

# **Metodika návrhu a provádění řízených smršťovacích spár v betonu s ohledem na vznik hlavních smršťovacích trhlin a na jejich omezení.**

## Jména autorů

**Ing. Vojtěch Zvěřina, řešitel projektu**

Vladimír Fišer, Mlýnská 68, 602 00 Brno

tel.: 734 898 574, e-mail : [vojtech.zverina@fiserv.cz](mailto:vojtech.zverina@fiserv.cz)

## Jména oponentů

**Ing. Aleš Kratochvíl**

**Ing. Marie Birnbaumová**

Tento dokument byl vytvořen v rámci projektu TA03030010, TA ČR ALFA III.

## Obsah

Cíl metodiky.....	7
1. ÚVOD.....	7
1.1. Základní princip řešení .....	8
1.2. Základní popis reologie betonu při jeho výrobě, tuhnutí a tvrdnutí .....	8
1.2.1. Dotvarování a smršťování .....	8
1.2.2. Modul pružnosti.....	9
2. TEORIE PORUCHY BETONU OD SMRŠŤOVÁNÍ .....	10
2.1. Teorie vzniku smršťovacích trhlin .....	10
2.2. Průběh rozvoje trhlin .....	10
2.3. Průběh rozvoje trhlin v masivních konstrukcích .....	11
3. VLIV SLOŽENÍ BETONU NA VZNIK SMRŠŤOVACÍCH TRHLIN .....	13
3.1. Vliv surovin pro výrobu betonu na smršťování betonu .....	13
3.1.1. Vliv vlastností a obsahu cementu .....	13
3.1.2. Vliv kameniva .....	14
3.1.3. Vliv přísad.....	14
3.2. Návrh betonu s ohledem na platné předpisy .....	14
4. ŘEŠENÍ MASIVNÍCH KONSTRUKCÍ S OHLEDEM NA ODOLNOST PROTI SMRŠŤĚNÍ.....	15
4.1. Konstrukční řešení řízených spár .....	16
4.2. Délka dilatačních celků.....	17
4.3. Těsnění řízených spár.....	17
4.3.1. Těsnící profilované pásy.....	17
4.3.2. Těsnění tmelem .....	19
5. NÁVRH MASIVNÍ BETONOVÉ KONSTRUKCE.....	19
5.1. Opěry standardních délek (do 15,0m) .....	19
5.2. Opěry širokých mostů (nad 15,0m).....	20
5.2.1. Základ opěry.....	22
5.2.2. Dřík opěry.....	22
5.2.3. Úložný práh .....	23
5.2.4. Závěrná zídka .....	23
5.3. Odvodnění úložného prahu .....	24
5.4. Konstrukční opatření systému řízených smršťovacích spár.....	26
6. OBECNÁ TECHNOLOGICKÁ DOPORUČENÍ .....	27
7. SEZNAM POUŽITÝCH PRAMENŮ .....	28

### I) **Cíl metodiky,**

*Cílem metodiky je usnadnit návrh masivních částí betonových konstrukcí se zaměřením na využití při provádění monolitických opěrných zdí a mostních opěr. Právě tyto konstrukce jsou často navrhovány jako masivní betonové bloky, při jejichž návrhu a provádění je třeba respektovat reologické vlastnosti betonu při jeho tunutí a tvrdnutí, které jsou během zrání betonu v čase proměnné. Reologické změny betonu tvoří dominantní složku zatížení od napětí v počátečních stádiích hydratace betonu a spolu s rizikem technologie výroby tvoří nejvyšší riziko následného porušení konstrukce trhlinami. Metodika je vypracována se záměrem vytvoření návodu, jak tyto masivní konstrukce navrhovat a provádět tak, aby byla v co možná největší míře eliminována rizika vzniku smršťovacích trhlin. Předmětem řešení je jednak přístup projektanta, který navrhuje tvar konstrukce se všemi požadavky na její vlastnosti, dále pak otázka návrhu receptury betonu jako stavebního materiálu a nakonec návrh technologického postupu výroby určené stavební konstrukce.*

*Metodika slouží jako pomůcka pro projektanty inženýrských konstrukcí a mostů při navrhování masivních betonových konstrukcí, především pak mostních opěr a opěrných zdí.*

### II) **Vlastní popis metodiky,**

*Metodika je zpracována na základě čtyřletého výzkumu a prováděných testů v rámci projektu „Vývoj postupů a pravidel pro proces návrhu, ukládání a ošetřování betonů s omezeným smršťováním a sníženým rizikem vzniku trhlin“ (TAČR 2013-2016). Jedním ze směrů projektu bylo stanovit pravidla pro návrh masivních konstrukcí s ohledem na eliminaci porušení od reologických změn betonu, především pak od smršťování betonu. V rámci tohoto výzkumného projektu byl na základě dostupných znalostí o reologickém chování betonů stanoven model chování masivní betonové konstrukce v čase od výroby betonu až po ukončení podstatné fáze jeho smršťování. Na základě teoretických předpokladů jsou navrženy konstrukční úpravy masivních konstrukcí a metodika poskytuje návod pro navrhování smršťovacích spár s ohledem na jejich funkčnost a smysluplnost.*

III) **Srovnání „novosti postupů“** oproti původní metodice (pokud existuje), případně jejich zdůvodnění, pokud se bude jednat o novou neznámou metodiku (§ 2, odst. 1, písm. a) a písm. d) bod 2 zákona č. 130/2002 Sb., o podpoře výzkumu, experimentálního vývoje a inovací, ve znění pozdějších předpisů),

*Autorům metodiky není známo, že by v České republice v minulosti podobná metodika nebo srovnatelný materiál existoval. Pro návrh smršťovacích spár masivních konstrukcí jsou sice vypracovány detaily řešení ve vzorových listech vydaných ministerstvem dopravy a ředitelstvím silnic a dálnic, nikde však není popsán postup návrhu systému řízených spár s ohledem na rozměry konstrukce, rozdělení prvku pracovními spárami, podrobné řešení detailů a návazností jednotlivých konstrukčních částí atd. V minulosti byl případný návrh řízených smršťovacích spár v masivních železobetonových konstrukcích navrhován projektantem objektu pouze na základě vydaného detailu, ale často bez znalosti celé problematiky a podstaty uvedeného řešení. Dosud navrhované konstrukce byly často navrženy chybně, nebo nedořešeny ve svých detailech a souvislostech.*

*Za zásadní inovaci vůči předcházejícím postupům lze považovat vydání komplexní pomůcky pro pochopení problematiky smršťování masivních betonových a železobetonových konstrukcí s návrhem řešení eliminace poruch.*

IV) **Popis uplatnění certifikované metodiky**, informace pro jaký subjekt je určena a jakým způsobem bude uplatněna,

*Metodika je určena nejen projektantům, kterým poskytuje konkrétní návod pro návrh masivních konstrukcí, ale i pro všechny další subjekty, které se účastní výstavby inženýrských konstrukcí (investor, stavební dozor), kterým poskytuje další možnost alternativního technického řešení stavebních konstrukcí. Uplatnění nalezne metodika při navrhování spodních staveb mostů (především dálničních) a opěrných zdí. Přínos metodiky spočívá v podrobném popisu návrhu řešení a v návrhu provádění masivních betonových konstrukcí, kde poměrně jednoduchou konstrukční úpravou bez zásadní výrobní komplikace budou eliminovány rizika vzniku smršťovacích trhlin na povrchu betonových konstrukcí.*

V) **Ekonomické aspekty** – vyčíslení (v tis. Kč) nákladů na zavedení postupů uvedených v metodice a vyčíslení (v tis. Kč) ekonomického přínosu pro uživatele,

*Přímé vyčíslení nákladů na zavedení není možné a ani relevantní, protože se jedná o metodiku určenou pro zvýšení kvality stavebních konstrukcí.*

*Ekonomický přínos pro uživatele lze vidět ve značném zvýšení kvality stavebního díla při zanedbatelném navýšení nákladů. V případě správně navržené konstrukce spolu s kvalitním provedením budou mít tyto stavby výrazně vyšší životnost, odpadá riziko průběžných sanací v průběhu životnosti a zároveň se výrazně zvyšuje estetická hodnota stavebního díla..*

VI) **Seznam použité související literatury,**

*Seznam použité literatury je uveden přímo v metodice.*

VII) **Seznam publikací, které předcházely metodice** a byly publikovány (pokud existují), případně výstupy z určité znalosti, jestliže se jedná o originální práci.

- [1] Zvěřina V. a kol. *Analýza současného stavu*. Výroční zpráva projektu TA03030010, příl. 13.2 Průzkum stávajících mostních konstrukcí zaměřený na výskyt smršťovacích trhlin. 2012.

**Dedikace**

*Metodika je výsledkem řešení výzkumného projektu č. TA03030010 „Vývoj postupů a pravidel pro proces návrhu, ukládání a ošetřování betonů s omezeným smršťováním a sníženým rizikem vzniku trhlin“ s dobou řešení 2012 – 2014.*

## Cíl metodiky

Cílem metodiky je usnadnit návrh masivních částí betonových konstrukcí se zaměřením na využití při provádění monolitických opěrných zdí a mostních opěr. Právě tyto konstrukce jsou často navrhovány jako masivní betonové bloky, při jejichž návrhu a provádění je třeba respektovat reologické vlastnosti betonu při jeho tuhnutí a tvrdnutí, které jsou během zrání betonu v čase proměnné. Reologické změny betonu tvoří dominantní složku zatížení *od napětí v počátečních stádiích hydratace betonu* a spolu s rizikem technologie výroby tvoří nejvyšší riziko následného porušení konstrukce trhlinami. Metodika je vypracována se záměrem vytvoření návodu, jak tyto masivní konstrukce navrhovat a provádět tak, aby byla v co možná největší míře eliminována rizika vzniku smršťovacích trhlin. Předmětem řešení je jednak přístup projektanta, který navrhuje tvar konstrukce se všemi požadavky na její vlastnosti, dále pak otázka návrhu receptury betonu jako stavebního materiálu a nakonec návrh technologického postupu výroby určené stavební konstrukce.

### 1. ÚVOD

Beton je z hlediska struktury uměle vyrobeným kamenem (slepencem) vytvořený ze stálých složek, kterými jsou jako plnivo – kamenivo, pojivo – cement, voda a plynná složka – vzduch uzavřený v pórech. Jako nestálé složky jsou často používány přísady měnící charakter betonu, nebo příměsi, měnící a upravující některé jeho vlastnosti a případné teplo, upravující chemickou reakci.

Kvalitu a způsob použití betonu výrazně ovlivňuje druh pojiva (cementový beton, asfaltový beton, plastbeton), plnivo (kamenivo, škvára, keramzit) a přísad a příměsí (plynobeton, vodotěsný, provzdušněný, žáruvzdorný, protismršťující, kyselinovzdorný...)

Konstrukční beton má podobné vlastnosti jako přírodní kámen. Jedná se o pevnou stavební látku s výrazně odlišnými vlastnostmi v tlaku a v tahu. Pevnost v tahu bývá zpravidla 1/10-1/15 pevnosti betonu v tlaku. Při tahovém namáhání je beton náchylný ke vzniku trhlin, jejichž rozvojem dojde k oslabení průřezu. Při dlouhodobém zatěžování působí beton pružně-plasticky, při rychlém zatížení na mez pevnosti se poruší křehkým lomem.

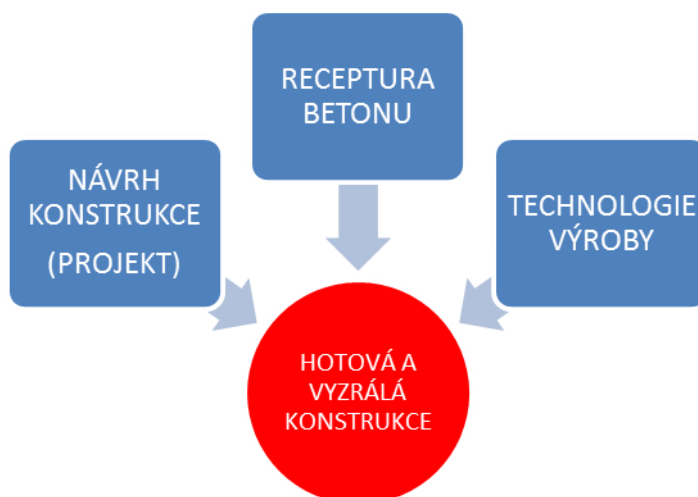
Beton jako stavební materiál se vyznačuje specifickými reologickými vlastnostmi, tedy změnou objemu v průběhu výroby, tuhnutí, tvrdnutí a stárnutí betonu v čase. Tento jev je u cementových betonů nevyhnutelný, neboť se jedná o specifickou vlastnost cementu

používaného jako běžné pojivo betonu. S těmito reologickými vlastnostmi je nutné uvažovat jak při návrhu konstrukce, tak i při jeho výrobě, neboť tyto objemové změny působí jako podstatné zatížení celého stavebního prvku.

Pro výstavbu mostních konstrukcí je beton jedním z nejvýznamnějších stavebních materiálů. V kombinaci s vhodně navrženou betonářskou nebo předpínací výztuží můžeme navíc vyrobit konstrukci vyhovující konkrétním požadavkům stavebního prvku a zároveň potlačit negativní vlastnosti betonu.

## 1.1. Základní princip řešení

V prvním kroku je třeba si uvědomit, jaké činnosti ovlivňují kvalitu realizovaného díla. Na Obr. 1 je graficky znázorněn vliv jednotlivých faktorů, které významně určují a ovlivňují výsledný prvek.



Obrázek 1 - Postupný vliv jednotlivých činností na kvalitu konstrukce

## 1.2. Základní popis reologie betonu při jeho výrobě, tuhnutí a tvrdnutí

### 1.2.1. Dotvarování a smršťování

Dotvarování a smršťování betonu jsou nejdůležitějšími reologickými vlastnostmi betonu, při kterých dochází k jeho objemovým změnám.

Podstata dotvarování betonu je zřejmá z chování cementového gelu. Ten obsahuje vodu chemicky vázanou, dále vodu v mikropórech a vodu kapilární. Dlouhodobým působením napětí je voda z mikropórů vytlačována do kapilár, odkud se vypařuje. Napětí je tak postupně přenášeno z viskózního stavu na pružnou kostru, přičemž se realizuje



přetvoření od dotvarování. Velikost přetvoření od dotvarování je závislá na dlouhodobě působícím napětí v betonu, čase zatížení, na vlastnostech cementu, plniva a množství záměsové vody, na rozměrech prvku a na vlhkostních a teplotních poměrech okolního prostředí.

Ke smršťování betonu dochází, když se vypařuje chemicky volná voda z kapilár cementového gelu. Vytváření vodních menisků v kapilárách je doprovázeno vznikem povrchových tahových napětí (kapilární napětí). Toto napětí vytváří tlak na pevnou fázi – skelet, jehož deformace se projevuje jako smršťování. Smršťování betonu tedy nezávisí na tom, zda je konstrukce zatížena, či nikoliv, ale na vlhkostních a teplotních podmínkách v okolním prostředí, na stáří a složení betonu a na dimenzích konstrukčního prvku. Kromě výše popsaného smršťování vysycháním, které tvoří majoritní složku celkového vysychání, se setkáváme ještě se smršťováním autogenním, které je způsobeno zmenšením objemu vlivem přeměny vody a cementu na cementový tmel. Tato složka smršťování je podstatná především u betonů s vyšší pevností (krychelná pevnost  $>40$  Mpa a vodním součinitelem  $w/c > 0,45$ ). Tato složka smrštění může u těchto betonů dosáhnout hodnoty  $\varepsilon = 0,1\%$ . U vysokohodnotných betonů s vodním součinitelem  $w/c < 0,4$  může pak autogenní smrštění dosáhnout hodnoty až  $0,35\%$ , což je srovnatelné s hodnotou smršťování od vysychání.

Průběh smršťování v čase je u výše uvedených druhů smrštění odlišný. U autogenního smršťování zaznamenáváme zásadní nárůst především v raných stádiích tvrdnutí betonu, kdy je hydratace betonu největší, zatímco u smršťování vysycháním probíhá smršťování betonu výrazně déle. Obecně lze tvrdit, že podstatná část smrštění proběhne (s ohledem na okrajové podmínky) během několika měsíců, avšak nadále pokračuje během celé životnosti konstrukce.

Smršťování betonu je tedy jev pro beton charakteristický a při použití současných cementů jev nevyhnutelný. Jedná se o zmenšování objemu betonu, jehož průběh je ovlivňován celou řadou vlivů:

- Vlastnosti použitého cementu (jemnost mletí, zdroj vápence, technologie výroby)
- Množství cementu v navržené receptuře
- Teplota betonové směsi
- Vliv prostředí na povrchu betonu (teplota, vlhkost, vítr)

Výše popsané vlivy je třeba uvážit ve všech třech fázích výroby betonu (návrh konstrukce, volba receptury, technologie výroby)

### 1.2.2. Modul pružnosti

Modul pružnosti je základní veličinou udávající tuhost betonu. Závisí na řadě vlastností, zejména na složení, pevnosti, objemové hmotnosti betonu a typu kameniva. Z hlediska rozvoje trhlin od smršťování betonu je zajímavé sledovat nárůst modulu pružnosti v čase, neboť jeho vysoká hodnota přímo zvyšuje tahové napětí betonu a tedy i riziko vzniku trhlin.

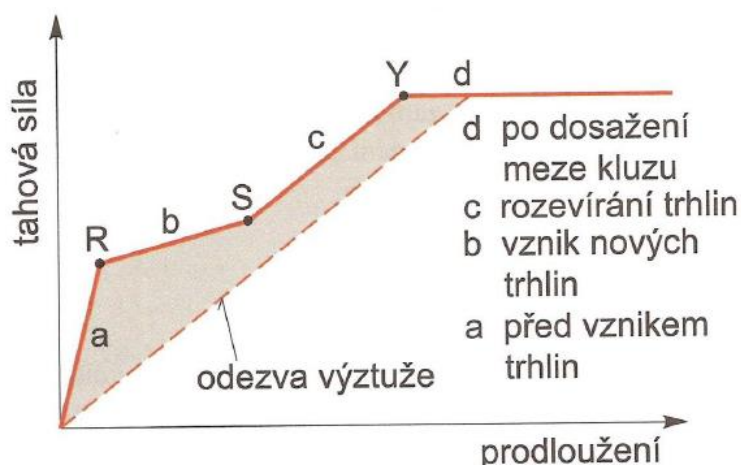
## 2. TEORIE PORUCHY BETONU OD SMRŠŤOVÁNÍ

### 2.1. Teorie vzniku smršťovacích trhlin

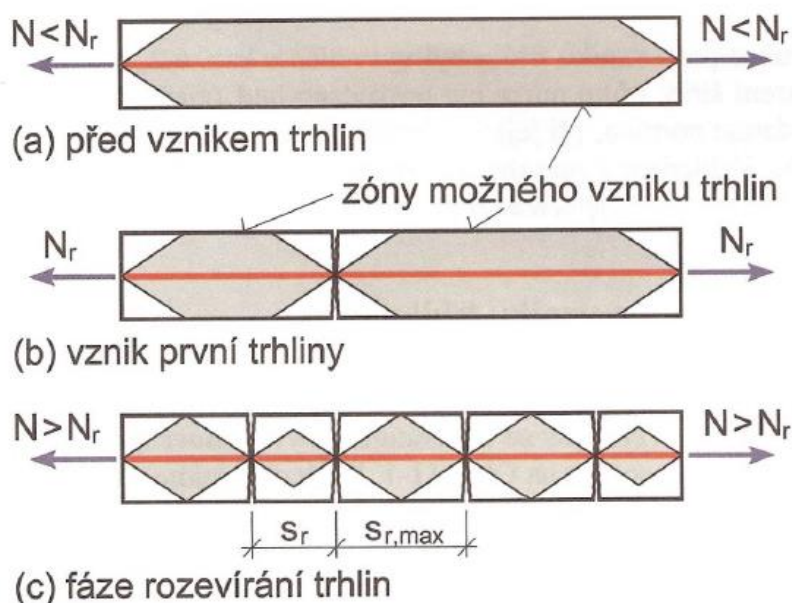
Ke smršťování betonu dochází při výrobě všech betonových prvků bez výjimky. Vlastní průběh smrštění bude při výrobě každého konkrétního vzorku odlišný, neboť jak už bylo uvedeno, každý prvek je vystaven odlišným klimatickým podmínkám a případně i jiným okrajovým podmínkám důležitým pro průběh smršťování betonu. Pokud betonovanému prvku není ve smršťování (zkrácení) bráněno, pak se jedná o smršťování volné. Dílec v čase mění svůj objem, ale nevzniká v něm žádná napjatost a nehrozí jeho porušení. Toto je například případ prefabrikovaných betonových výrobků, které jsou vyráběny v ocelových bednách s použitím separačního nátěru. Pokud je však vyráběné konstrukci bráněno ve volné změně objemu, vzniká v ní s rostoucím smrštěním i hodnota napětí v tahu, které je současně korigováno hodnotou dotvarování betonu. Pokud však tahové napětí betonu dosáhne meze pevnosti v tahu betonu, začnou se v betonovém dílci tvořit trhliny. Jejich vznikem dojde k rozdělení betonového prvku na menší části a následné smršťování bude pokračovat již jako volné smrštění na trhlinou rozdělených prvcích. Pokud hovoříme o rozdělených prvcích, znamená to, že je pouze přerušena kontinuita betonu. Betonářská (příp. předpínací) výztuž procházející trhlinou porušena nebude a konstrukční prvek bude dále celistvý.

### 2.2. Průběh rozvoje trhlin

Při předpokladu, že smrštění betonu probíhá po celém průřezu prvku rovnoměrně, můžeme výše popsanou teorii vzniku smršťovacích trhlin znázornit na časové ose. Během tuhnutí a tvrdnutí betonu prochází betonový prvek vývojem několika fází. Na obr. 2 je znázorněn graf vývoje konstrukce v závislosti na nárůstu tahové síly v betonu od smršťování. Na obr. 3 je pak znázorněn průběh rozvoje trhlin, který odpovídá jednotlivým polohám na grafu.



Obrázek 2 - Graf rozvoje trhlin v závislosti na růstu tahové síly v betonu od smrštění



**Obrázek 3 - Vývoj rozvoje trhlin v konstrukci**

Zóna „a“ představuje časový úsek od vybetonování konstrukce do stavu, kdy napětí dosáhne pevnosti betonu v tahu. V této fázi je konstrukce neporušená trhlinami a předpokládáme, že tahové napětí v betonu je po celém prvku konstantní. V bodě „R“ dosáhne tahové napětí meze pevnosti betonu v tahu a ve sledovaném prvku vznikne první smršťovací trhlina.

Zóna „b“ představuje časový úsek, ve kterém tahové napětí betonu nemůže dále stoupat a v konstrukci vznikají další smršťovací trhliny. V bodě „S“ je pak rozvoj nových trhlin ukončen.

Zóna „c“ pak představuje stav, kdy je konstrukce rozdělena na úseky, kde již probíhá volné smršťování betonového prvku. Tahové napětí betonu je již neměnné a vlivem pokračujícího smršťování se trhliny v betonu rozšiřují. Ve vzniklé trhlině přenáší tahové napětí pouze betonářská výztuž. V tomto stavu můžeme již konstrukci řešit jako konstrukci porušenou trhlinami o šířce  $w(t)$  a ve vzdálenosti  $S_r$ .

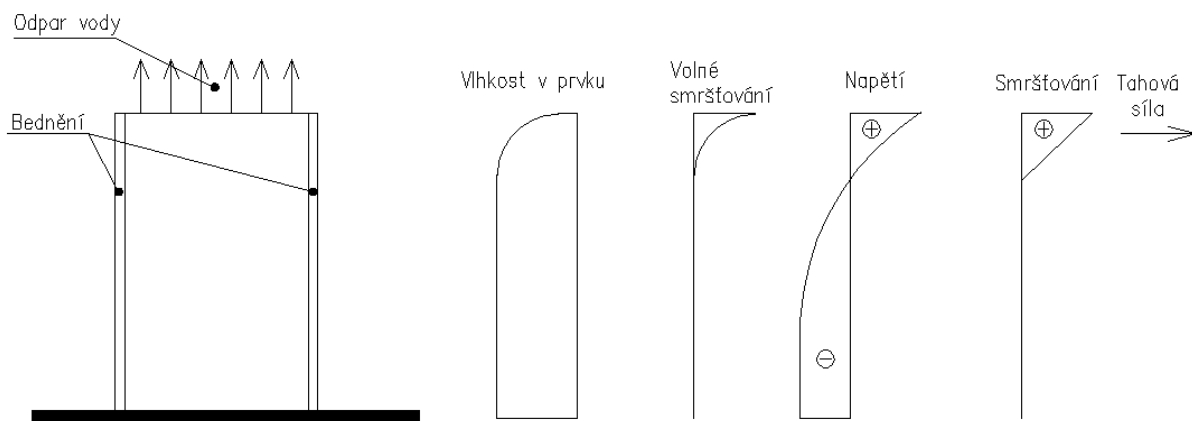
### 2.3. Průběh rozvoje trhlin v masivních konstrukcích

Jako vzorek masivní konstrukce v dopravní infrastruktuře si můžeme představit opěru mostu. Zjednodušeně se jedná o konstrukci tvaru kvádrů, který je u dolní strany pevně spojen s pevnou konstrukcí (základem), jejíž objemové změny již byly z převážné části ukončeny. Rozměry těchto konstrukcí jsou velice různé a je rozhodující jestli se jedná o dřík, závěrnou zídku, nebo třeba křídlo vybetonované na základovém pasu. Zpravidla se však vždy jedná o konstrukci tloušťky několika desítek centimetrů, výšky minimálně jeden metr a délky několika metrů.

V masivních konstrukcích musíme předpokládat, že průběh smršťování betonu v prvku není rovnoměrný. V oblastech u horního povrchu, resp. u povrchu vystaveného rychlejšímu vysychání dojde k výrazně vyššímu smršťování než v jádru nebo v dolní oblasti konstrukce. Na obr. 4 je znázorněn teoretický průběh smršťování na modelu kvádrů. Ilustrovaný případ

předpokládá mostní opěru, betonovanou do průběžného oboustranného bednění na pevném základě, kdy již značná část smršťování proběhla.

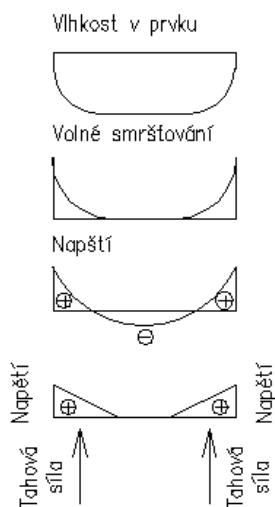
1. FÁZE – PO BETONAŽI



2. FÁZE – PO ODBEDNĚNÍ



SMRŠTĚNÍ PO ŠÍŘCE PRVKU



**Obrázek 4 - Průběh smršťování v masivním prvku**

Z grafického znázornění je patrné, že v raných stádiích tvrdnutí betonu sledovaných konstrukcí dochází k poměrně výraznému smršťování při horním povrchu prvku, kdy se voda odpařuje výrazně rychleji než voda z jádra a dolní oblasti tělesa. Tahové napětí betonu po výšce průřezu tedy stoupá výrazně rychleji než v ostatních částech průřezu. Po následném odbednění svislých povrchů se tento jev začne projevovat prakticky po celém obvodu (mimo dolního povrchu spojeného se základem a nastane výrazné tahové namáhání povrchových vrstev betonu s následným rozvojem smršťovacích trhlin. Tyto povrchové trhliny způsobí oslabení (vrub) průřezu a i přes výrazně menší smršťování v jádru průřezu se trhlina rozšíří přes celý průřez. Tímto způsobem dojde k rozdělení celé konstrukce na jednotlivé smršťovací bloky a smršťování od vysychání jádra průřezu se již bude realizovat na těchto vzájemně oddělených prvcích.

Smršťovací trhliny budou tedy vznikat po obvodu průřezu a dále se budou šířit ke středu průřezu. Predikci smršťovacích trhlin je tedy třeba určit po obvodu průřezu konstrukce.

### **3. VLIV SLOŽENÍ BETONU NA VZNIK SMRŠŤOVACÍCH TRHLIN**

Významným faktorem výrazně ovlivňujícím rozvoj smršťovacích trhlin v masivních konstrukcích je vlastní volba receptury betonu. V současné době, kdy se do projektu stavební konstrukce specifikuje celá řada požadavků na použitý beton (mimo pevnostních tříd též požadavky na odolnosti vlivu prostředí, modul pružnosti atd.) je možné specifikovat i další požadavky za účelem snížení smršťování betonu.

#### **3.1. Vliv surovin pro výrobu betonu na smršťování betonu**

Výzkum vlivu surovin na smršťování betonu byl proveden v rámci výzkumného projektu [10]. Cílem, bylo postihnout význam jednotlivých surovin, s ohledem na odolnost betonu proti vzniku smršťovacích trhlin. Výsledky z výše uvedeného projektu můžeme stručně charakterizovat následovně:

##### **3.1.1. Vliv vlastností a obsahu cementu**

Vliv druhu cementu na smršťování betonu je významný, nikoliv však jednoznačný. Podle provedených zkoušek byly zjištěny rozdíly ve smršťování cementů od jednotlivých výrobců až 70%, přičemž se nepodařilo prokázat pravou příčinu rozdílného smršťování jednotlivých cementů. Vzhledem k tomu, že zásadní vliv na smršťování betonu má právě cement, je tento rozptyl značný a neopomenutelný. Dokazuje rovněž, že postupy pro výpočet smršťování uvedené v předpisech pro navrhování konstrukcí (např. soubor eurocódů) nemusí uvádět vždy relevantní výsledky, které je tedy následně nutné uvažovat s patřičnou tolerancí.

Vzhledem k tomu, že smršťování betonu je způsobené smršťováním cementu, bude mít jeho obsah v betonové směsi zásadní vliv na výsledný průběh smršťování betonu. Pro návrh receptury je tedy vhodné volit třídu betonu pouze podle statických požadavků konstrukce a z hlediska životnosti a zbytečně nenavrhovat betony vyšších tříd, neboť tyto mají obvykle

vyšší obsah cementu a následně tedy větší smrštění. Množství cementu v navržené receptuře je vhodné navrhovat na minimální úrovni udávané platnými předpisy [11], [12].

### 3.1.2. Vliv kameniva

Vliv kameniva nemá přímý vliv na smršťování betonu, neboť smršťování betonu je vyvolané smršťováním cementu. Druh kameniva může však mít vliv na modul pružnosti betonu, který má při smršťování betonu přímý vliv na tahové napětí betonu. Při návrhu betonu odolného na vznik smršťovacích trhlin je vhodné použít kamenivo, které výrazně nezvyšuje modul pružnosti betonu. Návrh kameniva je třeba provést na základě zkušeností konkrétní betonárny.

### 3.1.3. Vliv přísad

Prokazatelný vliv na snížení smršťování betonu mají protismršťovací přísady na bázi vícemocných alkoholů. Použitím těchto přísad je možno redukovat smršťování betonu až na jednu polovinu. Tuto protismršťovací přísadu lze alternativně kombinovat i s expanzní přísadou, která způsobí zvětšení objemu v raných fázích tvrdnutí betonu a tím způsobí tlakové napětí v konstrukci. Následné smršťování se realizuje úbytkem tlakové rezervy v konstrukci, čímž se výrazně sníží výsledné tahové namáhání betonu. Použitím přísad lze tedy dosáhnout velmi příznivého chování betonu, který nebude konstrukci zásadně zatěžovat svým smršťováním. Při návrhu receptury je však nutné vhodně sladit poměry přísad a také doplnit přidáním superplastifikátoru, aby byla zajištěna dobrá zpracovatelnost betonové směsi.

V rámci projektu [10] byla vyvinuta a důkladně otestována receptura betonu třídy C30/37 s použitím výše uvedených přísad. Vyvinutá receptura je majetkem zpracovatele výzkumného projektu. Následnými testy bylo prokázáno výrazné snížení smrštění betonu, kdy výsledné tahové namáhání nepřekročí jeho pevnost v tahu. Při zvládnuté technologii výroby, dodržení všech obecných pravidel ukládání a ošetřování betonu je možno tímto způsobem zhotovit masivní konstrukci velkého rozměru bez velkého rizika porušení od smršťování.

Otázkou je však ekonomická výhodnost tohoto řešení, neboť cena za dodávku tohoto betonu odolného proti smrštění je o 70-90% vyšší než cena betonu standardního (ceny v roce 2016). Vzhledem k předpokladu použití tohoto betonu pro masivní konstrukce, bude cenové navýšení investic značné a v mnoha případech rozhodující pro neuplatnění této receptury a přijetí standardního řešení s řízenými smršťovacími spárami, kterými se zabývají další kapitoly této metodiky.

## 3.2. Návrh betonu s ohledem na platné předpisy

Specifikace betonu navrhované konstrukce je nedílnou součástí projektu a musí tedy respektovat požadavky příslušných návrhových předpisů. V oblasti mostů je návrh konstrukce prováděn podle ČSN EN 1992-1-1 [4] a ČSN EN 1992-2 [5]. Navržený beton musí zároveň respektovat i požadavky materiálové normy ČSN EN 206 [11] s doplňujícími požadavky uvedenými v ČSN P 73 2404 [12]. Vedle těchto norem musí návrh současně respektovat požadavky TKP 18 [13] vydaného ministerstvem dopravy. Všechny tyto dokumenty určují požadavky pro minimální třídu betonu s ohledem na stupeň vlivu



prostředí. Je pozoruhodné, že požadavky na minimální třídu betonu v závislosti na stupni vlivu prostředí se u všech těchto předpisů liší. Například [13] předepisuje pro spodní stavby mostů s odolností XF2 použití minimální třídu betonu C30/37, podle [11] a [12] je však možné použít beton C25/30. Naopak ve stupni vlivu prostředí XF1 a XF3, tedy bez působení CHRL předepisuje norma [11] minimální třídu C30/37, ale norma [12] třídu C25/30. Přitom právě tento faktor má zcela zásadní vliv na průběh smršťování.

Z hlediska návrhu masivních konstrukcí, kde je riziko poruchy vlivem smršťování výrazně vyšší než vlivem statického namáhání, je vhodné navrhnout takový beton, který bude mít požadovanou kvalitu z hlediska životnosti konstrukce při zachování „rozumné“ míry smrštění.

Ve všech návrhových předpisech pro beton jsou uvedeny požadavky na jeho složení a vlastnosti za účelem zajištění trvanlivosti betonu po celou dobu jeho životnosti. Tato pravidla však budou platit, pouze pokud bude beton celistvý, neporušený trhlinami. V případě vzniku smršťovacích trhlin, které mohou dosáhnout (a často dosahují) značné šířky, dojde k průniku agresivního prostředí k výztuži, čímž nastane její degradace a následným poruchám betonu. Smyslem této kapitoly je poukázat na fakt, že moderním trendem ve výrobě betonových konstrukcí je používat betony s vysokou pevností a tedy i s vysokým obsahem cementu. Zpracovatelnost betonové směsi bývá zajištěna superplastifikátory, odolnost proti CHRL pak provzdušňujícími přísadami. Tyto hodnotné betony ovšem vykazují značný nárůst smršťování a vznik smršťovacích trhlin je tedy téměř nevyhnutelný. Nehledě na estetickou stránku jsou tyto konstrukce „zranitelné“ právě ve vzniklých trhlinách.

Z hlediska zachování kvality betonové konstrukce po celou dobu její životnosti je důležité navrhnout vyváženou recepturu betonu s plynulou křivkou zrnitosti kameniva, s nízkým obsahem cementu a s dobrou zpracovatelností, pokud možno při nižším vodním součiniteli.

Vzhledem k nejednotnosti návrhových předpisů se nabízí potřeba vyvolání diskuze o úpravě požadavků pro konstrukční betony uvedené v předpisech [12] a [13] se zohledněním vlivu vázaného smrštění na trvanlivost konstrukce.

## **4. ŘEŠENÍ MASIVNÍCH KONSTRUKCÍ S OHLEDEM NA ODOLNOST PROTI SMRŠTĚNÍ**

Chceme-li navrhnout konstrukci z běžného betonu bez poruch (trhlin) od smrštění, musíme zachytit poměrně významné síly, které vznikají na styku betonované konstrukce a stávající pevné plochy, která volnému smršťování nové konstrukce zabraňuje. Dimenze betonářské výztuže zachycující tahy jsou však značné a vedou k nevhodnému návrhu konstrukce.

Efektivnějším způsobem řešení celé problematiky je rozdělení konstrukce na několik celků vzájemně rozdělených řízenými smršťovacími spárami, které budou následně upraveny a zatěsněny tak, aby nesnižovaly použitelnost a následnou životnost konstrukce.

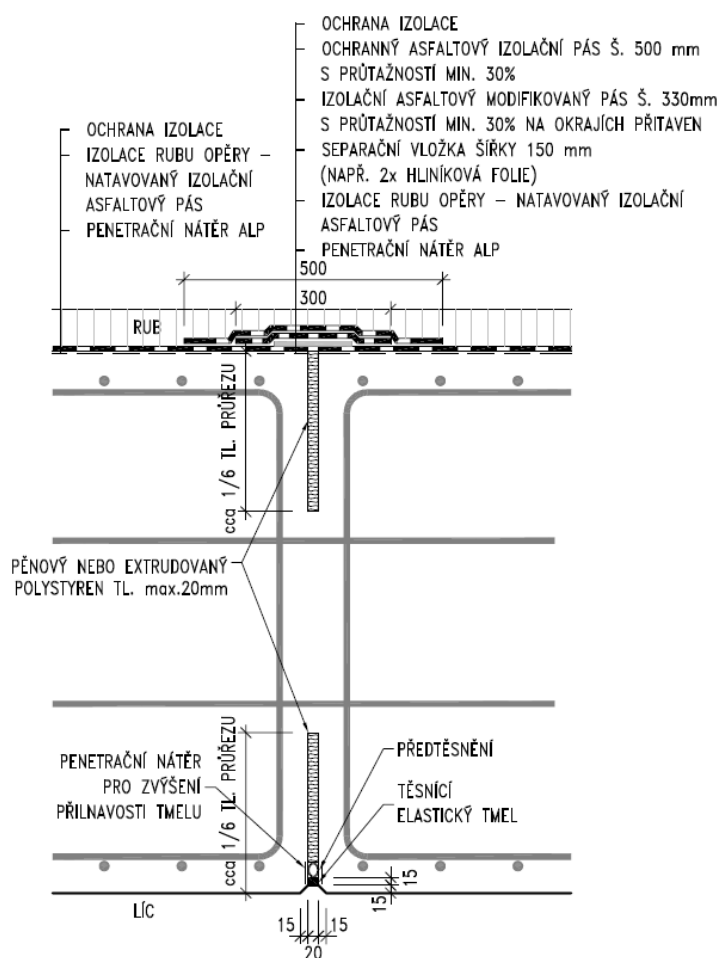
Principem řešení masivní konstrukce je predikce porušení prvku trhlinami v předem určených oslabených místech. V navržené konstrukci tak vzniknou trhliny, které ji rozdělí na samostatné smršťovací celky. Následné objemové změny se již budou realizovat jako volné pohyby v rámci jednotlivých celků při změně šířek jednotlivých řízených smršťovacích spár.

Při tomto přístupu k řešené problematice je třeba určit jednotlivé návrhové parametry a požadavky na:

- Konstrukční řešení řízených spár
- Délku dilatačních celků
- Těsnění řízených spár

#### 4.1. Konstrukční řešení řízených spár

Podstatou řešení smršťovací spáry je, aby v konstrukci vzniklo výrazné oslabení pevnosti celého průřezu při zachování celistvosti konstrukce. Toho lze dosáhnout zmenšením šířky betonového průřezu vložím pružné vložky k oběma stěnám prvku. Dále je nutné přerušit povrchovou betonářskou výztuž tak, aby nepřenášela napětí mezi jednotlivými dilatačními celky. Ve smršťovací spáře je pak přerušovaná výztuž nahrazena příložkami. Standardní řešení je uvedeno v [2], viz. obr. 5.



Obrázek 5 - Řešení smršťovací spáry

Podstatné pro funkčnost řízených spár je, aby oslabení průřezu bylo dostatečné. Na základě zkušeností z již provedených konstrukcí je třeba, aby oslabení spáry bylo alespoň 1/3 šířky



průřezu. Pružná vložka osazená do líce i rubu konstrukce bude tedy zasahovat do hloubky 1/6 šířky průřezu.

## 4.2. Délka dilatačních celků

Délka dilatačních celků závisí především na rozměru betonovaného prvku. Obecně platí, že u masivnějších konstrukcí je síla od smrštění výrazně větší než u méně masivních prvků a délka dilatačních celků bude tedy u větších prvků kratší. Na základě zkušeností z realizovaných konstrukcí a na základě provedených zkoušek lze doporučené délky dilatačních celků uvést v tabulce:

Šířka konstrukce	Vzdálenost smršťovacích spár
< 0,8m	6-8m
0,8-1,2m	5-7m
>1,2m	4-5m

**Tab. 1 – Doporučené vzdálenosti smršťovacích spár**

Konkrétní dilatační délky budou určeny v každém projektu při uvážení všech okrajových podmínek ovlivňujících smršťování betonové konstrukce (teplota, vlhkost prostředí, čas odbednění). Při volbě rozdělení smršťovacích spár je rovněž výhodné délky úseků přizpůsobit ekonomickým délkám betonářské výztuže mezi spárami (např. 6,0 m). V neposlední řadě je návrh délek smršťovacích celků třeba určit s ohledem na postupnou betonáž jednotlivých konstrukčních částí.

## 4.3. Těsnění řízených spár

Těsnění řízených spár je nejpodstatnějším faktorem správného návrhu. Účelem těsnění je vodotěsné uzavření vzniklé trhliny po celém obvodu průřezu. Návrh těsnění musí odolávat poměrně významnému dynamickému namáhání řízené spáry. Podstatné bude především postupné otevírání řízené trhliny v čase vlivem smršťování betonu, ale vlivem teplotním změn může nastat i částečné zpětné zavírání spáry. Použitý systém těsnění musí být tedy dostatečně elastický při dodržení přilnavosti k základnímu materiálu. Při návrhu těsnícího systému můžeme vycházet z osvědčených metod návrhu těsnění pracovních a dilatačních spár. Z materiálového hlediska můžeme těsnění spár rozdělit na dva základní systémy:

- těsnící profilované pásy
- těsnění tmelem

### 4.3.1. Těsnící profilované pásy

Těsnící profilované pásy nacházejí v současnosti široké uplatnění při provádění betonových konstrukcí. Vzhledem k odlišnosti konstrukcí, jsou na tyto pásy kladeny odlišné požadavky. V současnosti se pásy vyrábějí ve třech základních materiálových třídách.

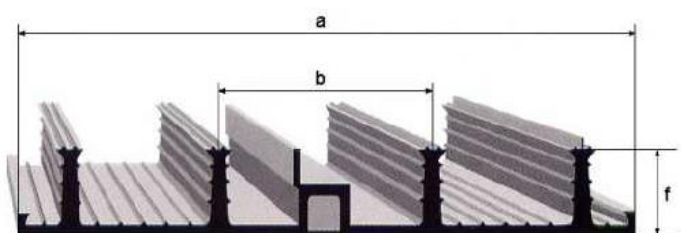
**Pásy z měkčeného PVC** jsou určeny pro spáry s očekávanými malými pohyby, které nejsou vystaveny nízkým teplotám. Stykování pásů se provádí svařováním.

**Elastomerové těsnící pásy** jsou určeny pro spáry, kde lze očekávat velké pohyby i výskyt nízkých i vysokých teplot (-30 až 60°C). Zároveň vykazují velkou trvanlivost. Jejich nevýhodou je poměrně komplikované spojování vulkanizací a vyšší cena.

**Směsné polymery** jsou vyráběny z vysoce hodnotného kaučuku, speciálních druhů PVC a změkčovadel. Obdobně jako elastomerové pásy jsou určeny pro velké dilatační pohyby s odolností do nízkých a vysokých teplot. Stykování pásů se provádí svařováním.

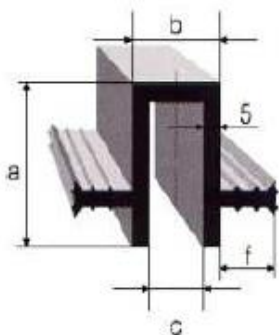
Pro navrhování smršťovacích spár je možno použít dvou základních typů těsnících pásů vzhledem k tvaru profilu.

Na rub opěry je možno použít vnější pás pro dilatační spáry viz. obr. 6.



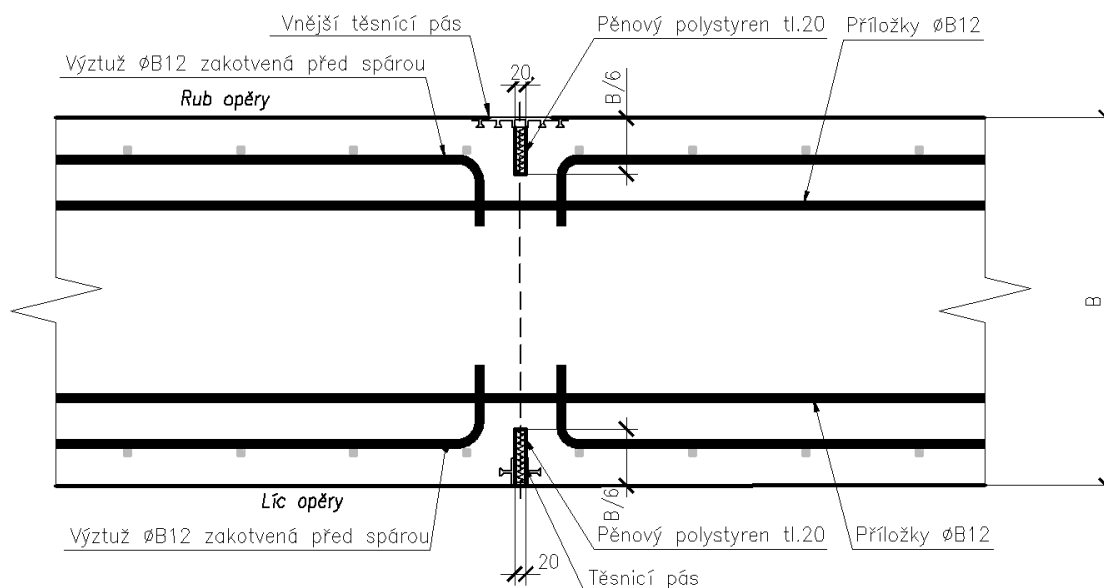
**Obrázek 6 - Vnější těsnící profil rubu smršťovací spáry**

Použití těsnícího profilu na rubu opěry je výhodné tam, kde se neuvažuje s její izolací natavovanými pásy v celém rozsahu. V lici opěry je možno osadit ukončovací profil, viz. obr. 7.



**Obrázek 7 - Tvar ukončovacího profilu pro těsnění líce smršťovací spáry**

Při použití těsnících pásů je třeba tyto pásy vždy důkladně napojovat (navářovat) přes pracovní spáry tak, aby byla zajištěna celistvost pásu po obvodě prvku. V rozích (vnitřních i vnějších) se pak pásy stykují přes tvarované prvky (vnější, vnitřní rohy). Při použití těsnících profilů je ale problematické vyřešit detail izolace odvodňovacího žlábků úložného prahu. Příklad řešení smršťovací spáry s použitím těsnících pásů je zobrazen na obr. 8.



**Obrázek 8 - Použití těsnících profilů ve smršťovací spáře**

#### 4.3.2. Těsnění tmelem

Výhoda tohoto systému spočívá především v dodatečném zatěsnění spáry, kdy odpadá celkem náročné osazování těsnících profilů na bednění konstrukce a jejich stykování svařováním. Do vzniklého prostoru smršťovací spáry se vloží profil předtěsnění. Pro tento prvek je výhodné použít těsnící PE provazec s průměrem o 10mm větším, než je šířka spáry. Následně bude provedeno těsnění trvale pružným tmelem podle požadavků normy ČSN ISO 11600. Tento systém je vhodný také pro zatěsnění odvodnění úložného prahu, kde lze očekávat jisté výrobní nepřesnosti vlivem betonáže. Zásadní výhodou také je, že tmelení se dá provést s jistým odstupem od betonáže, kdy již vzniknou ve smršťovacích spárách trhliny. Sníží se tedy následné namáhání tmelu a zároveň se ověří funkčnost celého systému.

## 5. NÁVRH MASIVNÍ BETONOVÉ KONSTRUKCE

Návrh masivních konstrukcí s ohledem na eliminaci poruch od smršťování budeme simulovat na příkladech mostních opěr. Vzhledem k charakteru stavebního prvku je třeba konstrukce rozdělit na:

Opěry standardních délek (do 15,0m)

Opěry širokých mostů (nad 15,0m)

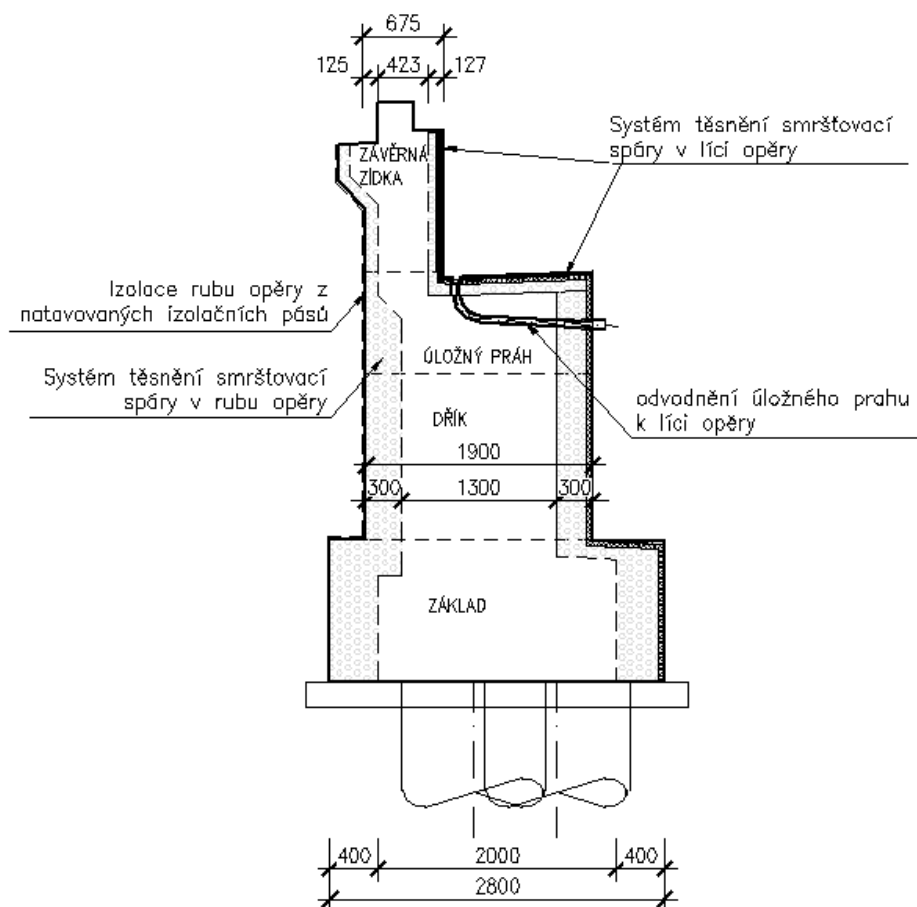
### 5.1. Opěry standardních délek (do 15,0m)

Jedná se o běžné mosty železničních jedno a dvoukolejných tratí a silničních mostů směrově nerozdělených, kde není třeba systém řízených smršťovacích spár zavádět. Pro zamezení rozvoje smršťovacích spár zpravidla postačí dodržet technologickou kázeň výstavby, a doporučení uvedené v kap. 6 této metodiky, které jsou obecně platné pro výrobu masivních konstrukcí dopravních staveb.

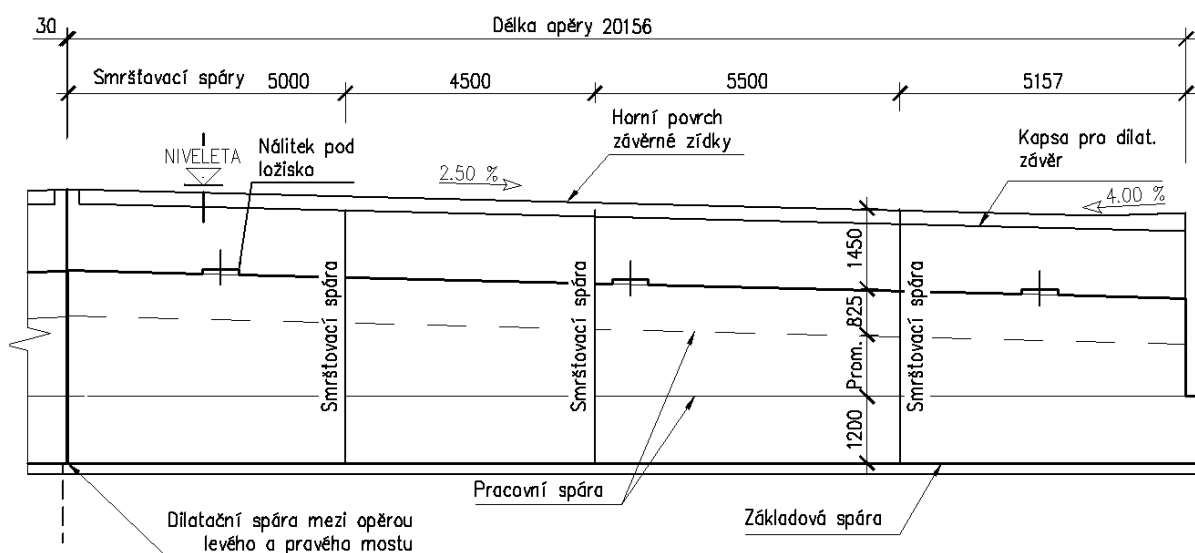
## 5.2. Opěry širokých mostů (nad 15,0m)

U širokých mostů (železničních vícekolejných a silničních směrově rozdělených, dálničních, případně s přípojovacími nebo odbočovacími pruhy) je nutno navrhovat mostní opěry délky přes 15,0m. V těchto případech již pouze technologická kázeň výstavby nepostačí a je nutné navrhnout konstrukční opatření, které eliminuje porušení betonu. Vzhledem k relativní jednoduchosti a ověřené funkčnosti se použití systému řízených smršťovacích spár nabízí jako velice vhodné řešení.

Návrh masivní betonové konstrukce budeme simulovat na konstrukci mostní opěry dálničního mostu pro 3 jízdní pruhy. Šířka mostu a tedy i délka opěry je 20,15m. Přehledná schémata (příčný řez a pohled) jsou znázorněny na obr.9 a 10. Vzhledem ke své délce je konstrukce rozdělena třemi smršťovacími spárami na čtyři smršťující dílce o délkách 4,5-5,5m. Délka smršťujících dílců je zvolena na základě „masivnosti“ konstrukce základu a dřívku opěry. Smršťovací spáry musí být provedeny ve všech jednotlivých konstrukčních částech (základ – dřík - úložný práh – závěrná zídka) a zároveň musí v jednotlivých konstrukčních částech vzájemně navazovat. Při návrhu smršťovacích spár není možné vycházet striktně podle návrhové tabulky č.1, ale vždy je nutné respektovat postup výstavby jednotlivých prvků s ohledem na predikci smrštění v jednotlivých stavebních fázích.



**Obrázek 9 - Řez mostní opěrou**



**Obrázek 10 - Pohled na opěru**

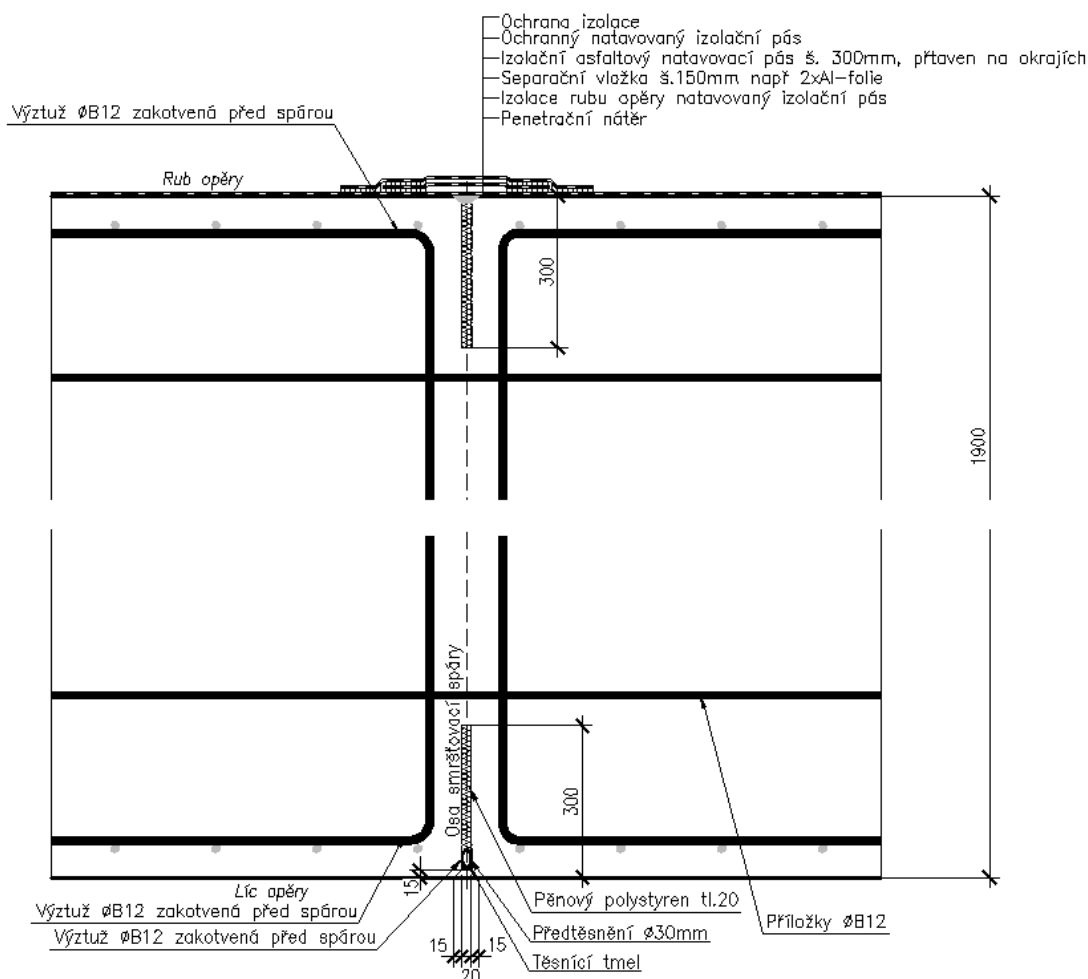
### 5.2.1. Základ opěry

V našem případě mostní opěry předpokládáme, že nejprve bude vybetonován masivní základ na hlubinném založení z velkopřůměrových vrtaných pilot. Vzhledem k velké průřezové ploše základu, proběhne v konstrukci značné smršťování. Tomuto smršťování budou částečně bránit velkopřůměrové piloty a bude se jednat o částečně vázané smršťování, kde již lze očekávat vznik smršťovacích trhlin. Návrh rozdělení smršťovacích trhlin proto provedeme pro masivní průřez základu s ohledem na částečnou poddajnost pilot. Pokud by opěra byla založena plošně, jednalo by se o volné smršťování, protože by základ mohl bez zábran měnit svůj objem. I v tomto případě by však musely být v základu navrženy smršťovací spáry a to z důvodu smršťování dřívku opěry, jak je vysvětleno v následujícím odstavci.

### 5.2.2. Dřík opěry

Mezi betonáží základu a dřívku opěry bývá zpravidla jistá časová prodleva, která je způsobena vázáním betonářské výztuže a přípravou bednění. Tuto nezbytnou pauzu uvažujeme v běžných případech v řádu několika týdnů. Za tuto dobu proběhne (v závislosti na klimatických podmínkách) již značná část smršťování základu a musíme jej tedy uvažovat jako pevnou podpěru zabraňující deformaci tvrdnoucího betonu dřívku. Navržení smršťovacích spár je tedy nevyhnutelné. Jelikož však již předpokládáme vznik smršťovacích trhlin v základu, musíme zachovat i toto rozmístění, neboť právě v řízené trhlině předem vybetonovaného prvku bude vlivem postupných deformací základu narůstat lokální namáhání.

Naopak, pokud bychom navrhli dřík opěry se systémem řízených smršťovacích spár na celistvém a kompaktním základu, došlo by vlivem vzniku trhlin v řízených spárách k lokálnímu namáhání základu a následnému potrhání základu. Tyto samovolné trhliny, by však nebyly nijak následně ochráněny a zatěsněny a vlivem zatékající vody by byla výrazně snížena trvanlivost konstrukce. Konstrukční řešení smršťovací spáry v uvedeném příkladu pro dřík a úložný práh je zobrazeno na obr. 11



**Obrázek 11 - Smršťovací spára v dříku a úložném prahu**

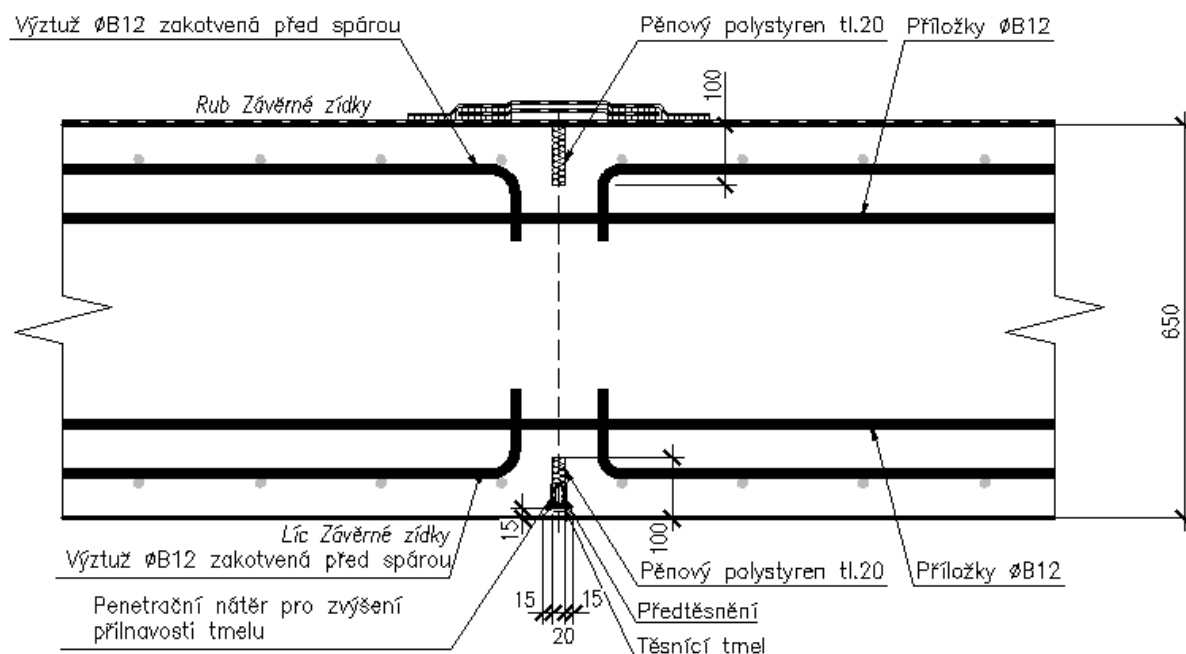
### 5.2.3. Úložný práh

Navazující konstrukce úložného prahu zpravidla odpovídá šířce dříku opěry. Opět je nutno respektovat již nastavené umístění řízených smršťovacích spár. V této konstrukční části je dále nutné řešit odvodnění úložného prahu. Tato problematika je popsána v samostatné kapitole 4.3. V současné době se často z důvodu zkrácení doby výstavby setkáváme s technologickým sloučením betonáže dříku opěry a úložného prahu. V tomto případě odpadá jedna pracovní spára a konstrukce je i z hlediska smršťování betonu namáhána výrazně méně.

### 5.2.4. Závěrná zídka

Mezi betonáží úložného prahu a závěrné zídka bývá zpravidla velice dlouhý časový odstup (i několik měsíců), neboť tato konstrukční část může být zhotovena až po betonáži a předepnutí nosné konstrukce mostu. Během této doby dojde k výraznému odsmršťování již vyrobené části konstrukce a rozvoji trhlin v zabudovaných řízených spárách. Rozmístění řízených smršťovacích spár musí opět navazovat na přechodí konstrukci, i když plocha

závěrné zídky je vzhledem k základu a dřívku opěry výrazně menší a teoreticky by vzdálenost spár mohla být větší. Rozvoj smršťovacích trhlin bude ale predikován předchozí konstrukcí. Smršťovací spáry v závěrné zídce budou zakončeny až na styku s kapsou pro dilatační závěr v líci a s kapsou pro přechodovou desku na rubu opěry.



**Obrázek 12 - Smršťovací spára v závěrné zídce**

Schéma smršťovací spáry pro závěrnou zídku je zobrazeno na obr. 9. Řešení vychází z typového řešení vydaného v mostních vzorových listech VL4 – 208.04. Řešení předpokládá, že rub opěry bude zaizolován natavovanými izolačními pásy. Pokud by byl navržen systém řízených smršťovacích spár ve všech konstrukčních částech opěry, není nutné provádět kompletní izolaci rubu opěry natavovanými izolačními pásy, ale postačí pouze izolační nátěr. Samotná izolace řízené spáry na rubu se provede natavením izolačních pásů přes separační hliníkovou vložku. Ta zabezpečí pružnou, nenatavenou délku izolačního pásu a tím i její funkčnost při dynamickém pohybu spáry. V líci opěry je pružná vložka zatěsněna standardním systémem tvořeným předtěsněním a trvale pružným tmelem. Hloubka osazení pružné vložky by měla být vždy navržena do hloubky B/6.

### 5.3. Odvodnění úložného prahu

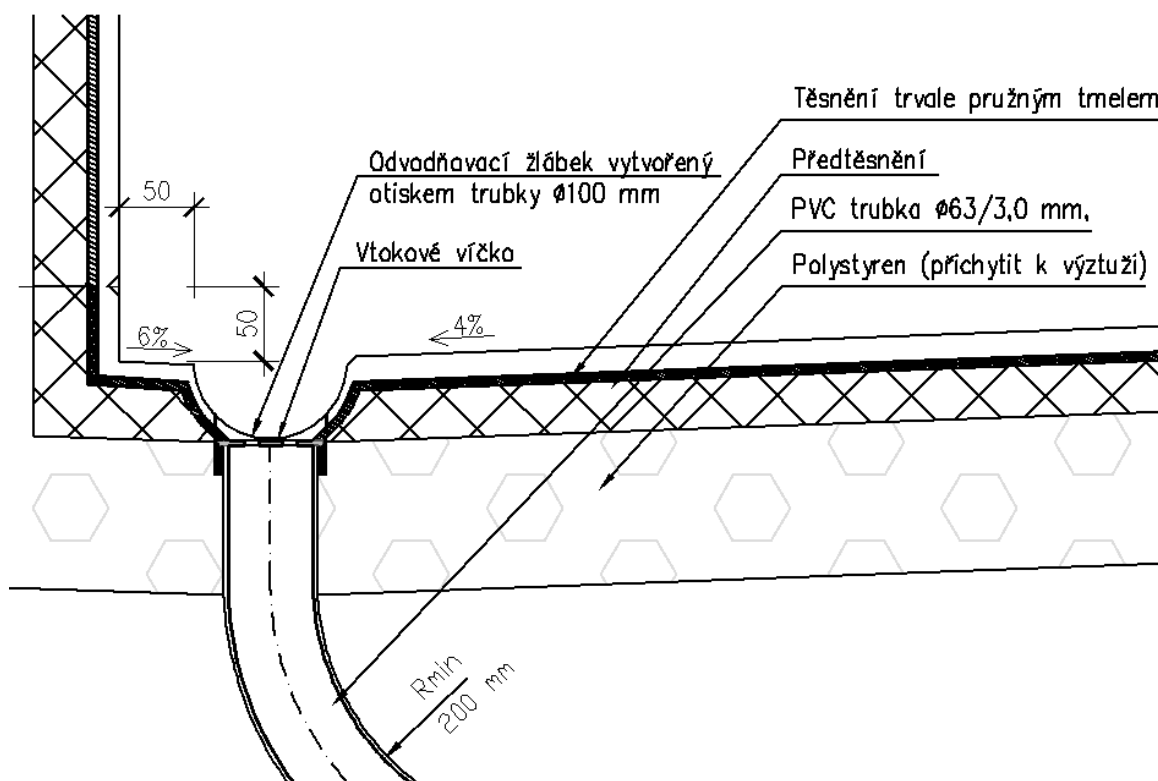
Použitím systému řízených smršťovacích spár dojde k rozdělení opěry na určitý počet kompaktních betonových celků vzájemně rozdělených smršťovací spárou. Zatěsnění této spáry je navrženo po celé její délce v líci a na horním povrchu úložného prahu. Zvláštní pozornost si zaslouží detail zatěsnění odvodňovacího žlábků úložného prahu.

Odvodňovací žlábek je proveden otiskem kruhové trubky do čerstvého betonu. Z funkčního hlediska plní úlohu případného odvodnění horního povrchu úložného prahu v případě poruchy těsnění dilatačního závěru. Žlábek bývá situován u líce závěrné zídky a voda je do něj sváděna skloněným povrchem úložného prahu ve sklonu 4% od líce opěry. Odvodnění

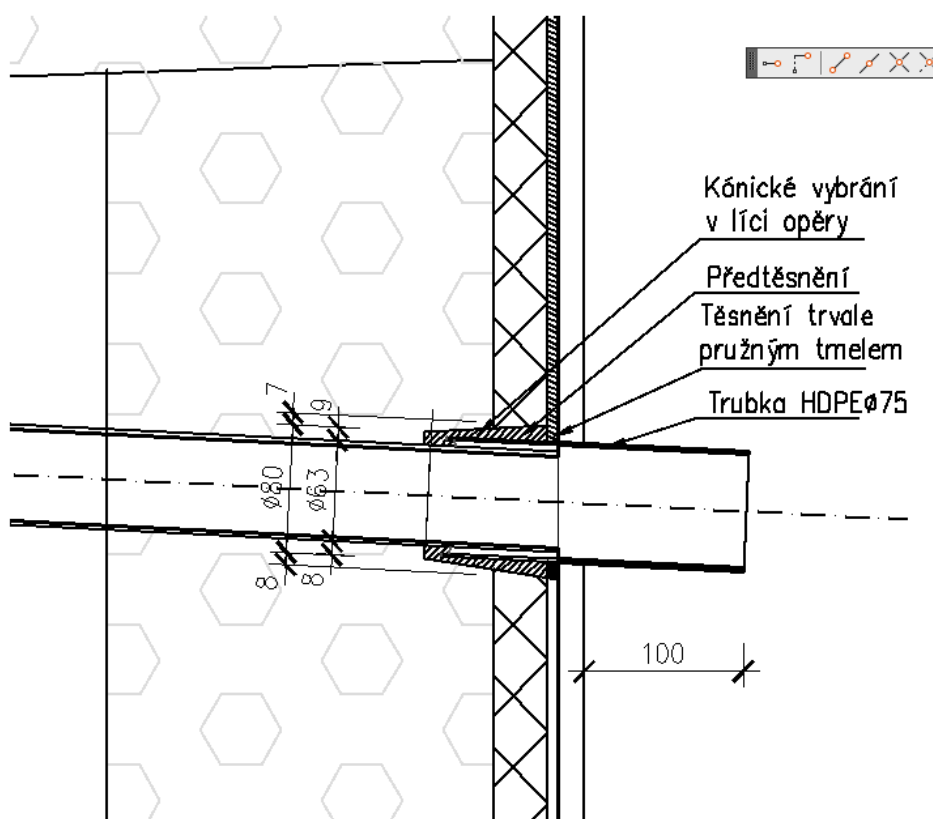


samotného žlábků je pak zajištěno minimálním podélným sklonem 2%. V běžném provozu bude žlábek úložného prahu suchý, v případě porušení gumového těsnění dilatačního závěru může dojít k výraznému zaplavení úložného prahu vodou s případnou příměsí Chrl. Vzhledem k charakteru a tvaru detailu zde vzniká velké riziko porušení konstrukce zatečením kontaminované vody do konstrukce vlivem porušení těsnění spáry. Z tohoto důvodu rozhodně není doporučeno těsnit odvodňovací žlábek stejným způsobem jako v líci opěry, ale spáru využít pro umístění odvodňovací trubky vyústěné v líci opěry. Detail odvodnění žlábků je znázorněn na obr. 13, vyústění odvodňovací trubky pak na obr. 14. Umístění odvodnění žlábků do řezu řízené smršťovací trhliny s sebou přináší následné výhody:

- vložená odvodňovací trubka způsobuje v konstrukci vrub, který přispívá ke vzniku trhliny v požadovaném řezu. Umístění odvodnění mimo řízenou spáru by bylo nesystémové a mohlo by způsobit nežádoucí trhliny v konstrukci.
- odvodnění žlábků do líce snižuje hladinu zaplavení úložného prahu a snižuje riziko zatečení vody s příměsí Chrl do betonu. Pokud by byl žlábek odvodněn pouze vyústěním do boku opěry, mohlo by dojít k výraznému zalití horního povrchu úložného prahu



**Obrázek 13 - Odvodnění žlábků úložného prahu**



Obrázek 14 - Vyústění odvodnění úložného prahu

#### 5.4. Konstrukční opatření systému řízených smršťovacích spár

Smyslem použití systému řízených smršťovacích spár, je rozdělit betonovou konstrukci na kompaktní celky bez trhlin, které budou rozděleny řízenými zatěsněnými spárami. Tyto spáry jsou vytvořeny vrubovým oslabením průřezu. Jsou to tedy místa s výrazně nižší únosností daného řezu, kde je vysoká pravděpodobnost výskytu trhliny. Při návrhu betonových konstrukcí je často kladen požadavek na umístění prostupů pro převedení inženýrských sítí, odvodňovacích potrubí, odvodnění drenáže, apod. Při návrhu těchto prostupů je třeba si uvědomit, že jejich umístěním vznikne v konstrukci další vrub, který bude v rozporu s předpoklady návrhu. Tento nesystémový vrub může způsobit vznik neřízené smršťovací trhliny a naopak v místě řízené trhliny, k žádné poruše nedojde. Při návrhu konstrukcí je tedy nutno přijmout následující doporučení:

- Prostupy inženýrských sítí navrhovat pokud možno v místě řízené smršťovací spáry a tvar prostupu přizpůsobit následnému zatěsnění prostupu. Pokud nelze upravit polohu prostupu přes konstrukci, je výhodné umístit řízenou smršťovací spáru v místě průchodky.
- V případě relativně malého prostupu je možné s ohledem na okolnosti navrhnout tento průchod i mimo řízené spáry. Oslabená plocha průchodkou však musí být výrazně nižší, než je oslabení řízenými smršťovacími spárami. V každém případě je

třeba průchody řádně vyztužit betonářskou výztuží, která zachytí tahy od případného vzniku trhlin, případně omezí šířku vzniklé trhliny.

- Umístění průchodek je třeba situovat v blízkosti konstrukce betonované v předchozí etapě. Smršťovací trhliny vznikají při volných koncích betonovaného prvku, proto by se v oblasti vzniku trhliny neměly vyskytovat žádné prostupy, který by konstrukci oslabovaly a tvořily by vrub.
- Řízené smršťovací spáry je třeba řádně vyztužit betonářskou výztuží. Minimální vyztužení by mělo být zajištěno vložkami  $\varnothing 12\text{mm}$  ve vzájemné vzdálenosti max. 150mm. Při horním povrchu, kde je očekáván vznik smršťovací trhliny, je doporučeno vyztužení zahustit o 30% plochy výztuže.

## 6. OBECNÁ TECHNOLOGICKÁ DOPORUČENÍ

- Vzhledem k nejednotnosti předpisů by bylo přínosné jejich sjednocení a případné doplnění o požadavky na konstrukční beton namáhaný vázaným smrštěním.
- Je vhodné používat betony s nižším obsahem cementu. Navrhovat betony nižších tříd v rámci možností podle platných návrhových předpisů. U masivních konstrukcí není zpravidla při návrhu rozhodující pevnost betonu, proto je nelogické pro tyto konstrukce používat betony vyšších tříd. V případě nutnosti použití betonu vyšší třídy, je namísto zvážení použití protismršťovacích a expanzních přísad. K návrhu těchto konstrukcí je však nutno přistupovat individuálně.
- Vhodné je používat beton s nižším vodním součinitelem. Ukládání betonu je nutno provádět po vrstvách s následným důkladným zhutněním. Jednotlivé vrstvy pak musí být navzájem betonovány kontinuálně bez zbytečných technologických přestávek a vzájemně provibrovány. I „hustší“ betonovou směs je možno tímto způsobem řádně zpracovat.
- Volné povrchy betonu je třeba zajistit proti odpařování vody. V případě, kdy není možné povrch betonu přikrýt nepropustnou fólií, je vhodné aplikovat nátěr (nástržik) proti odpařování vody. Tyto nástržikové systémy jsou v dnešní době již běžně dostupné a nejsou vzhledem ke své účinnosti zvláště nákladné.
- Konstrukci ponechat v bednění minimálně 7 dní, aby se zamezilo výraznému odparu vody v raných stádiích tvrdnutí betonu
- Projektant by měl v konstrukcích vystavených vázanému smrštění navrhnout výztuž na hranici minimálního (jmenovitého) krytí. Při „utopené“ výztuži výrazně roste riziko vzniku trhlin!
- V případě použití expanzních přísad je nutné posoudit také namáhání betonu tlakem v raných stádiích tvrdnutí betonu. V těchto případech je nutné konstrukci řádně vyztužit betonářskou výztuží.

## 7. SEZNAM POUŽITÝCH PRAMENŮ

- [1] Vyztužení deskových konstrukcí na účinky smršťování (ISBN 978-80-87158-32-6) Sborník betonářské dny 2012.
- [2] Vzorové listy staveb pozemních komunikací
- [3] ČSN EN 1990. Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. Únor. Praha: Český normalizační institut, 2011
- [4] ČSN EN 1992 -1-1. Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Listopad. Praha: Český normalizační institut, 2006
- [5] ČSN EN 1992 -2. Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – část 2: betonové mosty - navrhování a konstrukční zásady. Květen. Praha: Český normalizační institut, 2007
- [6] Ing. Roman Šafář, Ph.D, konference Mosty 2010 (sborník) - Účinky objemových změn betonu na spřažené konstrukce
- [7] DIN V 18197. Vornorm. Abdichten von Fugen in Beton mit Fugendbänder, 10/2005
- [8] Chmelík J. Seminář Mostní výrobky pro betonové konstrukce a mosty, Spáry v betonu spodních staveb mostů, praktické navrhování a provádění
- [9] Štěpánek P. Betonové konstrukce, prvky betonových konstrukcí, navrhování podle mezních stavů. Brno, 1998
- [10] Terzijski I., Zvolánek L., Kratochvíl M. TA 03030010 – Vývoj postupů a pravidel pro proces návrhu, ukládání a ošetřování betonů s omezeným smršťováním a sníženým rizikem vzniku trhlin - Analýza a experimentální ověření vlivu surovin pro výrobu konstrukčního betonu na míru smršťování betonu.
- [11] ČSN EN 206. Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda, 2014
- [12] ČSN P 73 2404. Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda – doplňující informace
- [13] TKP 18 – Betonové konstrukce a mosty, Ministerstvo dopravy - 2016

**Zpracovatelé metodiky:**

Ing. Vojtěch Zvěřina  
[vojtech.zverina@fiserv.cz](mailto:vojtech.zverina@fiserv.cz)

ze společnosti Vladimír Fišer  
Mlýnská 68, 602 00 Brno  
[www.fiserv.cz](http://www.fiserv.cz)

**Jména oponentů:**

Ing. Aleš Kratochvíl  
Ing. Marie Birnbaumová

S podporou projektu TAČR 03030010 Vývoj postupů a pravidel pro proces návrhu, ukládání a ošetřování betonů s omezeným smršťováním a sníženým rizikem vzniku trhlin