

TP 265

Technické podmínky

Ministerstvo dopravy

VODONEPROPUSTNÉ TUNELOVÉ OSTĚNÍ



Ministerstvo dopravy



ŘEDITELSTVÍ SILNIC A DÁLNIC ČR

Schváleno Ministerstvem dopravy, Odborem liniových staveb a silničního správního úřadu pod č. j. MD-42977/2023-930/2 ze dne 20. 12. 2023 s účinností od 15. 1. 2024.

Tento dokument se shoduje se schválenou verzí.

Distribuce pouze v elektronické podobě na webu pjpk.cz.

Obsah

1	ÚVOD.....	6
1.1	Předmět technických podmínek	6
1.2	Změny oproti předchozí verzi	6
1.3	Související právní předpisy.....	6
1.4	Související technické normy.....	6
1.5	Související technické předpisy Ministerstva dopravy	7
1.6	Související zahraniční předpisy	7
1.7	Použitá literatura.....	8
1.8	Termíny a definice.....	8
1.9	Zkratky.....	9
	ČÁST A – OBECNÁ PRAVIDLA A PRAVIDLA PRO RAŽENÉ TUNELY	10
2	ZÁKLADNÍ PRINCIPY PRO VODONEPROPUSTNÉ TUNELOVÉ OSTĚNÍ	10
3	POŽADAVKY NA DEFINITIVNÍ (SEKUNDÁRNÍ) OSTĚNÍ	11
3.1	Kvalita vnitřního prostoru	11
3.2	Kvalita vnějšího prostoru	11
3.2.1	Agresivita prostředí.....	12
3.2.2	Tlak podzemní vody	12
3.3	Minimální tloušťka ostění a odchylka od předepsané tloušťky	12
3.4	Požadavky na vyztužení.....	13
4	SLOŽENÍ BETONU	14
4.1	Omezení trhlin od vynucených namáhání	16
4.2	Požadavky na složky	17
4.2.1	Cement (Pojivo)	17
4.2.2	Kamenivo	17
4.2.3	Přísady.....	17
4.3	Požadavky na vlastnosti betonu v čerstvém stavu	18
4.3.1	Nízký vývin hydratačního tepla.....	18
4.3.2	Požadovaná zpracovatelnost	18
4.3.3	Samozhutnitelný beton.....	18
4.3.4	Podmínky pro teplotu čerstvého betonu a betonu v konstrukci.....	18
4.4	Požadavky na rychlost tvrdnutí.....	19
4.4.1	Pevnost při odbedňování.....	19
4.5	Požadavky na beton v zatvrdlém stavu.....	19
4.5.1	Pevnost v tlaku.....	19
4.5.2	Objemové změny	19
4.5.3	Odolnost proti účinkům prostředí	20
4.5.4	Povrchy	20
4.6	Beton se zvýšenou požární odolností	20
4.7	Požadavky na prvky umísťované do sekundárního ostění.....	21
5	MONOLITICKÉ TUNELOVÉ OSTĚNÍ RAŽENÝCH TUNELŮ	21

5.1	Požadavky na betonážní úseky	21
5.1.1	Podklad – primární ostění nebo skalní podklad.....	21
5.1.2	Kvalitativní požadavky pro podkladní vrstvu	21
5.1.3	Separační fólie.....	22
5.1.4	Délka betonážní sekce ostění	23
5.2	Požadavky na technologické vybavení při betonáži.....	23
5.2.1	Dimenzování bednicího vozu	23
5.2.2	Ukládání betonu.....	24
5.2.3	Způsob hutnění betonu	24
5.2.3.1	Příložné vibrátory.....	24
5.2.3.2	Ponorné vibrátory.....	24
5.3	Odbedňování.....	24
5.3.1	Ošetřování betonu po odbednění.....	25
5.4	Injektáž vrchlíku	26
5.5	Opatření při betonáži v extrémních podmínkách (teplo, zima)	26
5.6	Opatření k zamezení přítoků podzemní vody při betonáži	26
5.7	Spáry a styky.....	27
5.7.1	Těsnění dilatačních spár	28
5.7.2	Příčné pracovní spáry.....	29
5.7.3	Podélné pracovní spáry.....	30
5.8	Ochrana proti bludným proudům	31
5.9	Krytí výztuže a distanční prvky	31
6	POŽADAVKY NA TECHNOLOGII PROVÁDĚNÍ.....	32
6.1	Stříhání a ohýbání výztuže	32
6.2	Přípustná koroze a znečištění výztuže před zabudováním	33
6.3	Vázání a ukládání výztuže	33
6.4	Kontrola před betonáží	33
6.5	Ukládání a zhutňování betonu	34
6.6	Ošetřování a ochrana betonu	35
7	KONTROLNÍ ČINNOST	36
7.1	Kontrola podkladu.....	36
7.2	Kontrola betonu (zkoušky průkazní, kontrolní a četnosti).....	36
7.2.1	Průkazní zkoušky.....	36
7.2.2	Kontrolní zkoušky prováděné na stavbě.....	36
7.2.3	Typy a četnost kontrolních zkoušek.....	37
7.3	Kontrola bednění	37
7.4	Kontrola výztuže.....	37
7.5	Kontrola těsnění pracovních a dilatačních spár	38
8	OPRAVY ZÁVAD	38
	ČÁST B – SPECIFIKA PRO HLOUBENÉ TUNELY	40
9	POŽADAVKY NA TUNELOVÉ OSTĚNÍ HLOUBENÝCH TUNELŮ	40

10 SLOŽENÍ BETONU PRO HLOUBENÉ TUNELY	40
11 HLOUBENÉ TUNELY BUDOVANÉ V OTEVŘENÉ JÁMĚ.....	40
11.1 Požadavky na betonážní úseky	41
11.2 Technologické vybavení	42
11.3 Ukládání betonu	42
11.3.1 Bednicí vůz	43
11.4 Odbedňování.....	43
11.5 Ošetřování betonu po odbednění.....	43
11.6 Spáry mezi sekcemi betonáže	44
11.6.1 Těsnění dilatačních spár	45
11.6.2 Vytváření řízených spár (předurčených trhlin s těsněním).....	45
11.7 Zpětný zásyp.....	46
12 SPECIFIKA PRO TUNELY S POUŽITÍM VODONEPROUSTNÝCH PODZEMNÍCH STĚN JAKO DEFINITIVNÍCH ČÁSTÍ OSTĚNÍ TUNELU	46
12.1 Napojení podzemních stěn a základové desky	48
12.2 Napojení podzemních stěn a stropní desky	50
12.3 Minimální vyztužení podzemních stěn.....	50

1 Úvod

1.1 Předmět technických podmínek

Tyto technické podmínky uvádějí požadavky na návrh a provádění vodonepropustných tunelových ostění ražených a hloubených tunelů. Jde o konstrukce, kde je vodonepropustnost ostění zajištěna nosnou betonovou konstrukcí a není použita další bariérová hydroizolace. U ražených tunelů se předpokládá klenbový průřez tunelu. U hloubených tunelů pak může být průřez buď klenbový nebo obdélníkový. Na tvaru průřezu a technologii výstavby pak závisejí podmínky pro zajištění vodonepropustnosti ostění.

Řada ustanovení uvedených v těchto Technických podmínkách jsou podobná nebo shodná pro konstrukce ražených a hloubených tunelových ostění. Proto jsou tyto Technické podmínky koncipovány tak, že obsahují část A popisující obecná pravidla platná pro všechny druhy tunelů a pravidla pro ražené tunely. Požadavky specifické pouze pro hloubené tunely jsou uvedeny v části B. V části B jsou uvedeny též podmínky pro podzemní stěny, pokud jsou použity jako trvalé součásti vodonepropustného tunelového ostění hloubených tunelů.

1.2 Změny oproti předchozí verzi

Změny ve oproti předchozí verzi nejsou, jedná se o první vydání dokumentu.

1.3 Související právní předpisy

Vyhláška ČBÚ č. 55/1996 Sb., o požadavcích k zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci a bezpečnosti provozu při činnosti prováděné hornickým způsobem podzemí, ve znění vyhlášky č. 238/1998 Sb., vyhlášky č. 144/2004 Sb. vyhlášky č. 298/2005 Sb., vyhlášky č. 265/2012 Sb., vyhlášky č. 124/2022 Sb. a vyhlášky č. 124/2022 Sb. (část).

1.4 Související technické normy

U datovaných odkazů platí pouze citované vydání. U nedatovaných odkazů platí poslední vydání daného dokumentu (včetně všech změn a dodatků).

ČSN 33 2000-5-51 ed. 3 Elektrické instalace nízkého napětí – Část 5-51: Výběr a stavba elektrických zařízení – Obecné předpisy

ČSN 42 0139 Ocel pro výztuž do betonu – Svařitelná betonářská ocel žebírková a hladká

ČSN 73 2401 Provádění a kontrola konstrukcí z předpjatého betonu

ČSN 73 6133 Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací

ČSN EN 197-1 Cement – Část 1: Složení, specifikace a kritéria shody cementů pro obecné použití

ČSN EN 206+A2 Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda

ČSN EN 934-2 Přísady do betonu, malty a injektážní malty – Část 2: Přísady do betonu – Definice, požadavky, shoda, označování a značení štítkem

ČSN EN 1538+A1	Provádění speciálních geotechnických prací – Podzemní stěny
ČSN EN 1992-1-1 ed. 2	Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
ČSN EN 1992-1-2	Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-2: Obecná pravidla – Navrhování konstrukcí na účinky požáru
ČSN EN 1504-2	Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí – Definice, požadavky, kontrola kvality a hodnocení shody – Část 2: Systémy ochrany povrchu betonu
ČSN EN 10025-2	Výrobky válcované za tepla z konstrukčních ocelí – Část 2: Technické dodací podmínky pro nelegované konstrukční oceli
ČSN EN 12350-1	Zkoušení čerstvého betonu – Část 1: Odběr vzorků a zkušební zařízení
ČSN EN 12350-2	Zkoušení čerstvého betonu – Část 2: Zkouška sednutím
ČSN EN 12390-8	Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 8: Hloubka průsaku tlakovou vodou.
ČSN EN 12390-2	Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 2: Výroba a ošetřování zkušebních těles pro zkoušky pevnosti
ČSN EN 12620+A1	Kamenivo do betonu
ČSN EN 13501-1	Požární klasifikace stavebních výrobků a konstrukcí staveb – Část 1: Klasifikace podle výsledků zkoušek reakce na oheň
ČSN EN 13670	Provádění betonových konstrukcí
ČSN EN ISO 527-1	Plasty – Stanovení tahových vlastností – Část 1: Obecné principy.
ČSN EN ISO 527-3	Plasty – Stanovení tahových vlastností – Část 3: Zkušební podmínky pro fólie a desky
ČSN EN ISO 11925-2	Zkoušky reakce na oheň – Zápalnost stavebních výrobků vystavených přímému působení plamene – Část 2: Zkouška malým zdrojem plamene

1.5 Související technické předpisy Ministerstva dopravy

TP 124 – Základní ochranná opatření pro omezení vlivu bludných proudů na mostní objekty a ostatní betonové konstrukce pozemních komunikací
TP 263 – Izolace tunelů pozemních komunikací
TKP 16 – Piloty a podzemní stěny
TKP 18 – Betonové konstrukce
TKP 24 – Tunely, květen
VL 5 – Tunely

1.6 Související zahraniční předpisy

Richtlinie Innenschalenbeton, ÖBV, prosinec 2012
Richtlinie Tunnelabdichtung, ÖBV, prosinec 2012,
Richtlinie Wasserundurchlässige Betonbauwerke – Weisse Wannen, ÖBV, únor 2018

ZTV-ING Teil 5 Tunnelbau, Bundesanstalt für Strassenwesen, březen 2012
Richtlinie 853 – Eisenbahntunnel planen, bauen und instandhalten, červen 2002
Richtlinie Dichte Schlitzwände, ÖBV, březen 2019

1.7 Použitá literatura

TKP Správy železnic Kapitola 17 – Beton pro konstrukce
TKP Správy železnic SŽ Kapitola 18 – Betonové mosty a konstrukce
TKP Správy železnic SŽ Kapitola 20 – Tunely
TKP Správy železnic SŽ Kapitola 23 – Sanace inženýrských objektů

1.8 Termíny a definice

Tunel – podélná podzemní stavba s průřezem výrubu nad 16 m².

Ostění – stavební konstrukce, která zabezpečuje vnitřní prostor tunelové trouby a vzdoruje tlaku horninového prostředí, včetně vody, povrchové zástavby, účinkům dopravy apod.

Primární ostění – ostění podzemního díla zabezpečující stabilitu vyrubaného prostoru minimálně do doby dosažení nosné funkce sekundárního ostění. V některých případech může primární ostění částečně nebo i zcela plnit funkci definitivního ostění.

Sekundární ostění – finální konstrukce ostění podzemního díla či stavby zabezpečující jejich projektovanou životnost. V případě dvouplášťového ostění sekundární ostění je definitivní ostění.

Definitivní ostění – finální ostění tunelu přenášející zatížení zemním tlakem, hydrostatickým tlakem a další, tvořící vnitřní povrch nosné části tunelu. Definitivní ostění tunelu může být buď jednovrstvé (primární nebo jednoplášťové), nebo sekundární v případě dvouvrstvých (dvouplášťových) ostění.

Horní klenba – ostění v prostoru kaloty tunelu.

Spodní klenba – betonová oblouková konstrukce tunelu v dolní části (v počvě) jeho průřezu.

Beton – materiál ze směsi cementu, hrubého a jemného kameniva a vody, s přísadami nebo příměsemi nebo bez nich, který získá své vlastnosti hydratací cementu.

Čerstvý beton – beton, který je zcela zamíchán a je ještě v takovém stavu, který umožňuje jeho ukládání.

Ztvrdlý beton: beton, který je v pevném stavu a má již určitou pevnost.

Betonářské práce – veškeré práce související s ukládkou betonu a výztuže, zhutňováním, jeho povrchovou úpravou a vnitrostaveništní dopravou.

Bednění – dočasná stavební konstrukce, která slouží k vytvoření trvalých betonových konstrukcí předepsaného tvaru.

Ošetřování betonu – způsoby ochrany a opatření k ošetřování betonu v jeho raném stáří.

Bednicí vůz – posuvné tunelové bednění pro betonáž kleneb sekundárního ostění.

Klimatizační vůz – slouží k ochraně a ošetřování betonu kleneb definitivního ostění při tuhnutí. Zajišťuje regulaci teploty a vlhkosti ve vzduchové komoře. Klimatizační vůz se posouvá spolu nebo za bednicím vozem. Pro tento účel může být klimatizační vůz propojen s bednicím vozem.

Výplňová injektáž – injektáž případných volných prostor ve vrchlíku kleneb, popř. i jinde: zajištění těsného kontaktu vnějšího líce sekundárního ostění s lícem primárního ostění.

Účinný obsah vody – rozdíl mezi celkovým obsahem vody přítomným v čerstvém betonu a vodou nasáknutou kamenivem.

1.9 Zkratky

BOZP	Bezpečnost a ochrana zdraví při práci
BS	Betonová směs
ČBÚ	Český báňský úřad
ČSN	Česká technická norma
DPS	Dokumentace pro provedení stavby
HPV	Hladina podzemní vody
KZP	Kontrolní a zkušební plán
NRTM	Nová rakouská tunelovací metoda
NV	Nařízení vlády
OBÚ	Obvodní báňský úřad
PD	Projektová dokumentace
PK	Pozemní komunikace
PO	Požární ochrana
PP	Pracovní postup
PTO	Provozně technický objekt
SB	Stříkaný beton
SCC	Samozhutnitelný beton
SD	Stavební dozor
SoD	Smlouva o dílo
TDS	Technický dozor stavby
TePř	Technologický předpis
TKP	Technické kvalitativní podmínky staveb
TP	Technologický postup (ve smyslu Vyhlášky ČBÚ č. 55/1996 Sb.)
ZDS	Zadávací dokumentace stavby
ZTKP	Zvláštní technické kvalitativní podmínky

ČÁST A – Obecná pravidla a pravidla pro ražené tunely

2 Základní principy pro vodonepropustné tunelové ostění

Vodonepropustné tunelové ostění je navrhováno jako kombinace vodonepropustné železobetonové konstrukce a těsnění pracovních a dilatačních spár v této konstrukci na očekávané kombinace zatěžovacích stavů. V tomto dokumentu jsou definovány podmínky pro konstrukci definitivního (sekundárního) tunelového ostění, které zajišťuje funkci nosnou a zároveň funkci hydroizolační. V případě deštníkového systému hydroizolace, kdy podzemní voda volně stéká po tunelovém ostění do podélných tunelových drenáží, není izolační systém zatížen hydrostatickým tlakem. Drenáže musí být funkční po celou dobu životnosti konstrukce. Drenáže musí být kontrolovatelné a opravitelné. Pokud je tunel navržen s uzavřeným hydroizolačním systémem (typ „ponorka“), zatěžuje hydroizolační systém tlak podzemní vody a tomu musí být přizpůsobeno jak dimenzování vlastní konstrukce ostění, tak těsnících prvků ve spárách. Výšku vodního sloupce musí určit geotechnický, resp. hydrogeologický průzkum. V návrhu musí být zohledněno možné kolísání hladiny podzemní vody nebo její možná změna v důsledku vybudování stavby.

Ostění tunelu může být navrženo buď z monolitického betonu (zpravidla konvenčně ražené tunely), nebo z prefabrikovaných dílců (zpravidla tunely ražené pomocí tunelovacích strojů). Monolitické ostění může být navrženo i v případě ražby tunelu ve vhodných geotechnických podmínkách tunelovacím strojem. Výhodou použití vodonepropustného ostění je snadná identifikace případných vad (průsaků) a jejich sanace, neboť k průsaku dochází, na rozdíl od použití hydroizolačních fólií, v místě vady železobetonové konstrukce. Následné řešení vad a oprav se provádí v místě konkrétního problému (především místa vodonosných trhlin, nebo jiných nadměrných průsaků), tudíž se daří poruchy obvykle vyřešit a odstranit.

Vodonepropustné sekundární ostění je vždy navrhováno jako vyztužené, zpravidla s vyšším stupněm vyztužení, než v případě ostění se zajištěním vodonepropustnosti pomocí hydroizolační fólie nebo stříkané hydroizolační membrány. V příznivých geotechnických podmínkách s deštníkovým hydroizolačním systémem je třeba provést technickoekonomické porovnání variant vyztuženého vodonepropustného sekundárního ostění a nevyztuženého sekundárního ostění se zajištěním vodonepropustnosti pomocí hydroizolace.

Při návrhu, provádění a ošetřování konstrukce je nutno zohlednit, zda se jedná o ostění hloubeného tunelu s monolitickým ostěním, raženého tunelu s monolitickým nebo prefabrikovaným ostěním. Předmětem tohoto dokumentu jsou **monolitická vodonepropustná ostění ražených a hloubených tunelů**. Prefabrikovaná tunelová ostění tento dokument nepokrývá.

Trhliny vlivem vývinu hydratačního tepla, omezené deformace od smršťování, zatížení konstrukce atd., jsou běžným a typickým jevem v železobetonových konstrukcích. V případě jemných trhlin není potřeba se zabývat jejich odstraňováním, předpokládá se, že se trhliny samy zacelí mikropřachem nebo procesem samohojení. Ostatní trhliny v ostění obecně nejsou vadou konstrukce, pokud nepřekročí daná kritéria s ohledem na statické působení průřezu nebo ochranu výztuže před korozí. Limitní šířka trhlin je závislá na konkrétních podmínkách stavby a jejích návrhových parametru.

3 Požadavky na definitivní (sekundární) ostění

Tato část platí pro sekundární (popř. jednoplášťové) ostění ražených tunelů i pro ostění hloubených tunelů. Tato ostění jsou považována za ostění definitivní. Požadavky na tato vodonepropustná tunelová ostění jsou dány dvěma skupinami kritérií. První skupinu tvoří požadavky na kvalitu vnitřního prostoru, která je rozhodující pro stupeň vodonepropustnosti. Čím vyšší stupeň vodonepropustnosti ostění je požadován, tím větší je konstrukční, technologická i ekonomická náročnost na jeho výstavbu. Druhou skupinu kritérií tvoří podmínky vně tunelového ostění. Zejména jde o horninový/zemní tlak, tlak podzemní vody a charakter prostředí kolem tunelu. Tyto podmínky se mohou lišit v koncových částech tunelu v blízkosti portálů a ve střední části tunelu (daleko od portálů).

3.1 Kvalita vnitřního prostoru

Kvalita vnitřního prostoru tunelů je pro tunely definují TP 263. Ty platí pro tunely s bariérovými hydroizolacemi. Pro tunely bez bariérové hydroizolace lze použít shodné třídy nepropustnosti, které jsou uvedeny v tabulce 1. (která je shodná s tabulkou v TP č. 263).

Protože dosažení vyšší nepropustnosti má přímé ekonomické dopady, je projektant povinen navrženou třídu vodonepropustnosti pro konkrétní projekt projednat s investorem a zápis o dohodě přiložit k projektové dokumentaci.

Tabulka 1: Kritéria vodotěsnosti dle TP 263

Třída	Charakter	Využití	Definice	Průsaky q ⁽¹⁾ [l·den ⁻¹ ·m ⁻²]
1	zcela suché	technologické prostory (PTO, rozvodny)	ostění tak těsné, že uvnitř nejsou patrné žádné vlhké skvrny	0,0
2	v podstatě suché	úseky tunelů PK ohrožené mrazem (portálové úseky) ⁽²⁾	na líci ostění nesmí být vlhkost, která navlhčí savý papír	0,1
3	kapilární průnik vlhkosti	ostatní části tunelů PK: technické chodby a propojky, větrací šachty, únikové komunikace, vstupy pro záchranné týmy	na vlhké skvrny přiložený savý nebo novinový papír se namočí vlhkost lze odstranit intenzivním větráním voda nestéká po líci ostění	0,2
4	vlhké slabé úkapy	požární kanály a pomocné štoly, šachty a komunální tunely	vlhké plochy místy občasné kapání	0,5
5	slabé pramínky průsaků	odvodňovací kanalizační štoly (znečištěná voda)	pramínky prosakující vody lokálně přípustné	1,0
6	pramínky průsaků	odvodňovací drenážní štoly (mimo místa jímání)	pramínky prosakující vody přípustné (bez tlaku)	3,0

⁽¹⁾ Průsak q v litrech na 1 m² líce tunelu za den se posuzuje jako průměrná hodnota z úseku zpravidla 3 bloků sekundárního ostění (délka cca do 40 m).

⁽²⁾ Portálové úseky se uvažují v délce 30 m od portálu, pokud projektant nestanoví jinak.

Poznámka: Z hlediska vedení instalací nízkého napětí (dle ČSN 33 2000-5-51, Příloha A se klasifikuje vliv prostředí dle této tabulky jako AD1 pro třídy 1, 2 a 3 a jako AD 2 a vyšší pro třídy 4, 5 a 6.

3.2 Kvalita vnějšího prostoru

Vnější prostředí tunelu je z hlediska návrhu vodonepropustného betonového ostění charakterizováno dvěma hlavními parametry, a to agresivitou prostředí (resp. podzemní vody) a tlakem podzemní vody.

3.2.1 Agresivita prostředí

Vodonepropustné betonové ostění je možné běžně provádět při maximálně středně agresivním chemickém prostředí, tedy XA2 dle ČSN EN 206. Pokud jde o síranovou agresivitu, je požadováno použití síranovzdorného cementu. V jiném případě je třeba posoudit typ agresivity a zvážit, zda lze navrhnout beton odolný aktuálnímu prostředí bez použití hydroizolační fólie.

3.2.2 Tlak podzemní vody

Maximální přípustný tlak podzemní vody na monolitické tunelové ostění z vodonepropustného betonu je 30 m. Výška vodního sloupce je uvažována v místě nejnižší spáry konstrukce. Pokud by tlak byl vyšší, je třeba navrhnout opatření k jeho trvalému snížení nebo navrhnout ostění s bariérovou izolací. V závislosti na tlaku podzemní vody (dle tabulky 2) jsou volena opatření pro zabezpečení těsnosti spár.

V případě „deštníkové“ hydroizolace s odvodem vody do podélných drenáží, je možné uvažovat třídu tlaku vody W0, pokud je zajištěna trvalá funkce drenáží po celou dobu životnosti tunelu. Drenáže musí být kontrolovatelné a v případě zjištění závady opravitelné.

Je doporučeno odstupňovat třídy tlaku vody pro různé části konstrukce tunelu.

Tabulka 2: Třída tlaku vody dle vodního sloupce

Třída tlaku vody	Popis
W0	Tlak vody 0 až 1,0 m
W1	Tlak vody >1,0 až 5,0 m
W2	Tlak vody >5,0 až 10,0 m
W3	Tlak vody >10,0 až 20,0 m
W4	Tlak vody >20,0 m

3.3 Minimální tloušťka ostění a odchylka od předepsané tloušťky

Minimální doporučená tloušťka definitivního (sekundárního) ostění, řešeného jako vodonepropustná konstrukce, se pro dopravní tunel a jeho součásti určí na základě statického posouzení, konstrukčních zásad a vodního tlaku. Minimální tloušťka vodonepropustného ostění pro dopravní tunely je 300 mm, pro menší profil výrubu do profilu cca 16 m², např. úniková štola, lze připustit minimální tloušťku ostění 250 mm. V případě horní tunelové klenby u tunelů s průřezem větším než 50 m² se doporučuje navýšit minimální tloušťku ostění na 400 mm.

Jakékoliv průřezové změny tloušťky ostění se navrhují pozvolné (plynulé), s ohledem na pokud možno rovnoměrný vývin hydratačního tepla.

Před zahájením prací montáže výztuže je třeba provést zaměření skutečné polohy líce primárního ostění a porovnat ho s teoretickým lícem uvedeným v projektové dokumentaci.

Skutečná tloušťka sekundárního ostění může být větší než projektovaná tloušťka uvedená v projektové dokumentaci. Menší tloušťka ostění, než je projektovaná, je s ohledem na dodržení krytí výztuže nepřipustná. V případě, že se jedná o rozdíl skutečné a projektované tloušťky do 100 mm, není nutné přizpůsobit vyztužení střednici ostění. To je možné jednak vzhledem k převažujícím příznivým podmínkám umožňujícím minimalizaci vzniku trhlin (separační vrstva mezi primárním a sekundárním ostěním, nízké teploty komponent betonové směsi, vysoké nároky na kvalitu podkladní vrstvy betonáže – tj. na líc primárního ostění), jednak se zohledněním zvýšených požadavků na omezení

vzniku trhlin včetně ošetřování po odbednění. V případě, že odchylka tloušťky definitivního ostění je větší než 100 mm jsou dvě možnosti:

1. Vyplnění nadvýrubu stříkaným, popř. monolitickým betonem tak, aby odchylka tloušťky ostění byla do 100 mm.
2. Pokud je odchylka tloušťky přesahující 100 mm ve velké ploše, lze toto zohlednit ve statickém výpočtu a navrhnout potřebnou úpravu vyztužení.

Poznámka: K navýšení tloušťky sekundárního ostění po celém obvodu tunelu může dojít, např. při nedoběhnutí předpokládaných konvergencí v tunelu nebo při celkovém navýšení předpokládaného profilu výrubu.

3.4 Požadavky na vyztužení

Musí být dodržen minimální a maximální stupeň vyztužení dle ČSN EN 1992-1-1.

Pro omezení šířky trhlin je nutné dodržet vzdálenost mezi pruty max. 150 mm, jak v podélném, tak příčném směru.

Maximální doporučený průměr výztuže sekundárního ostění pro omezení trhlin je 16 mm a neměl by překročit 20 mm. V případě potřeby navýšení profilu výztuže je potřeba k dané problematice přistupovat individuálně. Při rozhodování o zvýšení průměru prutů výztuže by mělo být uvažováno, zda a jak se využívají doplňková opatření pro omezení vzniku trhlin v betonu (např. Tabulka, beton s pevností sledovanou po 90 dnech, klimatizační vozy apod.).

U hloubených tunelů je vyztužení zpravidla dáno požadavky statického výpočtu, u tunelů s obdélníkovým průřezem se běžně používají i velké profily prutů (32 i více mm).

Umístění výztuže a její krytí je zajištěno vhodnými opatřeními, která brání jejímu pohybu, (viz. kap. 5.9 a 6.3). Poloha samonosné výztuže před najetím bednicího vozu musí být zajištěna tak, aby bednicí vůz výztuž nezvedal a nedošlo k podrcení distančních prvků.

S ohledem na plnicí otvory bednicího vozu a otvory pro vibrování betonové směsi, je potřeba provést nezbytné úpravy výztuže tak, aby byla zajištěna statická funkce ostění a zároveň aby bylo umožněno spolehlivé probetonování celé konstrukce. Minimální vzdálenost výztuže nesmí klesnout pod 2,5násobek velikosti největší frakce kameniva v betonu či pod dvojnásobek průměru použitých ponorných vibračních prostředků.

U samonosné výztuže je potřeba kontrolovat dostatečnou stabilitu a přípustnou deformaci nosného systému. Stabilizace nesamonosné výztuže je možná pomocí kotevních prvků upevněných do primárního ostění, resp. horninového masivu.

Styky sítí a výztužné rámy samonosné výztuže nesmějí být umístěny v betonážních nebo v pozorovacích oknech bednicího vozu.

Styky sítí musí být uspořádány tak, aby nedocházelo ke čtyřnásobnému vrstvení (zvýšené riziko vad ve zhutnění betonu.). Preferuje se použití výztužných sítí s úpravou v místě stykování.

Vzájemná vzdálenost vrstev výztuže u obou povrchů musí být zajištěna rámy samonosné výztuže nebo jiným opatřením. V oblasti nad podélnou pracovní spárou mezi klenbou tunelu a patkami/protiklenbou tunelu je vyžadovaná zesílená minimální výztuž v podélném směru tunelu (pro zachycení tahů vzniklých z důvodu omezení vynucených přetvoření vlivem hydratačního tepla a smršťování betonu). Potřebné množství výztuže se určí statickým výpočtem.

Limitní výpočtová šířka průběžné trhliny je závislá na požadavcích na kvalitu vnitřního prostředí a na tlaku podzemní vody dle tabulky 3. Připouští se rozdělení ostění tunelu na pásma dle výšky.

Tabulka 3: Limitní šířka průběžné trhliny

	Třída vodotěsnosti dle tabulky 1					
Tlak vodního sloupce (Tab. 2)	1 (Zcela suché)	2 (V podstatě suché)	3 (Kapilární průnik)	4 (Vlhké slabé úkapy)	5	6
W0 (0–1 m)	0,15	0,20	0,25	0,25	Platí kritéria pro šířku trhliny daná běžnými návrhovými předpisy (zejména ČSN EN 1992-1-1 ed. 2)	
W1 (1–5 m)	0,15	0,20	0,25	0,25		
W2 (5–10 m)	0,15	0,20	0,20	0,25		
W3 (10–20 m)	0,1	0,20	0,20	0,25		
W4 (20–30 m)	Nedoporučuje se	0,15	0,20	0,25		
<p>Poznámka 1: Pro omezení trhlín z důvodu omezených přetvoření nad spárou mezi základovými pasy (nebo protiklenbou) a klenbou tunelu je na základě zkušenosti pro šířku trhliny 0,25 mm a sekundární ostění tloušťky 0,3 m doporučena plocha podélné výztuže odpovídající 0,35 % tloušťky ostění a pro definitivní ostění tloušťky 0,6 m a více je doporučena plocha podélné výztuže odpovídající 0,25 % tloušťky ostění. Tato minimální podélná výztuž se umísťuje k oběma povrchům sekundárního ostění až do výšky 3,0 m nad pracovní spáru. Pro mezilehlé hodnoty tloušťky ostění lze množství výztuže stanovit lineární interpolací. Pro menší šířky trhlín musí být množství nutné výztuže stanoveno výpočtem.</p> <p>Poznámka 2: V případě většího krytí, než je nominální krytí výztuže, lze přípustnou šířku trhliny zvýšit přenásobením součinitelem k_{surf}, který se stanoví ze vztahu:</p> $1,0 \leq k_{surf} = c_{act} / (10 \text{ mm} + c_{min,dur}) \leq 1,5$ <p>kde c_{act} je aktuální tloušťka krycí vrstvy ($\geq c_{nom}$)</p> <p>$c_{min,dur}$ je minimální tloušťka krycí vrstvy s ohledem na trvanlivost dle ČSN EN 1992-1-1</p>						

4 Složení betonu

Beton definitivního (sekundárního) vodonepropustného ostění musí být odolný proti průsakům a agresivitě vnějšího a vnitřního prostředí. Při výrobě betonu pro vodonepropustné sekundární ostění je třeba zohlednit řadu požadavků, které ve výsledku mohou být i protichůdné. Z tohoto důvodu je potřeba nalézt opodstatnění pro užití jednotlivých kritérií a podmínek.

Jedná se zejména o zohlednění:

- užitných vlastností (požadavků na stupně vlivu prostředí konstrukce, třídy pevnosti betonu, požární odolnosti atd.);
- zpracovatelnosti čerstvé směsi;
- pomalého nárůstu teploty v době hydratace betonu;
- doby odbednění.

Výše zmíněné požadavky mají přímý vliv na vznik a vývoj trhlín v konstrukci, které svou limitovanou šířkou zaručují právě nepropustnost výsledné konstrukce. Dále je potřeba u betonu pro vodonepropustné sekundární ostění zajistit omezení maximální hloubky průsaku do betonu tlakovou vodou. Maximální průsak vody do betonu pro vodonepropustné sekundární ostění při zkoušce podle ČSN EN 12390-8 činí 35 mm, pokud není stanoveno přísnější kritérium zvoleným stupněm vlivu prostředí.

Požadavky na základní typy betonů použitelných pro sekundární ostění jsou uvedeny v Tabulce 4.

Tabulka 4: Základní typy betonů pro vodonepropustné sekundární ostění

Typ konstrukce	Definitivní ostění a galerie	Definitivní ostění	Definitivní ostění	Definitivní ostění
Umístění konstrukce	Portálová část a galerie	Portálová část	Mimo portálovou část	Mimo portálovou část
Povrchová úprava	-	Ochranný nátěr ¹⁾	-	Ochranný nátěr ¹⁾
Použitelnost pro vodonepropustné ostění	Nedoporučuje se	ANO	ANO	ANO
Označení dle TKP 18 – tabulka 18-2	40a	40b	40c	40d
Stupeň vlivu prostředí	XF4 ²⁾ , XA*, XC4	XF3, XA*, XC4	XF2, XA*, XC3	XF1, XA*, XC3
	* konkrétní stupeň vlivu prostředí XA bude stanovený na základě reálně zjištěné agresivity prostředí v rámci geotechnického průzkumu			
Minimální pevnostní třída	C30/37	C25/30	C25/30	C25/30
Max. teplota čerstvého betonu	27 °C	27 °C	27 °C	27 °C
Max. dosažená teplota v konstrukci	70 °C	55 °C	55 °C	55 °C
Max. průsak ČSN EN 12 390-8	20 mm	20 mm	35 mm	35 mm
Maximální množství účinné vody (z důvodu omezení smrštění)	170 l/m ³	170 l/m ³	170 l/m ³	170 l/m ³
Maximální hydratační teplo použitého cementu v 7 dnech	-	300 J/g	300 J/g	300 J/g
Konzistence sednutím kužele dle ČSN EN 12350-2	210 ± 30 mm	210 ± 30 mm	210 ± 30 mm	210 ± 30 mm
¹⁾ Specifikaci vhodného nátěru dle ČSN EN 1504-2 určí projektant. Musí být specifikována minimální životnost nátěru (viz. kapitola 4.5.3).				
²⁾ Stupeň vlivu prostředí XF4 je vhodné specifikovat pouze u konstrukcí, kde je to nezbytně nutné, tzn. dle ČSN EN 206 pouze u konstrukcí, kde dochází k přímému ostřiku rozmrazovacími prostředky a mrazu.				

Složení jednotlivých betonů používaných v současnosti při podobných požadavcích na jejich vlastnost se vyznačuje vysokou variabilitou. Příčinou je to, že se beton stává složitým kompozitem obsahujícím kromě základních složek (cement, voda a kamenivo) řadu dalších přísad. Také počet druhů cementů se stále rozrůstá. Proto filosofie návrhu spočívá zejména ve správné definici požadavků na beton v čerstvém i zatvrdlém stavu spíše než v definování konkrétního složení betonu.

Odpovědnost za specifikaci betonu pro vodonepropustné definitivní ostění má projektant díla. Jedná se především o stanovení pevnostní třídy a stupňů vlivu prostředí. Za správnou výrobu a recepturu betonové směsi je zodpovědný výrobce betonu. Zhotovitel zodpovídá za dodržení všech technologických pravidel v odpovídajících režimech realizace ostění.

Pro betonáž kleneb u ražených tunelů se zpravidla používá pojízdné tunelové bednění, jehož tvar bednicího pláště odpovídá vnitřnímu líci ostění. Návrh technických parametrů bednění zároveň musí zajistit stabilitu a funkčnost bednění při všech stádiích zatížení.

4.1 Omezení trhlin od vynucených namáhání

Příčinami vzniku většiny trhlin v klenbě definitivního ostění jsou vynucená namáhání v důsledku omezených přetvoření při ochlazení konstrukce. Z tohoto důvodu se u použitých betonů sleduje teplota při ukládce do konstrukce a vývin hydratačního tepla. Optimální teplota čerstvého betonu při ukládce je v rozmezí cca 13 °C až 18 °C. Maximální přípustná teplota čerstvého betonu při ukládce je 27 °C (viz kap. 4.3.4). Vývin hydratačního tepla ovlivňuje zejména typ a množství použitého cementu (viz. kap. 4.3.1). Dále se musí zajistit pozvolné ochlazování konstrukce a omezit smršťování betonu, například ošetřovacími klimatizovanými vozy, kde je vlhkost a teplota řízená počítačem. Beton musí být ošetřován minimálně 3 dny. Délka klimatizačního vozu se navrhne dle rychlosti betonáže. Smršťování betonu lze redukovat snížením obsahu účinné vody, množstvím cementu a pojivového tmele, popř. dalšími opatřeními (např. použitím přísady pro redukci smršťování). Za účelem omezení smršťování betonu je maximální množství účinné vody v betonu stanoveno na 170 l/m³.

Opatření musí být přizpůsobená specifickým podmínkám stavby, kdy nepříznivé předpoklady musí být vyváženy dodržením příznivých účinků na eliminaci trhlin. Tím lze vzniku trhlin do značné míry zabránit. Je doporučeno dodržovat opatření uvedená v tabulce 5 ve sloupci „příznivé předpoklady“.

Tabulka 5: Opatření pro omezení vzniku trhlin v konstrukci

Příznivé předpoklady	Nepříznivé předpoklady
<ul style="list-style-type: none"> • Cement s nízkým vývojem hydratačního tepla (Cement bez C₃A, cementy typu LH, vysokopecní cementy, cementy typu CEM II, CEM III a CEM V). • Použití přísad pro snížení účinného množství vody (max. účinné množství vody 170 l/m³). • Nižší teplota čerstvého betonu 13 °C až 18 °C (musí být zaručena pevnost při odbednění). • Nízké teploty stavebních dílců. • Krátké délky betonovaných bloků, omezení silového namáhání. • Použití bednění s dobrým vedením tepla (např. ocelová bednění). • Hladké povrchy výrubů (omezení nerovností primárního ostění). • Doba odbednění přes 12 hod za účelem snížení rychlosti vychladnutí mladého betonu. • Separační vrstva pro snížení tření mezi primárním a sekundárním ostěním. • Dodatečná ochrana povrchů dle kap. 4.5.4. • Vyšší vlhkost vzduchu. • Použití klimatizačního vozu. 	<ul style="list-style-type: none"> • Teplota čerstvé betonové směsi ≥ 22 °C. • Brzké odbednění (pod 10 hodin). • Rychlý nárůst pevnosti betonu. • Průvan. • Velký rozdíl teploty betonu a teploty vzduchu. • Omezení možnosti pohybu sekundárního ostění.

4.2 Požadavky na složky

4.2.1 Cement (Pojivo)

Pro použitý cement platí především požadavky ČSN EN 197-1 Cement – Část 1: Složení, specifikace a kritéria shody cementů pro obecné použití a TKP 18.

Obecně je doporučeno použití cementů s nižším vývojem hydratačního tepla (cementy typu CEM II a CEM III s nízkým/sníženým obsahem portlandského slínku), případně cementů typu LH (low heat – nízký vývoj hydratačního tepla). Při výběru typu cementu je ale vždy nutné uvážit i ostatní požadované parametry výsledného betonu, zejména trvanlivost ve specifikovaném prostředí.

Kritéria pro volbu cementu:

- klimatické podmínky (léto, zima);
- požadovaná doba odbednění;
- podmínky ošetřování betonu;
- rozměry betonového prvku;
- podmínky prostředí (třída vlivu prostředí na beton).

4.2.2 Kamenivo

Pro kamenivo použité do betonu platí ČSN EN 12620 a TKP 18. Případně je možné použít i recyklované kamenivo, pokud budou splněny požadavky na kvalitu betonu.

Hlavní funkcí kameniva je vytvoření pevné kostry s minimální mezerovitostí.

Kamenivo v betonu obsahuje různě velká zrna ve vhodném poměru. Velikost zrn a jejich podílové zastoupení je dáno křivkou zrnitosti.

Správnou volbou křivky zrnitosti je možno ovlivnit spotřebu cementu v betonu, vhodnou zpracovatelnost a výslednou pevnost.

Teplota kameniva nejvíce ovlivňuje teplotu čerstvé betonové směsi.

Je doporučeno použití betonu s maximální velikostí zrna kameniva 16 až 22.

4.2.3 Přísady

Pro přísady do betonu platí ČSN EN 206, ČSN EN 934-2 a TKP 18.

Zásady pro používání přísad jsou uvedeny v čl. 5.2.5 ČSN EN 206, resp. ČSN EN 206+A2.

Při používání přísad je nezbytné zajistit přesnost a způsob dávkování. Dávka přísady nesmí překročit hodnotu doporučenou výrobcem.

Pro zpomalení tuhnutí a prodloužení doby zpracovatelnosti čerstvého betonu lze užít přísady zpomalující tuhnutí, pokud je to specifikováno v dokumentaci stavby nebo to vyžaduje technologie betonáže.

Při používání plastifikačních přísad je třeba vzít v úvahu jejich vedlejší účinky na vlastnosti čerstvého betonu (zpomalení, urychlení počátku tuhnutí čerstvého betonu) v závislosti na klimatických podmínkách.

4.3 Požadavky na vlastnosti betonu v čerstvém stavu

Požadavky na složení betonu a jeho vlastnosti jsou uvedeny souhrnně v tabulce 4, dle typu a umístění vodonepropustného definitivního ostění. Níže jsou požadavky vysvětleny v souvislostech.

4.3.1 Nízký vývin hydratačního tepla

Vývin hydratačního tepla betonu nejvíce ovlivňuje množství a typ cementu. Cementy s velmi malým vývinem hydratačního tepla mají v označení písmena LH (low heat). Všeobecně je vhodné použít cement s pomalejším nárůstem pevnosti a nižším množstvím slínku. Další možností je použití minimálního množství portlandského cementu a přidání vyššího množství latentně hydraulické příměsi (popílek, struska) přímo do betonu. Vždy záleží na konkrétních podmínkách, zejména na možnostech konkrétní betonárny. Doporučuje se ověřit vývoj teploty hydratujícího betonu na modelu v laboratorních podmínkách.

Pro beton v prostředí XF1 až XF3 pro vodonepropustné definitivní ostění se doporučuje použít pouze cement, jehož hydratační teplo v 7 dnech činí maximálně 300 J/g.

Maximální přípustná teplota betonu stupně vlivu prostředí XF1 až XF3 v konstrukci během hydratace je 55 °C. Beton stupně vlivu prostředí XF4 se pro vodonepropustné definitivní ostění nedoporučuje. V případě, že je nutné tento beton využít, je potřeba dodržet maximální teplotu v konstrukci 70 °C, ale tuto vyšší teplotu je nutno zohlednit při návrhu výztuže (viz tab. 4).

4.3.2 Požadovaná zpracovatelnost

Konzistence betonů pro sekundární ostění musí být přizpůsobena podmínkám betonáže a specifikacím projektu. Pro čerpané betony vyztuženého sekundárního ostění je zpravidla účelná konzistence od S4 až po SF1 (lehce zhutnitelný beton), aby se snadno zpracovával a dobře zatékal do všech částí konstrukce. Pokud provádění konstrukce nevyžaduje jinak, předepisuje se sednutí kužele dle EN 12350-2 hodnotou 210 mm, s rozptylem ± 30 mm. U betonu s přídavkem vláken je třeba respektovat jejich případný vliv na zpracovatelnost. Při čerpání betonů na velké vzdálenosti je třeba předpokládat, že může dojít ke změně konzistence. Například při čerpání betonové směsi svislou přístupovou šachtou. V určitých případech lze použít i samozhutnitelný beton (viz. kap. 4.3.3). Základní doba zpracovatelnosti je stanovena v TKP 18, v tabulce 18-4. V případě požadované delší zpracovatelnosti musí být zpracovatelnost ověřena v rámci průkazní zkoušky betonu, a ta nesmí být překročena.

4.3.3 Samozhutnitelný beton

Samozhutnitelný beton je možné i vhodné použít. Tomu je třeba přizpůsobit celou technologii provádění, včetně vyztužení (samonosná výztuž), únosnějšího bednění, čerpání betonu, odvzdušnění atd. Při návrhu samozhutnitelného betonu je nutno ověřit, zda je možné ho vyrobit ve specifikovaném vlivu prostředí. Obecně je velmi problematické vyrábět provzdušněný beton (XF1 – 4) v samozhutnitelné konzistenci. Provzdušnění se většinou nahrazuje příměsí mikrosiliky, což má významný dopad na cenu betonu. Dále je nutno uvažovat s tím, že má samozhutnitelný beton obvykle vyšší objemové změny.

4.3.4 Podmínky pro teplotu čerstvého betonu a betonu v konstrukci

Teplota betonu v konstrukci v průběhu hydratace nesmí přesáhnout 55 °C (výjimečně 70 °C, viz tab. 4).

Maximální teplota čerstvé betonové směsi při ukládání do bednění nesmí přesáhnout 27 °C. Optimální teplota je doporučována 13 až 18 °C. Při překročení teploty ukládaného betonu 22 °C musí být přijata zvláštní opatření, tak aby nebyla překročena maximální dovolená teplota betonu v průběhu hydratace.

Konstrukci je třeba chránit před chladným prostředím. Viz kap. 5.3.1.

Teplotní gradient po průřezu konstrukce nesmí přesáhnout 25 °C.

4.4 Požadavky na rychlost tvrdnutí

4.4.1 Pevnost při odbedňování

Vhodný okamžik pro odbednění se stanoví na základě technologie provádění s přihlédnutím k vlastnostem betonu a k požadovanému postupu výstavby. Aby bylo možno zachovat běžný přibližně 24hodinový cyklus pro jeden betonovaný blok, je vhodné odbednit klenbu cca 10 až 14 hodin po betonáži, což je i z hlediska technologie betonu příznivé (platí pro beton s hodnocením po 28 dnech). Pokud je nutné odbednit dříve (pod 10 hodin), je třeba provést opatření proti náhlému ochlazení konstrukce a rychlému vysychání povrchů betonu. Je doporučeno použití klima vozu.

Hodnota pevnosti pro odbednění nemá být příliš vysoká. Včasné odstranění bednění umožní ochlazení ostění, a tím zmenšení napětí z důvodu omezení přetvoření. Podmínkou je však vhodné ošetřování tak, aby nedošlo k nadměrnému vysychání povrchu betonu. Včasné odbednění umožní mírnou plastickou deformaci, a tím i uvolnění napětí, vznikajícího vlivem změny teploty v ostění při omezení deformace z důvodu tuhého ocelového bednění. Pro betony klenby (s poloměrem do 6 m) se minimální pevnost při odbednění obvykle doporučuje 3 MPa. Min. pevnost betonu při odbednění musí být ověřena statickým výpočtem.

4.5 Požadavky na beton v zatvrdlém stavu

4.5.1 Pevnost v tlaku

Třída pevnosti v tlaku je stanovena na základě statických požadavků a dle minimální pevnostní třídy pro specifikované stupně vlivu prostředí. Při použití betonů s pomalým nebo velmi pomalým nárůstem pevností se má třída pevnosti v tlaku vztahovat na co možná nejpozdější stáří betonu (56, 90 dní). Při zkoušce po 56 dnech, respektive 90 dnech, musí být stáří betonu uvedeno za třídou pevnosti v tlaku, např. C25/30 (56).

Optimální je použití betonů nižších pevnostních tříd. V případě ražených tunelů je sekundární ostění zpravidla betonováno do výrubu po ustálení deformací horninového masivu. Konstrukce tak není v danou dobu zatížena horninovým tlakem, a proto postačuje dosažení normové hodnoty pevnosti po 56, resp. 90 dnech. Primární ostění po tuto dobu v horninovém masivu spolehlivě zajišťuje dosažený rovnovážný stav. Při hydroizolačním systému typu „ponorka“ bez podélných tunelových drenáží, je nutno uvážit pevnost betonu v čase, vzhledem k postupně stoupající hladině podzemní vody a působení hydrostatického tlaku.

4.5.2 Objemové změny

Snahou je co nejvíce omezit objemové změny (zejména smršťování betonu od vysychání), a tím minimalizovat vznik trhlin. Smrštění betonu od vysychání je nejvíce ovlivněno množstvím vody

v čerstvém betonu. Proto je obsah účinné vody v betonu pro vodonepropustné sekundární ostění limitován na 170 l/m³.

4.5.3 Odolnost proti účinkům prostředí

Pro betonové konstrukce jsou v závislosti na zastižených podmínkách stanoveny třídy expozice. U vyztužených ostění podzemních staveb se nejčastěji setkáváme s třídami XC3, XC4, které zohledňují vlhkost prostředí. Pro portálové části tunelu se uvažuje s třídami XF3, XF4 v prostředí zastiženém mrazem i s vlivem působení rozmrazovacích látek. V částech tunelů slabě zastižených vodou, rozmrazovacími látkami a mrazem se uvažuje beton s třídami XF1 a XF2.

Poznámka: Dlouhodobá zkušenost u rakouských silničních tunelů ukazuje, že beton v klenbě tunelu odolný proti mrazu expoziční třídy XF3 ve spojení s povrchovým nátěrem tunelu, je dostatečně trvanlivý v prostředí XF4. Stejně tak je beton odolný proti mrazu expoziční třídy XF1 ve spojení s povrchovým nátěrem tunelu dostatečně trvanlivý v prostředí XF2. Je ovšem třeba, aby nátěr zamezil pronikání vody do konstrukce. Životnost nátěru musí být shodná s životností konstrukce tunelu nebo se musí počítat s jeho pravidelnou obnovou. Specifikaci vhodného nátěru dle ČSN EN 1504-2 určí projektant.

Pokud žádný nátěr není navržen, je třeba realizovat ostění v portálové části tunelu z betonu odolávajícímu prostředí stupně XF4, což má vliv na množství a typ cementu v betonové směsi se všemi negativními důsledky na vznik trhlin.

Dále je třeba zohlednit stupeň vlivu prostředí XA1 až XA3 při chemickém působení zeminy a/nebo podzemní vody. Stupeň vlivu prostředí se určí laboratorními zkouškami provedenými v rámci geotechnického průzkumu.

4.5.4 Povrchy

Pro stanovení požadavků na vzhled betonových povrchů je třeba znát konečnou úpravu definitivního ostění. Požadavky na povrch betonu definitivního ostění uvádí TKP 24. Pro zvýšení odolnosti povrchu proti účinkům agresivního prostředí lze použít nátěry (viz tab. 4). Jejich životnost je zpravidla nižší než životnost tunelového ostění, proto je třeba počítat s jejich pravidelnou obnovou během provozu tunelu. Použití nátěrů též usnadňuje dosažení homogenního vzhledu ostění.

Pro dosažení příznivého vzhledu různých částí betonových konstrukcí se vyžaduje, aby beton měl homogenní strukturu a zabarvení. Z tohoto důvodu je nezbytné, aby konstrukčně a pohledově ucelené konstrukce byly vyráběny z jednoho druhu a stejného zdroje cementu, kameniva, dle stejné receptury v jedné betonárně a byly betonovány do stejného bednění, které zajistí stejnou povrchovou strukturu (včetně dodržení stejného druhu odbedňovacích prostředků). Vzhledem ke tvaru ostění ražených tunelů je vznik povrchových vzduchových bublin na líci ostění, zejména ve spodní části profilu tunelu, prakticky nevyhnutelný. Proto jsou v TKP 24 definována pravidla pro průměr a hloubku takto vzniklých povrchových dutin, které v případě vodonepropustných ostění oslabují krycí vrstvu výztuže. Povrchové dutiny do průměru 20 mm a hloubky 10 mm nejsou považovány za povrchovou vadu líce ostění.

4.6 Beton se zvýšenou požární odolností

Pro dodržení předepsané protipožární ochrany je potřeba provést úpravu betonové směsi tak, aby výsledná betonová konstrukce vyhověla z hlediska požární odolnosti. Při působení požáru dochází vlivem působení vysoké teploty v tunelu k ohřátí konstrukce, vytvoření teplotního napětí a k degradaci betonu a oceli.

Při rychlých nárůstech teploty dochází k odpryskům okrajové krycí vrstvy, čímž dochází k odhalení hlouběji uloženého betonu (snížení krytí), případně k odhalení armatury sekundárního ostění. Množství odprysků a jejich intenzita je mimo jiné závislá na pevnosti betonu, vlhkosti betonu, použitém druhu kameniva, přísad do betonu a deformaci konstrukce. Odprysky lze snížit, nebo jim dokonce zabránit vhodnou volbou jednotlivých komponent betonové směsi nebo přidáním jemných polypropylenových vláken do betonové směsi (například 1,2–2,0 kg PP vláken/m³ betonu, 3–12 mm na délku, průměr <20 µm).

Přidáním vláken dochází ke změnám vlastností betonové směsi (snížená konzistence, zvýšená potřeba přídavných látek, změněný obsah vzduchu v konstrukci) a ke zhoršení podmínek pro uložení čerstvého betonu (podmínek pro betonáž – zhoršení rozhrnutí betonové směsi, zhoršení krytí betonovou směsí, zvýšená potřeba hutnění betonu) a také ke zhoršení podmínek pro vyzrálý beton (např. odolnost proti mrazu). Vláknata jsou obecně brána jako příměs do betonu. Na beton s vlákny tak musí být provedeny standardní průkazní zkoušky dle TKP 18.

4.7 Požadavky na prvky umísťované do sekundárního ostění

V případě tunelových ostění z vodonepropustného betonu je nutné minimalizovat vliv dodatečně osazovaných prvků do betonu na změny tloušťky ostění. Vznik nežádoucích vrubů a oslabení může vést vzniku trhlin a průsakům do tunelu.

5 Monolitické tunelové ostění ražených tunelů

Pro vodonepropustné monolitické tunelové ostění platí v přiměřené míře ustanovení TKP 18 a TKP 24. V případě použití NRTM se definitivní tunelové ostění označuje termínem sekundární tunelové ostění.

5.1 Požadavky na betonážní úseky

5.1.1 Podklad – primární ostění nebo skalní podklad

Podkladní plochu sekundárního vodonepropustného ostění tvoří primární ostění ze stříkaného betonu. Skalní povrch může tvořit podkladní plochu pouze v případech, že jsou splněny požadavky na rovinnost a tvar povrchu uvedené dále. Pokud tyto požadavky nejsou splněny, musí být skalní povrch upraven podkladní vrstvou ze stříkaného betonu minimální tloušťky 3 cm. Podkladní vrstva musí být aplikována na skalní podklad v celé ploše daného bloku sekundárního ostění.

Uvolněné částice, znečištění a vyčnívající ostré části se musí odstranit, pokud nejsou součástí podkladní vrstvy.

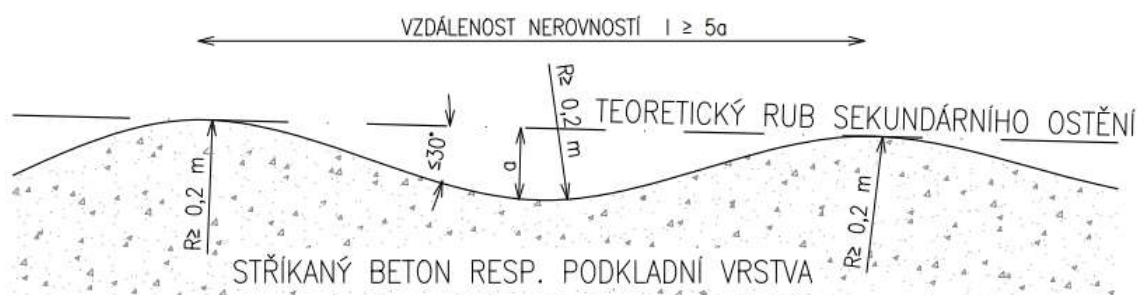
5.1.2 Kvalitativní požadavky pro podkladní vrstvu

Podkladní plocha/vrstva musí splňovat následující požadavky:

- pokud se provádí oprava primárního ostění ze stříkaného betonu či úprava skalního povrchu pomocí dodatečné podkladní vrstvy musí být její tloušťka nejméně 3 cm;
- nerovnosti povrchu podkladu musí splňovat kritéria dle Obr. 1; přičemž nerovnosti nesmějí zasahovat do prostoru teoretické tloušťky sekundárního ostění, aby nebyla oslabena krycí vrstva výztuže;

- minimální poloměr zaoblení povrchu je 20 cm (mezi místa, kde se zpravidla řeší požadavky na zaoblení hran a skokových změn tloušťek ostění patří nerovnosti vyvolané skálním podkladem, výklenky, napojení propojek a nouzových zálivů, hlavy radiálních kotev atd.);
- povrch podkladu musí být suchý, všechny výrony vody na líci primárního ostění musí být organizovaně svedeny do stavební drenáže, svody musí být zastříkány vrstvou stříkaného betonu – podkladní vrstvou;
- podkladní vrstva musí zajistit celoplošný kontakt sekundárního ostění s primárním ostěním anebo horninovým masivem;
- tloušťka sekundárního ostění nesmí být ani lokálně menší, než udává projektová dokumentace.

Geometrické tolerance mezi teoretickým vnitřním lícem primárního ostění a skutečným lícem primárního ostění mohou být akceptovatelné při dodržení předepsané maximální odchylky tloušťky sekundárního ostění od projektované tloušťky, viz. kap. 3.3. V podélném směru se nerovnosti měří na přímé měřicí lati délky 4,0 m, v příčném směru (radiálním směru) na zakřivené měřicí lati s tím, že rozsah zakřivení odpovídá stanovenému poloměru a otevřenému úhlu 45°. Poměr nejmenší délky nerovnosti k největší hloubce místních nerovností musí být větší než 1:5



Obr. 1: Nerovnosti podkladní vrstvy

Obr. 1 názorně ukazuje požadavky na dodržení poměrů křivosti podkladní vrstvy. Povrchová úprava kotevních hlav stříkaným betonem musí splňovat výše uvedená kritéria pro stříkaný beton uvažovaný jako podkladní vrstva.

V případě, že se ve dně tunelu provádí vyrovnávací vrstva z monolitického betonu nebo spodní klenba tunelu a tyto splňují požadavky na podkladní vrstvu (plochost, rovinnost), lze tento povrch využít jako podkladní vrstvu.

5.1.3 Separační fólie

Tunelové ostění je namáháno vlivem omezení deformací vznikajících od teplotních změn a smršťování betonu. Vložením separační fólie mezi primární a sekundární ostění se stupeň omezení deformace významně sníží, což vede k poklesu napětí v ostění a snížení rizika vzniku trhlin.

Separační fólie dále zamezuje nekontrolovatelnému odvádění vody z mladého betonu sekundárního ostění do stříkaného betonu primárního ostění, resp. podkladní vrstvy.

Separační fólie se zabudovává po celém obvodu klenby sekundárního ostění s překrytím mezi dílčími pásy 30 cm (bez vzájemného svařování pásů). V případě sekundárního ostění uloženého na patkách se separační fólie nesmí uložit pod patku.

Separační fólie musí splňovat následující požadavky:

- min. jedna vrstva fólie;
- separační fólie nemusí být vodonepropustná;
- materiál HDPE, termoplast (např. PVC-P, TPO);
- minimální tloušťka 0,3 mm;
- prodloužení při přetržení >250 %;
- pevnost v tahu >12 N/mm² podle ČSN EN ISO 527-1 a ČSN EN ISO 527-3;
- požární třída je v souladu s ČSN EN ISO 11925-2 a ČSN EN 13501-1.

5.1.4 Délka betonážní sekce ostění

Délka sekcí sekundárního ostění z vodonepropustného betonu nemá přesáhnout 12,5 m. Pro větší délky se musí posoudit šířka trhlin statickým výpočtem (návrh množství výztuže na základě zkušeností je možný pouze pro šířku trhlin 0,25 mm, pro menší šířky trhlin musí být množství nutné výztuže stanoveno výpočtem viz kap. 3.4).

V oblasti portálů je s ohledem na zvýšené teplotní namáhání doporučené zkrácení délky betonážních sekcí.

5.2 Požadavky na technologické vybavení při betonáži

5.2.1 Dimenzování bednicího vozu

Požadavky na bednicí vůz a jeho dimenzování jsou uvedeny v TKP 24.

Za návrh bednicího vozu a jeho dimenzování z hlediska únosnosti, dostatečné tuhosti a těsnosti je zodpovědný zhotovitel bednicího vozu.

Návrh bednicího vozu musí být staticky posouzen na zatížení dle použitého čerstvého betonu. V podmínkách dané stavby jsou definovány parametry pro ukládání a zpracování čerstvého betonu v Technologickém předpisu zhotovitele, kterým komplexně určuje technologii provádění kleneb sekundárního ostění. Pokud se pro betonáž sekundárního ostění předpokládá použití samozhutnitelného betonu, je třeba bednicí vůz navrhnout na vyšší zatížení od čerstvé betonové směsi i s vyššími nároky na celkovou těsnost instalovaného pláště bednění.

Bednicí vůz se musí navrhnout tak, aby byl schopen odolávat všem účinkům, kterým je vystaven během výstavby. Dále systém musí být dostatečně tuhý, aby nebyly překročeny předepsané tolerance konstrukce a nebyla ovlivněna celistvost konstrukčních prvků.

V rámci návrhu konstrukce bednicího vozu musí být vyřešeno i jeho ukotvení do základové konstrukce (patky nebo spodní klenby) v průběhu betonáže a posouzen vliv této pracovní fáze na statickou funkci základové konstrukce.

Zhotovitel bednicího vozu pro konkrétní vlastnosti čerstvého betonu mimo jiné definuje:

- postup plnění bednění betonem;
- maximální přípustnou rychlost plnění betonem;
- maximální přípustný rozdíl hladin betonu vpravo a vlevo;

- maximální přípustný čerpací tlak při betonáži vrchlíku tunelu.

5.2.2 Ukládání betonu

Betonáž do instalovaného bednění lze provádět pouze za podmínek, při nichž nedojde ke ztrátě stability a těsnosti bednění vlivem překročení zatížení působícího na plášť bednění. Musí být zabráněno spuštění příložených vibrátorů nad hladinou betonu.

Před ukládáním betonu je třeba provést kontrolní činnost dle kap. 6.4.

Beton se musí ukládat tak, aby nedošlo k segregaci jeho složek.

Sypná výška od konce rukávu nebo hadice čerpadla nesmí být větší než 1,5 m.

Režim betonáže zahrnuje výrobu čerstvého betonu, jeho primární a sekundární dopravu, ukládání a zhutňování. Tento režim je třeba navrhnout s ohledem na zpracovatelnost do doby ověřené použitelnosti (viz. průkazní zkoušky). Ta vychází z charakteristik navržené receptury, teploty čerstvého betonu i teploty působícího prostředí. Uložení betonu musí být provedeno do počátku jeho tuhnutí. Nejdelší přípustné doby pro přepravu a zpracování čerstvého betonu jsou uvedeny v TKP 18.

Definitivní ostění se betonuje po jednotlivých tunelových sekcích bez přerušení (např. vždy celá klenba, protiklenba, základový pas). Pracovní spára vzniklá v průběhu betonáže z důvodu přerušení betonáže v místě nepředpokládaném projektem se považuje za vadu a jako taková se musí sanovat, viz kap. 8.

5.2.3 Způsob hutnění betonu

Zhutňováním se rozumí technologický proces, kdy účinkem vibrací dochází ke snížení objemu vzduchových pórů v konstrukci, tj. dosažení maximální hutnosti. Při tomto procesu nesmí dojít k rozmíslení čerstvé betonové směsi, segregaci, odlučování cementového tmelu, nebo napěnění tmelu.

U samozhutnitelných betonů a snadno zhutnitelných betonů se využívá účinek vlastní tíhy betonu. Pro hutnění těchto betonů se neuvádí vibračních zařízení.

5.2.3.1 Příložené vibrátory

Vhodnou metodou vibrování horní klenby je použití příložených vibrátorů. Doporučuje se umístit min. 1 vibrátor na každé 3 m² bednění.

5.2.3.2 Ponorné vibrátory

U podzemních staveb je tento způsob vibrování vhodný při betonáži dna. Při betonáži horní klenby se jedná o špatně proveditelný způsob hutnění, kdy se vibruje přes plnicí otvory v bednění. Nicméně v dolních částech horní klenby, kde dochází k rozšiřování tloušťky ostění, je užití ponorného vibrátoru žádoucí. Při vibrování je třeba vysoké důslednosti, a to především v místech limitního dosahu vibrátoru.

5.3 Odbedňování

Odbedňovat je možné, jakmile beton dosáhne pevnosti potřebné pro stabilitu klenby. Minimální pevnost betonu pro odbednění stanoví DPS a TePř. U standardních profilů tunelu (poloměr klenby do 6 m) se optimální odbedňovací pevnost pohybuje v rozmezí 2–3 Mpa. Dosažení předepsané pevnosti betonu pro odbednění musí být prokázáno zkouškami na konstrukci ostění na každé betonované

klenbě (např. pomocí Schmidtova kladívka). Zkoušky se provádí na líci ostění po otevření plnicích oken bednicího vozu nebo v profilu ostění na částečně odbedněném čele bloku betonáže.

Při stanovení odbedňovací pevnosti výpočtem je doporučeno kromě zatížení vlastní vahou zohlednit i aktuálně možné teplotní zatížení (v závislosti na ročním období betonáže, vzdálenosti od portálů, omezení proudění vzduchu v tunelu apod.), případně zohlednit více variant možného zatížení. Lze předpokládat, že v oblasti portálů bude teplotní namáhání odlišné od oblasti uvnitř tunelu. Nicméně vhodnými opatřeními lze teplotní rozdíl mezi portálem a vnitřní částí tunelu výrazně snížit, či zcela eliminovat.

5.3.1 Ošetřování betonu po odbednění

Po odbednění klenby tunelu sekundárního ostění z vodonepropustného betonu je nutné realizovat soubor opatření, který zajistí příznivé podmínky pro zrání betonu tohoto typu ostění. Cílem je omezení tahových napětí ve struktuře betonu, které mají vliv na vznik a vývoj trhlin u ještě nedostatečně zatvrdlého betonu. Jedná se zejména o tyto podmínky:

- snížení rychlosti proudění vzduchu na méně než 1 m/s;
- vlhkost vzduchu po celou dobu ošetřování nesmí klesnout pod 80 %;
- teplota v tunelu / povrchu betonu se musí regulovat tak, aby při tvrdnutí betonu byl teplotní gradient mezi povrchem betonu a jádrem konstrukce $<25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Pro zajištění výše uvedených podmínek je doporučeno použití klimatizačního vozu.

Klimatizační vůz musí splňovat/umožnit:

- ošetřování čerstvě vybetonovaných sekcí klenby tunelu dle rychlosti betonáže (kap. 4.1) minimálně tří nejčerstvěji vybetonovaných bloků klenby tunelu;
- ošetření každé odbedněné klenby po dobu min. 3 dnů. Ve standardních procesech betonáží (cca 5 bloků za týden) se jedná o ošetřování min. 3 posledně vybetonovaných bloků klenby;
- pro prostředí XF4 je nutné prodloužit ošetřování na 7 dní dle TKP 18 (např. použitím postřiku proti odpařování vody);
- musí být osazen nafukovacími manžetami umístěnými v místech spár mezi bloky betonáže, tak aby bylo možno řídit ošetřování betonu v každém bloku (komoře klimatizačního vozu separátně);
- vzdálenost mezi lícem betonového ostění a povrchem klimatizačního vozu je cca 10 cm, maximálně však 15 cm, plášť klimatizačního vozu tvoří tepelně izolační těsnění s dostatečnou stabilitou (např. pěnové desky), čela klimatizačních vozů se těsní nafukovací manžetou, která uzavírá prostor mezi ostěním a pláštěm klimatizačního vozu;
- zařízení k měření teploty a vlhkosti musí být umístěno na 3 místech každé komory (pro každý ošetřovaný tunelový blok);
- zařízení k postřikování vodou nebo propařovací zařízení musí fungovat pro každou komoru samostatně a zajišťovat co nejrovnoměrnější zvlhčování komor;
- teplota a vlhkost musí být zaznamenávána kontinuálně.

Blok betonáže, který opustil klimatizační vůz, musí být bezprostředně po jeho opuštění ošetřen

nástřikem proti vysychání betonu.

Podmínky omezující vývoj trhlin u ještě nedostatečně pevného betonu musí být zajištěny i při betonáži protiklenby sekundárního ostění z vodonepropustného betonu.

5.4 Injektáž vrchlíku

Při betonáži ostění do bednicího vozu nelze provést úplné vyplnění formy betonem a ve vrcholu klenby vzniká meniskus, který je nutno s ohledem na ochranu výztuže a zajištění nosné funkce ostění dodatečně zainjektovat.

Pevnost betonu klenby sekundárního ostění, při které se smí zahájit injektování vrchlíku stanoví RDS. Před zahájením injektáže se pevnost betonu sekundárního ostění musí ověřit (např. pomocí Schmidtova kladívka).

Vlastnosti injektážní směsi musí být uvedeny v DPS. Vlastnosti injektážní směsi (pevnost, odolnost proti vlivům prostředí atd.) nesmí být horší než vlastnosti betonu sekundárního ostění.

Pro injektáž menisku se do vrchlíku klenby sekundárního ostění osazují trubky. Trubky musí umožnit bezpečné upnutí koncovky injektážní hadice/pakru.

Vzdálenost trubek pro injektování nesmí přesáhnout 3 m. vzdálenost trubek pro injektování od okrajů bloku nesmí přesáhnout 1,5 m.

Injektáž menisku se provádí postupně od nejnižšího injektážního otvoru/trubky k nejvyššímu otvoru.

Injektáž se provádí tak dlouho, dokud injektážní směs nevytryskne z následujícího injektážního otvoru nebo nedosáhne maximálního injekčního tlaku stanoveného v DPS.

Měření injektážního tlaku se provádí bezprostředně před pakrem / místem upnutí v injektážním otvoru.

Pokud je použit deštníkový systém izolace s boční tunelovou drenáží, je nutno provádět kontrolu drenážního potrubí. V případě zatečení injektážní směsi do drenážního systému musí být injektáž přerušena a drenážní potrubí okamžitě vyčištěno, tak aby směs v drenážním systému nezatvrdla. Při přerušení injektáže je třeba provést taková opatření, která umožní injektáž následně dokončit (výplach injekčního otvoru/trubky od injekční směsi).

Množství spotřebované směsi a tlaky dosažené při injektáži se zaprotokolují.

5.5 Opatření při betonáži v extrémních podmínkách (teplo, zima)

Je třeba dodržet požadavky na teplotu čerstvé betonové směsi a na ochranu čerstvě vybetonovaných konstrukcí před účinky extrémních teplot, viz kap. 4.3.4. Betonáž za zvláštních klimatických podmínek (např. za nízkých a záporných teplot, nebo betonování v horkém a suchém prostředí) a ošetřování betonu v těchto podmínkách se řídí ustanoveními TKP 18, ČSN EN 206+A2, ČSN 73 2401, ČSN EN 13670.

5.6 Opatření k zamezení přítoků podzemní vody při betonáži

Před betonáží je potřeba organizovaně svést výrony vody (jak tekoucí, např. z puklinového systému horninového masivu, tak plošně kapající z líce primárního ostění).

Z důvodu zamezení vyplavování jemných částic z betonové směsi nesmí přijít tekoucí voda do přímého kontaktu s čerstvě betonovanou konstrukcí. Přitékající voda musí být řízeně odváděna tak, aby nedošlo k lokálnímu vyplnění bednění vodou, což by zabránilo řádnému probetonování daného místa.

Pomocná opatření pro omezení výskytu podzemní vody ve dně:

- zapuštění drenáže, např. hrubozrnné šterky, filtrační beton;
- přitékající voda musí být odvedena podélnými drenážemi, stavebními drenážemi nebo odčerpáním;
- pokud se dá očekávat nastoupaní hladiny podzemní vody před dosažením potřebné pevnosti betonu protiklenby nebo by mohlo dojít k „vyplavání“ protiklenby, je nutné zřídit odlehčovací/odvodňovací průchodky ve středu dna. Po dosažení potřebné pevnosti betonu / vybetonované klenby tunelu budou průchodky zainjektovány a vodotěsně uzavřeny. Průchodky musí být provedeny z materiálu nepodléhajícímu korozi. Z vnější strany musí být na průchodky navařen, respektive navulkanizován ocelový plech, respektive vnitřní spárový pás, zabraňující pronikání vody podél průchodky.

S ohledem na potřebu zamezení úkapů na čerstvý betonový povrch, je třeba již při betonáži dna řešit svedení výtoků a úkapů v bocích a klenbě primárního ostění tunelu.

Pomocným opatřením pro omezení výskytu vody v horní klenbě a bocích výrubu může být plošný drenážní systém (nopová fólie, žebra, svodnice apod.).

5.7 Spáry a styky

Přípustné pracovní spáry v tunelu se sekundárním ostěním z vodonepropustného betonu jsou následující:

- spára mezi bloky betonáže (příčná spára, kolmá na osu tunelu), tato spára mezi bloky může být realizovaná i jako dilatační;
- spára mezi klenbou tunelu a protiklenbou, respektive základovými pasy (podélná spára, rovnoběžná s osou tunelu).

Jiné pracovní spáry vzniklé z důvodu přerušení betonáže jsou chybou technologického postupu a musí být následně sanovány, viz kap. 8.

V případě, že pracovní spára je součástí definitivního ostění z vodonepropustného betonu, je třeba provést taková opatření, která zajistí její vodotěsnost. Vodotěsnost spáry se zajišťuje vložením a zabetonováním spárových těsnících prvků.

Spárové prvky se pro definitivní ostění z vodonepropustného betonu umísťují na střed spáry. *(Poznámka: povrchové spárové pásy se používají spíše u tunelů s bariérovou izolací.)* Požadovaná životnost spárových prvků musí být shodná s návrhovou životností celé konstrukce, tj. většinou 100 let.

Před betonáží následujícího dílu musí být spárové prvky očištěny od všech nečistot, mastnoty, odlupující se rzi a zbytků betonu.

Pro třídu tlaku vody W1 a vyšší lze zvážit použití doplňkového systému těsnění pro případ zjištění průsaků. O jeho použití se rozhodne za základě dohody mezi investorem a účastníky výstavby. Protože u vodonepropustných ostění je obvykle známo místo průsaků, lze netěsnosti zainjektovat a potřeba doplňkového systému těsnění není tak urgentní jako u tunelů s bariérovou hydroizolací.

Tvar spáry v líci sekundárního ostění je definován na VL 5.

Veškeré spáry na konstrukci musí být těsně před betonáží čisté a suché (bez stojící vody či ledu).

5.7.1 Těsnění dilatačních spár

Dilatační spáry je nutno provádět tak, aby byla zabezpečena jejich funkční spolehlivost. Rozměry, tvar a materiály dilatačních spár jsou definovány na VL 5.

Četnost dilatačních spár je závislá na rozměrech a tvaru definitivního ostění, způsobu ošetřování mladé betonové konstrukce, množství cementu v betonové směsi a na dalších aspektech ovlivňujících možnosti pohybu konstrukce. Obecně se doporučuje délka dilatačních úseků tunelu obvykle na 4 bloky betonáže, max. do 100 m. Vzdálenost mezi dilatačními spárami musí být stanovena v DPS.

Do dilatační spáry před aplikací tmelu je nutno vtlačit výplňový provazec o průměru větším o 20–30 %, než je šířka spáry. Výplňový provazec zabraňuje třístranné adhezi a umožňuje vytvoření správného tvaru výplňového tmelu. Materiálem výplňového provazce je polyethylen s uzavřenými póry, odolný proti stárnutí, hnití a chemickým vlivům.

Před samotnou aplikací tmelu je nutno beton opatřit základním nátěrem (penetrací, spojovacím můstkem), obvykle na bázi polyuretanů.

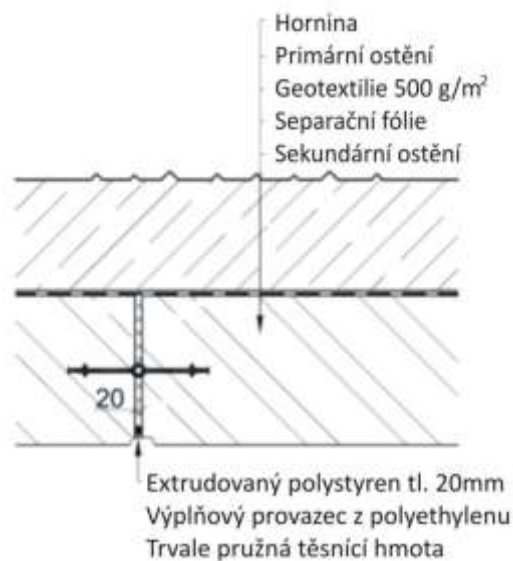
Výplňový tmel musí být odolný vůči:

- UV záření v místech, kde k němu může docházet (riziko pouze v portálové části);
- mikrobům (mikroorganismům obsaženým ve splaškových vodách);
- chemickým vlivům;
- povětrnostním vlivům a stárnutí;
- teplotám od $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- vodě (vodotěsný).

Výplň dilatačních spár musí být tvořena uceleným systémem od jednoho výrobce. Podrobný popis materiálů a způsob utěsnění dilatačních spár se stanovuje v technologickém předpisu.

Materiály výplně dilatační spáry musí být odolné proti příslušným vlivům prostředí.

Typy přípustných materiálů a minimální rozměry spárových prvků pro těsnění dilatačních spár jsou uvedeny v tabulce 6.



Obr. 2: Schéma dilatační spáry

Tabulka 6: Spárové prvky dilatačních spár

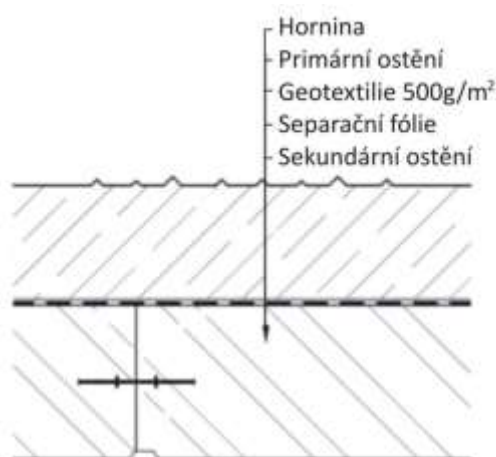
Vodní sloupec	Materiál spárového systému	Min. geometrická charakteristika
W0/W1/W2 (0–10 m)	PVC-P, PVC-NBR	š. 32 cm; tl. 5 mm
	Elastomer	š. 30 cm; tl. 10 mm
W3/W4 (> 10 m)	Elastomer	š. 35 cm; tl. 12 mm
	Elastomer s plechem	š. 35 cm; tl. 10 mm pro pás + tl. 1 mm pro plech

5.7.2 Příčné pracovní spáry

Příčné pracovní spáry jsou spáry mezi bloky, které nejsou dilatační. Typy přípustných materiálů a minimální rozměry spárových prvků pro těsnění příčných pracovních spár jsou uvedeny v tabulce 7.

Tabulka 7: Spárové prvky pro příčné pracovní spáry

Vodní sloupec	Materiál spárového systému	Min. geometrická charakteristika
W0/W1/W2 (0–10 m)	PVC-P, PVC-NBR	š. 32 cm; tl. 4,5 mm
	Elastomer	š. 30 cm; tl. 8 mm
	Spárový plech	š. 30 cm; tl. 2 mm
W3/W4 (> 10 m)	Elastomer	š. 30 cm; tl. 8 mm
	Spárový plech	š. 35 cm; tl. 2 mm



Obr. 3: Schéma pracovní spáry

5.7.3 Podélné pracovní spáry

Podélná spára mezi protiklenbou a klenbou vodonepropustného sekundárního ostění se těsní pouze v případě uzavřeného hydroizolačního systému (typ ponorka). Podélná spára mezi základovými pasy a klenbou u deštníkového systému se zpravidla netěsní. Pokud má být tato spára těsněna, musí být tento požadavek uveden v ZDS.

U uzavřeného hydroizolačního systému se k těsnění podélné spáry používá převážně ocelový plech. Plechy se napojují svářením (napojení plechů přesahem, slepováním, sponkováním apod. není přípustné). Místa křížení podélné a příčné spáry se řeší navulkanizováním ocelových plechů na příčný spárový pás. Délka navulkanizovaných plechů musí být taková, aby při navařování navazujících plechů nedošlo k negativnímu tepelnému ovlivnění vulkanizovaného spoje. Minimální tloušťka navulkanizovaných plechů nesmí být menší než 1,0 mm. Při navařování navazujících plechů je třeba předejít propálení plechů (např. svařováním v ochranné atmosféře) a ochránit spárový pás příčné spáry proti poškození od svařování.

Ocelový spárový plech musí mít zaručenou svařitelnost na stavbě. Požadovaný materiál plechu je S 235JR dle ČSN EN 10025-2. Spárové plechy musí být čisté, prosté mastnoty, barev a odlupující se rzi. Minimální vzdálenost mezi spárovým plechem a výztuží činí 50 mm.

Spárový plech musí být usazen již před betonáží. Vtlačování spárového plechu do již vybetonovaného dílce je zakázané.

Povrchová úprava plechů nátěrem, lakem apod. je s výjimkou krystalizačního nátěru zakázána.

Typy přípustných materiálů a minimální rozměry spárových prvků pro těsnění podélných pracovních spár jsou uvedeny v tabulce 8.

Tabulka 8: Spárové prvky pro podélné pracovní spáry

Vodní sloupec	Materiál spárového systému	Min. geometrická charakteristika
W0/W1/W2 (0-10 m)	PVC-P, PVC-NBR	š. 32 cm; tl. 4,5 mm
	Elastomer	š. 30 cm; tl. 8 mm
	Spárový plech	š. 30 cm; tl. 2 mm
	Bobtnací pásek ¹⁾	2 cm; tl. 7 mm
W3/W4 (> 10 m)	Elastomer	š. 30 cm; tl. 8 mm
	Spárový plech	š. 35 cm; tl. 2
¹⁾ Pouze pro vodní sloupec 0 m (resp. třídu W0)		

Úprava povrchu podélné pracovní spáry, pokud je požadována, musí být definovaná v ZDS statickým výpočtem v souladu s požadavky ČSN EN 1992-1-1, článkem 6.2.5 (2).

5.8 Ochrana proti bludným proudům

Postupuje se dle TP 124.

5.9 Krytí výztuže a distanční prvky

Jako distanční prvky musí být použita dostatečně pevná tělíska. Distanční prvky musí být odolné vůči alkáliím. Jejich kontakt s bedněním by měl být bodový. Musí být upevněny na výztuži. Nejsou přípustné kovové a plastové distanční prvky. Počet, umístění a druh distančních prvků musí být udán v DPS. Minimálně musí být položeny 4 distanční prvky na každý čtvereční metr. Položená výztuž spodní klenby smí být po zabudování zatěžována chůzí jen prostřednictvím podlažek, které zatížení roznesou.

Distanční prvky musí odpovídat TP 124 s ohledem na intenzitu působících bludných proudů.

Výška distančního prvku pro zajištění krytí výztuže musí odpovídat jmenovité velikosti krycí vrstvy betonu.

Distanční prvky na vnitřním líci by měly splňovat následující požadavky:

- kvalita betonu distančních prvků musí odpovídat kvalitě vlastností betonu definitivního ostění (například XC4, XF3, XA2) a dále zvýšeným nárokům na únosnost a stabilitu distančního prvku;
- jsou vyztuženy umělými vlákny;
- minimální délka lineárního distančního prvku činní 1,4 m/m²;
- uložení do trojúhelníkového schématu je omezeno sesmyknutí distančního prvku před jeho zabetonováním;
- při betonáži horní klenby jsou distanční prvky ve tvaru přímky instalovány v bocích ostění vždy pod úhlem asi 45 ° od horizontály;
- v případě použití kruhových distančních prvků musí být situovány tak, aby byly navlečeny na výztuž rovnoběžnou s osou tunelu a umožnily při usazování bednicího vozu rotaci (opatření proti podrcení distančních prvků).

Tabulka 9: Krycí vrstva pro ražené tunely

Umístění/ podmínky prostředí	Minimální krycí vrstva c_{min}	Přídavek na návrhovou odchylku Δc_{dev}	Nominální krycí vrstva c_{nom}
Vnitřní líc	50 mm	10 mm	60 ¹⁾ mm
Vnější líc	50mm	10 mm	60 mm

¹⁾ Pro $c_{nom} = 60$ mm, spony $\varnothing 8$ mm a nosnou výztuž $\varnothing 12$ mm je splněn i požadavek na minimální osovou vzdálenost nosné výztuže od povrchu prvku vystaveného účinkům požáru pro tabulkové posouzení dle ČSN EN 1992-1-2 Tabulky 5.8 i pro zde nejdelší uváděnou dobu trvání normového požáru 240 min (65 mm).

Betonová krycí vrstva je dána vzdáleností mezi povrchem výztuže nejbližším k povrchu betonu (včetně spon, třmínků a případné povrchové výztuže) a povrchem betonu.

Nominální krycí vrstva výztuže má být dodržena při obou površích ostění. Pokud je tloušťka ostění větší než projektovaná, může být krycí vrstva větší a je vhodnější, aby byla krycí vrstva směrem k hornině větší než krycí vrstva směrem dovnitř tunelu.

6 Požadavky na technologii provádění

6.1 Stříhání a ohýbání výztuže

Stříhání prutů betonářské výztuže se provádí mechanicky.

Rovnání výztuže ze svitků musí být prováděno tak, aby nedocházelo ke zhoršení mechanických vlastností výztuže a k deformaci jejího povrchu. Vykazuje-li výztuž zjevné povrchové vady, musí být pro ověření její použitelnosti v konstrukci provedeny zkoušky mechanických vlastností. Vzorky musí být odebrány tak, aby obsahovaly nejnepříznivější zjištěné zjevné vady.

Ohýbání všech druhů betonářských ocelí válcovaných za tepla se provádí za studena.

Ohýbání prutů za tepla není podle ČSN EN 13670 dovoleno, nestanoví-li dokumentace jinak. V takovém případě je nutno zpracovat Technologický předpis a odsouhlasit jej projektantem a technickým dozorem stavebníka. Tyto oceli se musejí zahřát nejen v místě ohybu, nýbrž i po obou stranách ohybu tak, aby celková délka zahřáté části prutu byla rovna alespoň dvojnásobku délky oblouku; prut se má zahřívat stejnoměrně na teplotu 920 °C až 1000 °C, přičemž ohýbání má být ukončeno při teplotě vyšší než 800 °C. Vložky ohýbané za tepla se musí nechat na vzduchu pozvolna vychladnout. V zahřátém stavu nesmějí přijít do styku s vodou ani sněhem a nesmějí být kladeny na mokrý podklad. Za mrazu, při dešti nebo silném větru je třeba pracoviště přiměřeně chránit, aby nedošlo k rychlému ochlazení místa ohybu.

Pruty z ocelí zpevňovaných tvářením za studena se nesmějí ohýbat za tepla. Minimální průměry trnů pro ohýbání prutů jsou uvedeny v ČSN EN 13670.

6.2 Přípustná koroze a znečištění výztuže před zabudováním

Betonářské oceli musí mít před zabetonováním přirozený a čistý povrch bez odlupujících se okují, bez výraznější koroze (při které dochází ke zjevnému odlupování šupinek korozních produktů), bez mastnoty, hlíny, bez znečištění zatvrdlým cementovým mlékem a jinými nečistotami.

Tam, kde je riziko výraznější koroze připravené betonářské oceli z důvodu delšího časového odstupu betonování konstrukce nebo její části, se musí provést takové opatření, aby k této korozi nedošlo. Pokud k výraznější korozi přesto dojde, je potřeba provést očištění výztuže.

Za korozní poškození oceli jsou považovány šupiny nebo lístky, které musí být z povrchu oceli odstraněny, koroze ve vrstvách není přípustná a taková ocel musí být vyměněna. Prachovité korozní produkty oranžové barvy, které lze setřít, jsou přípustné.

6.3 Vázání a ukládání výztuže

Při ukládání betonářské výztuže se dává při fixaci výztuže přednost vázání výztuže. Svarové nenosné spoje mohou být použity pouze v těch místech, kde prokazatelně vázání nelze použít. Výjimkou je použití továrně vyráběných odporově svařovaných sítí a v případě požadavku na vodivé propojení výztuže z důvodu ochrany výztuže proti bludným proudům. V případě svařování výztuže do tvaru armokošů, které jsou následně manipulovány jeřáby nebo jinou technikou, se jedná sice o fixaci výztuže, ale s ohledem na přenášení vlastní tíhy při manipulaci je nutno uvažovat tyto svarové spoje za nosné. Musí tak být navrhovány, posouzeny a prováděny.

Jako distanční prvky musí být použita dostatečně pevná tělíska, musí být odolné vůči alkáliím, jejich kontakt s bedněním by měl být bodový a v neposlední řadě musí být upevněny na výztuži.

6.4 Kontrola před betonáží

Před zahájením betonářských prací se kontroluje zejména:

- geodetická kontrola prostorové polohy, tvaru a rozměrů pláště instalovaného a stabilizovaného bednicího vozu
- druh, profily a tvar betonářské výztuže; celkové množství a její poloha v konstrukci;
- odstranění nečistot z bednění, pracovní spáry nebo z podkladu;
- úpravu ztvrdlého betonu a výztuže pracovních spár, případně prvků těsnění spár (např. odstranění krycí vrstvy spárového plechu);
- ošetření a případné navlhčení podkladu (pracovní spáry);
- těsnost jednotlivých částí bednění tak, aby bylo zamezeno úniku cementového mléka;
- příprava povrchu bednění;
- očištění výztuže od nánosů na povrchu, zabraňujících spojení s betonem (např. stopy oleje, námrazků, barvy, odlupující se rzi);
- distanční vložky (vhodný typ a rozměr, počet, umístění, stabilita, čistota);
- zajištění výkonné dopravy, prostředků pro hutnění, úpravu povrchu a ošetřování vhodné pro požadovanou konzistenci betonu, záložního zdroje energie;

- úpravu prvků těsnění dilatačních, případně pracovních spár.

6.5 Ukládání a zhutňování betonu

Beton nesmí být ukládán tak, aby docházelo ke znečištění povrchu bednění v později betonovaných úrovních. Beton zachycený na výztuži v později betonovaných úrovních nesmí zatuhnout, event. je nutno ještě čerstvý beton před zatuhnutím z výztuže odstranit.

Doporučuje se v místě styku základové konstrukce nebo spodní klenby s horní klenbou nejprve uložit tzv. napojovací směs. Jedná se vrstvu tloušťky cca 20 cm z betonu s max. velikosti kameniva 8 mm.

Při ukládání betonu volným pádem (max. výška 1,5 m) je nutno zabránit rozrážení proudu betonu o výztuž, segregaci, rozstříku do plochy.

Pro zhotovování sekundárního ostění zhotovitel vypracuje TePř. včetně KZP, kterými určuje zásady správného provádění jednotlivých činností, zejména stanovuje tyto aspekty:

- provádění kontroly dodacích listů;
- provádění průběžné kontroly dodávaného betonu (konzistence, stejnorodost apod.) dle TKP 18, tabulky 18-5;
- správný postup rovnoměrného ukládání čerstvého betonu do bednění;
- u samozhutnitelných a lehce zhutnitelných betonů je třeba dodržet postupnou betonáž po vrstvách, aby nedošlo k přetížení bednění;
- musí být sledován stav bednění;
- užití žlabů, násypek a potrubí pro dopravu čerstvého betonu do bednění gravitací může být povoleno pouze na základě písemného svolení objednatele stavby;
- otevřené žlaby a násypky musí být kovové nebo pokovené. Nesmí být použito násypek, žlabů nebo potrubí vyrobených z hliníku. Žlaby, násypky a potrubí nesmí být znečištěny;
- beton musí být stejnoměrně zhutňován způsobem, při kterém nedochází k segregaci během zhutňování;
- dodržení předepsané tloušťky vrstvy ukládaného betonu;
- max. rozdíl hladiny ukládaného betonu do formy vpravo a vlevo od osy tunelu;
- zajištění systematického účinného zhutňování betonu dle technologického předpisu (TePř);
- dodržení předepsané doby pro zpracování betonu s ohledem na čas k zamíchání betonu nebo jeho dodání na stavbu;
- dodržení v TePř stanovené maximální doby přerušení kontinuální betonáže. V případě překročení této doby musí být navrženo vhodné sanační opatření tak, aby konstrukce splňovala požadavky na vodonepropustnost;
- provedení speciálních opatření v případě betonáže za extrémních teplot (zima, léto);
- vibrátory musí být schváleného typu a vzoru, intenzita vibrování musí být taková, aby bylo dosaženo viditelného sednutí betonu (vyjma samozhutnitelných betonů) minimálně o 20 mm na ploše o poloměru nejméně 400 mm. Přitom nesmí docházet k přehutnění a segregaci

betonu, kdy se např. na povrchu objevuje vrstva malty a/nebo větší množství účinných vzduchových pórů a/nebo cementová pěna;

- musí být provedeno náležité zhutnění a úpravy míst u pracovních a dilatačních spár;
- při betonáži musí být k dispozici dostatečný počet vibrátorů k řádnému zhutnění každé vrstvy ihned poté, co je uložena do bednění;
- vibrování, při kterém je zakázáno zasahovat přímo nebo přes výztuž do úseků nebo vrstev betonu, které již zatvrdly do té míry, že beton přestává být tvárný. Vibrátory nesmí být využívány k přepravě betonu v bednění nebo ve žlabech;
- při náhlém neočekávaném přerušení betonáže postupovat dle TePř.;
- provedení povrchových úprav betonu podle požadavku dokumentace;
- musí být provedeno včasné zahájení ošetřování dle TePř a dodržena předepsaná doba a způsob ošetřování betonu, zejména trvale vlhký povrch betonu po celou předepsanou dobu (bez přerušení) ošetřování;
- čerstvě uložený beton je nutné chránit před vlivy vibrací, nárazů, deformací bednění a skruže i jinými nežádoucími vlivy;
- sledování stavu výztuže (deformace, posun apod.) a event. provedení nápravy při výskytu nedostatků;
- dodržení specifických požadavků technologického předpisu betonáže a provádění předepsaných měření a zkoušek;
- čerstvý beton, který vykazuje již počátek tuhnutí, nesmí být použit;
- zajištění dostatečného osvětlení pracoviště.

6.6 Ošetřování a ochrana betonu

V důsledku rozdílné teploty v jádře prvku a na jeho povrchu vlivem hydratace betonu vznikají v povrchových oblastech ostění tahová napětí, která zapříčiňují vznik trhlin, které obvykle končí na vnějším povrchu výztuže, ale mohou někdy proniknout i přes celou tloušťku ostění. Vzniku těchto trhlin lze zabránit omezením teplotního gradientu mezi teplotou jádra prvku a povrchu. Tento gradient nesmí překročit 25 °C. Při betonážích v chladnějším období roku je nezbytné ponechat bednění nebo izolovat masivnější prvky po dobu, než teplota v jádře prvku poklesne a vyrovná se s teplotou okolního prostředí. Optimální způsob ošetřování je použití klima vozu.

Při souběhu betonářských a trhacích prací se musí navrhnout zvláštní technologický postup, popř. harmonogram souběhu prací. Beton nesmí být zatěžován dynamickými účinky od trhacích prací, dokud jeho pevnost v tlaku nedosáhne min. 10 MPa.

Proti úkapům vody je nutno konstrukce chránit již v průběhu betonáže a následně ihned po ukončení úprav povrchu, aby nedošlo ke zhoršení vlastností betonu. Ochranu je třeba zajistit minimálně po dobu, než beton dosáhne pevnosti v tlaku minimálně 5 MPa.

Ošetřování betonu se provádí na všech odkrytých plochách. V případě, že se některé konstrukce částečně odbední dříve, než je předepsaná doba, musí se ošetřování provádět nadále i na těchto plochách.

7 Kontrolní činnost

V průběhu a po dokončení zhotovovacích prací se ověřuje dosažení technických a kvalitativních parametrů. Zajištění těchto zkoušek je povinností zhotovitele. Druhy, četnosti a způsoby provedení příslušných kontrolních zkoušek na daném díle jsou určeny v KZP zhotovitele, který je předložen objednateli/správci stavby ke schválení před zahájením prací. KZP musí zohledňovat požadavky DPS, TKP 18, TKP 24, příslušných ČSN a těchto Technických podmínek.

7.1 Kontrola podkladu

Před aplikaci separační fólie je potřeba provést kontrolu podkladu (většinou se jedná o primární ostění.) Sledují se následující údaje:

Výrony a úkapy vody je nutné vyloučit organizovaným svodem vody.

Pro rovinnost primárního ostění je potřeba dodržet požadavky dle obr. 1, z čehož také plyne potřeba zamezit náhlým změnám tloušťky konstrukce, při splnění povolené odchylky od teoretické tloušťky ostění.

Obecně se kontrolní činnost neliší od kontroly vyztužených sekundárních ostění bez požadavků na vodotěsnost. Pouze je třeba dbát na vysokou technologickou kázeň a dodržování technologických postupů. Velmi zásadní je kontrola čistoty spár, správného osazení a nepoškození spárových prvků, těsnost bednění zejména u samozhutnitelných betonu, kvality zhutnění betonu apod.

7.2 Kontrola betonu (zkoušky průkazní, kontrolní a četnosti)

7.2.1 Průkazní zkoušky

Průkazní zkoušky se provádí v souladu s ustanoveními ČSN EN 206 a TKP 18. Rozsah zkoušených parametrů při průkazních zkouškách musí odpovídat specifikaci betonu (třída betonu, stupeň vlivu prostředí, případně další specifikované vlastnosti) a případně dalším požadavkům z PD.

7.2.2 Kontrolní zkoušky prováděné na stavbě

Zhotovitel stavby musí mít zpracován kontrolní a zkušební plán stavby nebo plán jakosti stavby, který mimo jiné specifikuje i požadavky na kontrolu dodávaného betonu.

Rozsah a druh zkoušek musí splňovat požadavky ČSN EN 206, TKP 18 a ČSN EN 13670. Rozsah a typ zkoušek musí zohledňovat technologii provádění a druh konstrukce tak, aby byly dostatečné podklady pro posouzení shody dodaného betonu se zadanými požadavky.

Odběr vzorků betonu pro výrobu zkušebních těles se provádí v souladu s ustanoveními ČSN EN 12350-1.

Výroba zkušebních těles – zkušební tělesa jsou vyráběna v souladu s ustanoveními ČSN EN 12390-2 a ošetřována v souladu s požadavky této normy, event. s požadavky příslušné zkušební normy. Rozměry zkušebních těles musí odpovídat požadavkům příslušné zkušební normy. Pro zkoušky jsou využívány předepsané základní rozměry zkušebních těles.

7.2.3 Typy a četnost kontrolních zkoušek

Typy a minimální četnost základních zkoušek zajišťovaných zhotovitelem jsou uvedeny v TKP 18. Četnost zkoušek může být individuálně zvýšena dle charakteru dané konstrukce a harmonogramu betonáže. Četnosti nezahrnují výsledky kontrolních zkoušek prováděné betonárnou v rámci své kontroly výroby.

V případě zkoušení dalších parametrů (objemová hmotnost, pevnost v tahu za ohybu, v tahu, příčném tahu, odolnosti proti obrusu apod.) je četnost stanovena v technologickém předpise jehož součástí je i KZP.

Odběr vzorků betonu pro zkoušky je třeba rovnoměrně rozložit na celý betonovaný objem konstrukce nebo její části.

Pro četnosti kontrolních zkoušek platí TKP 18, tabulka 18-5 V technologickém předpisu a v kontrolním a zkušebním plánu se zohlední možnost prokazování shody u betonů s pomalým náběhem pevnosti i po 56 nebo 90 dnech.

7.3 Kontrola bednění

Bednění pro definitivní ostění musí být dostatečně tuhé, staticky posouzené na účinky zatížení od vlastní tíhy bednění a od tíhy čerstvého betonu, včetně dynamických účinků vznikajících při jeho ukládání.

Především u samozhutnitelných a lehce zhutnitelných betonů musí být bednění těsné. Těsnost bednění je potřeba kontrolovat před každou betonáží.

Před betonáží se kontroluje čistota bednění a aplikace odbedňovacího přípravku.

7.4 Kontrola výztuže

Před uložením betonářské výztuže (včetně sítí) do bednění, tedy ve vstupní kontrole, je třeba vizuálně zkontrolovat:

- kódové označení výrobce mezi žebírky. Betonářská výztuž má vždy označení štítkem a kódové označení výrobce a země původu v souladu s ČSN 42 0139. Jedná se o přidělené kódové číslo, opakující se ve vzdálenosti 1 m po délce tyče. Certifikovaný výrobce oceli má vždy kódové číslo přiděleno. Betonářská výztuž bez označení nesmí být zabudována;
- zda na povrchu oceli nejsou vizuálně viditelné trhliny;
- zda není ocel znečištěna/zkorodována nepřipustným způsobem.

Před zakrytím výztuže je potřeba ověřit:

- zda dle projektové dokumentace souhlasí průměr, počet, poloha a tvar prutů;
- tuhost výztuže a její průhyb s ohledem na polohu pláště po ustavení bednicího vozu;
- tloušťku krytí výztuže betonem;
- místa stykování prutů;
- kvalitu svarových spojů;

- čistotu povrchu vložek (koroze, mastnota, znečištění betonem);
- dodržení stanovených odchylek, tolerancí;
- čistotu bednění.

V zimním období také:

- teplotu povrchu výztuže (min. +5 °C);
- čistotu, bez sněhu, námrazy.

7.5 Kontrola těsnění pracovních a dilatačních spár

Před každou betonáží musí být provedena kontrola osazení těsnicích prvků pracovních a dilatačních spár. Předmětem kontroly je zejména:

- poloha a připevnění těsnicího pásu/plechu před jeho zabetonováním;
- zabetonování těsnicího pásu/plechu do předcházejícího betonážního dílu;
- spoje těsnicích pásů, popř. napojení těsnicí pás těsnicí plech;
- čistota všech ploch na těsnicím pásu a čistota betonu spáry.

8 Opravy závad

Způsob odstranění závažnějších vad a poruch, kdy se např. rozhoduje, zda konstrukce vyhovuje z hlediska spolehlivosti a životnosti, musí být vždy odborně posouzen. Běžné opravy znamenají především injektáže netěsností, opravy povrchů a opravy detailů kolem dilatačních, popř. pracovních spár.

Lze použít jen hmoty vhodné pro daný typ aplikace na konkrétní stavební konstrukce z hlediska fyzikálně mechanických vlastností.

Při opravě je důležité pracovat s následujícími předpoklady:

- životnost celého sanačního systému opravy;
- soudržnost s podkladem i jednotlivých vrstev mezi sebou;
- koeficient tepelné roztažnosti jednotlivých vrstev i souvrství;
- odolnost použitého systému vůči mrazu, agresivitě podzemní vody a chemickým rozmrazovacím látkám;
- pevnost v tlaku, tahu, ohybu, modul pružnosti a tažnost použitých hmot;
- u sanačních systémů schopnost překlenout trhliny při teplotách pod 0 °C;
- u sanačních systémů koeficient difúze pro vodní páru a CO₂ (resp. difúzní odpor);
- nasákavost povrchových úprav;
- tloušťka sanačního systému;
- průběhy nárůstu pevnosti jednotlivých hmot, případně doby zasychání či polymerace nátěrů a povlaků, a to v závislosti na teplotách;

- vhodnost hmot pro dosažení příznivých povrchových vlastností, jako je například barva a struktura povrchu, rovinatost;
- schopnost ochrany výztuže před korozi (pasivační vlastnosti);
- případně jiné parametry a údaje.

V technologickém předpisu (dokumentaci opravy) musí být dále specifikovány kontrolní zkoušky, kterými se kvalita provedené sanace ověří. V případě reprofilací se kontroluje tahová pevnost podkladního betonu v místě opravy, soudržnost reprofilace s podkladem a mechanické vlastnosti použitého reprofilačního materiálu.

Oprava musí být funkční, mít odpovídající životnost, vykazovat trvalé spojení s opravovaným betonem, zabezpečovat dlouhodobou a spolehlivou ochranu betonu a výztuže a mít jednotný vzhled.

Odpovídající životností se rozumí bezporuchový stav opravovaného místa po celou dobu životnosti příslušné části betonové konstrukce, s předpokladem stejné intenzity údržby opravovaného místa, jako u bezchybných částí konstrukce.

Vady a poruchy se dají rozdělit do tří skupin:

- Vady, které mohou ovlivnit bezpečnost díla. Jedná se o poruchy, které mohou narušit strukturální spojitost definitivního ostění. V každém jednotlivém případě je třeba, aby poruchu posoudil odpovědný projektant. Může se jednat například o nedosažení třídy pevnosti betonu, třídy expozice konstrukce, nedostatečnou ochranu výztuže proti korozi, pracovní spáru vzniklou neplánovaným přerušením betonáže apod.
- Vady, které je třeba opravit v souladu s požadavky této kapitoly. Jedná se zejména o:
 - prosakující a tekoucí trhliny, suché trhliny širší než 0,4 mm, (u mírně prosakujících trhlin s šířkou menší než 0,2 mm lze předpokládat jejich samohojení);
 - povrchové vady, špatné probetonování, hnízda;
 - ulomené hrany zasahující za krytí výztuže;
 - vystouplý beton jemné frakce v místě pracovních spár, výška přesahu nad 3 mm;
 - povrchy betonů s dutinami nad 1 cm hloubky;
 - nedodržení minimálního krytí.
- Vady, které není potřeba opravovat a odstraňovat
 - suché trhliny do šířky 0,4 mm.

V případě, že monolitické železobetonové sekundární ostění nedosahuje výše zmíněných hodnot případných nedostatků, nepovažují se tyto nedokonalosti za vady. Je třeba si uvědomit, že přirozenou vlastností betonu je poréznost a vznik trhlin. Eliminace vzniku trhlin přípustné šířky je možná, nicméně tato snaha povede k neúměrnému navýšení ceny díla. Odstranění všech trhlin zvýšením stupněm vyztužení je technicky nerealné a bylo by to i neekonomické.

I při dodržení všech kvalitativních kritérií se mohou vyskytnout závady. Pokud jsou tyto závady odstraněny vhodnými sanačními postupy, nepřestávají žádné snížení kvality díla.

Obecně u vodonepropustných betonových konstrukcí se již při návrhu předpokládá vznik lokálních netěsností, které se před uvedením díla do provozu odstraní.

ČÁST B – Specifika pro hloubené tunely

9 Požadavky na tunelové ostění hloubených tunelů

Platí požadavky uvedené v kapitolách 3.1 a 3.2 týkající se vnitřního a vnějšího prostředí. Pro minimální tloušťku ostění platí kapitola 3.3, která se týká klenbových hloubených tunelů. U tunelů s obdélníkovým průřezem (rámový typ) se předpokládá, že tolerance budou dány běžnými předpisy pro výstavbu železobetonových konstrukcí (ČSN EN 13 670).

Vyztužení musí splňovat požadavky návrhových norem (ČSN EN 1992-1-1) a požadavky norem na provádění (ČSN EN 13 670). Výztuž se zejména u rámových tunelů navrhuje dle statického výpočtu, a proto průměry prutů nejsou omezeny (na rozdíl od ražených tunelů – kap. 3.4). U klenbových hloubených tunelů platí ustanovení kap. 3.4.

Pro dimenzování vyztužení na šířky trhlin platí tabulka 3 včetně pozn. 1 a 2.

Pro hloubené tunely, využívající podzemní stěny jako definitivní část ostění, platí ustanovení kap. 12.

10 Složení betonu pro hloubené tunely

Obecně platí požadavky specifikované v kapitole 4. Beton pro hloubené vodonepropustné tunely musí splňovat požadavky tabulky 4, kapitoly 4 těchto TP. Konzistence může být přizpůsobena betonovanému prvku a může být nižší, než je uvedeno v tabulce 4.

U tunelů s rámovým průřezem, kde převládá ohybové namáhání, se minimální pevnost při odbednění určí na základě statického výpočtu.

Krycí vrstva výztuže musí odpovídat návrhovým normám (zejména ČSN EN 1992-1-1, popř. ČSN EN 1992-1-2, pokud jde o ostění vystavené účinkům požáru).

11 Hloubené tunely budované v otevřené jámě

Hloubené tunely mohou být konstruovány a stavěny různým způsobem. V těchto TP se předpokládají tři způsoby výstavby hloubených tunelů.

- a) Výstavba v otevřené jámě, kdy se nejprve vytvoří otevřená stavební jáma (svahovaná nebo zapažená) a v ní se postupně betonují jednotlivé bloky tunelu.
- b) Výstavba v otevřené stavební jámě, kdy zapažení stavební jámy tvoří vodonepropustné podzemní stěny, které tvoří již i součást definitivního ostění tunelu.
- c) Výstavba metodou čelního odtěžování. Nejprve se vybetonují vodonepropustné podzemní stěny, které tvoří součást definitivního tunelového ostění. Pak se na nich vybetonuje stropní deska tunelu a tunel se zasype (např. s cílem rychlého obnovení provozu na povrchu). Následně se pod stropní deskou vytěží zemina a vybetonuje se spodní deska tunelu.

Varianty výstavby b) a c) jsou technologicky náročnější, rizika průsaků a tečení jsou větší. Požadavky na výstavbu jsou uvedeny v kapitole 12.

Z geotechnického průzkumu je třeba dále znát hloubku a kolísání hladiny podzemní vody ve vztahu ke srážkám nebo stavu vody v nejbližší vodoteči, popř. k umělým zásahům v okolí, rozsah a mocnost zvodnělé plochy, tlak, gradient, směr a rychlost proudění a chemismus podzemní vody.

Nepříznivým průvodním jevem odvodňování je snížení hladiny podzemní vody často i v dalekém okolí, kde může způsobit vyschnutí studní, snížení zemědělské hodnoty pozemku, dodatečné sedání terénu a staveb, někdy i snížení stability svahu s jeho následným porušením. Je proto třeba z tohoto hlediska posoudit inženýrskogeologické podmínky snižování hladiny, doporučit časový postup čerpání, popř. upravit sklony dočasných svahů.

Nestejněměrné dodatečné sedání objektů v okolí místa snížení hladiny podzemní vody nastává tehdy, když základovou půdu těchto objektů tvoří stlačitelné zeminy (jílovito-písečné náplavy, zeminy s organickou příměsí, neulehlé písečné zeminy aj.). Na uhlém štěrku nebo nestlačitelných skalních horninách toto nebezpečí nehrozí.

11.1 Požadavky na betonážní úseky

V závislosti na tvaru příčného profilu konstrukce je zapotřebí uvážit rozmístění spár v konstrukci. Volba vhodného tvaru konstrukce (např. klenbový) může výrazně přispět ke snížení vzniku a vývoje trhlin vlivem zrání betonu a snížení namáhání v definitivním stavu.

U klenbových tunelů je nejvhodnější nejprve betonovat spodní desku/protiklenbu a ve druhé fázi pak horní klenbu. U rámových tunelů lze volit různé varianty postupu betonáže v příčném řezu.

- a) Betonáž na tři části: spodní deska, stěny, horní deska. Jde o nejjednodušší způsob, avšak s největším počtem pracovních spár, a tedy rizikem průsaků.
- b) Betonáž na dvě části: spodní deska a v následné fázi společně stěny a horní deska. Tento způsob je vhodný pro velké profily, omezuje počet podélných spár.
- c) Betonáž celého rámového průřezu najednou. Tento postup je vhodný u menších průřezů. Zcela eliminuje podélné pracovní spáry. Je náročnější na konstrukci bednění a technologii betonu.

U všech postupů betonáže příčného řezu je třeba dbát na omezení deformace v příčném směru při betonování následného bloku tunelu. Příčný řez dříve vybetonovaného bloku omezuje objemové změny čerstvého betonu následujícího bloku od chladnutí po hydrataci a od smršťování. V betonu nově betonovaného bloku pak vznikají tahová napětí v příčném směru v blízkosti příčné pracovní spáry. Oblast kolem spáry je nutné dostatečně vyztužit, popř. udělat další opatření (např. chlazení čerstvého betonu, ohřev již existujícího bloku apod.).

Obecně je doporučeno minimalizovat počet pracovních spár. S ohledem na smršťování betonu by betonážní sekce neměly přesáhnout délku 10 m (měřeno v podélném směru tunelu). Dalším opatřením, kterým lze příznivě ovlivnit kvalitu výsledné železobetonové konstrukce, je vhodné rozvržení postupu betonáže.

Jeden přístup doporučuje betonáž následujících sekcí v co nejkratším časovém odstupu od betonáže předchozí sekce. To platí v podélném směru, ale především pro návaznost betonáže základové konstrukce (základových patek, desky nebo protiklenby) a horní části konstrukce tunelu (klenba, případně stěny a strop).

Další možností je šachovnicová betonáž, tedy realizace nejprve lichých sekcí a po vyzrání betonu v lichých sekcích betonáž sekcí sudých. Při šachovnicové betonáži se však zvyšuje riziko poškození spárových pásů již vybetonovaných sekcí.

Mezi základovou desku / protiklenbu a podkladní beton se doporučuje vložit separační vrstvu. Separální vrstva snižuje tření a při chladnutí umožňuje posun základové konstrukce z mladého betonu proti podkladnímu betonu, a tak snižuje možnost vzniku trhlin z důvodu omezených přetvoření. Jako separační vrstvu lze navrhnout např. dvě vrstvy PE fólie a mezi nimi vloženou geotextilii.

11.2 Technologické vybavení

Rozmístění a četnost prostupů skrz konstrukci je třeba uvažovat již při návrhu konstrukce. Aby se zamezilo průsakům, vyžadují všechny prostupy, například otvory po spínacích tyčích, vedení kabeláže atd., dodatečnou bariéru proti vodě.

Spínací tyče pro fixaci bednění musí být navrženy tak, aby po nich zbývající otvory bylo možné spolehlivě utěsnit pro požadovaný tlak vody.

Veškeré spáry, prostupy a konstrukce pod hladinou podzemní vody musí být navrženy a realizovány v závislosti na požadované třídě vnitřního prostředí a tlaku podzemní vody jako ucelený vodonepropustný systém.

11.3 Ukládání betonu

Betonáž do instalovaného bednění lze provádět pouze za podmínek, při nichž nedojde ke ztrátě stability a těsnosti bednění vlivem překročení zatížení působícího na plášť bednění. Pro konkrétní recepturu čerstvého betonu, jeho konzistenci a průběh tuhnutí a tvrdnutí se určí:

- max. povolený výškový rozdíl hladin při ukládání čerstvého betonu (pravá a levá strana klenby/rámu);
- max. rychlost ukládání čerstvého betonu (např. 3 m/hod.);
- max. přípustná výška betonu ve vrcholu klenby.

Musí být zabráněno spuštění příločných vibrátorů nad hladinou betonu.

Před ukládáním betonu je potřeba provést kontroly specifikované v kapitole 6.4.

Během ukládání betonu je třeba zabránit jeho rozmísení, segregaci složek betonu.

Sypná výška od konce rukávu nesmí být větší než 1,5 m.

Režim betonáže zahrnuje výrobu čerstvého betonu, jeho primární a sekundární dopravu, ukládání a zhutňování. Tento režim je třeba navrhnout s ohledem na zpracovatelnost do doby ověřené použitelnosti (viz. průkazní zkoušky). Ta vychází z charakteristik navržené receptury, teploty čerstvého betonu i teploty okolního prostředí. Uložení betonu musí být provedeno do počátku jeho tuhnutí.

Pro způsoby hutnění platí ustanovení kap. 5.2.3. U hloubených tunelů je větší prostor pro užívání ponorných vibrátorů, zejména u horních desek rámových tunelů a horních částí kleneb tunelů, kde je přístup z horní strany – nezabedněné horní části kleneb. Příložné vibrátory se pak používají zejména u stěn hloubených tunelů nebo u horní klenby, pokud je bednění oboustranné.

11.3.1 Bednicí vůz

Potřebná vybavenost bednicími prvky u hloubených tunelů je obdobná, jako v případě ražených tunelů. Dílčí odlišnosti jsou dány návrhovými konstrukčními prvky definitivního ostění. Pokud tunelové ostění pokračuje z ražené části klenbovým tvarem, je třeba kromě vnitřního bednění uplatňovaného v ražené části, použít též vnější bednicí systém. Ten zajišťuje vytvoření vnějšího líce ostění v návrhových rozměrových parametrech. Zpravidla je tvořen samostatnou bednicí formou v délce bednicích sekcí. Bednění musí splňovat shodné nároky na tuhost, těsnost a spolehlivost kotvení ke spodní části ostění, jako v případě vnitřní bednicí formy pro ražené úseky. Plášť této formy ve vrcholové části není uzavřen, ale po celé délce mezi pravou a levou stranou je vytvořena mezera pro spolehlivé dokončení vnějšího povrchu ostění bez nedobetonovaných partií. Další používanou variantou pro betonáž kleneb hloubených úseků je vytvoření podkladu pro vnější líc klenbové části ostění formou předem vybetonované pomocné konstrukce tzv. falešného primárního ostění. Vytvoření této železobetonové konstrukce se realizuje technologií stříkaného betonu za použití vnější vrstvy z rabinového pletiva s malými oky. Betonáž bloků definitivního ostění pak probíhá shodně, jako v případě betonáží bloků ražených úseků, nyní na vytvořený, tzv. falešný, podklad odpovídající primárnímu ostění v raženém tunelu.

V případě betonáže samozhutnitelným betonem je nutné věnovat zvýšenou pozornost dodržení přípustného zatížení bednění z titulu působení vyššího hydrostatického tlaku uloženého čerstvého betonu na plášť bednění. Samozhutnitelný beton se chová v první fázi ukládky jako kapalina a zatěžovací tlaky působící na bednění jsou podstatně vyšší než u běžných betonů (cca o 15 až 20 %). Toto se významně projevuje zejména u vysokých velkoobjemových prvků.

U rámových tunelů se příčný řez může betonovat různým způsobem (kap. 11.1). Podle toho se zvolí postup bednění. V případě betonování příčného řezu najednou nebo na dvakrát, pak je vhodné používat betonážní vůz podobně jako u klenbových tunelů.

Konstrukce bednění při použití běžného i samozhutnitelného betonu musí být vždy staticky posouzena a postup betonáže musí být specifikován. Posouzení bednění a postup jeho plnění betonem musí být součástí technologického postupu zhotovitele.

11.4 Odbedňování

Odbedňovat je možné, jakmile beton dosáhne pevnosti potřebné pro stabilitu klenby (platí pro klenbové tunely). U rámových tunelů rozhoduje o okamžiku odbednění rychlost náběhu pevnosti betonu. Minimální pevnost betonu při odbednění musí být ve všech případech určena projektantem na základě statického posouzení. Ve statickém posouzení je třeba uvážit veškerá aktuálně působící zatížení (včetně teplotních účinků). Zjištění pevnosti betonu v ostění se provádí buď nedestruktivními průzkumnými metodami nebo lze použít systémy určující pevnost betonu nepřímo na základě měření teplot při tuhnutí a tvrdnutí betonu.

11.5 Ošetřování betonu po odbednění

Po odbednění vodonepropustné konstrukce je nutné realizovat soubor opatření, která zajistí příznivé podmínky pro zrání betonu tohoto typu v ostění. Cílem je omezení napětí ve struktuře betonu, která mají vliv na vznik a vývoj trhlin u ještě nedostatečně pevného betonu. Jedná se zejména o tyto podmínky:

- vlhkost vzduchu po celou dobu ošetřování nesmí klesnout pod 80 %;
- teplota v tunelu / povrchu betonu se musí regulovat tak, aby při tvrdnutí betonu byl teplotní gradient mezi povrchem betonu a jádrem konstrukce $<25\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- teplota betonu po dobu ošetřování nesmí klesnout pod $5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Výše uvedené požadavky lze zajistit využitím klimatizačních vozů nebo jejich adekvátní náhradou (klimatizační vozy jsou použitelné uvnitř tunelu, pro ošetřování vnějšího povrchu ostění se používá zakrytí vlhčenou geotextilií, PE fólií, popř. tepelnou izolací atd.). Klimatizační vozy umožňují regulaci teploty a vlhkosti ve vzduchové komoře přisazené k povrchu klenby ostění na délku jednotlivých betonážních záběrů.

Nasazení klimatizačních vozů umožní zrychlit postup výstavby, tedy zkrátit dobu ponechání bednění klenby po vybetonování bloku pouze do doby dosažení odbedňovací pevnosti. Zahrnutí klimatizačních vozů do betonážní sestavy prodlouží zachování ochrany betonu klenby do doby dosažení dostatečné pevnosti betonu, kdy je schopno být vystaveno klimatickým podmínkám v tunelu. Důvodem pro nasazení klimatizačních vozů je vyšší kvalita výsledného ostění, ale také vyšší obrátkovost bednění.

Doporučené požadavky jsou popsány v kapitole 5.3.1.

V případě, že není možné dodržet uvedené požadavky je třeba zavést adekvátní náhradu.

Doba ošetřování / množství klimatizačních vozů se musí stanovit s přihlédnutím k postupu betonáže v závislosti na receptuře betonu a na klimatických podmínkách. Ošetřování musí probíhat min. po dobu 3 dnů, v případě vystavení venkovním extrémním podmínkám (letní a zimní dny) déle. Po dobu 7 dnů je třeba vyloučit prudké vysychání povrchu betonu (např. přímé oslunění nebo vystavení průvanu).

11.6 Spáry mezi sekcemi betonáže

Obecně je třeba u vodonepropustných betonových konstrukcí dbát na zachování průběžnosti a návaznosti spárových prvků. Většinou se jedná o propojení těsnicích prvků příčných a podélných spár. Charakteristickým detailem, kterým je třeba se zabývat a v konstrukci se objevuje velmi často, je příčná spára na okraji betonážní sekce v desce a její propojení s podélnou spárou mezi deskou a stěnou navazujícího prvku (stěny).

Pracovní spára musí být navržena tak, aby její poloha odpovídala statickému působení konstrukčního prvku. Pracovní spára vzniká při přerušení betonáže na dobu větší než 2 až 4 hodiny. V závislosti na teplotě se tento časový úsek může zkracovat či prodlužovat. K eliminaci pracovních spár může přispět použití vhodných zpomalovacích přísad. Obecně je potřeba u podzemních staveb zajistit plynulou betonáž. Je potřeba předejít přerušení prací, a tím vzniku pracovní spáry, neboť následná oprava je velmi těžce realizovatelná.

Spárové prvky u vodonepropustných tunelů se umísťují do mezilehlé polohy na střed spáry, kde je jejich účinnost největší.

Pokud není v dokumentaci předepsáno jinak, pracovní a dilatační spára v pohledových plochách musí mít hrany upraveny zkosením pod úhlem 45° od čelní roviny s délkou přepony 10 až 20 mm, a to úpravou bednění. U vodorovných povrchů nebo u povrchů se sklonem spáry menším než 10° nebo u spár, kde z prohlubně nemůže odtékat voda, se délka přepony snižuje na max. 5 mm.

Veškeré spáry na konstrukci musí být těsně před betonáží čisté a suché (bez stojící vody).

U vodonepropustných betonů se jedná o konstrukční prvek, v němž beton tvoří primární ochranu před průnikem vody. Pokud pracovní spára přes provedená opatření není vodotěsná musí se zainjektovat. Injektování se provede jako sanace, viz kapitola 8. Materiály pro provádění pracovních spár jsou uvedeny v kapitole 5.7. Sanované místo není považováno za vadu konstrukce.

11.6.1 Těsnění dilatačních spár

Dilatační spáry je nutno provádět tak, aby byla zabezpečena jejich funkční spolehlivost. Minimální šířka dilatační spáry je závislá na délce dilatačního úseku. Minimální šířka dilatační spáry musí být stanovena v DPS. Minimální tloušťka tmelu je závislá na navržené šířce dilatační spáry. Rozměry, tvar a materiály dilatačních spár musí být definovány v realizační dokumentaci stavby a musí být v souladu s VL 5.

Četnost dilatačních spár je závislá na rozměrech a tvaru ostění, způsobu ošetřování mladé betonové konstrukce, množství cementu v betonové směsi a na dalších aspektech, ovlivňujících možnosti pohybu konstrukce. Obecně se doporučuje délka dilatačních úseků tunelu do 100 m.

Do dilatační spáry před aplikací tmelu je nutno vtlačit výplňový provazec o průměru větším o 20–30 %, než je šířka spáry. Výplňový provazec zabraňuje třístranné adhezi a umožňuje vytvoření správného tvaru výplňového tmelu. Materiálem výplňového provazce je polyethylen s uzavřenými póry, odolný proti stárnutí, hnití a chemickým vlivům.

Před samotnou aplikací tmelu je nutno beton opatřit základním nátěrem (penetrací, spojovacím můstkem) na bázi polyuretanů.

Výplňový tmel musí být odolný vůči:

- UV záření v místech, kde k němu může docházet;
- mikrobům (mikroorganismům obsaženým ve splaškových vodách);
- chemickým vlivům;
- povětrnostním vlivům a stárnutí;
- teplotám od $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- vodě.

Výplň dilatačních spár má být tvořena uceleným systémem od jednoho výrobce. Kombinace materiálů od různých výrobců se nedoporučuje. Podrobný popis materiálů a způsob utěsnění dilatačních spár se stanovuje v technologickém předpisu. Nepropustnost spáry zajišťuje těsnicí pás, výplň pouze zajišťuje svojí pružností dilatační funkci spáry.

Materiály a konstrukční řešení dilatačních a pracovních spár je uvedeno v kapitole 5.7.

11.6.2 Vytváření řízených spár (předurčených trhlin s těsněním)

V případě návrhu řízených spár je třeba zajistit jejich těsnost vložení adekvátního systémového prvku. V místě předurčené trhliny se osazují speciální tvarovky (těsnicí trubice v půdorysném průřezu tvaru slunce) nebo křížové plechy (těsnicí plech situovaný kolmo na budoucí spáru a plech s účelem oslabení průřezu situovaný v místě předpokládané spáry.) Osazením těchto prvků dojde v daném místě k oslabení průřezu, čímž se předurčí místo vzniku smršťovací trhliny a zároveň se provede zatěsnění této smršťovací trhliny.

Osazení těsnicích PVC tvarovek je vhodné do svislých konstrukcí, kdy se tvarovky ve spodní části nasazují na těsnicí prvek probíhající v již zabetonované konstrukci (u hloubených tunelů se bude jednat nejčastěji o nasazení na podélný spárový prvek v základové desce). Vždy je potřeba dodržet minimálně 5 cm mezeru mezi koncem tvarovky a pracovní spárou, dále je potřeba zajistit kvalitní probetonování a zhutnění spodní části konstrukce. Po dokončení betonáže stěny je potřeba vnitřní profil tvarovky vyplnit betonem.

Prvek z křížových plechů má ve směru budoucí spáry dosahovat výšky odpovídající minimálně 1/2 tloušťky konstrukce. Ve směru kolmém na spáru je osazen těsnicí prvek (většinou těsnicí plech), odpovídající požadavkům na vodonepropustné konstrukce, viz kapitola 3.1. V místě předdefinované smršťovací spáry se na povrchu betonové konstrukce doporučuje provést žlábek, aby se hrany smršťovací trhliny neřízeně neolamovaly.

11.7 Zpětný zásyp

Zpětné zasypávání hloubených tunelů je třeba provádět po vrstvách a každou vrstvu řádně zhutnit. Mocnost vrstvy je závislá na typu a velikosti použitého hutnicího prostředku a na typu zhutňované zeminy. Mocnost vrstvy se pohybuje již od 10 cm do max. 40 cm (měřeno před zhutněním). Všechny parametry zhutňování by se měly určit při zhutňovacím pokusu. Požadavky na zhutnění zásypu musí být uvedeny v DPS.

Při návrhu je třeba konstrukci navrhnout a posoudit na přítěžování zpětným zásypem. V návrhu je třeba stanovit maximální přípustné nerovnoměrné zatížení konstrukce (rozdíl výšky zásypu z jedné a druhé strany hloubeného tunelu) a zohlednit i proces hutnění (lokální ztekucení hutněného materiálu a hmotnost hutnicího prostředku). Dále by se měla určit minimální vzdálenost pojezdu zhutňovacího prostředku. Dále by se měl posoudit i vliv sedání tunelu na přitížení zpětným zásypem, v případě potřeby i jeho časový průběh.

V přídech, kdy se nad hloubeným tunelem vyskytuje jiná dopravní stavba nebo inženýrská síť, je třeba dodržet parametry zhutnění dle ČSN 73 6133. Kontrolní zkoušky je třeba provést v četnosti dle ČSN 73 6133. V případech, kdy se nad tunelem vyskytuje zeleň, není třeba míru zhutnění prokazovat.

V připortálových úsecích hloubených tunelů je třeba navrhnout opatření k zamezení sufoze zásypového materiálu – vyplavování jemné frakce zásypového materiálu.

12 Specifika pro tunely s použitím vodonepropustných podzemních stěn jako definitivních částí ostění tunelu

Existují dva přístupy k hloubeným tunelům realizovaným s využitím železobetonových podzemních stěn (tzv. milánské stěny).

V prvním přístupu není u podzemní stěny požadována vodonepropustnost. Podzemní stěna v tomto případě slouží pouze jako pažící konstrukce. V tomto případě je potřeba do prostoru mezi podzemními stěnami vestavět vnitřní vodonepropustnou konstrukci dle výše uvedených zásad pro hloubené tunely. Tento případ není dále popisován.

Ve druhém přístupu se podzemní stěny tvořící vodonepropustnotu stěnu připouštějí. Minimální požadavky na konstrukci jsou uvedeny v tabulce 10, v závislosti na stupni požadovaného vnitřního prostředí. Pokud není možné požadavky dodržet, je nutné provést konstrukci jako dvouplášťovou.

Hloubený tunel s vodonepropustnými podzemními stěnami se tedy obvykle skládá z podzemních stěn, spodní a horní desky. Je třeba zajistit vodonepropustnost všech částí a jejich propojení.

S ohledem na garanci vodonepropustnosti celé konstrukce je proto nutné řešit těsnost celého systému (hloubeného tunelu) včetně spár, jejich návazností, uzavřených dilatačních celků apod.

Tabulka 10: Zásady pro návrh tunelů tvořených pomocí vodonepropustných podzemních stěn

Třída prostředí dle tabulky 3	Minimální tloušťka lamely podzemní stěny [d]	Příznivé působení normálových tlakových sil je možné uvažovat maximálně do výše	Limitní šířka průběžné trhliny	Dovolený průsak podzemní stěnou kolmo k střednicové rovině	Maximální přípustné oslabení konstrukce (např. vybráním pro napojení zákl. desky)	Namáhání momentem pod hladinou podzemní vody
1 ¹⁾	100 cm	25 %	0,15 mm vnější 0,20 mm vnitřní	600 mm	d/4	Není povoleno
2	80 cm	50 %	0,20 mm vnější 0,25 mm vnitřní	500 mm	d/3	Při momentovém namáhání ²⁾ nesmí být překročena pevnost v tahu nebo je omezení šířky trhliny sníženo o 0,05 mm
3	60 cm	75 %	0,25 mm vnější 0,30 mm vnitřní	400 mm	d/3	
4	50 cm	100 %	0,35 mm vnější 0,35 mm vnitřní	300 mm	d/3	
5	Tato kombinace třídy prostředí a tunelu z podzemních stěn se nepředpokládá					
6	Tato kombinace třídy prostředí a tunelu z podzemních stěn se nepředpokládá					

¹⁾ doporučuje se vestavení vnitřní vodonepropustné konstrukce

²⁾ při kvazistálé kombinaci zatížení

Poznámka: Tunel tvořený podzemními stěnami splňující požadavky třídy prostředí 4 se navrhuje jen jako dočasná konstrukce (pažení), která umožní vestavbu vnitřní definitivní vodonepropustné konstrukce. Požadavky pro vnitřní vodonepropustnou konstrukci jsou uvedeny v části pro hloubené tunely. Obecně platí, že během výstavby musí být konstrukce posouzena na zemní i vodní tlak, zatímco v konečné fázi stačí uvažovat zemní tlak (pokud se vnější dočasná konstrukce pro definitivní / provozní fázi navrhuje). Vodní tlak a případné zvýšení zemního tlaku je přisouzen vnitřnímu plášti. Při dvouplášťové konstrukci se povoluje přenos zemního tlaku vnější konstrukcí a přenos hydrostatického tlaku vnitřní konstrukcí. Pro vnější konstrukci v tomto případě musí být zajištěna návrhová životnost stejná, jako pro vnitřní konstrukci.

Minimální požadavky pro návrh a realizaci podzemních stěn jsou uvedeny v ČSN EN 1538+A1 a v TKP 16.

Předpoklady pro použití jednoplášťové konstrukce:

- HPV by neměla kolísat o více než 5 m.

- Sekce/úseky tunelu s různou tuhostí systému, délkou lamel, zatížením, geometrií atd. musí být odděleny dilatační spárou.
- Provedení rýhy musí umožnit spouštění výztuže bez poškození.
- Posouzení stability rýhy.
- Odpovídající řešení spár mezi lamelami, dilatačních spár, připojení základové desky a stropu.
- Většinou je nutná konečná povrchová úprava podzemní stěny (frézování povrchu), případně použití (protipožárních) obkladů.

Těsnost tunelu z podzemních stěn je dána převážně těsností spár. Jedná se o více či méně ozubené spáry mezi starým a novým betonem bez spojitě výztuže a bez dodatečné možnosti úpravy styčných ploch. Těsnost spojů lze zlepšit dalšími opatřeními. Je důležité, aby sousedící lamely nebyly vystaveny rozdílným vodorovným a svislým deformacím, které by mohly těsnost spár negativně ovlivnit. Počet spár v konstrukci by měl být minimální.

Délka dilatačních celků vodonepropustných konstrukcí s třídou vnitřního prostředí 1, 2 a 3 nesmí přesáhnout 30 m.

Je-li nutné vytvořit pomocí podzemních stěn roh (např. z důvodu změny šířky tunelu nebo rozšíření pro výklenek), musí být rohové lamely betonovány společně a výztužné koše propojeny pruty výztuže naohýbanými do „U“ (rámový roh). Pracovní spáry je možné zrealizovat až mezi navazujícími a rohovými lamelami.

12.1 Napojení podzemních stěn a základové desky

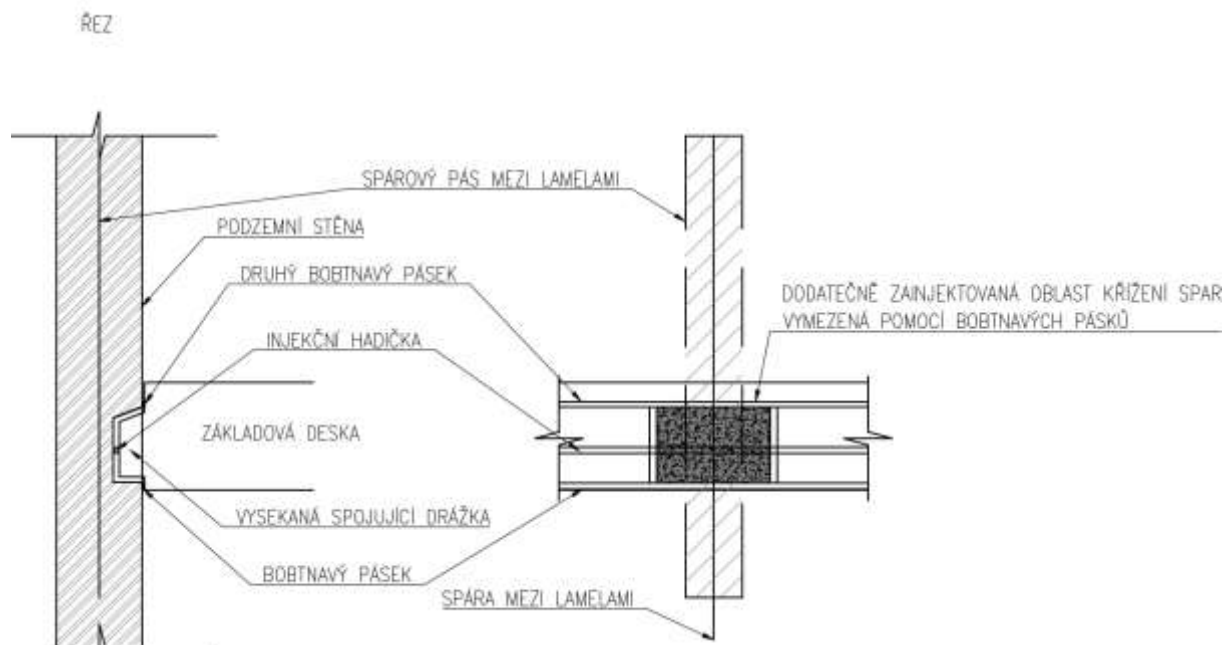
Napojení (základové) desky na podzemní stěny se provádí pomocí smykové konzoly betonované do drážky vysekané/vyfrézované do podzemních stěn. Velikost drážky nesmí nadměrně oslabit podzemní stěnu, viz maximální přípustné oslabení podzemní stěny v tabulce 10.

Spára mezi základovou deskou a lamelami podzemních stěn se těsní minimálně dvěma nezávislými těsnicími systémy (obr. 4):

1. minimálně jeden bentonitový bobtnavý pásek s upevňovací mřížkou a ochranným nátěrem (zabraňuje bobtnání před betonáží) umístěným pod smykovou konzolou (doporučuje se použít i dodatečný/druhý bobtnavý pásek nad smykovou konzolou), z důvodu přenosu sil se nesmí bobtnavé pásy umístit do drážky pro smykovou konzolu;
2. injektážním systémem umístěným ve vyfrézované drážce (viz obr. 4). Injektážní systém je pojistný systém, který je použit až v případě průsaků spárou. Injektážní systém musí umožnit opakovanou injektáž.

Krystalizační nátěr může být použit až jako dodatečný doplňkový (třetí) těsnicí systém.

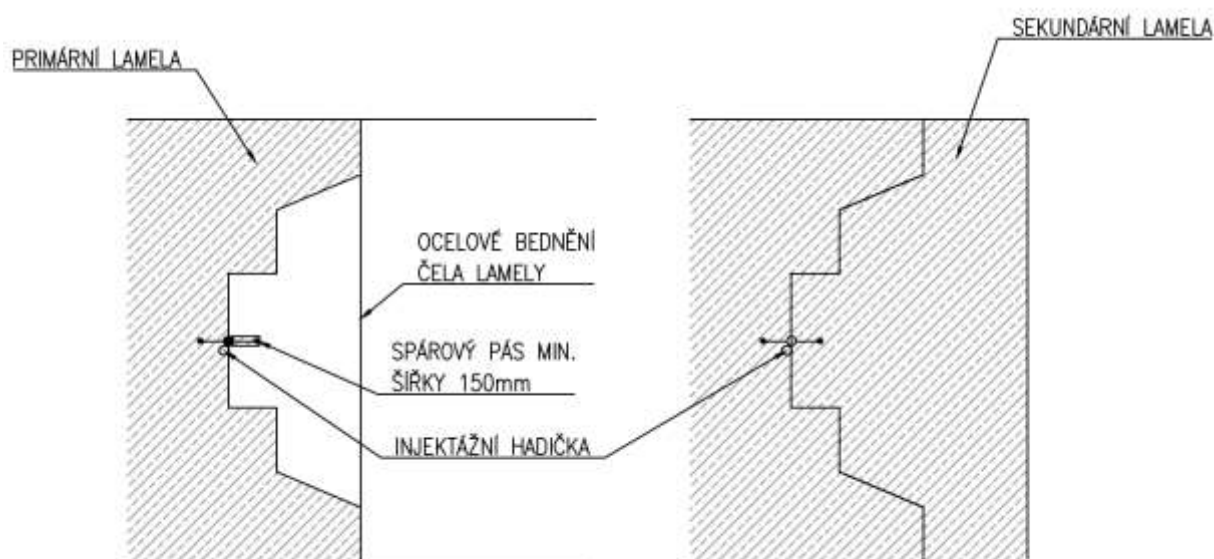
V místě dilatační spáry se smykové spojení neprovádí. Oblast křížení základové desky s dilatační spárou je vhodné ohraničit bobtnavými pásy ze všech stran a doplnit samostatný injektážní systém pro místo křížení, který umožní cílené injektování tohoto problematického místa.



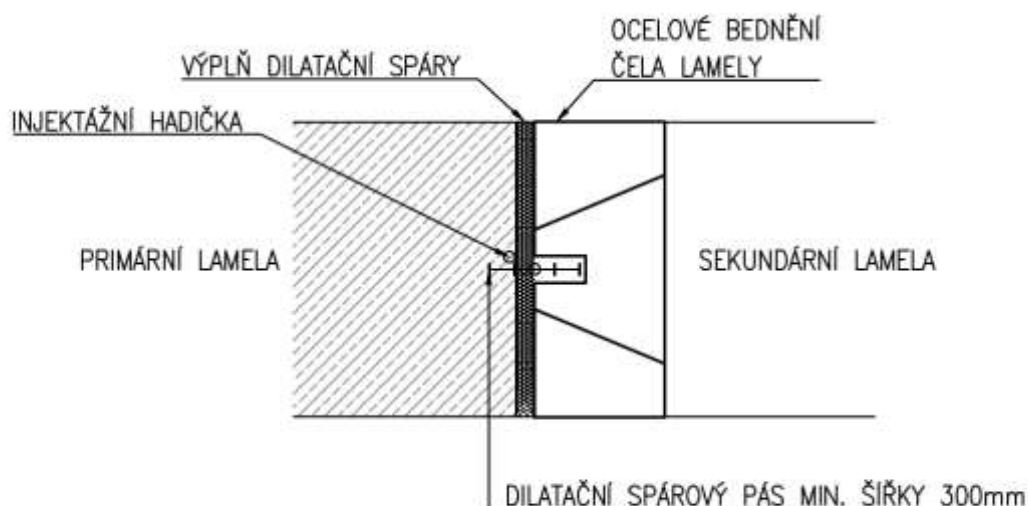
Obr. 4: Napojení lamel podzemních stěn a základové desky

Rozhodující pro kvalitu vnitřního prostředí je většinou těsnost spár mezi lamelami podzemních stěn a spáry mezi podzemní stěnou a základovou deskou tunelu. V těchto místech je nutno použít vyzkoušené a dostatečně bezpečné řešení, které zajistí vodonepropustnost tunelu jako celku.

Ve všech spárách (dilatačních i pracovních) musí být použita dodatečná opatření proti průsakům. Těsnost pracovních a dilatačních spár se zajišťuje pomocí ozubového spoje a dodatečných opatření např. vnitřním spárovým pásem nebo plechem opatřeným krystalizačním nátěrem minimální šířky 150 mm (obr. 5 a 6). Při návrhu se musí vzít do úvahy přetvoření stěn od zatížení v předchozích stavebních fázích.



Obr. 5: Opatření pro zajištění vodonepropustnosti pracovních spár mezi lamelami



Obr. 6: Opatření pro zajištění vodonepropustnosti dilatační spáry mezi lamelami

12.2 Napojení podzemních stěn a stropní desky

Vodonepropustnost stropní desky a spoje mezi lamelami a stropní deskou se zajišťuje pomocí vnější fóliové izolace těsně přikotvené (pomocí odpovídajícím způsobem upraveného ocelového L-profilu) k lamelám podzemních stěn. Jako pojistné opatření může být na vnitřní straně spoje lamely – stropní deska umístěn bentonitový bobtnavý pásek.

12.3 Minimální vyztužení podzemních stěn

Minimální vyztužení podzemních stěn (je větší, než je vyžadováno ČSN EN 1538+A1):

- minimální stupeň vyztužení podzemních stěn 0,15 %, ne však méně než:
 - svislá/nosná výztuž profil 16/150 mm;
 - propojení (smykové) vnější – vnitřní vrstvy výztuže profil 10/150 × 150 mm;
 - krytí výztuže pro konstrukce z vodonepropustného betonu min. 75 mm; pro pažící konstrukce umožňující vestavbu vnitřní vodonepropustné konstrukce min. 60 mm.

Beton pro podzemní stěny musí splňovat požadavky tabulky 4, kapitoly 4 těchto TP. Zároveň musí splňovat požadavky ČSN EN 206 + A2, přílohy D.

TECHNICKÉ PODMÍNKY – 265 VODONEPROPUSTNÉ TUNELOVÉ OSTĚNÍ

Schválilo:	Ministerstvo dopravy
Zpracovatel:	Česká betonářská společnost ČSSI prof. Ing. Jan L. Vítek, CSc., FEng. Ing. Jaroslav Beňo, Ph.D. Ing. Václav Braun Ing. Kristýna Břindová Ing. Robert Coufal, Ph.D. Ing. Jana Dehner Ing. Filip Jiříčný
Vydání:	první
Počet stran:	50
Tech. redakční rada:	Ing. Pavla Březnická (Ministerstvo dopravy) Ing. Martin Luňáček Ph.D., MBA (Ředitelství silnic a dálnic ČR) Ing. Miroslav Codl (Ředitelství silnic a dálnic ČR) Ing. Josef Jalůvka (Ředitelství silnic a dálnic ČR) Ing. Pavel Šourek (SATRA, spol. s r.o.) doc. Dr. Ing. Jan Pruška (ČVUT v Praze) Ing. Libor Mařík (Sagasta s.r.o.) prof. Ing. Jiří Barták, DrSc. (ČVUT v Praze) Ing. Tomáš Kučera (Ředitelství silnic a dálnic ČR)
Zástupce koordinátora:	Ing. Barbora Jiříčná (Ředitelství silnic a dálnic ČR)