



Obr. 9.3.1 Grafický vyznačené hranice oborů J₁ až J₃ dle „Směrnice pro stříkaný beton“ Rakouského betonářského spolku (1998)

9.4 Druhy stříkaného betonu

Druh stříkaného betonu je stanoven souborem jeho kvalitativních vlastností, které jsou specifikovány v projektové dokumentaci a musí se prokazovat. Pro označení se mohou užívat zkratky podle tabulky X.

Dalšími kvalitativními vlastnostmi jsou např. pevnost v tlaku stříkaného betonu v průběhu 1 až 28 dnů, pevnost v příčném tahu, smyková pevnost, přetvárnost, E modul (s časovým průběhem) a přídržnost stříkaného betonu k podkladu.

Tabulka X: Nejčastější příklady druhů stříkaného betonu

účel použití a požadavky	druh betonu
stříkaný beton pro primární ostění tunelu	SB 25 / typ II / obor J ₂
stříkaný beton podkladní vrstvy pod izolační pásy	SB 15 / typ I / zrno max. 4 mm
stříkaná reprofilační malta pro opravy betonových konstrukcí v podzemí	SB 30 / typ II / zrno max. 4 mm

9.5 Zvláštní požadavky na stříkaný beton

Pro stříkaný beton se zvláštními (zlepšenými) vlastnostmi se smí používat pouze kamenivo třídy A obsahující frakci 0–4 mm (stříkaná malta) či vyvážený poměr vyšší frakce 4–8 mm nebo široké

frakce 4–11,2 mm. Aby se dosáhla co nejvyšší hutnost betonu je nutné používat výhradně nealkalickou urychlovací přísadu. Stříkaný beton vykazující zlepšené vlastnosti musí odpovídat alespoň třídě pevnosti SB 25. Zvláštní vlastnosti stříkaného betonu se ve stavebním díle mohou prokazovat pouze pro homogenní oblasti betonu, nikoliv však pro systémem ovlivněnou různorodou strukturu (např. zabudované ocelové prvky se stíny v nástřiku, u silnějších výronů vod apod.).

9.6 Vybrané vlastnosti stříkaného betonu

9.6.1 Vodonepropustnost

Požadavky na vodonepropustnost stříkaného betonu jsou uplatňovány u betonových konstrukcí s ohledem na polohu hladiny omývající vody, podle rozměru konstrukce i podle její statické funkce. Podle kritérií ČSN EN 206 – 1 se určuje tzv. odolnost vůči průsaku vody.

Průkaz zvýšené vodonepropustnosti se prokazuje na pevném vyztuženém odvrtném jádru ze stříkaného betonu a posuzuje se podle norem platných pro standardní monolitický beton. Je-li požadován vodotěsný stříkaný beton, musí maximální hodnota penetrace v souladu s normou ČSN EN 7031 činit 50 mm. Alternativně se může vodotěsnost stanovit měřením propustnosti působením vody. Stříkaný beton je považován za vodotěsný, jestliže součinitel propustnosti působením vody je menší než 10^{-12} m/s. Požadavek na plnou vodonepropustnost stříkaného betonu konstrukcí s dočasnou statickou funkcí (primární ostění podzemních staveb) je nevhodný z hlediska nutnosti dimenzování konstrukce na plný hydrostatický tlak podzemní vody a z toho plynoucí výrazné prodražení stavby.

Je-li to potřebné, stanoví objednatel požadavky na propustnost pro plyn a požadované vlastnosti se potvrdí při průkazních zkouškách.

9.6.2 Mrazuvzdornost

U stříkaného betonu, vystaveného vlivu mrznutí a rozmrazování při mírném nasycení vodou bez soli (tj. XF1 - třídy podle ČSN EN 206-1 se předpokládá provedení průkazní zkoušky mrazuvzdornosti, neměly by být žádné další požadavky na kontrolní zkoušení, pokud si to objednatel blíže nespecifikuje. Stříkaný beton, vystavený agresivnějšímu prostředí (tj. XF2, XF3, XF4 jak je specifikováno v EN 206-1), musí splňovat požadavky na mrazuvzdornost a odolnost proti odlupování povrchu, která se zkouší bez slané vody nebo se slanou vodou, podle klasifikace expozice.

9.6.3 Odolnost proti chemické agresivitě

Takový stříkaný beton musí mít především zvýšenou vodonepropustnost. Při chemické agresivitě je třeba hloubku prosáknutí při zkoušce vodonepropustnosti snížit na 30 mm. Při zvýšené agresivitě je třeba navíc použít vhodné cementy (např. síranovzdorný cement) a případně i přísady. Při silně vyluhujících přítocích se musí použít kyselinovzdorné kamenivo (např. křemité). Výjimečné jsou případy kyselé útočnosti, při kterých agresivní podzemní voda neproudí kolem konstrukce ze stříkaného betonu vůbec nebo jen málo; potom se užívá vápencové nebo dolomitické kamenivo, které agresivní účinky vody neutralizuje.

9.6.4 Tuhost

Tuhost stříkaného betonu je buď stanovena pomocí třídy zbytkové pevnosti (z trémkové zkoušky) nebo je hodnocena třídou absorpce energie (z deskové zkoušky). Výsledky těchto zkoušek nejsou porovnatelné.

9.6.5 Modul pružnosti

Jestliže modul pružnosti zásadně ovlivňuje projektem dané vlastnosti nebo požadované chování konstrukce, musí se ověřit in situ a porovnat s modulem použitým pro návrh konstrukce. Jsou-li

někaké požadavky na tepelné rozpínání nebo smrštění, měly by být specifikovány v projektové dokumentaci.

9.6.6 Přílnavost

Jsou-li uvedeny požadavky na přílnavost, mohou se použít hodnoty z tabulky XI pro povrchy betonu a horniny. Jestliže hornina nezajišťuje žádnou přílnavost ani po řádném očištění, přílnavost se neuvádí.

Tabulka XI: Minimální požadavky na přílnavost

Typ vazby	Minimální přílnavost betonu v N/mm ²	Minimální přílnavost k hornině v N/mm ²
NEKONSTRUKČNÍ	0,5	0,1
KONSTRUKČNÍ	1*	0,5

* v případě staveb pozemních komunikací se řídí TKP a TP MDS

Hodnoty, uvedené v tabulce XI jsou průměrné hodnoty ze 3 vzorků, vývrtů nebo návtů o průměru 100 mm zkoušených po 28 dnech. Žádný individuální výsledek nesmí být menší než 75% požadované hodnoty.

9.6.7 Obsah vláken

Obsah vláken ve stříkaném betonu se vyjadřuje v kg/m³. Aby beton splňoval požadavky na pevnost v ohybu anebo na tuhost, je vhodné požadovaný obsah vláken potvrdit pomocí zkoušek in situ. Průměrná hodnota musí být vyšší než dohodnutá minimální hodnota, a žádná individuální hodnota nesmí být menší než 75% požadované hodnoty.

10. ŘÍZENÍ JAKOSTI

Kvalitativní parametry stříkaného betonu a systém výroby musí být pravidelně prověřovány a porovnávány s požadovanou jakostí. Aby toho bylo dosaženo musí být vyrobená betonová směs i z ní aplikovaný stříkaný beton zařazený do systému jakosti zhotovitele či jeho podzhotovitelů. Podle nařízení vlády č. 163/2002 a souvisejících předpisů nemusí být stříkaný beton certifikován, vztahuje se však na něj v rámci systému jakosti provedení zkoušek výrobku, posouzení shody s technickou specifikací a splnění dalších ustanovení § 6 citovaného nařízení vlády. Cílem je rovněž splnění technicko-kvalitativních podmínek (TKP) a případně i zvláštních technicko-kvalitativních podmínek (ZTKP) pro konkrétní stavbu objednatele. K tomu se použije příručka jakosti, technologický předpis výroby či metody a předem vypracovaný kontrolní a zkušební plán (KZP) zhotovitele. KZP musí specifikovat kontrolní činnost během výstavby, která zajistí s nejvyšší možnou pravděpodobností dosažení zadaných vlastností stříkaného betonu a z něho vybudované konstrukce. Pro každou stavbu může být přístup k řešení problematiky jiný, a proto je možné v rámci certifikovaného systému kvality zhotovitele postupovat se souhlasem objednatele případ od případu podle zpracovaného a projednaného technologického postupu.

11. BEZPEČNOST PRÁCE A OCHRANA ZDRAVÍ

Zmenšení důsledků majících vliv na zhoršování životního prostředí a zlepšení bezpečnosti a ochrany zdraví pracovníků jsou jedny z nejdůležitějších kritérií při návrhu technologie stříkaného betonu. Stříkané betony s nealkalickými přísadami jsou jak z hlediska ochrany životního prostředí tak s ohledem na ochranu bezpečnosti zdraví pracovníků upřednostňovány. Maximální prašnost na pracovišti musí být menší nebo se rovnat povolené maximální koncentraci prachových částic. Provádění stříkaných betonů by mělo odpovídat všem bezpečnostním předpisům platným v místě použití. Z hlediska bezpečnosti práce a ochrany zdraví je třeba, aby na pracovišti se stříkaným betonem byla osádka chráněna proti účinkům prašnosti, odrazu či spadu i proti účinkům cementů,

příměsí a přísad na pokožku i sliznice. Proto musí obsluha používat osobní ochranné pomůcky – respirátor, ochranné rukavice, ochranný štít (brýle nebo síťka) a chránit si pokožku vhodným oděvem zvláště proti vysoké alkalitě cementů a některých přísad s možností vzniku kožních podráždění až popálenin. Proto je nutné, aby byly používány jen certifikované vstupní materiály, které mají kromě ověřených vlastností zpracovány technické a bezpečnostní listy, s jejichž ustanoveními musí být pracovníci zhotovitele prokazatelně seznámeni a bezpečnostní zásady v nich obsažené musí závazně dodržovat.

12. ZKOUŠKY STŘÍKANÉHO BETONU

Pro dozor nad kvalitou stříkaného betonu jsou nutné zkoušky výchozích složek, namíchaných směsí, zařízení i vlastního stříkaného betonu. Četnost kvalitativních zkoušek se řídí zpravidla podle závažnosti aplikace stříkaného betonu, požadavky na jeho trvanlivost, podle denních výkonů i místních podmínek. Tyto faktory včetně TKP a ZTKP pro konkrétní stavbu by měly být specifikovány v realizační dokumentaci. Doporučuje se, aby třídy četnosti zkoušek byly rovněž v souladu s typem SB I až SB III. Kvalita stříkaného betonu a jeho složek se prokazuje průkaznými a kontrolními zkouškami. Zkoušky musí provádět nezávislá akreditovaná laboratoř se zkušenostmi v oblasti stříkaného betonu.

12.1 Zkoušky složek stříkaného betonu

Složky stříkaného betonu jsou prověřovány obdobně jako vlastní stříkaný beton před zahájením prací na stavbě a podle potřeby i v průběhu výstavby. Doporučený rozsah průkazných a kontrolních zkoušek podle obvyklých tuzemských požadavků je shrnut v tabulce XII.

12.2 Zkoušení betonové směsi a stříkaného betonu

Rozsah obvyklých zkoušek pro běžně používanou suchou a mokrou betonovou směs je sestaven v tabulce XIII.

Pro míchané betonové směsi dovážené z certifikované betonárny jsou navíc zkoušky plynoucí z kontroly jakosti výrobce.

Minimální rozsah kontrolních zkoušek se pro konstrukční stříkaný beton zpravidla omezuje na vyšetření náběhu pevnosti mladého betonu v intervalech potvrzujících zařazení do tříd SB I až III a zjištění pevnosti a objemové hmotnosti na vývrtech o průměru 100 mm po 28 dnech.

Zkoušky dalších vlastností stříkaného betonu (např. mrazuvzdornost, odolnost vůči CHRL apod.) je nutné provádět pokud jsou stanoveny v realizační dokumentaci (RD) nebo v požadavcích objednatele (DZS, TKP, ZTKP, TP).

Tabulka XII: Zkoušky výchozích hmot – doporučený rozsah zkoušek

hmota/zkušební metoda	zkoušky u výrobce výchozí hmoty		zkoušky na staveništi	
	certifikát	kontrola vlastností hmoty při výrobě střík. betonu	průkazní zkoušky	doplňkové kontrolní zkoušky - četnost dle důležitosti a trvání stavby
POJIVO:				
cement	x			
počátek a konec tuhnutí		x	x	dle potřeby
specifický povrch (Blaine)		x		
pevnost v tlaku 7d, 28 d		x	x	
teplota dodávky cementu		x	x	x
reakce s urychlující přísadou			x	
zkouška ref. střík. betonu - obor J ₂			x	
PŘÍMĚSI:				
popílek	x			
specifický povrch (Blaine)		x		
slévárenský písek	x			
specifický povrch (Blaine)		x		
silikátový prach	x			
specifický povrch (Blaine)		x		
hydraulická účinnost		x		
obsah SiO ₂ , MgO		x		
záměsová voda			dle potř.	dle potřeby
kamenivo	x			
množství odplavitelných částic		x	x	x
čára zrnitosti		x	x	x
vlhkost kameniva		x	x	x
alkalické, silikátové reakce		x	x	
PŘÍŠADY:				
urychlovač tuhnutí	x			
hustota, obsah pevných látek		x		
pH hodnota		x		
obsah Cl		x		
urychlení tuhnutí		x	x	dle potřeby
pokles pevností po 28 dnech		x	x	
superplastifikační přísada	x	x		
hustota, obsah pevných látek		x		
pH hodnota		x		
míra ztekucení		x	dle potř.	
míra provzdušnění		x	dle potř.	

12.3 Průkazní zkoušky stříkaného betonu

Průkazní zkoušky musí provádět akreditovaná laboratoř se zkušenostmi v oblasti návrhu a zkoušení stříkaného betonu. Výchozím bodem pro jejich provedení je zadání průkazních zkoušek organizací provádějící SB, ve kterých musí být zohledněny všechny projektem požadované jakostní parametry a zhotovitelem specifikovány potřebné technologické vlastnosti stříkaného betonu včetně podmínek jeho aplikace. Prvotně se při průkazní zkoušce prověřuje dávkování navrhovaného složení betonové směsi na betonárně či na staveništní výrobně. Při zkoušce stříkáním nanášeného betonu se musí prokázat projektem vyžadované vlastnosti mladého i ztvrdlého stříkaného betonu (tabulka XIII). Průkazní zkouška z navržených složek stříkaného betonu se má provést na staveništi s konečným zařízením staveniště (stříkací stroj, dávkovač urychlující přísady, manipulátor apod.), za stejných či

obdobných podmínek (zejména teplotních), za kterých se bude stříkaný beton aplikovat. Posuzování se uskutečňuje postupně při vyhodnocování výsledků z jednotlivých zkoušek.

Pokud se nevychází z předchozích osvědčených receptur je nutné při používání urychlujících přísad tuhnutí a tvrdnutí stanovit složení stříkaného betonu (především potřebné dávkování cementu a urychlující přísady) minimálně vyzkoušením 2 záměsí s rozdílným obsahem cementu a tomu odpovídajícím maximálním stanoveným dávkováním urychlující přísady. Pro porovnání je třeba se stejným složením odzkoušet i porovnávací (nulový) beton bez urychlovače pro zjištění poklesu pevnosti.

Tabulka XIII: Zkoušky namíchané směsi a stříkaného betonu – doporučený rozsah zkoušek

	u výrobce směsi		na staveništi				
	průkazní zkoušky	kontrolní zkoušky	průkazní zkoušky	kontrolní zkoušky			
				třída četnosti kontrolních zkoušek			
				TČ I	TČ II	TČIII	
			1 x za 6 měsíců (případně 1 x za dobu trvání stavby)	1 x za 3 měsíce	1 x za měsíc		
suchá betonová směs s kamenivem přirozené vlhkosti namíchaná na betonárně (certifikace na systém výroby) nebo na staveništi			stříkaný beton ze suché směsi				
teplota směsi	x	(x)					
obsah cementu	x	x					
podíl frakcí kameniva	x	x					
teplota SB						x	dle stanovené třídy četnosti
dávkování urychlující přísady						x	dle stanovené třídy četnosti
nárůst pevnosti mladého stříkaného betonu						x	dle stanovené třídy četnosti
pevnost v tlaku 28 d, (3, 7 d)						x	dle stanovené třídy četnosti
objemová hmotnost						x	dle stanovené třídy četnosti
mrazuvzdornost						je-li v RD	1 x za stavbu až max. 1 x za 3 měsíce
síranovzdornost						je-li v RD	1 x za stavbu až max. 1 x za 3 měsíce
E - modul			je-li v RD	1 x za stavbu až max. 1 x za 3 měsíce			
vyluhovatelnost			je-li v RD	1 x za stavbu až max. 1 x za 3 měsíce			
mokrý betonová směs namíchaná na betonárně (certifikace na systém výroby)			stříkaný beton z mokré směsi				
teplota směsi	x	(x)					
obsah cementu	x	x					
vodní součinitel w/c	x	x					
podíl frakcí kameniva	x	x					
dávkování superplastifikátoru	x	x					
zkouška rozlítím (sednutí)	x	x					
teplota SB						x	dle stanovené třídy četnosti
dávkování urychlující přísady						x	dle stanovené třídy četnosti
nárůst pevnosti mladého stříkaného betonu						x	dle stanovené třídy četnosti
pevnost v tlaku 28 d, (3, 7 d)						x	dle stanovené třídy četnosti
objemová hmotnost			x	dle stanovené třídy četnosti			
mrazuvzdornost			je-li v RD	1 x za stavbu až max. 1 x za 3 měsíce			
síranovzdornost			je-li v RD	1 x za stavbu až max. 1 x za 3 měsíce			
E - modul			je-li v RD	1 x za stavbu až max. 1 x za 3 měsíce			
vyluhovatelnost			je-li v RD	1 x za stavbu až max. 1 x za 3 měsíce			

U stříkaných betonů s určenou třídou pevnosti je třeba dodržet při průkazních zkouškách dostatečnou míru bezpečnosti. Průměrná hodnota pevnosti při průkazní zkoušce musí být alespoň o 4 N/mm²

vyšší než udává specifikovaná třída pevnosti. Zvýšení o míru bezpečnosti je založeno na větším neodstranitelném rozptylu kvality při aplikacích stříkaného betonu.

Pro stříkaný beton do třídy pevnosti SB 15 (C 12/15) lze vyjít ze zkušenosti s výsledky aplikací stříkaných betonů vyšších pevností. Pak se průkazní zkouška po dohodě s objednatelem nemusí provádět.

12.4 Kontrolní zkoušky stříkaného betonu

Kontrolními zkouškami během provádění stavby se dokladuje, že stříkaný beton byl vyroben tak, že při standardním postupu provádění lze na zkušebních tělesech dosáhnout požadovaných vlastností při stanoveném stáří 28 dnů (případně 56 nebo 90 dní). Vyšetření skutečně dosažené pevnosti stříkaného betonu se provádí přednostně na jádrech o průměru 100 mm odvrtných in situ. Odebírání vrtných jader se doporučuje provádět těsně před laboratorní zkouškou, pokud možno ne dříve než lze předpokládat, že beton nabude pevnosti nejméně 10 N/mm².

Běžně se v rámci kontrolních zkoušek provádějí zkoušky mladého stříkaného betonu penetrační jehlou a přístrojem Hilti–Tester 4. Zkouškou tvrdnutí se zjišťují pevnosti betonu ve stavebním díle nebo se stvrzují zvláštní vlastnosti stříkaného betonu za staveništních podmínek ke stanovenému stáří aplikované hmoty. Zkoušky tvrdnutí mladého stříkaného betonu se provádí zpravidla pro potvrzení potřebného náběhu pevností zaručujícího brzké přenášení silových účinků od líce výrubu či zabezpečení ekonomického a bezpečného nanášení vrstvy betonu nad hlavou či převislých plochách výrubu.

Četnost kontrolních zkoušek (třídou četnosti) dle doporučení uvedeném v tabulce XIII stanovuje realizační dokumentace s přihlédnutím k charakteru a funkci konstrukce i celkové kubatury aplikovaného stříkaného betonu.

13. ZKUŠEBNÍ METODY

Níže jsou popisovány pouze vybrané zkušební metody používaných výchozích hmot či stříkaného betonu doporučené pro provádění na stavbě nebo v laboratoři. Pro odebírání vzorků výchozích hmot a přezkoušení jejich materiálových vlastností platí postupy dle norem běžně zkušebnami používané a nebudou v dalším textu zmiňovány. Zkoušky materiálových vlastností cementu, kameniva a vody jsou stejné jako pro složky betonové směsi monolitického betonu. Navíc se pro ověření vhodnosti cementu k urychlující přísadě provádí zkouška reagentce urychlující přísady k použitému cementu.

13.1 Laboratorní zkouška cementu a tekuté urychlující přísady s ohledem na urychlení tuhnutí

Pro vyšetření rychlosti reakce cementu a urychlující přísady se používá Vicatův přístroj. Níže popsán způsob slouží pro hodnocení vzájemného působení cementu a urychlující přísady, kdy se zjišťuje začátek, průběh i konec tuhnutí cementové kaše po přidání urychlující přísady. Podstatné jsou zejména hodnoty průběhu a konce tuhnutí, které se zjišťují laboratorně v rámci průkazní zkoušky. Pokud se zkouška reagentce opakuje při kontrolních zkouškách neměl by se od těchto hodnot odchýlit konec tuhnutí o více než 60 sekund.

Pracovní předpis zkoušky:

- a. teplota cementu, vody a urychlující přísady: +20 °C ±2 °C
- b. připraví se 250 g cementu a zvolené množství vody (hodnotu vodního součinitele w/c se doporučuje volit 0,25, 0,30, 0,35 až 0,40)
- c. tekutý urychlovač se přidá do vody (pro suchý způsob nástřiku) v množství 7% z hmotnosti pojiva (17,5 g). Objem tekutého urychlovače se připočte k záměsové vodě. Pro zkoušky mokrého nástřiku se nejdříve promíchá kaše cementu a vody s 1% používané plastifikační

- přísady (2,5 g) – objem přísady se připočte k záměsové vodě a teprve po 15 minutách se tekutý urychlovač rychle přimísí (viz body e, f, g)
- d. suchými komponenty se naplní prstenec Vicatova přístroje, který stojí na skleněné nebo plastické desce a na který se nasadí válcový nástavec.
 - e. v nasyceném cementu se vytvoří prohlubeň (jamka)
 - f. rychle se přidá tekutý komponent a rychle a důkladně se během 15 sekund promíchá kaše cementu s urychlovačem špachtlí ($b = 4$ cm) nebo automatickou šlehací metlou nádobě přiměřenou. Po zamíchání se kaše ztuhne několika poklepy o podložku. Potom se nástavec sejme a kaše se špachtlí zarovná. Všechny popsané úkony se musí ukončit během 25 sekund po přidání vody respektive pro mokrého způsobu nástřiku po přidání tekuté urychlující přísady. Pokud cementová kaše není bezvadně zpracovatelná, opakuje se zkouška při vyšším vodním součiniteli (násobek 5%)
 - g. počátek tuhnutí, průběh a konec tuhnutí se určí Vicatovým přístrojem. Doba se počítá od okamžiku přidání vody respektive u mokrého způsobu nástřiku od okamžiku přidání urychlující přísady. Za začátek tuhnutí se označuje doba, po které jehla zůstane viset zabořena v kaši 3 – 5 mm nad skleněnou nebo umělohmotnou deskou. Průběh tuhnutí je charakterizován hodnotami hloubky vpichu odečtenými vždy po uplynutí 30 (pro vyšší vodní součinitele 60 vteřin). Za konec tuhnutí se značí poslední vpich provedený v intervalu 30 (60) vteřin, kdy jehla ještě pronikla do cementové kaše maximálně 2 mm. Zkušební postup se provede 3 x a z odečtených hodnot se do výsledné tabulky zanesou k časovým intervalům průměrné hodnoty vpichu udané v mm.

13.2 Zhotovení zkušebních těles referenčního stříkaného betonu

Zkušební tělesa referenčního stříkaného betonu slouží ke zkoušení vhodného cementu nebo kombinaci cementu s urychlovačem z hlediska nárůstu pevnosti, mrazuvzdornosti, vodonepropustnosti, síranovzdornosti a vyluhovatelnosti.

Pro zkoušení síranovzdornosti a vyluhovatelnosti se používá maximální přípustná dávka urychlovače (podle údajů výrobce)

Pro referenční stříkaný beton se uvedou následující údaje:

- cement (označení, výrobce, místo a datum odběru) a kamenivo (čára zrnitosti, vlhkost, odplavitelné částice) – pro mokrého způsobu označení, výrobce a dávkování superplastifikátoru
- místo údaje o namíchání směsi
- způsob nástřikání
- stříkací stroj a jeho charakteristiky, průměr a délka přepravní hadice (materiálového přívodu), tlak vody v trysce, tlak vzduchu u stříkacího stroje nebo u čerpadla (u mokrého způsobu nástřiku)
- skutečný výkon stroje při stříkání
- dávkovací zařízení a skutečná velikost dávek
- skutečná skladba směsi
- vodní součinitel (w/c) – při suchém způsobu nástřiku pomocí průběžného měření
- konzistence (mokrého způsobu nástřiku)
- okolní teplota, teplota čerstvého betonu, vody a případně skladovací teplota.

Referenční stříkaný beton se nástřiká do zkušební formy (rozměry 50 x 50 – hloubky 15 cm bez spodní bočnice) ukloněné pod úhlem cca 60°. Formy s nástřikem se skladují ve vlhku až do odvrtání zkušebních těles (nejpozději 5 dnů po nástřikání). Zkušební tělesa pro zjištění mrazuvzdornosti se po odvrtání až do zkoušky skladují pod vodou. Zkušební tělesa pro zjištění vodonepropustnosti, E modulu a síranovzdornosti se skladují pod vodou až do 3 dnů před zkouškou, potom až do zkoušky se nechají schnout na vzduchu. Zkušební tělesa pro zjištění

pevnosti se skladují do desátého dne pod vodou a potom na vzduchu při teplotě $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2$ stupně Celsia.

Tabulka XIV: Složení referenčního stříkaného betonu

	suchý stříkaný beton	mokrý stříkaný beton
Kamenivo*	vápenato – dolomitické kamenivo	
	max. zrno 8 mm	max. zrno 4 mm
pojivo k nástřiku*, pojivo	380 kg/m ³	430 kg/m ³
urychlovač tuhnutí EB	odpovídající dávka pro obor J ₂	
superplastifikátor		4,3 kg/m ³ (1 %)
konzistence	—	a = 50 ± 2cm

* - pro referenční beton se stanoví pro každé síto meze zrnitosti kameniva

13.3 Zkoušky porovnávacího (nulového) betonu

Porovnávací (nulový) beton složený z betonové směsi stejného složení avšak bez urychlovače tuhnutí se nastříká (u suchého způsobu s obvykle dávkovaným množstvím vody) instalovaným zařízením pro stříkaný beton do zkušebních forem o rozměrech forem 50 x 50 cm a hloubky 15 cm (bez spodní bočnice)..

Zkoušená pevnost v tlaku po 28 dnech slouží jako:

- porovnávací pevnost pro zjištění poměru vyjádřeného v % v poklesu pevnosti při použití alkalických i nealkalických urychlujících přísad přidávaných v trysce
- průkaz o správném složení porovnávacího betonu. Tato zkouška je účelná zejména když vlhká směs bude dodávána betonárnou a transportována na stavenišť. Současně je vhodné stanovit skutečné množství vody ve směsi např. odpařením.

Při kontrolních zkouškách se musí dosáhnout pevnosti porovnávacího betonu, která odpovídá pevnostní třídě, zvýšené o pokles pevnosti vlivem urychlující přísady. Pro posouzení poklesu pevnosti vlivem nealkalického urychlovače se nastříká porovnávací beton se stejným množstvím vody (vodním součinitelem) jako pro zřizování stříkaného betonu. Pokud přitom nelze dosáhnout úplně (plnohodnotné) ztuhnutí, je třeba použít vhodný plastifikátor betonu.

Stříkané betony z předvyrobené vysušené směsi není možné srovnávat s nulovým betonem bez urychlující přísady.

13.4 Zkoušení nárůstu pevnosti mladého stříkaného betonu penetrační jehlou

Při zkoušení penetrační jehlou se měří síla, která je potřebná pro zatlačení jehly stanoveného průmětu a tvaru (jehla s průměrem 3 mm a se zašpičatěným koncem pod úhlem 60°) do stříkaného betonu na hloubku 15 mm. Pro měření se používá Proctorův penetrometr, který umožňuje stanovovat pevnost v tlaku od 0,2 do 1,0 N/mm².

Postup zjišťování pevnosti tlaku:

- přístroj se nasadí kolmo k vyšetřované ploše stříkaného betonu a na jedno stlačení se zamáčkne do hloubky 15 mm
- odečte se hodnota reakce na stupnici a zaznamená se do připravené tabulky (viz tabulka XV). Nejnižší možná hodnota pro odečtení na stupnici Proctorova penetrometru je 12 a nejvyšší 67
- každé měření se 10x opakuje a přitom se dbá, abychom netlačili pokud možno na příliš velké zrno kameniva obsažené ve stříkaném betonu
- současně se do tabulky zaznamená teplota nastříkané betonové směsi i okolního prostředí

5. vypočte se průměrná hodnota **p** pro každý čas měření a podle vztahu $0,03 + 1,4074 \times 10^{-2} \times p$ se stanoví pevnost stříkaného betonu v tlaku v N/mm^2
6. měření se provádí v časových intervalech: 6, 15, 30 min., 1, 2 a případně 3 hod. po zastříkání. Výsledky se porovnají s průběhem čáry vymežující spodní hranici porovnávaného oboru (nejčastěji J2). Všechny naměřené hodnoty vynesené graficky musí ležet nad nebo nejméně na této čáře.

Tabulka XV: Měření nárůstu pevnosti stříkaného betonu v tlaku

STAVBA:

TYP STŘÍKACÍHO STROJE:

RECEPTURA:

DATUM ZKOUŠKY:

OPERÁTOR TRYSKY:

BLIŽŠÍ POPIS MÍSTA ZKOUŠKY:

ČAS: [hod; min.]	STÁŘÍ BETONU [min., hod.]	SILA VPICHU DLE STUPNICE 10 HODNOT								PRŮMĚR Z HODNOT [p]	PEVNOST V TLAKU [N/mm ²]	teplota vzorku/ /vzduchu
	0 hod.	dostříkání betonové směsi										
	6 min.											
	15 min.											
	30 min.											
	1 hod.											
	2 hod.											
	3 hod.											

13.5 Zkoušení nárůstu pevnosti stříkaného betonu přístrojem Hilti – Tester 4

Parametrem pro stanovení pevnosti stříkaného betonu v tlaku je poměr vytahovací síly ke hloubce nastřelení hřebu opatřeného hlavou se závitem. Jako zaháněcí zařízení se používá nastřelovací přístroj HILTI DX 450 L. Vytahovací síla se zjistí pomocí vytahovacího zkušebního přístroje HILTI – Tester 4. Vytahovací síla se měří bezprostředně po nastřelení předem stanoveného počtu hřebů. Způsob zkoušení metodou Hilti–Tester 4 dovoluje měřit na libovolném místě bez přípravné předchozí činnosti a umožňuje provádět okamžité vyhodnocení pevnosti betonu v tlaku. Proto je tento postup velmi vhodný pro rychlá kontrolní měření. Cíleným rozdělením míst měření po ploše stříkaného betonu lze získat kritické hodnoty pevnosti stříkaného betonu z hlediska jeho stáří a technologie provádění.

Zkoušky s pomocí nastřelovací pistole Hilti DX 450 L a měřicího přístroje Tester 4 se provádějí v případech, kdy je třeba vyhodnocovat nárůst pevnosti stříkaného betonu v rozsahu od 2 do 15 N/mm^2 . Metoda může být používána zejména pro tzv. mladé stříkané betony zpravidla od 2 do 24 hodin po nástřiku. Zkoušky metodou Hilti–Tester 4 se pro potřeby zjištění průběhu nabývání pevnosti zpravidla zjišťují v časovém odstupu 3, 6, 12 a 24 hod. po nástřiku. Podle potřeby stavby se zkoušky mohou provádět i v jinak stanovených časových odstupech. Při náběhu pevností dle oborů tuhnutí a tvrdnutí J_1 v některých případech i J_2 je možné provádět měření i později (až cca do 48 hodin po nástřiku).

Postup zjišťování pevnosti:

1. pistole HILTI DX 450 L se nabije sadou nábojek (zelená kartuše) a nastaví se do provozního nastavení „1“ (jedna)
2. pistole se nasadí k povrchu stříkaného betonu a nastřelí se hřeb (opakuje se minimálně osmkrát)
3. změří se vyčnívající část hřebů v a zaznamená se do tabulky

4. spočítá se hloubka vniku **I** (délka hřebu minus **v**) a uvede se do tabulky
5. na závitovou část hřebů se upevní matka a hřebu se přístrojem Hilti–Tester 4 ve sledu nástřelů vytáhnou. U každého hřebu se odečte síla **P_v** s přesností 100 N potřebná k vytažení a zaznamená se do tabulky
6. skutečná vytažovací síla **P** se pro každý případ stanoví ze vztahu $P = 0,93 \cdot P_v$
7. stanoví se jednotlivé poměry **P/I**
8. z provedených měření se vypočítá průměrná hodnota **m**
9. pokud nejsou pro typ použitého kameniva stanoveny odpovídající cejchovací čáry stanoví se pevnost v tlaku β_D podle vztahu:

$$\beta_D = (m + 2,7) : 7,69$$

13.6 Zkoušení stříkaného betonu na odvrtných jádrech

(Pevnost v tlaku, vodonepropustnost, mrazuvzdornost, E–modul apod.)

Jako zkušební tělesa pro zkoušky stříkaného betonu slouží odvrtná jádra vhodných rozměrů (tabulka XVI), která se přednostně odebírají z nastříkaného betonu in situ nebo ze zkušebních forem, přičemž prvé možnosti je třeba dát přednost. Zkušební tělesa připravovaná ze zkušebních forem mohou být též upravována řezáním na krychle, hranoly, respektive desky rozměrů předepsaných pro zkoušky stanovených vlastností. Podle způsobu ošetření se mohou vzorky (vývrty) používat pro zkoušky průkazní či kontrolní. Zkušební tělesa je třeba odebírat na různých místech přezkušovaného úseku. Pro zkoušky stříkaného betonu se do jednotlivých hodnot nezapočítávají ty, které se od celkového průměru liší více než o 15%. Pro sestavení průměrné hodnoty musí zůstat alespoň tři použitelné zkoušky. Stříkaný beton odebíraný z forem se aplikuje do důkladné, nepohyblivě připevněné formy, rozměrů 50 cm x 50 cm hluboké 15 cm avšak pouze se třemi bočními stranami bez strany přivrácené k zemi. Forma se opře o podložku v úhlu cca 60° k vodorovné. Z těchto bedniček se odeberou vrtná jádra, z odběru se vyloučí spodní okrajový pás (spad), přičemž se dbá na dostatečnou pevnost vzorku pro vrtání zpravidla alespoň 10N/mm². Krabice se skladují ve vlhku až do odběru vrtných jader, pokud možno bez manipulace při teplotě 20 ± 2 °C.

Zkušební tělesa pro průkazní a kontrolní zkoušky se musí odvrtnat nejpozději do 5 dnů po zhotovení stříkaného betonu. Zkoušky se provádí podle platných norem. Vzorky se skladují ve vzdušném prostoru při teplotě 20 °C ± 2 °C a relativní vlhkosti vzduchu 60 ± 10% nebo ve vodě při teplotě 20 stupňů Celsia ± 2 °C podle tabulky XVI.

Zkouška vzorků na vodonepropustnost, mrazuvzdornost nebo odolnost vůči chloridům ze stříkaného betonu se provádí po 56 dnech.

Pro stanovení pevnosti v tlaku jsou nutné zkoušky 5 ks odvrtných zkušebních těles, pro stanovení všech ostatních vlastností stříkaného betonu jsou třeba výsledky ze tří odvrtných zkušebních těles.

Tabulka XVI: Rozměry zkušebních těles, ošetření a skladování vzorků

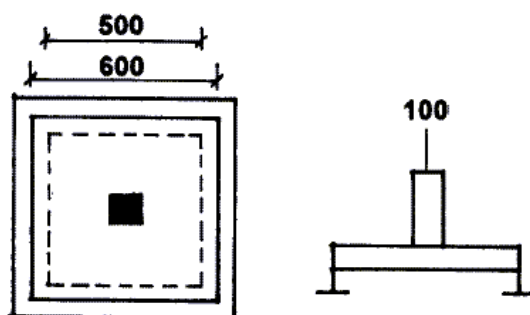
	vrtná jádro		podmínky skladování
	průměr	výška	
pevnost v tlaku	100 mm	100 mm	po odvrtní až do 10. dne ve vodě, potom na vzduchu
vodonepropustnost	150 mm	min. 120 mm	po odvrtní až do zkoušky pod vodou
mrazuvzdornost	100 mm	min. 200 mm	
E–modul	100 mm	min. 200 mm	po odvrtní do 3.dne před zkouškou pod vodou, potom na vzduchu

Zkoušky vlastností stříkaného betonu se provádějí na uvedených velikostech vzorků normovými postupy akreditovanou zkušebnou.

13.7 Zjišťování přetvárnosti stříkaného betonu

V poslední době nejčastěji používanou zkouškou ke zjišťování přetvárných vlastností stříkaného betonu je tzv. desková zkouška. Zkouška průhybu desky je metoda určující přetvárnost stříkaného betonu vyztuženého rozptýlenými ocelovými vlákny jako závislost průhybu na působící síle (deformační křivka) respektive průhybu na vynaložené energii (křivka přetvárné energie).

Zkušební těleso se připraví z betonu nastříkaného do zkušební formy o rozměrech 60 cm x 60 cm x 10 cm a povrch se urovná s odchylkou 0/+10 mm.. Minimální počet zkušebních vzorků pro každou zkoušku je 3 kusy. Připravené desky se uloží do vody minimálně na 3 dny před zkoušením, a musí se udržovat ve vlhkém stavu po dobu zkoušky. Zkušební tělesa se osadí na ocelový rám (z I profilů výšky 100 mm) tak, že je uloženo po celém obvodu (na všech stranách) v ploše o šíři 5 cm (vnitřní hrany rámu jsou o půdorysných rozměrech 50 x 50 cm). Zatěžuje se ze strany hrubě upraveného líce. Zatížení se vyvozuje ve středu desky na ploše 10 x 10 cm zkušebním lisem s řízenou deformací o rychlosti přetváření 1,5 mm/min. až do průhybu 25 mm. Kontinuálně se zaznamenává síla potřebná pro deformaci jako funkce průhybu s přesností měření + 0,01 mm respektive + 0,01 kN. Z křivky závislosti deformace na zatížení se odvodí druhá křivka, udávající absorbovanou energii jako funkci deformace desky. Požadavky na tuhost jsou dány jako stanovená absorpce energie při daném průhybu. Stříkaný beton s vlákny by měl vykazat schopnost převzetí přetvárné energie alespoň 500 Joulů při průhybu 25 mm. Standardní zkouška se provádí ve stáří stříkaného betonu 28 dní.



Obr. 13.7.1 Uspořádání testu na zjišťování přetvárnosti betonu

13.8 Ověřování dávkovaného množství tekuté urychlující přísady

Dávkování urychlující přísady je podstatné pro dobu zahájení náběhu tuhnutí, počáteční pevnosti i pro konečnou pevnost stříkaného betonu. Dávku stanovenou ve vztahu k průběžně spotřebovávanému cementu při průkazní zkoušce je třeba ověřovat při kontrolních zkouškách. Dávkovací zařízení musí zaručovat rovnoměrné přidávání předem stanoveného množství urychlovače vztaženého k dopravovanému množství cementového pojiva. Dávkovací zařízení musí být proto pravidelně čištěno a musí být prováděna jeho pravidelná údržba.

Tekutý urychlovač lze dávkovat při suchém způsobu ze sudů či kontejnerů v příslušném poměru do záměsové vody. Při přidávání tekuté urychlující přísady s pomocí dávkovacího zařízení přímo do vody přiváděné k trysce, je třeba dbát na stálý tlak v rozvodu vody. Nasávání urychlovače ze zásobníku musí být bez vzduchových bublin a musí být zajištěno proti vnikání cizích těles odpovídajícím sítkem. Tekuté urychlovače mohou vlivem změny okolní teploty měnit svoji viskozitu a při delším skladování mohou mít sklon k usazování a vločkování, čímž je zásadně ovlivněna jejich účinnost. Urychlující přísady v roztocích mají sklon ke srážení, urychlující přísady v suspenzích k odlučování. Proto je nutné se přesvědčit před každým nástřikem, zda se nezměnila homogenita urychlovače a případně ji obnovit alespoň pětiminutovým promícháním připraveným mísičem.

Dávkování přísady se kontroluje převážením nádoby s urychlující přísadou před a po nástřiku. Pokud je připojeno průtočné měřidlo, může být zaznamenávána spotřeba urychlovače průběžně v příslušné době. Průtokoměr je třeba nakalibrovat při průkazní zkoušce s ohledem na skutečný

nastavený výkon stříkacího stroje (čerpadla na beton) a objemovou hmotnost používané urychlující přísady. Při kontrolních zkouškách ale i před každým započítáním stříkání musí být zkontrolovány nastavené hodnoty na dávkovacím zařízení, které mohou být různé pro konkrétní aplikaci stříkaného betonu (např. pro nástřik boků, klenby či spodní klenby primárního ostění tunelu či štoly).

13.9 Zjišťování spadu

Množství spadu je velmi důležitou položkou, která rozhoduje zásadně o ekonomice provádění stříkaného betonu. Množství spadu je ovlivněno celou řadou faktorů, z nichž nejpodstatnější se jeví poloha ústí trysky (vzdálenost a směr) nastavovaná obsluhou trysky, vzdálenost ústí trysky od podkladu a rychlost vyletujících částic betonové směsi.

Nejvhodnějším způsobem pro zjištění spadu je zpravidla vystříkat alespoň 1 m³ směsi, která bude navážena na betonárně a doložena písemným protokolem o hmotnosti jednotlivých komponent. Po vystříkání se musí zjistit také váhový úbytek urychlující přísady a u suchého způsobu stříkání i váha spotřebované vody. Náročnou avšak přesnou metodou je zachytit spad na plachtu položenou před nástřikem, který je třeba odvážit např. s pomocí odběrné nádoby stejnoměrně plněné, u níž se při prvním naplnění zjistí hmotnost obsahu.

$$\text{množství spadu v \%} = \frac{\text{spad [kg]}}{\text{vystříkané hmoty [kg]}} \times 100$$

Aby bylo možné zohlednit či upravit faktory ovlivňující množství spadu je vhodné při měření či po něm zaznamenat případně dopočítat celkem tyto uváděné údaje:

- místo a čas měření
- délka doby nástřiku, hmotnost spotřebovaných hmot (pře počítat na skutečný výkon při stříkání v m³/hod, zjistit skutečný vodní součinitel w/c))
- dopravní tlak na stroji
- tlak stlačeného vzduchu
- teplota betonu v násypce stroje a v nanesené ploše
- vzdálenost trysky od podkladu
- převládající úhel nástřiku
- tloušťka stříkaného betonu
- průtok vody a urychlující přísady
- délka dopravních hadic v m
- průměr hadic a stříkací trysky
- poloha podkladu (svislá plocha, klenba apod.).