

# ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra betonových a zděných konstrukcí



## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Pracovní spáry a smršťovací pásy betonových konstrukcí

Autor: Ian Crowther

Vedoucí práce: doc. Ing. Jitka Vašková, CSc.

Akademický rok: 2021/2022

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Crowther</u>	Jméno: <u>Ian</u>	Osobní číslo: <u>477015</u>
Zadávací katedra: <u>11133_katedra betonových a zděných konstrukcí</u>		
Studijní program: <u>Stavební inženýrství</u>		
Studijní obor/specializace: <u>Konstrukce pozemních staveb</u>		

### II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: <u>Pracovní spáry a smršťovací pásy betonových konstrukcí</u>	
Název bakalářské práce anglicky: <u>Construction and Shrinkage Joints in Concrete Structures</u>	
Pokyny pro vypracování: Souhrn poznatků z literatury a realizací - vysvětlení pojmů, technologické postupy, navrhování spár zejména u železobetonových konstrukcí Příklady konstrukcí, u vybraných typů návrh a posouzení dopadu realizace spár na vyztužení a statické působení	
Seznam doporučené literatury: Souvisící normy pro navrhování betonových konstrukcí Skripta a odborná literatura dle konzultací Podklady výrobců a zhotovitelů staveb - příklady realizací	
Jméno vedoucího bakalářské práce: <u>doc. Ing. Jitka Vašková, CSc.</u>	
Datum zadání bakalářské práce: <u>14.2.2022</u>	Termín odevzdání BP v IS KOS: <u>15.5.2022</u> <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.*

21.2.2022

Datum převzetí zadání



Podpis studenta(ky)

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Pracovní spáry a smršťovací pásy betonových konstrukcí“ vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne

.....

Ian Crowther

.....

## **Abstrakt:**

Tato bakalářská práce je zaměřena na problematiku provádění pracovních spár a smršťovacích pásů. Ze začátku se práce zabývá spojením betonových vrstev odlišného stáří. Následně jsou popsány a rozděleny jednotlivé typy styků betonových prvků. Výsledkem první části práce je návrh a popis optimálního provedení pracovních spár. Důraz byl kladen na pracovní spáry ve vodorovných konstrukcích. Druhá část práce se zabývá smršťováním betonu. Spolu s popisem problematiky smršťování byly popsány faktory, které ovlivňují deformace a napětí od smrštění betonu. Druhá část práce je zakončena popisem a návrhem technologického provedení smršťovacích pruhů.

## **Klíčová slova:**

Betonové konstrukce, soudržnost betonových vrstev, pracovní spára, celistvost, smršťování betonu, smršťovací pás

## **Abstract:**

This bachelor thesis focuses on the issue of the implementation of construction and shrinkage joints. Initially, the thesis deals with the joining of concrete layers of different ages. Subsequently, the different types of joints of concrete elements are described and classified. The first part of the thesis results in the design and description of the optimum design of construction joints. Emphasis was placed on construction joints in horizontal structures. The second part of the work deals with concrete shrinkage. Along with the description of the shrinkage problem, the factors that influence the deformation and stresses from concrete shrinkage were described. The second part of the thesis is concluded with the description and technological implementation of shrinkage strips.

## **Key words:**

Concrete structures, cohesion of concrete layers, construction joint, integrity, shrinkage of concrete, shrinkage joint



## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jitce Vaškové, CSc. za ochotu, trpělivost a za poskytnuté konzultace a cenné rady. Dále bych rád poděkoval firmě Metrostav a. s., přesněji Divizi 6 – železobetonové konstrukce, zejména pak panu Bc. Radku Čermákovi a paní Ing. Ludmile Kostkové za užitečné rady a praktického pohledu z realizace. V neposlední řadě děkuji rodičům a blízkým za podporu během celého mého dosavadního studia.

# Obsah

Úvod.....	8
1 Spáry v betonových konstrukcích.....	9
1.1 Soudržnost betonových vrstev .....	9
1.1.1 Přirozená soudržnost.....	10
1.1.2 Tření vrstev betonového styku.....	12
1.1.3 Vlivy na soudržnost betonových vrstev.....	13
1.2 Dilatační spáry .....	15
1.2.1 Návrh dilatačních celků z důvodu objemových změn.....	16
1.2.2 Dopad rozdílného sedání základů na dilatační celky.....	17
1.3 Plánované pracovní spáry .....	18
1.3.1 Pracovní spáry v masivních betonových konstrukcích.....	19
1.3.2 Omezení realizačních prostředků zhotovitele.....	21
1.3.3 Přerušení vodorovných monolitických konstrukcí .....	22
1.3.4 Pracovní spáry mezi svislými a vodorovnými konstrukcemi .....	31
1.3.5 Styk konstrukce se stávající svislou konstrukcí.....	37
1.3.6 Pracovní spáry ve stěnách.....	42
1.3.7 Spojování prefabrikovaných prvků.....	44
1.4 Neplánované pracovní spáry .....	45
1.4.1 Druhy selhání při betonáži .....	45
1.5 Řízené spáry .....	46
2 Smršťování betonu.....	49
2.1 Typy smršťování .....	50
2.1.1 Plastické smrštění .....	50
2.1.2 Smrštění vysycháním.....	50
2.1.3 Autogenní smršťování .....	51
2.1.4 Karbonatační smrštění .....	51

2.1.5	Smrštění vlivem teploty .....	51
2.2	Opatření proti nežádoucím účinkům smršťování betonu .....	51
2.2.1	Vlivy omezující smrštění betonu .....	52
2.2.2	Vliv složení betonu na smršťování .....	53
2.2.3	Smršťovací pruhy.....	58
3	Závěr .....	61
	Seznam literatury .....	62
4	Seznam tabulek .....	64
5	Seznam obrázků.....	64

# Úvod

Beton je v současné době stále velmi oblíbeným stavebním materiálem, ačkoli je jeho výroba velmi energeticky náročná. Hlavními přednostmi betonu jsou pevnost v tlaku, odolnost, ohnivzdornost a trvanlivost. Beton je tak oblíben pro svou schopnost vytvářet jakýkoli tvar, který je potřeba. Formování a fyzikální vlastnosti betonu docílily velké škály využití betonových konstrukcí. Beton má však i omezující vlastnosti. Mezi omezení patří nízká pevnost v tahu, objemové změny a nedostačující tepelně technické a akustické vlastnosti. Většinu těchto nedostatků lze ovlivnit modifikací betonové směsi nebo pomocí spolupůsobení betonu a oceli.

Ve skutečnosti je realizace betonových konstrukcí časově a proveditelně náročný proces. Beton svou vysokou hmotností a specifickými vlastnostmi ztěžuje a omezuje realizaci betonových konstrukcí. Jednou z velkých otázek během realizace je provádění styků a přerušení betonových prvků. Spojení betonu je automaticky bráno jako slabý a nesoudržný bod betonové konstrukce. Vznikají tak rozhodnutí, která zpomalují provádění stavby nebo nejsou optimální jen z důvodu neznalosti a strachu z betonového styku.

Předmětem této práce je přiblížení problematiky stykování a smršťování betonových konstrukcí. První část práce je zaměřena na vysvětlení průběhu stykování betonových vrstev a rozdělení typů spár. Nedílnou součástí je vysvětlení pojmů a návrh optimálních technologických postupů, které sníží vliv nedostatků spár v betonových konstrukcích. V druhé části je popsána problematika smršťování a faktory, které ovlivňují deformace od smršťování betonu. Níže uvedené informace vedou k optimalizovanému návrhu a provedení smršťovacích pruhů v betonové konstrukci.

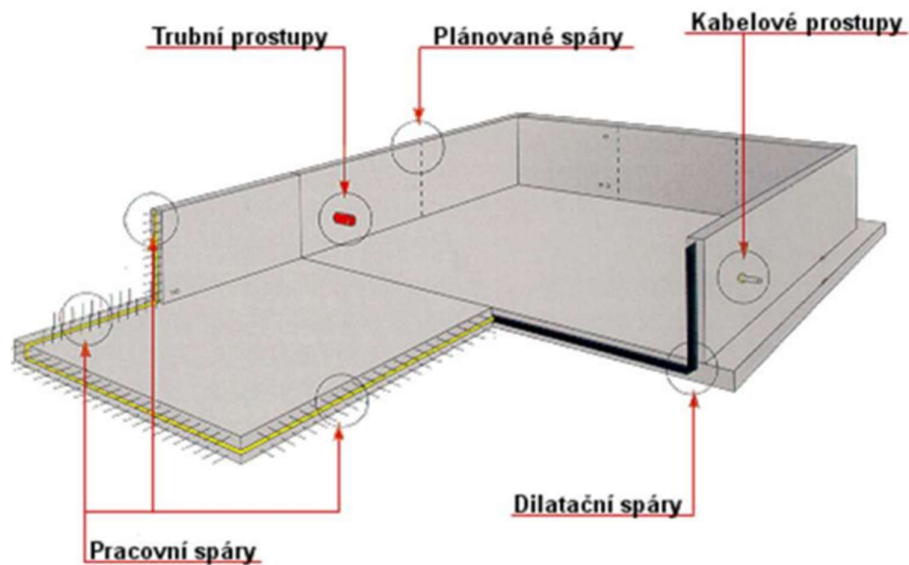
# 1 Spáry v betonových konstrukcích

Složité a objemné konstrukce z betonu nebo ze železobetonu není technologicky možné zhotovit v jednom záběru betonáže. Je nutné jednotlivé dílčí konstrukce napojovat dle navrženého projektu tak, aby splňovaly statické a funkční požadavky. Dále je potřeba neopomenout reologické a fyzikální vlastnosti betonu: smršťování, dotvarování a teplotní roztažnost betonových konstrukcí. Spáry umožňují betonové konstrukce rozložit do přerušených úseků, které jsou optimální z více pohledů realizace a statického působení.

Spáry dělíme především na:

- Dilatační spáry
- Plánované pracovní spáry
- Neplánované pracovní spáry
- Řízené spáry

Jednotlivé spáry mají své vlastnosti a požadavky závislé na charakteru dané betonové konstrukce.

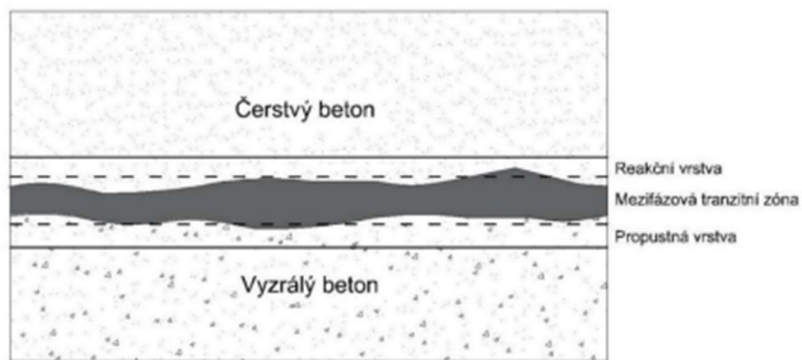


Obrázek 1: Typy spár a prostupů v betonové konstrukci [4]

## 1.1 Soudržnost betonových vrstev

Hlavním předpokladem správně navrženého styku betonových konstrukcí je porozumění soudržnosti betonových vrstev a také porozumění jejich ovlivňujícím vlivům.

Během návrhu zajištění soudržnosti betonových vrstev je nutné uvážit přenos zatížení přes rozhraní betonového styku a vyvolání vnitřních sil v přerušeném prvku. Jestliže jsou vyšetřované betonové vrstvy odlišného stáří, nejčastěji tedy čerstvá betonová směs a zatuhlý beton s již nabíhající pevností nebo vyzrálý beton, je třeba důkladně zajistit spolupůsobení, čili soudržnost, betonových vrstev, viz obr. 2.



Obrázek 2: Rozhraní betonových vrstev [4]

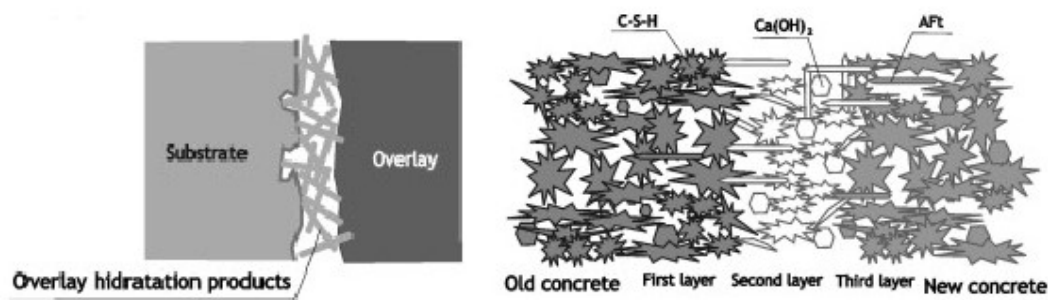
Soudržnost nebo také adheze je fyzikálně mechanický jev, ke kterému dochází na rozhraní dvou spojovaných materiálů. Síla, která je potřebná k rozdělení daných materiálů se nazývá míra adheze. U kompozitních materiálů přispívají k pevnosti tři základní faktory. Těmi jsou přirozená soudržnost, tření mezi vrstvami a použití vyztužení styku. [3]

#### 1.1.1 Přirozená soudržnost

Přirozenou soudržnost lze dále klasifikovat jako mechanickou nebo specifickou soudržnost. Při kontaktu stykovaných vrstev dochází k pronikání lepidla, tedy v tomto případě cementové pasty čerstvého betonu, do nerovností povrchu druhé vrstvy, čímž vytváří vazbu. Druhým typem je specifická adheze, která zahrnuje adsorpční jevy (chemické vazby, vodíkové vazby, Van der Waalsovy síly), elektrostatiku a difuzi. [3]

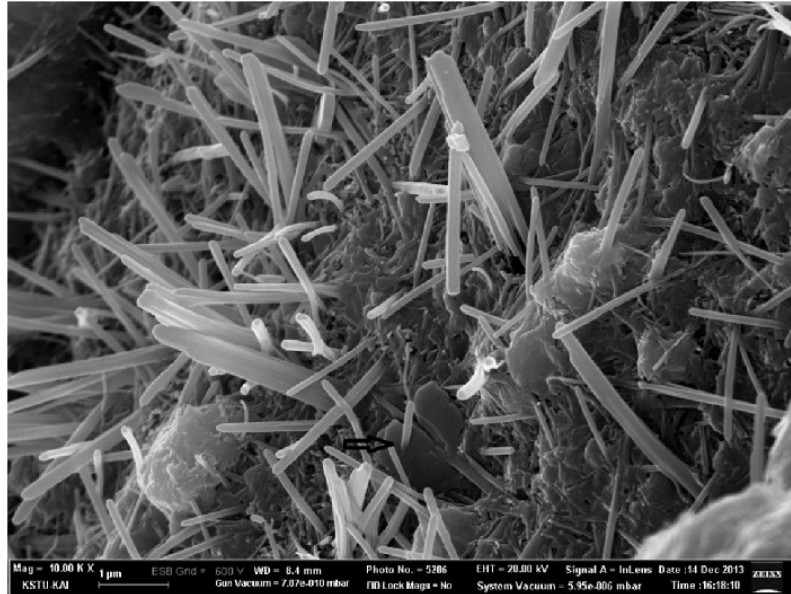
V případě dvou betonových vrstev je nejzásadnější mechanická soudržnost a adsorpce. Okamžitě po styku čerstvé betonové směsi a existujícím betonovým prvkem působí mezičásticové síly. Tímto jevem je ulehčeno prolnutí cementové pasty a vyzrálého betonového povrchu s četnými póry a nerovnostmi povrchu. Po začátku tuhnutí čerstvé vrstvy betonu začíná docházet k chemické přilnavosti. Dojde k chemickým reakcím mezi jednotlivými složkami čerstvé lité betonové směsi a nehydratovanými částicemi cementu ve starším, již zatuhlém betonu. (viz obr.3). Průběh této reakce ve styku čerstvého a staršího betonu

má velmi obdobný průběh jako chemická reakce při spojení cementové matrice a kameniva v betonové směsi. V mezilehlém prostředí dvou betonových vrstev vzniká takzvaná mezifázová tranzitní zóna. Ve zmíněné oblasti dochází k hydrataci cementových zrn v důsledku vyššího obsahu vody. Výsledným dopadem tohoto procesu je, že vznikají prázdné oblasti na místě cementových zrn, které se s produkty hydratace přemísťují do mezikrystalového prostoru. Tato oblast se může vyznačovat větší nebo naopak menší porézností v závislosti na jednotlivých použitých recepturách betonových směsí. Na krajích mezifázové tranzitní zóny se objevuje propustná a reakční vrstva. Mechanická soudržnost tohoto styku má větší dopad na propustnou vrstvu, a naopak specifická soudržnost ovlivní vrstvu reakční. [3]



Obrázek 3: Chemický spoj vyzrálého a čerstvého betonu [11]

Již zmíněná propustná vrstva se vyskytuje na hraně vyzrálého betonu, kde je možné nalézt vyšší množství hydrosilikáty C-S-H a křemičitan vápenatý. V nižší koncentraci lze nalézt  $\text{Ca(OH)}_2$  nebo ettringit. Naopak reakční vrstva je objevována na rozhraní čerstvé betonové směsi. Koncentrace a tvary krystalů v reakční vrstvě se spíše podobají složení krystalů čerstvé betonové směsi. V rozmezí vrstev propustné a reakční leží mezifázová tranzitní zóna. Tedy přesně mezi čerstvým a starším, již zatuhlým betonem. Tato zóna je značně porézní a také je zde vyšší výskyt  $\text{Ca(OH)}_2$  a krystalické jehličky ettringitu. Díky jehličkám ettringitu je v této vrstvě vyšší výskyt pórů. Je to zapříčiněno natočením již zmíněných jehliček kolmo ke směru povrchu staršího tuhého betonu. Tato zóna je slabší než vrstva reakční. [3]



Obrázek 4 Krystaly ettringitu v betonové směsi [7]

Jak je známo, v čerstvém betonu jsou obsažené aktivní ionty  $Al_3^{3+}$ ,  $Ca_2^{2+}$ ,  $Si^{4+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$  a  $SO_4^{2-}$ . Aktivní ionty pronikají do pórů staršího betonu a vyvolají reakci s nehydratovaným cementem. Propustná vrstva vzniká ve chvíli, kdy aktivní ionty zaplní betonové póry. Rozsah propustné vrstvy mimo jiné závisí na receptuře stykovaných betonových vrstev. Dále závisí na poréznosti staršího betonu, kde vzniká přímá úměra mezi danou porézností a velikostí propustné vrstvy. Vyšší vodní součinitel také zesiluje propustnou vrstvu. Mezifázová tranzitní zóna je bohatá na chemické produkty, jako je  $Ca(OH)_2$  nebo ettringit a je velmi pórovitá. To je zapříčiněno skutečností, že je beton velmi hydrofilní materiál a vzniká tok vody ke směru starého betonu, což má za následek vyšší vodní součinitel. Tímto také vzniká větší pórovitost. Velkým faktorem mezifázové vrstvy je, mimo již zmíněných příčin, také stáří zatuhlého betonu. Mezifázová tranzitní zóna má velký důsledek na kvalitu posuzovaného betonového spoje. Tedy čím je mezifázová tranzitní zóna menší, tím je daný spoj kvalitnější. [6]

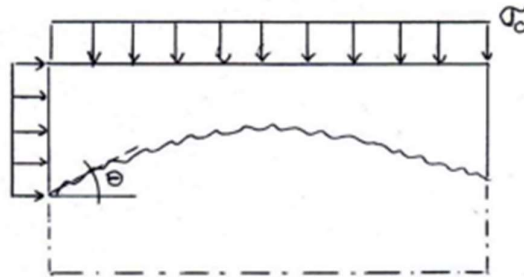
Dle výše uvedených informací vyplývá, že významný vliv na propojení betonových vrstev má mechanická adheze. Je zásadní, jaká je úprava spáry již vyztuženého betonu v posuzovaném styku a přilnutí cementové pasty k dané spáře, která plní funkci lepidla.

#### 1.1.2 Tření vrstev betonového styku

Ve styku betonové spáry může dojít k různým typům zatížení. Jsou to především smykové síly, které se tvoří na rozhraní styku a přenáší se z jednoho prvku do druhého. Ty působí rovnoběžně s betonovou vyšetřovanou spárou. Smykové síly se mohou změnit



i díky objemovým změnám betonu. Když působí na spáru kombinace tlakové síly kolmé ke spáře a smykové síly, může tato kombinace vyvolat takzvaný smykový třecí mechanismus závislý na drsnosti vyšetřované spáry. Výztuž a smykové trny mohou značně ovlivnit smykové síly v betonové spáře.



Obrázek 5: Schéma smykového třecího mechanismu [10]

Dle smykové třecí teorie s konstantní oblastí s obecnou křivkou zdrsnění (viz obr. 5) vychází smyková síla ze vztahu:

$$\tau = \sigma * \tan \theta$$

- $\tau$  = výsledná smyková síla
- $\sigma$  = napětí betonu
- $\tan \theta$  = tan úhlu smykového napětí

V tomto případě lze nahradit  $\tan \theta$  koeficientem tření  $\mu$ , který je získán empirickým měřením. [5]

### 1.1.3 Vlivy na soudržnost betonových vrstev

Nejlépejšími výsledky soudržnosti betonu jsou kombinace výše vysvětlených mechanismů. Využitím kombinací specifické soudržnosti, mechanické soudržnosti a smykové pevnosti mezi vrstvami je možné přiblížit se blíže pevnosti nepřerušené homogenní betonové konstrukce. Tímto způsobem není třeba dbát příliš velký důraz na umístění pracovních spár, ale spíše na technologickou kázeň a kvalitní ošetření styků betonových konstrukcí.

Během realizace se naskytne celá řada vlivů, které ovlivňují soudržnost betonových spár. Mezi nejčastější patří výskyt mikrotrhlin ve styku v zatuhlé betonové konstrukci, nezačištěná spára betonových vrstvy, úhel provedeného styku za účelem eliminace přenášení tahových sil skrze betonovou spáru, reologické a mechanické vlastnosti betonu,

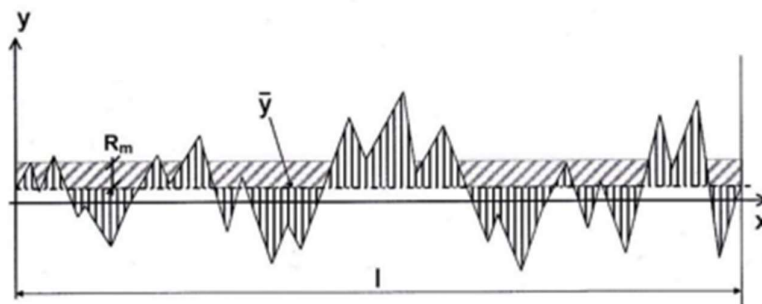
vodní součinitel betonové směsi a další. Nejvýznamnějším faktorem na vliv soudržnosti betonových vrstev je drsnost povrchu spáry zatuhlé vrstvy.

Procento nevázané vody anebo vlhkosti ve vyzrálé betonové konstrukci má také vliv na adhezi betonových vrstev. Pokud je konstrukce příliš suchá nebo mokrá, vytvoří se slabá soudržná vazba. [4]

Doporučuje se tedy navlhčit navrhovanou spáru před betonáží, pokud není zatvrdlá konstrukce příliš vlhká z jiných důvodů.

### Vliv drsnosti spáry na adhezi vrstev

Na začátek je třeba charakterizovat drsnost betonového povrchu. Je více možností, jak lze charakterizovat a měřit drsnost betonových povrchů. Nejjednodušším a nejpoužívanějším parametrem je střední aritmetická odchylka  $R_m$ , která představuje průměrnou odchylku od střední osy. Je tedy určována jako střední hodnota výšky profilu po délce měřeného úseku. Čím vyšší je průměrná odchylka, tím je mechanický zámek účinnější a betonový spoj má lepší mechanické vlastnosti. [4]



Obrázek 6: Drsnost povrchu,  $l$ -délka úseku,  $R_m$ -průměrná odchylka,  $y$ -absolutní odchylka [10]

Cementové mléko, nebo také cementová pasta, v navrhovaném styku, která je na povrchu prvku v úrovni krycí vrstvy, by měla být před stykem nové betonové vrstvy odstraněna, nebo upravena za dosažením zdrsnění spáry. Způsobů, jak upravit povrch, je více. Například lze zbrousit povrch drátěným kartáčem nebo pískováním. Tyto metody jsou šetrné a nemohou poškodit vlastnosti zbytku betonové konstrukce. Dále je tu možnost využití mechanického kladiva, které je schopno upravit povrch s vyšší drsností, avšak kvůli pneumatickým rázům může tato metoda poškodit zbytek konstrukce a vytvořit v prvku nežádoucí mikrotrhliny. Třetí variantou je zdrsnit povrch ručním kladivem nebo tlakovou vodou. Tato varianta je náročná, pokud je betonový prvek již naběhnutý

a dosahuje svých pevnostních požadavků. Doporučuje se připravit zdrsňený povrch v době, kdy betonová konstrukce již zatvrdla, ale ještě nedosáhla příliš vysoké pevnosti. Většinou se doporučuje provést danou úpravu povrchu již druhý den po betonáži, avšak záleží na faktorech ovlivňující tuhnutí betonové směsi.



*Obrázek 7: Zdrsňený základový pás pneumatickým kladivem, vlastní zpracování*

## 1.2 Dilatační spáry

Dilatační spáry jsou předem navržené oblasti, které záměrně oddělují jednotlivé části konstrukce. Předchází porušení betonové konstrukce a umožňují volné posuny v betonových staticky neurčitých konstrukcích v prostoru z důvodu smršťování, teplotní roztažnosti a nerovnoměrného sedání jednotlivých částí objektu. Konstrukce se musí půdorysně rozčlenit svislými dilatačními spárami na dilatační celky, aby nevznikalo vnitřní napětí vyšší, než je příslušná dovolená mez. Pokud jsou dilatační spáry navrženy jen v horní části stavby, spára povoluje posun konstrukcí jen vlivem objemových změn, tedy reologickými vlastnostmi betonu. Svislá dilatační spára celou stavbou (od základové desky až po horní stavbu) povoluje posun konstrukce objemovými změnami a také nerovnoměrným sedáním základů. [1]

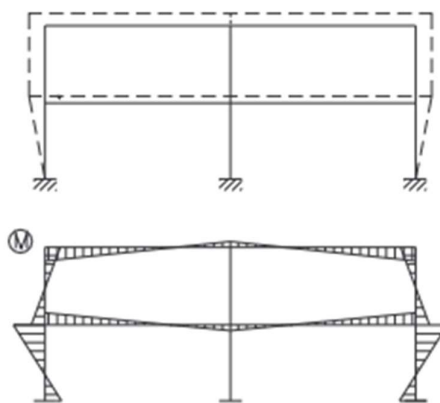
Při navrhování dilatačních celků a provedení detailů dilatačních spár, je nutné zohlednit typ, druh a požadavky řešené konstrukce. V případě posuzování dilatací ve vodonepropustných železobetonových konstrukcích takzvané bílé vany, které mají přísnější požadavky na povolené šířky trhlin, technologického provedení a postupů, je nutné postupovat dle odpovídajících směrnic a norem.

Dilatační spáry jsou za provozu namáhány měnícím se zatížením a dilatační celky se svisle nebo vodorovně posunují. Dilatační spára je tedy proměnná a musí mít prostor na vzájemné posuny konstrukcí. Výplň dilatačních spár má mít pružné a trvanlivé vlastnosti. Samotný návrh detailu dilatační spáry závisí na směru povolených posunů konstrukcí, typu, charakteru a požadované vlastnosti oddilatované konstrukce (např. stropní deska v garážových prostorech objektu). [1]

Detailů a technologických způsobů jednotlivých dilatačních spár je velmi mnoho, není to však předmětem této práce.

#### 1.2.1 Návrh dilatačních celků z důvodu objemových změn

Přidané vnitřní síly staticky neurčité konstrukce mohou vznikat objemovými změnami betonových prvků neboli kolísáním teplot (obr. 8), či smršťováním a dotvarováním betonu. Takovéto konstrukce je třeba podložit výpočtem a navrhnout na tento typ zatížení nebo již zmíněné zatížení redukovat rozdělením objektu na dilatační celky. [1]



Obrázek 8: Deformace a momenty při oteplení rámu [1]

### Rozměry dilatačních celků železobetonových konstrukcí

Dilatační celky není nutno ošetřovat výpočtem, zda jejich rozměr  $l_{dil}$  nosných konstrukcí z prostého betonu nebo železového betonu není větší než hodnoty z tab. 1. Konstrukce

musí splňovat požadavky 3. kategorie na odolnost proti vzniku trhlin, tedy maximální šířka trhliny je 0,3 mm. [2]

Tabulka 1: Maximální délky dilatačních celků v budovách a halách v [m], vlastní zpracování

	Typ konstrukce		Maximální délka $l_{dl}$ v m při nosné konstrukci			
			monolitické		montované	
			chráněné <sup>1)2)</sup>	nechráněné	chráněné <sup>1)2)</sup>	nechráněné
1	Skeletové konstrukce se ztužujícími prvky	uprostřed dilatačního celku <sup>4)</sup>	54	36	60	42
2		na jednom konci dilatačního celku	42	27	45	30
3		v mezilehlé poloze	dle vztahů ČSN 73 1201 (4.1) případně (4.2)			
4		na obou koncích dilatačního celku	33	21	36	27
5		na dvou a více místech dilat. Celku	podle vztahů ČSN 73 1201 (4.3) nebo (4.4)			
6	Stěnové konstrukce s nosnými	třívrstevními nebo dvouvrstevními	51 <sup>5)</sup>	33	54 <sup>5)</sup>	36
		jednovrstevními z lehkých betonů samonosnými nebo nosnými	-	39	-	45

<sup>1)</sup> Skeletová konstrukce je považována za chráněnou, pokud jsou její obvodové prvky (sloupy, průvlaky, stěny, stropní desky nad nejvyšším podlažím nebo střešní desky) ochráněny tepelnou izolací před vnějšími vlivly s odpovídajícími tepelně technickými vlastnostmi dle norem ČSN 73 0540, ČSN 73 0544, ČSN 73 0560, ČSN 73 0565.

<sup>2)</sup> Stěnová konstrukce je považována za chráněnou, zda je nosná vrstva stěny ochráněna před vnějšími vlivly tepelnou izolací dle tepelně technických požadavků ve výše zmíněných normách.

<sup>3)</sup> Ztužujícím prvkem je např. samostatná stěna, stěny schodišťového jádra, stěny výtahové šachty. Je předpokládáno, že ztužující prvek brání volné dilataci pouze v rovině střednicové plochy stěn, která je tvoří.

<sup>4)</sup> Hodnoty jsou platné pro skeletovou konstrukci bez ztužujících prvků.

<sup>5)</sup> Délky platí také pro konstrukce s obvodovými stěnami nenosnými; tj. se stěnami podporovanými, pokud nenosné obvodové stěny, popř. zavěšené lehké dílce zajišťují tepelnou izolaci vnitřní nosné konstrukce.

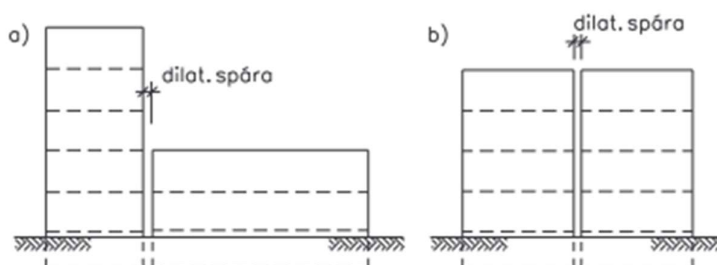
Pokud je třeba ověřit výpočet chování konstrukce za důsledku objemových změn, doporučuje se uvažovat nelineární výpočtový model, který zohledňuje následující zásady. Je nutné zavést do nelineárního výpočtu skutečný průběh vzniklých objemových změn od dotvarování a smršťování betonu, a také od vlivu teplotních změn. U prutových prvků je třeba nastavit přetvoření jako osově a u desek uvažovat s rovinným přetvořením. V důsledku vzniku trhlin se zmenšuje v ohýbaných prvcích tuhost konstrukce, ale také napětí od účinků objemových změn. Je tedy potřebné uvažovat reálnou tuhost prvků v konstrukci. [1]

### 1.2.2 Dopad rozdílného sedání základů na dilatační celky

Návrh a posouzení základových konstrukcí jsou závislé na vlastnostech zeminy pod daným objektem. Rozsáhlé geologické průzkumy jsou časově a ekonomicky náročné a nikdy nemohou být stoprocentně přesné. Proto se v častých případech provádí kombinace geologického průzkumu a empirického odhadu typu a vlastností zeminy ze zkoušek okolních staveb a průzkumů. Je tedy nemožné výpočtem určit přesné vlastnosti a únosnost zeminy od zatížení navrhované konstrukce, které se s ohledem na koeficienty příklání na stranu bezpečnosti přitěžováním nastávajících konstrukcí. Odlišné sedání

soudržných a nesoudržných zemin pod základy objektu může vést k nežádoucímu vnitřnímu napětí v prvcích a následně může dojít ke vzniku trhlin nebo překročení mezních stavů konstrukce.

Dopady rozdílného sedání základů lze omezit vhodným návrhem dilatačních celků, u kterých svislá dilatační spára proniká skrze základovou konstrukci až po horní zbytek konstrukce. Dilatační celky stojí nezávisle vedle sebe a tvoří samostatné stavební objekty viz obr. 9. [1]



Obrázek 9 Dilatační celky navržené z důvodu rozdílného sedání základů [1]

### Příčiny rozdílného sedání objektu

Jedna z příčin rozdílného sedání jsou podstatně rozdílná svislá zatížení působící na základovou desku po půdoryse objektu. Takový rozdíl zatížení je způsoben výrazně rozdílnou výškou konstrukce, případně odlišnou hloubkou založení objektu nebo odlišným druhem a využitím částí objektu. Rozdílný způsob zakládání nebo nepravidelnost složení, struktury a vrstevnatosti podloží je také častý případ nerovnoměrného sedání objektu. V neposlední řadě je možné, že se změní během užívání objektu vlastnosti základového podloží, nejčastěji v důsledku změny polohy hladiny podzemních vod nebo zatékání srážkových vod a jiných změn ovlivňujících vlastnosti zatěžované zeminy. [1]

### 1.3 Plánované pracovní spáry

Plánované pracovní spáry jsou třeba provést z důvodu nutných technologických postupů a odstávek. Pracovní spára nesmí narušit celistvost konstrukce a musí bránit všem pohybům a posunům prvků, jak je v projektové dokumentaci a ve statických výpočtech uvažováno. Pracovní spárou musí tudíž procházet nosná i konstrukční výztuž a další důležité prvky, které jsou obsaženy v monolitické železobetonové konstrukci.



Pracovní spáry musí být schopny dodržovat stejné vlastnosti jako je navrženo pro železobetonovou monolitickou konstrukci. Mohou nastat případy, kde samotné přerušení konstrukce není schopno splňovat vlastnosti betonové směsi. Jedná se především o vodonepropustné železobetonové monolitické konstrukce.

Pracovní spáry se navrhují v nejméně kritických místech, tedy v oblastech, kde spára přenáší nejmenší síly a momenty. Dále je snahou, aby spárou procházely především tlakové síly. Modul pružnosti betonu se velmi těžce určuje a těžce se vymáhá přesná hodnota betonové směsi. Stejně tak projektant předpokládá nedůsledné a nedokonalé technologické provádění pracovních spár. Proto je ve zvyku navrhovat pracovní spáry v místech, kde je konstrukce nejméně zatížena nebo kde je nízké riziko vzniku trhlin.

Před betonáží kteréhokoli prvku je nutné důkladně zkontrolovat umístění vystupující armatury z betonovaného záběru. Tedy dodržení krytí výztuže a polohu, která by měla být nanejvýš odchýlena  $\pm 30$  mm od své původní polohy. Pokud není možné opravit polohu dané výztuže, je nutné odbourat část stávající konstrukce nebo navrhnout dle ČSN EN 1992-1 vlepění dodatečné výztuže pomocí chemické kotvy.

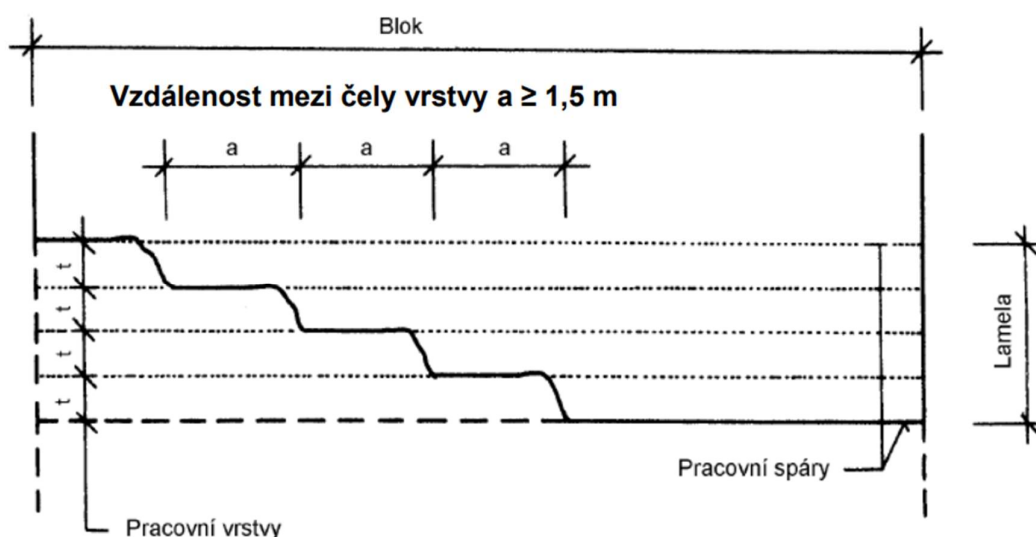
Při zkoušení tuhnutí betonu dle ČSN 73 1332 penetrační odpor 0,5 MPa odpovídá době, kdy by měla být betonová směs dopravena a zpracována. Penetrační odpor o hodnotě 3,5 MPa odpovídá době, kdy je spojení dvou vrstev čerstvého betonu zajištěno bez vzniku pracovní spáry. [9]

Betonáž určeného záběru by tedy měla probíhat tak, aby nevznikla v průběhu neplánovaná pracovní spára.

### 1.3.1 Pracovní spáry v masivních betonových konstrukcích

Jednotlivé stavební normy a směrnice (ČSN 73 1209, ŘSD TKP 18, TP ČBS 02) nejsou zcela jednotné v definici masivních betonových konstrukcí, avšak lze vyvodit, že masivní konstrukce má přibližnou šířku jeden metr a více. Vysoké riziko při provádění těchto konstrukcí je velký teplotní spád mezi středem a povrchem konstrukce, zapříčiněný vznikem přílišného tepla hydratací betonu. Při dosažení vyšších teplot ve středu konstrukce (přibližně 65–70 °C) se opozdí tvorba ettringitu a vnitřní pnutí betonové konstrukce je příliš vysoké. Beton se začne trhat v důsledku tahových deformací. Obdobné důsledky porušení konstrukce vznikají při dosažení mezního teplotního spádu, který je roven 20 °C. Teplotní spád tedy představuje rozdíl teploty mezi nejteplejším a nejchladnějším (střed a povrch) místem betonové konstrukce. [8]

Snížení hydratačního tepla lze dosáhnout vícero způsoby a je doporučeno provádět kombinaci daných opatření. Mezi ty nejzásadnější patří optimální receptura betonu, chlazení betonových složek nebo samotné receptury během výroby a dopravy. Dále je důležité dodržet správný pracovní postup a masivní konstrukci rozdělit optimálně na dilatační celky, a také dodržet umístění smršťovacích pruhů a pracovních spár dělené na lamely. Po betonáži je také možné konstrukci chladit chladicí kapalinou v zabudovaných trubkách nebo naopak ohřívat konstrukci topnými tělesy. Vliv má i správný čas odbednění konstrukce. Ke správnému pracovnímu postupu mohou pomoci teplotní čidla [8]



Obrázek 10: Schéma betonáže odstávky pracovního záběru masivní betonové konstrukce [8]

Při provádění masivní betonové konstrukce, je důležité dodržet objem betonovaných záběrů (bloků) dle technologického postupu. Časový odstup mezi bloky by mělo být přibližně 3-7 dnů. Aby nebylo nutné dodržovat mezi betonážemi takový časový odstup, doporučuje se provádět bloky takzvanou šachovnicovou betonáží, kdy se betonuje každý druhý záběr a následně se vrací zpět k nezabetonovaným úsekům. Výškou povolené betonované lamely je určováno, za jakých teplot se betonuje, tedy zda v létě nebo v zimě. V létě je doporučeno dodržovat 2 m vysoké lamely a v zimě 3 m. Lze také výpočtem prokázat vyšší výšku betonované lamely. Lamely je třeba betonovat po vrstvách o tloušťce 300-500 mm, které je třeba ztuhnout, než se započne zpracování další vrstvy betonu. Ukončením pracovního záběru je doporučeno odstupňovat jednotlivé vrstvy po délkách více než 1,5 m (viz obr. 10). [8]



### 1.3.2 Omezení realizačních prostředků zhotovitele

Realizace železobetonových konstrukcí postupuje v krocích v souladu s příslušným technologickým postupem. Tento postup je popsán jen obecně a mohou se lišit některé kroky dle typu konstrukce (základové, svislé nebo vodorovné konstrukce) nebo dle zadaných konkrétních okolností. Cílem je nastítnit průběh realizace a nutné kroky k dosažení finální železobetonové konstrukce. Zhotovení předpínaných a prefabrikovaných konstrukcí se v technologickém postupu liší.

Obecný technologický postup může vypadat například takto:

- 1) vytyčí se přesné místo, kde má daná konstrukce vzniknout,
- 2) představí se bednění pro zhotovení železobetonové konstrukce,
- 3) vyváže se výztuž dle projektové dokumentace na určeném místě nebo se armatura připraví na nespecifikovaném místě a následně uloží,
- 4) osadí se další doplňující předměty potřebné k dodržení projektové dokumentace a očistí se betonovaný prostor od nežádoucích předmětů nebo stavební nečistoty,
- 5) zkontroluje se důsledně nezabetonovaná konstrukce příslušným technikem a předá se zodpovídajícímu stavebnímu dozoru před začátkem betonáže,
- 6) dokončí se bednění i s případnými pracovními odstávkami,
- 7) betonářská četa zabetonuje a ošetří konstrukci,
- 8) po technologické přestávce (než betonová směs nenabude dostatečné pevnosti) se odbední daná konstrukce a dále se do vyzrání a aktivace železobetonového prvku dle příslušného technologického postupu ošetřuje.

Celková realizace železobetonové konstrukce je technologicky a časově náročná. Hlavními omezujícími faktory realizace jsou dostupnost specializovaných pracovníků (železáři, tesaři, zedníci) a zajištění kontinuity práce pro již zmíněnou diverzní pracovní sílu. Od toho se odvíjí, kolik práce jsou dané čtyři pracovníci schopny za časovou jednotku, tedy za pracovní den, odvést. Dle toho se následně optimalizuje nejvíce ekonomické množství a časově optimální množství dostupného stavebního materiálu, doplňujícího materiálu (bednicí prvky atp.) a služby potřebné k výstavbě železobetonové konstrukce, jako je výstavba a samotný provoz věžového jeřábu.

S postupem výstavby monolitické železobetonové konstrukce se tedy musí počítat již během projekce. Návrh a rozvržení armatury je nutno důkladně rozmyslet dle potřebných pracovních spár.

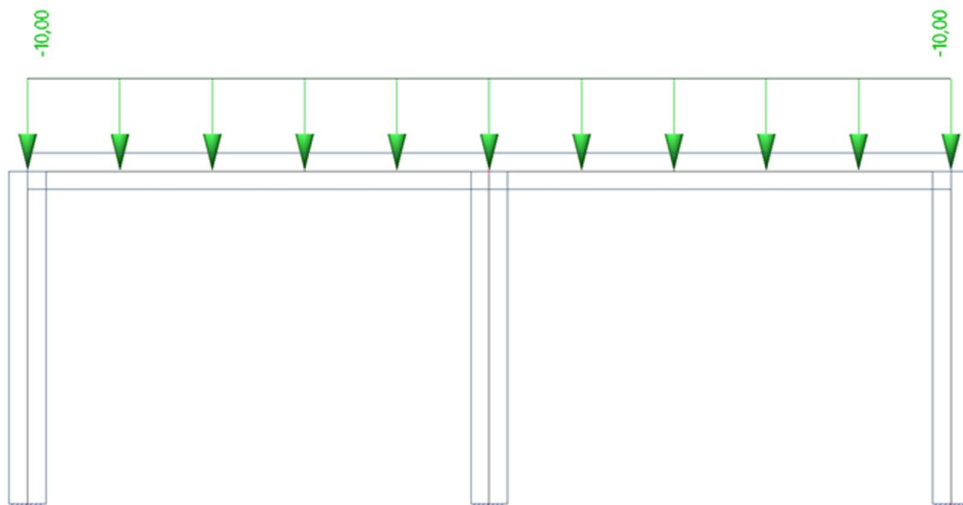
### 1.3.3 Přerušení vodorovných monolitických konstrukcí

Pracovní spáry ve vodorovných konstrukcích jsou prováděny především z důvodu rozsáhlého objemu prvků. Betonované konstrukce jsou rozděleny na proveditelné záběry. Nejde jen o samotnou betonáž, ale také o vázání výztuže a přípravy bednění. Dále se provádí pracovní spára z důvodu technologické překážky. Tím je myšlen například sestavený věžový jeřáb uvnitř objektu nebo čerpání podzemní vody ze studny v základové desce do doby dokončení vodonepropustných konstrukcí.



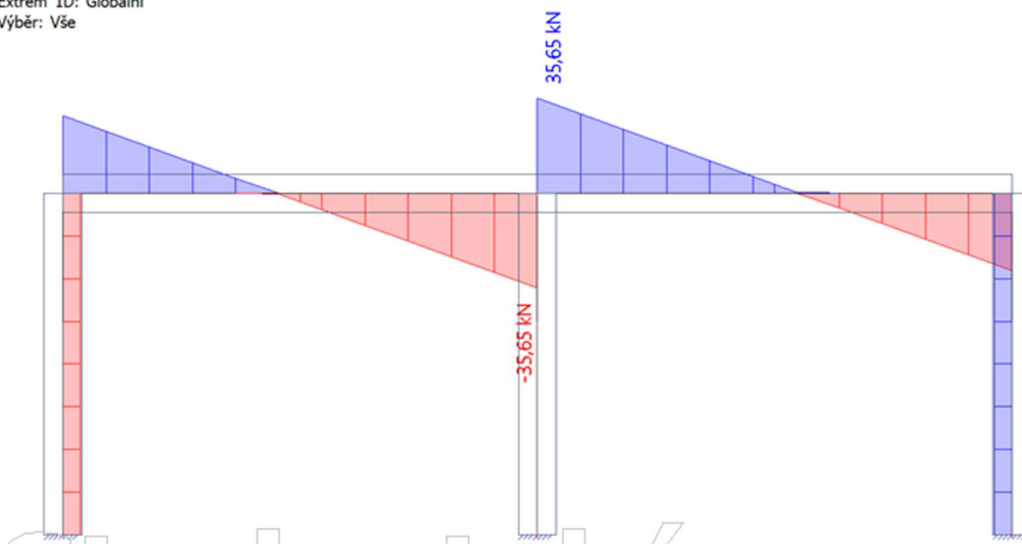
*Obrázek 11: Věžový jeřáb prostupující stropními konstrukcemi, vlastní zpracování*

Pracovní spáry přerušující vodorovné konstrukce mají vysoké požadavky na návrh a samotné provedení. Vodorovné konstrukce jsou především posuzovány na mezní stav použitelnosti a jsou zde vysoké požadavky na průhyb a trhliny v konstrukci. V praxi je tedy snahou, aby vznikaly v železobetonových deskách, průvlacích a v dalších vodorovných konstrukcích pracovní spáry jen za nevyhnutelných okolností. Avšak pracovní spáry jsou nedílnou součástí provádění betonových konstrukcí. Snahou projektantů je tedy volit umístění spár v místech, kde jsou zvláště minimální ohybové momenty a smykové síly.



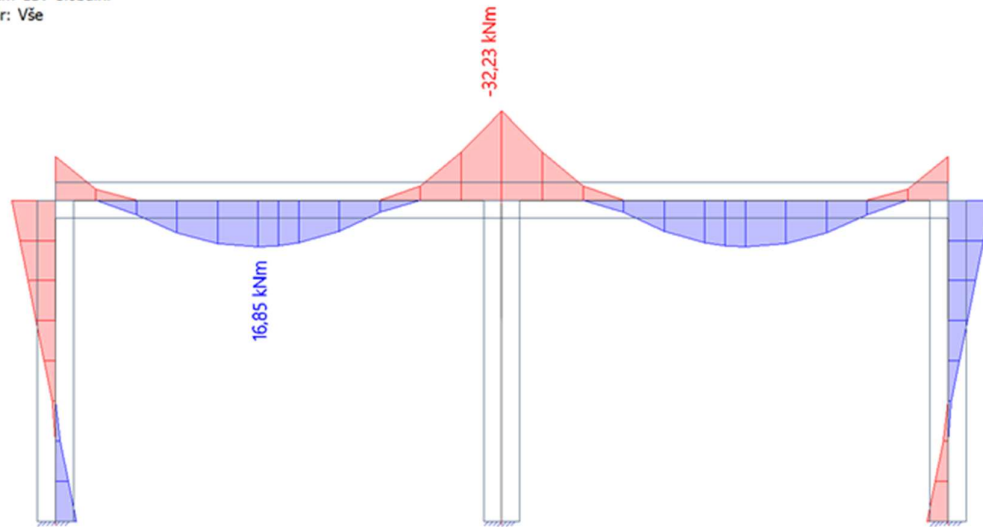
Obrázek 12: Schéma rámové konstrukce s vykreslením ostatního zatížení, vlastní zpracování

Hodnoty: Vz  
 Lineární výpočet  
 Kombinace: CO1  
 Souřadný systém: Dilec  
 Extrém 1D: Globální  
 Výběr: Vše



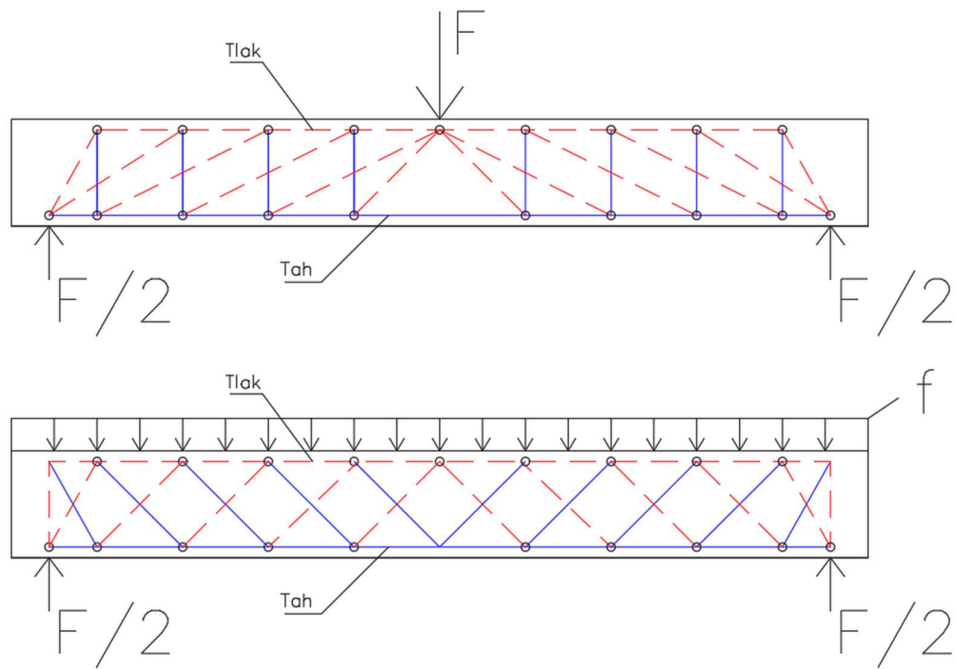
Obrázek 13: Schéma rámové konstrukce s vykreslenými posouvajícími silami, vlastní zpracování

Hodnoty:  $M_y$   
Lineární výpočet  
Kombinace: CO1  
Souřadný systém: Dílec  
Extrém ID: Globální  
Výběr: Vše



Obrázek 14: Schéma rámové konstrukce s vykreslením ohybových momentů, vlastní zpracování

Na obrázcích 12–14 je zobrazen staticky neurčitý rám znázorňující průběh vnitřních sil v konstrukci od svislého zatížení. Nejnižší hodnoty ohybového momentu se zpravidla vyskytují v  $1/4$  až  $1/3$  vzdálenosti rozponu od podpory (viz obr. 14). Při složitých vodorovných konstrukcích určuje projektant nejbezpečnější lokaci pro provedení pracovní spáry.



Obrázek 15: Příhradová analogie toku tlakového a tahového napětí na prostém nosniku od zatížení, vlastní zpracování

Při porozumění toku napětí od zatížení ve vyšetřovaném prvku, lze navrhnout řez konstrukce, který leží kolmo k toku tlačového napětí. Při návrhu pracovní spáry do vhodného řezu konstrukce, je zajištěné minimální působení tahových sil kolmých na pracovní spáru. Působení tlaku na pracovní spáru zásadně omezí nedostatky, které vznikají při přerušení monolitické betonové konstrukce. Pro zajištění spolehlivosti výše uvedených informací, je nutné dodržet vysokou technologickou kázeň při provádění pracovní spáry. Stále se však nedoporučuje umístit pracovní spáry v oblastech s maximálním ohybovým momentem v betonovaném prvku, ale zajišťuje se větší volnost při umístění pracovních spár.



Obrázek 16: Betonovaná pracovní spára stropní desky, vlastní zpracování

Na obrázku 16 je zobrazena betonáž pracovní spáry stropní desky, která je navržena v místě nejmenšího ohybového momentu. Je využit instalovaný B-systém v první etapě betonáže pro zdrsnění pracovní spáry. Pracovní spára byla před betonáží očištěna. Další technologická opatření nebyla ve znázorněné pracovní spáře zhotovena. Tento způsob provedení není dostačující při navržení pracovní spáry v místech, kde by mohlo dojít k porušení stropní konstrukce.

Dle správného technologického postupu provedení pracovní spáry je třeba vložit B-systém mezi vyztužení dané konstrukce pod úhlem 45-60°, tedy kolmo k tlačené diagonále vnitřních sil. Tahokov řádně přivázat k výztuži, aby pracovní spára udržela tlak čerstvého betonu. Je doporučeno položit a přivázat dřevěný hranol k horní armatuře. Hranol tvoří pohledovou pracovní spáru na povrchu betonu. Dřevěné bednění je schopno absorbovat vzduchové bubliny během hydratace betonové směsi. Dřevěná prkna se používala v minulosti k bednění pracovní spáry. Dnes jsou nahrazena tahokovem, který propouští jen cementové mléko a tvoří zdrsňenou krycí vrstvu. Stále se používají dřevěná prkna k bednění mostových konstrukcí, pracovních spár u průvlaků (viz obr. 17) a pracovních spár u masivních konstrukcí. Při betonáži druhé etapy je třeba řádně očistit pracovní spáru a odstranit nesoudržný beton ze spáry a z armatury. Před spojením je nutné navlhčit betonovou spáru vodou.





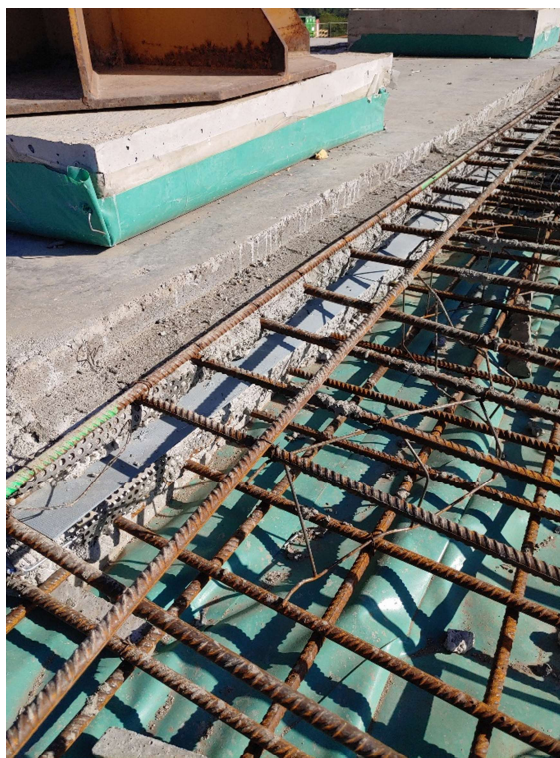
*Obrázek 17: Pracovní spára v základovém pasu, vlastní zpracování*

Armatura musí být protažena skrze pracovní spáru s dostatečným stykovacím přesahem. Pokud není dostačující stykování armatury, je možné armaturu skrze pracovní spáru vlepit za pomoci chemické kotvy dle platných předpisů. Výztuž lze také svařit, ale jen za souhlasu zodpovědného projektanta. Možností je také využití šroubované výztuže. Nevýhodou šroubovaného stykování výztuže je jeho vysoká cena a při chybném uložení nebo návrhu výztuže nevychází spoj za pracovní spárou, přičemž potom šroubovaný styk ztrácí svou funkci.



*Obrázek 18: Šroubovaný styk výztuže [14]*

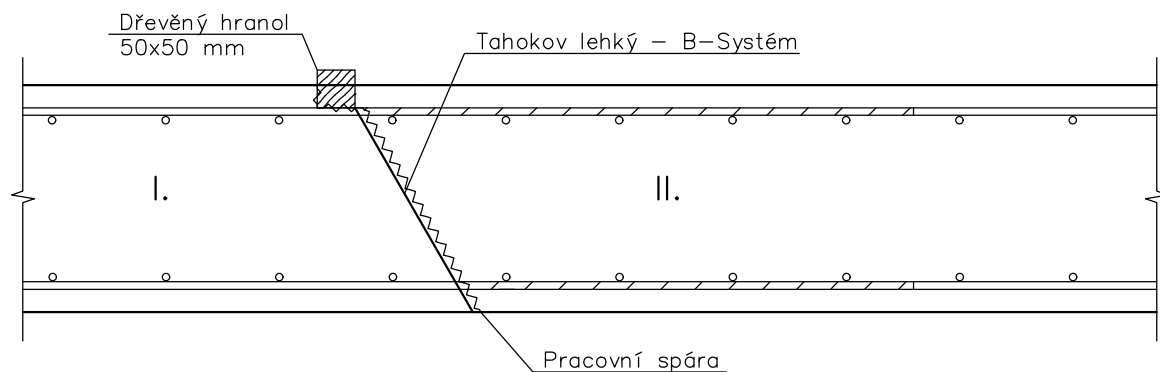
Během provádění vodorovných konstrukcí s vodonepropustnými vlastnostmi, je důležité zachovat těsnost přerušené konstrukce. Spára je z důvodu instalovaného ABS těsnicího prvku oslabena a je pravděpodobný vznik trhliny. Těsnicí plech však zabráni tlačené vodě prostoupit skrze spáru. Voda se musí tlačít kolem plechu betonem, který je na dané vodní tlaky navržen. Je tedy doporučeno, aby spára byla prováděna v těchto konstrukcích kolmo k povrchu, aby těsnicí opatření byla funkční.



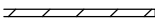

*Obrázek 19: Pracovní spára v základové desce s vodonepropustnými vlastnostmi*



# Detail pracovní spáry ve stropní desce: M 1:10

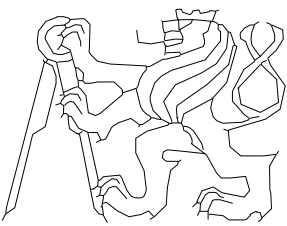


## Legenda:

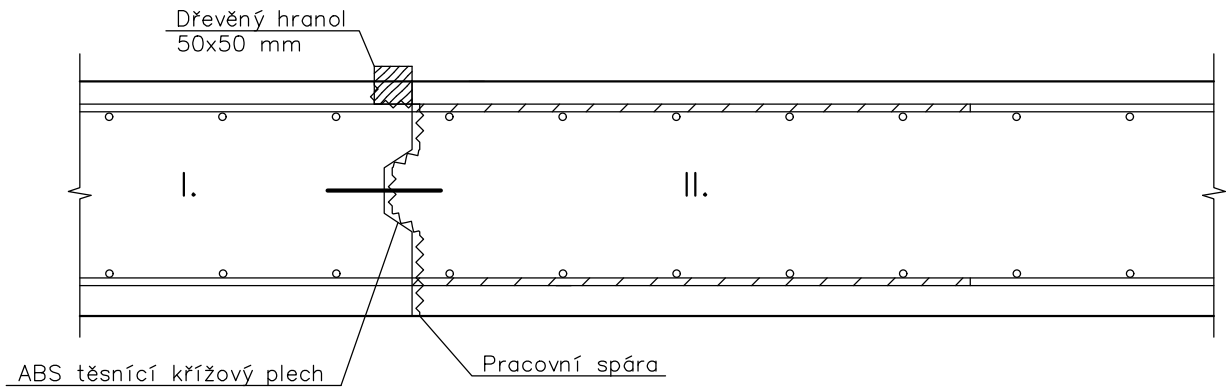
-  Požadované stykování výztuže dle ČSN EN 1992-1-1
-  Pracovní spára
- I. První záběr betonáže
- II. Druhý záběr betonáže

## Poznámka:

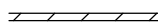

- Pracovní spáru před betonáží řádně očistit a navlhčit tlakovou vodou
- B-systém pevně přivázat výzácím drátem k výztuži a k dřevěnému hranolu

OBOR	PŘEDMĚT	Ian Crowther		
C	Bakalářská práce			
ROČNÍK	Vedoucí bakalářské práce			
4.	doc. Ing. Jitka Vašková, CSc.			
OBSAH Detail pracovní spáry v železobetonové desce			FORMÁT	A4
			MĚŘITKO	1:10
			DATUM	10.5.2022

# Detail pracovní spáry v základové desce: M 1:10

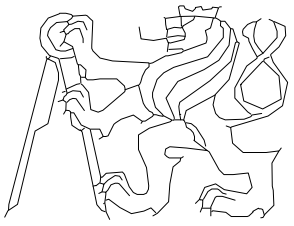


## Legenda:

-  Požadované stykování výztuže dle ČSN EN 1992-1-1
-  Pracovní spára
- I. První záběr betonáže
- II. Druhý záběr betonáže

## Poznámka:

- Pracovní spáru před betonáží řádně očistit a navlhčit tlakovou vodou
- ABS těsnící křížový plech pevně přivázat vázacím drátem k výztuži

OBOR	PŘEDMĚT	Ian Crowther	
C	Bakalářská práce		
ROČNÍK	Vedoucí bakalářské práce		
4.	doc. Ing. Jitka Vašková, CSc.		
OBSAH			
Detail pracovní spáry v základové desce s vodonepropustnými vlastnostmi			
		FORMÁT	A4
		MĚŘÍTKO	1:10
		DATUM	10.5.2022

#### 1.3.4 Pracovní spáry mezi svislými a vodorovnými konstrukcemi

Praktickým a efektivním pracovním postupem je střídání výstavby svislých a vodorovných konstrukcí. Prostým uložením jednotlivých záběrů se zjednodušuje způsob armování a bednění daných konstrukcí.

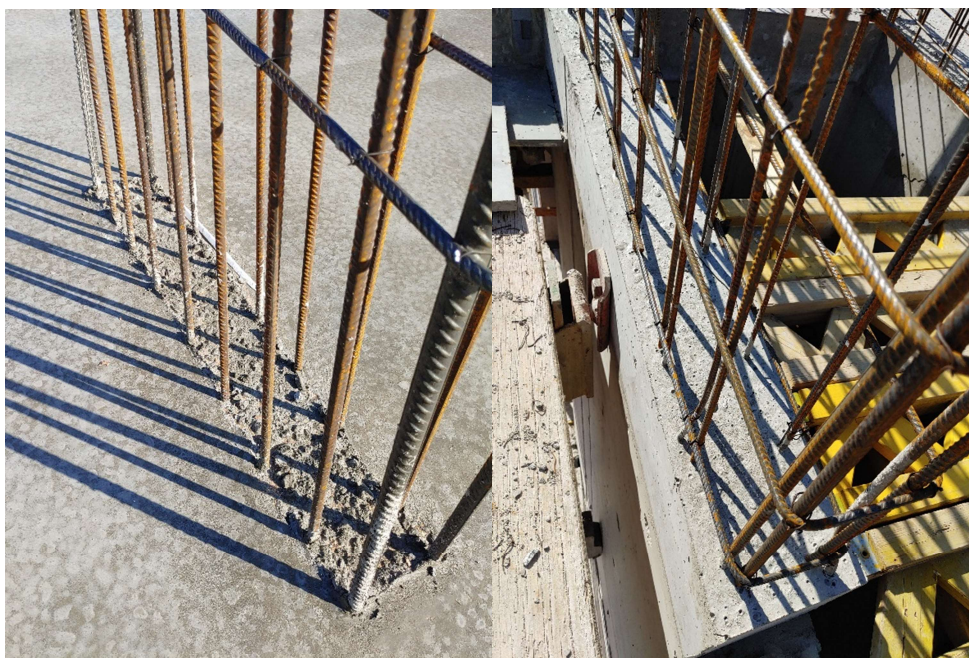
Pracovní spáry je třeba u svislých konstrukcí (sloupy, pilíře a stěny) provést nejlépe v hlavě a patě daného prvku, tedy v kontaktu s vodorovnou konstrukcí. Výjimkou mohou být masivní konstrukce, kde se musí betonované záběry omezit, nebo nelze použít dostatečně únosné bednění pro zabetonování celého prvku. Spára je vždy kolmo k podélné ose svislé konstrukce. V patě a v hlavě svislých konstrukcí spára přenáší převážně tlačené síly. Případné trhliny od tahových sil, nanejvýše sníží tuhost ve styku konstrukcí, kde by statický návrh nikdy neměl počítat s dokonalým vetknutím prvku. V jiných místech svislého prvku zhoršuje pracovní spára také pohledovost.



*Obrázek 20: Pracovní spáry mezi stropní deskou a stěnami, vlastní zpracování*

#### **Napojení železobetonových stěn s vodorovnou konstrukcí**

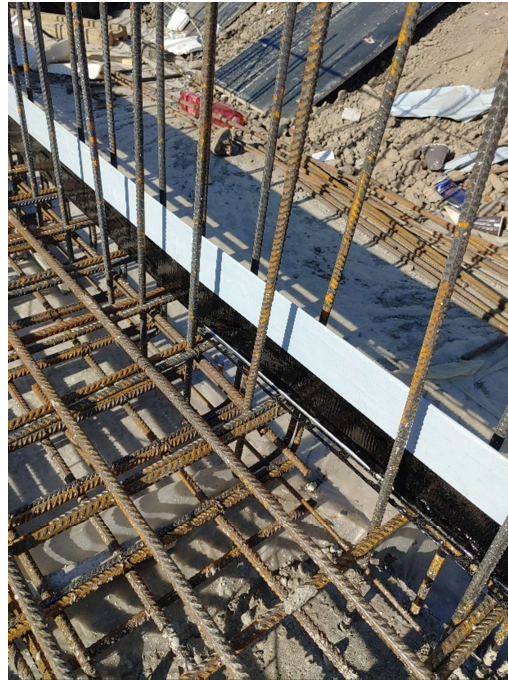
Na pracovní spáry v patě a hlavě železobetonových stěn není příliš vysoký požadavek. Stále je však nutné, aby nevznikaly trhliny a nesnižovala se tuhost spoje. Proto je doporučeno dodržovat alespoň základní pracovní postupy při provádění. Před betonáží je doporučeno odstranit nečistoty, které omezují spojení konstrukce s čerstvým betonem, včetně nespojených částic starého betonu v pracovní spáře a na vytažené výztuži. Následně je doporučeno navlhčit pracovní spáru pro kvalitnější spojení vrstev betonu.



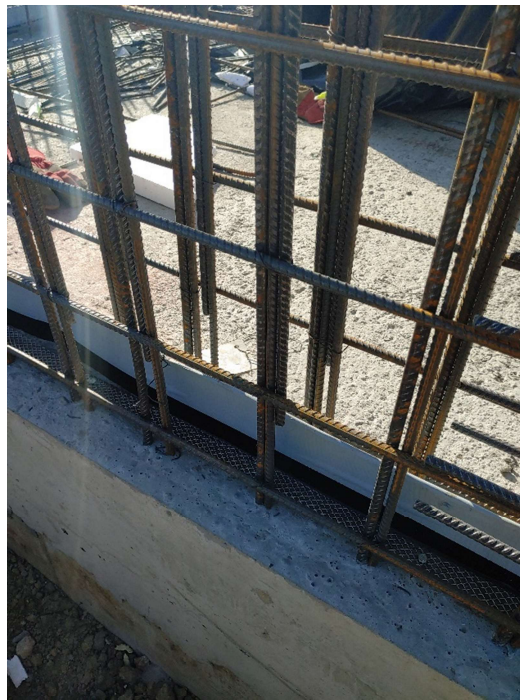
Obrázek 21: Neočištěná (vlevo) a očištěná (vpravo) pracovní spára, vlastní zpracování

Styk stropní desky nebo základové desky se stěnou může být součástí vodonepropustné monolitické železobetonové konstrukce (tzv. bílá vana). Pracovní spára není schopna dodržet vlastnosti vodonepropustného betonu. Je velmi pravděpodobné, že vznikne v těchto místech trhлина větší, než je mezní hodnota navržené kategorie bílé vany. Proto jsou instalovány do pracovní spáry prvky, které brání proniknutí tlakové i stojaté vody skrze konstrukci. Jedním z prvků je těsnící plech BK. Na plechu je oboustranně natažena speciální elastická vrstva, která se dobře spojí s čerstvým betonem. Těsnící plech je opatřen ochranou folií, kterou je třeba před betonáží strhnout. Plech brání vodě proniknout skrze pracovní spáru a ta je tak nucena proniknout skrze neporušený beton. Dále se také používá bentonitový bobtnající pás, který začne nabývat na objemu při kontaktu s vodou. Bentonitový pás tak zaplní trhliny v jejím okolí a znemožní postupu vody do konstrukce. Je tedy doporučeno bentonitový pás umístit před těsnící BK plech, aby plnil svou funkci. Pro kvalitnější spojení betonových vrstev je potřeba zdrsnit plánované pracovní spáry tlakovou vodou. Pro ulehčení je doporučeno opravit spáru v ne příliš zatuhlém betonu (druhý den po uložení betonové směsi). Mezi vytrnvanou výztuží se obtížně pracuje s pneumatickým kladivem nebo s ručním nářadím. Před betonáží je nutné pracovní spáru řádně očistit, odstranit nesoudržné části starého betonu a následně navlhčit pro kvalitní spojení betonových vrstev.



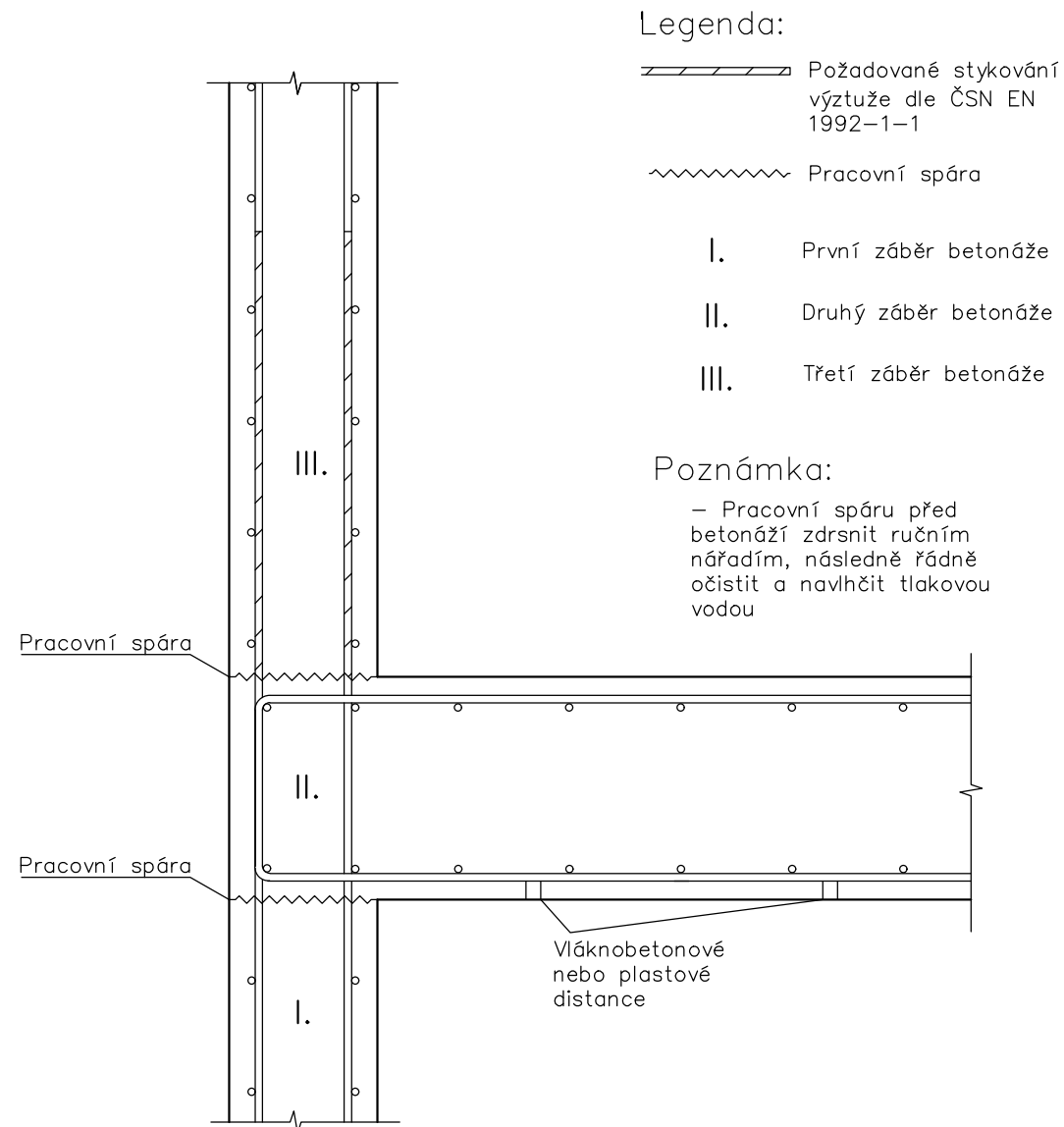


*Obrázek 22: Přivázaný těsnící plech BK před betonáží základové desky, vlastní zpracování*

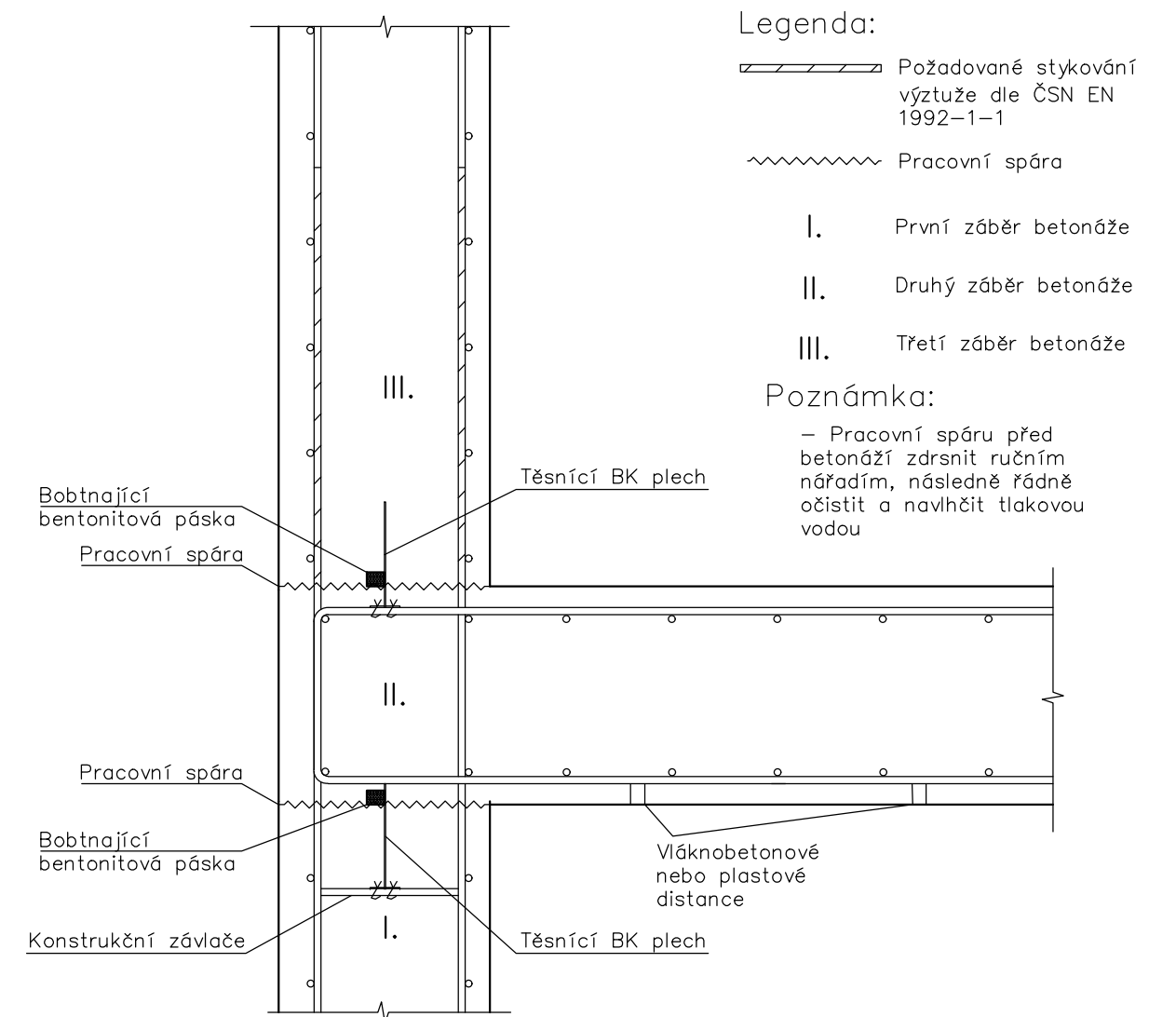


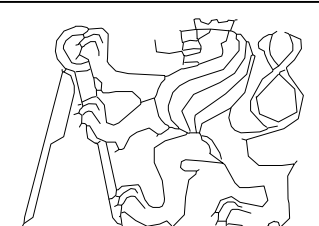
*Obrázek 23: Umístěný těsnící BK plech a bentonitový pásek na zabetonované základové desce, vlastní zpracování*

Detail pracovních spár  
stěna–deska–stěna:  
M 1:10



Detail pracovních spár  
stěna–deska–stěna:  
Vodonepropustná ŽB konstrukce  
M 1:10



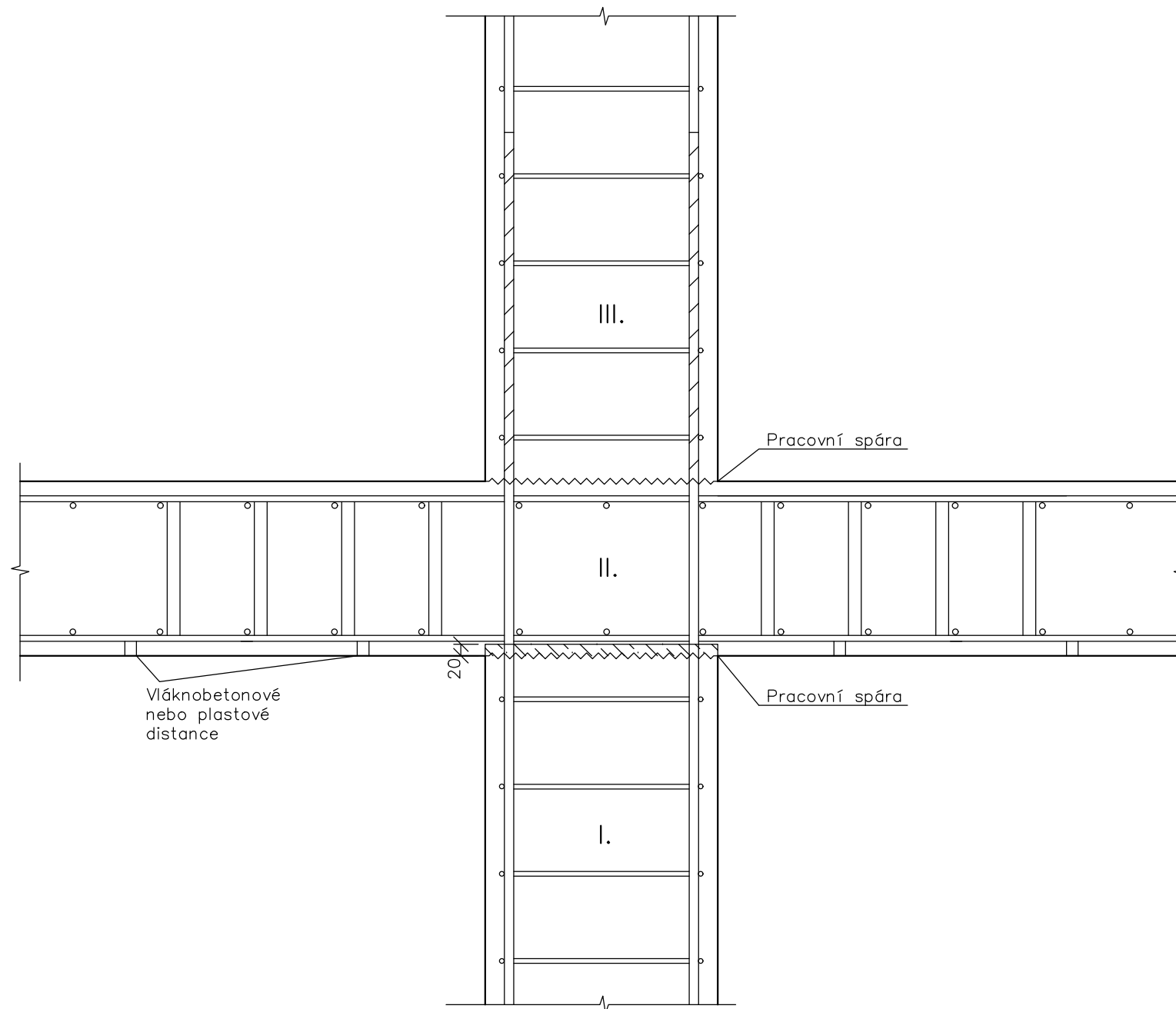
OBOR	PŘEDMĚT	Ian Crowther		
C	Bakalářská práce			
ROČNÍK	Vedoucí bakalářské práce			
4.	doc. Ing. Jitka Vašková, CSc.			
OBSAH			FORMÁT	A3
Detaily pracovních spár stěna–deska–stěna			MĚŘITKO	1:10
			DATUM	10.5.2022

## **Pracovní spáry mezi sloupy a vodorovné konstrukce**

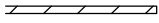

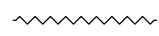
Pracovní spáry mezi sloupy a vodorovnou konstrukcí, jako je deska nebo průvlak, jsou ve většině případů tlačené. Do podobné skupiny napojení jednotlivých konstrukcí se může zařadit také styk piloty se základovou deskou. Sloupy a piloty jsou namáhány vysokým tlakem a dané konstrukce jsou navrženy tak, aby se blížily k maximu své únosnosti. S těmito okolnostmi je důležité, aby beton splňoval své navržené vlastnosti, především pevnost v tlaku. Při betonování vysoké konstrukce, jako jsou právě sloupy a základové piloty, vystoupá znatelná vrstva cementového mléka na povrch betonovaného záběru. Dochází k tomu z důvodu sedání kameniva podpořené hutněním betonové směsi, což vytlačuje cementové mléko na povrch. Cementová pasta na povrchu nedosahuje požadované pevnosti v důsledku odpařování vody a nedochází k plné hydrataci betonové směsi. Při betonáži stropní konstrukce také vzniká vrstva cementového mléka s obdobnými nedostačujícími vlastnostmi. Avšak tloušťka stropní desky je mnohonásobně nižší a tvoří se jen tenká vrstva v řádech desetin milimetru, až milimetrů. Tato vrstva se také doporučuje bodově odstranit brusným kamenem před provádění nedestruktivní zkoušky pevnosti betonu v tlaku z horního povrchu konstrukce, aby nebyly výsledky zkresleny.

Je tedy doporučeno přebetonovat sloupy a piloty o několik desítek milimetrů, a následně odstranit převýšenou konstrukci. Avšak odstranění vrstvy a zdrsnění povrchu pneumatickým kladivem by mohlo poškodit celý sloup vzniklými mikrotrhlinami. Je tedy lepší odstranit vrstvu ručním nářadím nebo tlakovou vodou v době, kdy není beton zcela zatuhlý. U základových pilot není takto šetrné opatření nutné a je možné danou přebytečnou vrstvu odstranit pneumatickým kladivem. Před betonáží je třeba řádně očistit připravenou pracovní spáru a navlhčit pro kvalitnější spojení betonových vrstev.

Detail pracovních spár  
sloup–deska–sloup:  
M 1:10

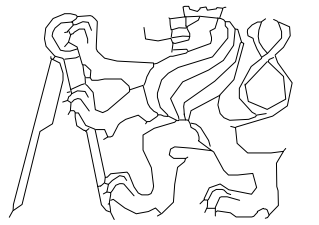


Legenda:

-  Požadované stykování výztuže dle ČSN EN 1992-1-1
-  Odstraněná přebetonovaná vrstva ručním nářadím nebo tlakovou vodou
-  Pracovní spára
  - I. První záběr betonáže
  - II. Druhý záběr betonáže
  - III. Třetí záběr betonáže

Poznámka:

- Pracovní spáru před betonáží zdrsňit ručním nářadím, následně řádně očistit a navlhčit tlakovou vodou

OBOR	PŘEDMĚT	Ian Crowther	
C	Bakalářská práce		
ROČNÍK	Vedoucí bakalářské práce		
4.	doc. Ing. Jitka Vašková, CSc.		
OBSAH			
Detaily pracovních spár sloup–deska–sloup			
FORMÁT	A3		
MĚŘÍTKO	1:10		
DATUM	10.5.2022		



### 1.3.5 Styk konstrukce se stávající svislou konstrukcí

Spáry tohoto druhu se liší od ostatních pracovních spár jednou vlastností. Tyto pracovní spáry jsou nuceny přenášet ohybové a smykové síly. Jsou umístěny ve svislé poloze a spojují převážně svislé, již stávající konstrukce, s vodorovnými konstrukcemi. Příklad takových konstrukcí může být styk monolitických stěn a mezipodesty nebo rampy, či spojení prefabrikovaných stěn s monolitickou stropní deskou. Během provádění svislých konstrukcí by bylo časově náročné anebo neuskutečnitelné přerušit svislý betonový prvek, zabetonovat navazující vodorovnou konstrukci a dále pokračovat v betonáži svislého úseku.



*Obrázek 24: Prefabrikované stěny s instalovanou vylamovací výztuží, vlastní zpracování*

Pro jednoduché napojování konstrukcí, se využívá takzvaná vylamovací výztuž, která je nainstalována do stěny a složenou výztuží přilepená k bedně. Hliníkový plech chrání složenou výztuž před betonovou směsí a po odbednění je výztuž připravena na narovnání a ke stykování k přilehlé spojované konstrukci.



Obrázek 25: Nainstalované vylamovací lišty ve stěně, vlastní zpracování

Druhou variantou stykování výše uvedených konstrukcí je vlepování výztuže do již hotového betonového prvku. Předpokladem této varianty je dostatečné vyztužení již zabetonované konstrukce a dostatečný prostor pro ukotvení vlepované výztuže. Vlepování výztuže je méně finančně a časově náročné než odsekání betonu a uložení doplňkové výztuže.

Vlepované výztuže mají svá omezení, avšak díky úspěšnému vývoji dvousložkových chemických kotev s vyšší soudržností jsou možné kratší kotevní délky, než je požadováno v EN 1992-1-1. Nové chemické kotvy jsou certifikované pro tuhé přípoje. Je doporučeno využít nového evropského návrhového konceptu EOTA TR069, který kombinuje pravidla z EN 1992-1-1 a EN 1992-4. Je tedy umožněn větší prostor pro optimalizaci návrhu bez nutného přesahu výztuže. [12]



Obrázek 26: Realizace zesilujícího základového pasu již stávajících prefabrikovaných sloupů, vlastní zpracování



Při provádění pracovní spáry s vlepovanou výztuží, je nutné dodržovat technologickou kázeň za účelem kvalitního spojení vrstev betonu a dosažení navrženého zakotvení výztuže. V první řadě se musí stávající konstrukce v místě styku obnažit do úrovně výztuže, to znamená odstranění krycí vrstvy betonového prvku v místě styku. Je možné použít malá pneumatická kladiva a hranu plánovaného styku oříznout diamantovým kotoučem za stálé přítomnosti technického dozoru. Konstrukční a nosná výztuž nesmí být porušena. Po obnažení konstrukce se v určených místech provedou vrty, které budou mít průměr o 2 mm větší než navrhovaná vlepovaná výztuž. Hloubka vrtu musí zajistit navrhovanou kotevní délku stykovací výztuže. Následně se všechny vrty vyfoukají a vyčistí od vzniklého betonového prachu. Očistí se také zdrsňený povrch styku konstrukcí. Čisté vrty se naplní do plna chemickou kotvou do betonu. Armatura navržena pro vlepení se vloží do připravených vrtů a s kroutícím pohybem se umístí do vzdálenosti kotevní délky. Konstrukce je po 15 minutách připravena na stykování s nastávající konstrukcí, která se vyarmuje a zabetonuje. Před ukládkou čerstvého betonu je doporučeno navlhčit pracovní spáru pro kvalitnější styk betonových vrstev.



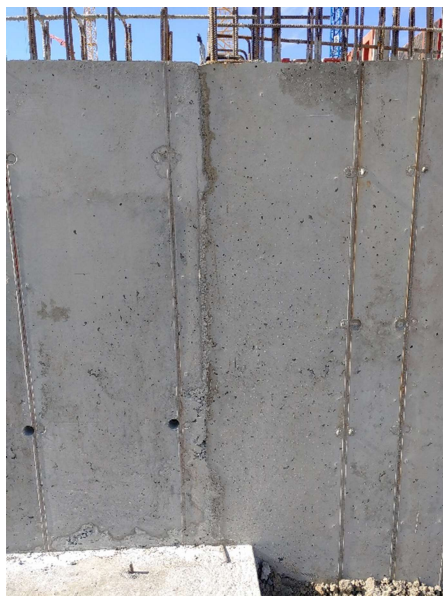
*Obrázek 27: Připravená pracovní spára s vlepovanou výztuží, vlastní zpracování*

Při stykování konstrukcí je možné kombinovat způsob provedení styku. Složitější konstrukce je zpravidla výhodnější provádět vlepováním armatury. Výhodou těchto metod stykování je velká škála využití a kvalitní tuhé spojení betonových konstrukcí.

Na obr. 28 je vyfocena železobetonová stěna a pracovní spára připravena pro provedení mezipodesty ve schodišťovém prostoru. Převážné množství potřebné stykové výztuže je provedeno pomocí instalovaných vylamovacích lišt. Zbylé potřebné železobetonové spoje jsou provedeny vlepenou výztuží do realizované stěny. Je doporučeno zdrsnit spáru v místě vlepované výztuže a před betonáží řádně pracovní spáru očistit a navlhčit.



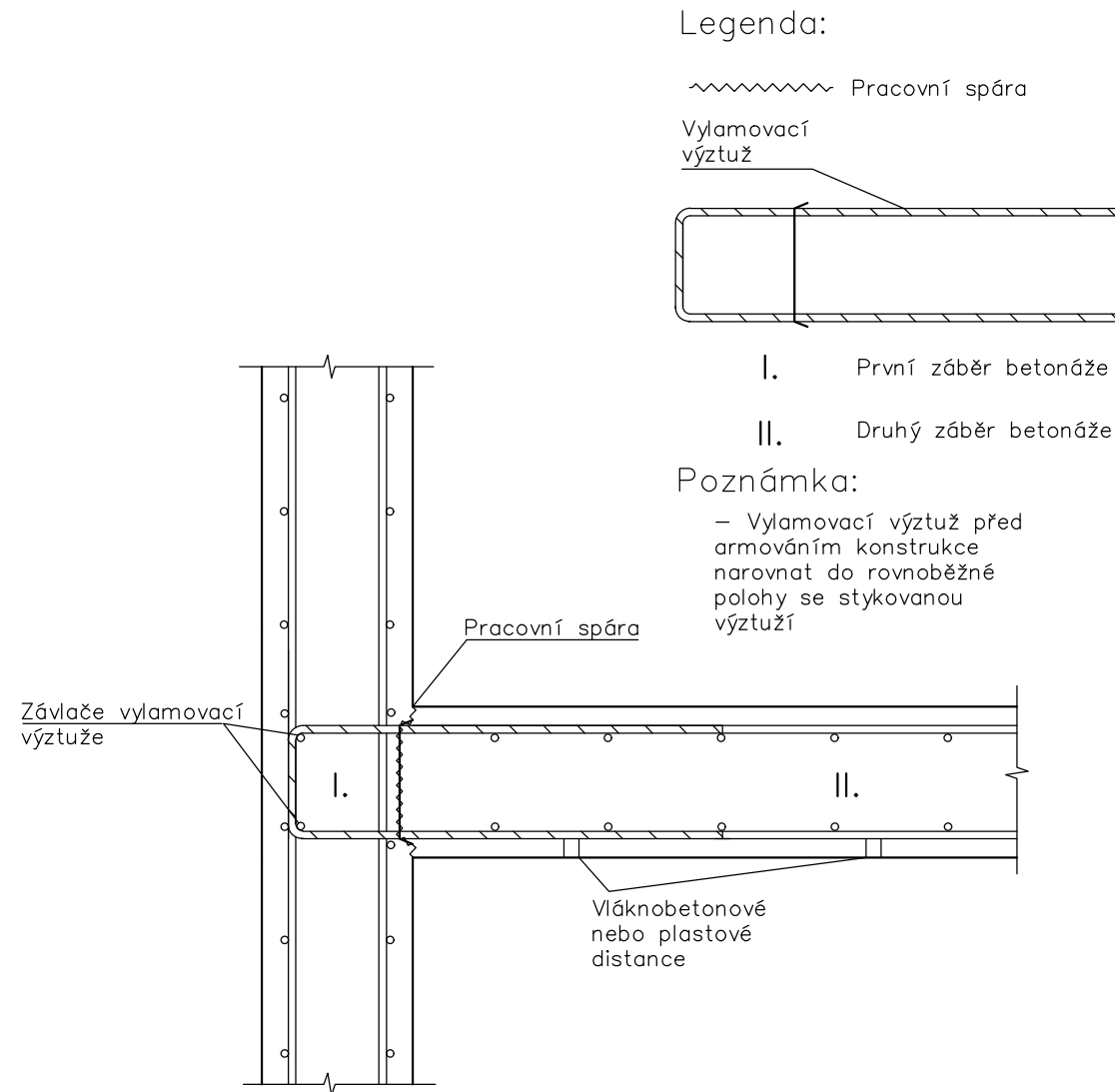
*Obrázek 28: Styk monolitické stěny a mezipodesty s použitím vylamovací výztuže a vlepované armatury, vlastní zpracování*



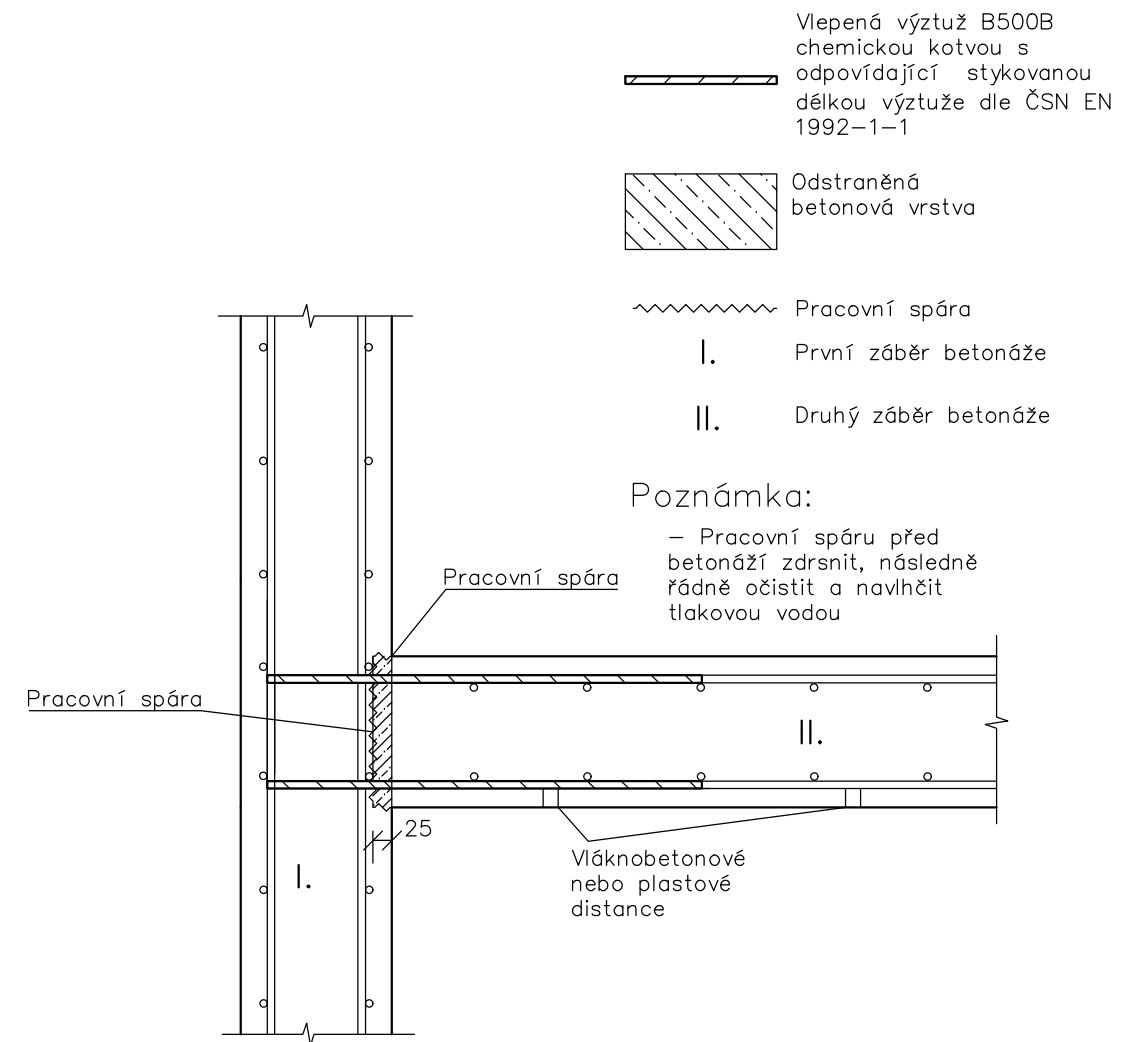
*Obrázek 29: Pracovní spára mezi základovým pasem a retenční nádrží, vlastní zpracování*

Na obrázku 29 je zobrazena pracovní spára. Ke spojení základového pasu a podzemní retenční nádrže byla využita vylamovací lišta uložená ve svislém směru po celé výšce pracovní spáry. Do pracovní spáry s využitím vylamovací výztuže je možné přidat bentonitový bobtnající pás za účelem zlepšení vodonepropustných vlastností dané pracovní spáry.

Detail napojení desky na stěnu pomocí vylamovací výztuže:  
M 1:10



Detail napojení desky na stěnu pomocí vlepené výztuže:  
M 1:10



OBOR	PŘEDMĚT	Ian Crowther		
C	Bakalářská práce			
ROČNÍK	Vedoucí bakalářské práce			
4.	doc. Ing. Jitka Vašková, CSc.			
OBSAH			FORMÁT	A3
Detaily napojení desky na stěnu			MĚŘÍTKO	1:10
			DATUM	10.5.2022



### 1.3.6 Pracovní spáry ve stěnách

Svislé pracovní spáry ve stěnách jsou prováděny především z důvodu přerušení pracovních záběrů realizace obvykle složitých a obsáhlých systémů stěn. Není praktické armovat a zabetonovat celé patro stěn a až následně zabetonovat. V praxi je snahou betonovat záběr, který je schopna tesařská četa za den zabetonovat. Na konci pracovního dne se dané stěny zabetonují a následující ráno může tesařská četa stěny odbednit a se stejným systémovým bedněním připravovat další záběr.

Z důsledku smršťování betonu není výhodné provádět rozsáhlé stěnové záběry. Vzniká v betonu větší vnitřní pnutí a mohou vznikat nežádoucí trhliny, které mají horší vlastnosti soudržnosti a přenášení sil než plánovaná pracovní spára. Vznik trhlin je zvláště nežádoucí u obvodových vodonepropustných betonových stěn. Zde je třeba zmenšit pracovní záběry, postupovat šachovnicovým způsobem realizace betonovaných záběrů nebo tvořit řízené spáry.

Pokud není stěna zamýšlena jako stěnový nosník, není třeba provádět pracovní spáru pod úhlem. Tedy svislá pracovní spára tvořena lehkým tahokovem (B-systém) nebo ABS těsnícím plechem, který znemožní vodě proniknout skrze pracovní spáru. Dané kovové prvky je třeba řádně přivázat vázacím drátem k výztuži, aby tlak čerstvého betonu neporušil nebo neposunul svislou pracovní spáru. Před betonáží druhé strany pracovní spáry je doporučeno spáru očistit a navlhčit vodou.



Obrázek 30: Svislá pracovní spára ve stěně s ABS těsnícím plechem, vlastní zpracování

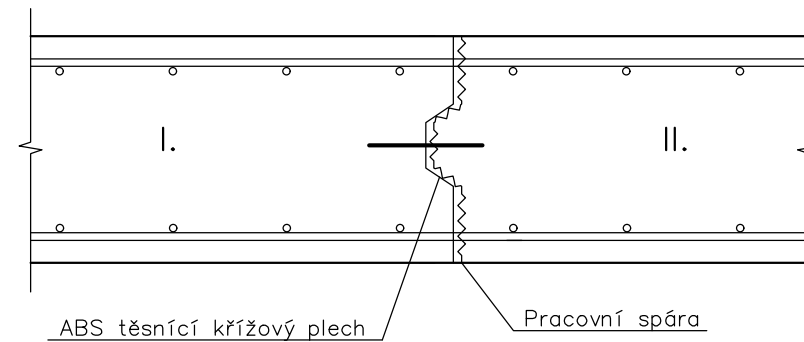
Detail pracovní spáry v  
obvodové vodonepropustné  
stěně:  
M 1:10

Legenda:

- ~~~~~ Pracovní spára
- I. První záběr betonáže
- II. Druhý záběr betonáže

Poznámka:

- Pracovní spáru před betonáží řádně očistit a navlhčit tlakovou vodou
- B-systém pevně přivázat vázacím drátem k výztuži a k dřevěnému hranolu



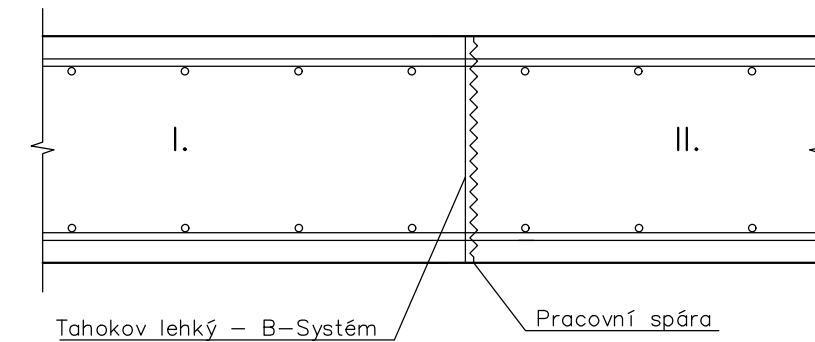
Detail pracovní spáry ve  
stěně:  
M 1:10

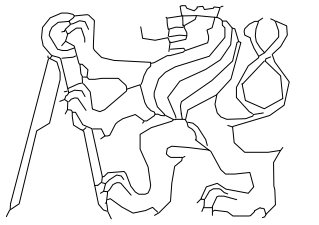
Legenda:

- ~~~~~ Pracovní spára
- I. První záběr betonáže
- II. Druhý záběr betonáže

Poznámka:

- Pracovní spáru před betonáží řádně očistit a navlhčit tlakovou vodou
- ABS těsnící křížový plech pevně přivázat vázacím drátem k výztuži



OBOR	PŘEDMĚT	Ian Crowther	
C	Bakalářská práce		
ROČNÍK	Vedoucí bakalářské práce		
4.	doc. Ing. Jitka Vašková, CSc.		
OBSAH			
Detaily pracovních spár ve stěně			
FORMÁT		A3	
MĚŘÍTKO		1:10	
DATUM		10.5.2022	

### 1.3.7 Spojování prefabrikovaných prvků

Spojování prefabrikovaných prvků je často prováděno svařováním ocelových bodových styků, které staticky přenáší veškeré zatížení, a následně se zbylé spáry zaplní cementovou maltou. Druhým způsobem je spojení prefabrikovaných prvků cementovou maltou nebo betonem s dostatečnou pevnostní třídou. Tím je dosažena celistvost a spolupůsobení celé konstrukce. Dané spoje často nejsou vyztužené a jsou dimenzovány na přenášení tlakových sil.



*Obrázek 31 Betonování spár mezi prefabrikovanými prvky, vlastní zpracování*

Příkladem je také uložení prefabrikovaného sloupu na základovou patku. Aby jednotlivé prvky spolupůsobily a tvořily prostorově tuhou konstrukci, je třeba vytvořit v základové patce prostor kuželovitého tvaru, do kterého se následně uloží a zaklíní prefabrikovaný sloup. Poté proběhne betonáž zbylého prostoru mezi patou sloupu a základovou patkou. Zdrsnění paty sloupu je tvořené již při výrobě pomocí prostorové folie jako je například nopová nebo bublinková folie. Styk mezi čerstvým betonem a základovou patkou není nijak ošetřen, protože díky geometrickým vlastnostem spoje není třeba upravovat danou spáru. Tedy síly procházející skrze pracovní spáru jsou převážně tlačené z důvodu



skosení spáry dle napěťových toků. Také není třeba realizovat dokonalý spoj, protože spára nemá žádné mezní požadavky použitelnosti.



Obrázek 32: Uložení a zabetonování prefabrikovaného sloupu do základové patky, vlastní zpracování

#### 1.4 Neplánované pracovní spáry

Neplánované pracovní spáry jsou nedílnou součástí realizace monolitických železobetonových konstrukcí. Jsou to především nežádoucí pracovní spáry, které je třeba co nejdříve od přerušení dobetonovat. Vznikají nejčastěji selháním stavební techniky nebo nekázní a neodborností realizačního týmu. Častým důvodem vzniku neplánovaných pracovních spár je nepřesnost realizace betonových konstrukcí a nutnost jejich opravy.

##### 1.4.1 Druhy selhání při betonáži

Technické obtíže se na staveništi nebo ve specializovaných výrobních objektech stávají pravidelně. Avšak ve většině případů se dá vyřešit problém dříve, než se začne betonovat nebo alespoň jsou možné jiné alternativy. Například při poruše betonárny v průběhu betonáže je možné v mnoha případech využít betonárnu na jiné adrese v dosahu staveniště a dokončit záběr. Při poruše betonové pumpy (stacionární či automobilní) je možné dokončit betonáž bádii a mobilním nebo věžovým jeřábem, pokud je tato varianta možná, i když je to značně pomalejší řešení v případě rozsáhlých betonáží. V případech kde jiná varianta, než využití betonové pumpy není, není jiná možnost než provést právě

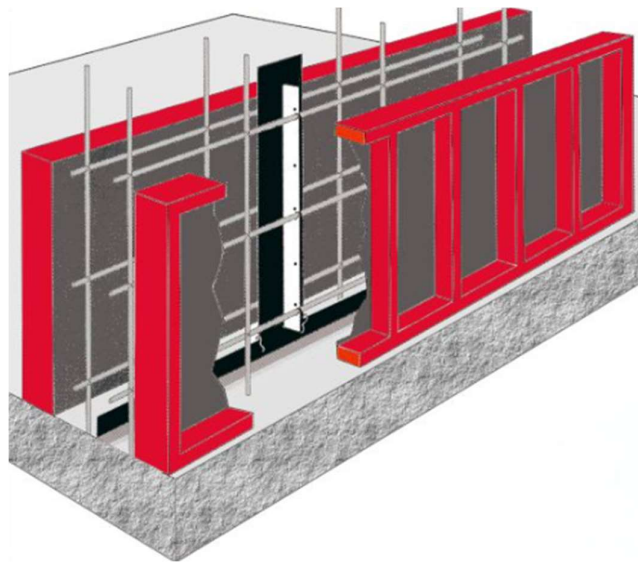
neplánovanou pracovní spáru. Možnou situací je také selhání techniků, kteří neodhadnou požadované množství betonové směsi a kvůli pozdní večerní hodině nelze doobjednat další množství betonu. Tato situace by se stávat neměla, jelikož je zvykem, aby byl dispečer na betonárně přítomný do doby, než stavební mistr potvrdí konec betonáže nebo objedná takzvaný doměr a následně ukončí betonáž. V takovýchto případech, kde je betonáž ukončena po dobu delší, než je doba tuhnutí betonu, se musí spára ošetřit se stejnými opatřeními, jako pracovní spára plánovaná.

Krátkodobé neplánované pracovní spáry mohou vzniknout z velké škály důvodů. Je nespočet příčin, při kterých se betonáž může zpozdít nebo pozastavit v takovém časovém rozmezí, aby uložený beton nebyl ještě zcela zatuhlý, tedy na hranici překročení penetračního odporu 3,5 MPa. Tento proces se pohybuje v řádech několika hodin. Je doporučeno pracovní spáru lehce pokropit vodou a v ideálním případě přikrýt, aby hydratující proces nebyl urychlen odpařováním. Před začátkem pokračování betonáže je nutné takzvaně oživit spáru, tedy porušit tuhnoucí vrstvu betonu a zdrsnit daný povrch styku.

## 1.5 Řízené spáry

Řízené spáry, také nazývány jalové spáry, jsou specifické spáry ve stěnách vodonepropustných betonových konstrukcí. Jejich cílem je oslabit průřez stěny se záměrem prodloužit pracovní záběry monolitických stěn a řídit, kde se konstrukce poruší z důvodů objemových změn betonu. Řízená spára je navržena tak, aby byla schopna zabránit vniknutí tlačené vody do konstrukce nejkratší cestou. Voda musí putovat kolem instalované trhací lišty do neporušeného vodonepropustného betonu, který je svojí tloušťkou schopen zabránit protlačení vody skrze konstrukci. Není však zaručené, že bude armatura ochráněna před korozi v místě řízené spáry.

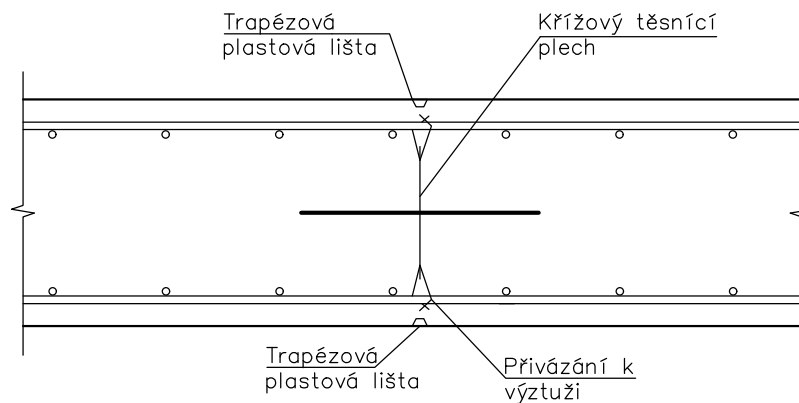
Vložením křížového těsnícího plechu ASS do plánované spáry, zeslabí průřez stěny a vznikne trhlina, která je hned utěsněna. Bitumenový plech se díky své povrchové lepicí vlastnosti k čerstvému betonu přilepí k betonové směsi a brání vodě v proniknutí vzniklou trhlinou. Díky této technologii je možné betonovat větší betonové záběry stěn. Zeslabovací křížový plech musí mít alespoň 50 % šířky stěny. Dále jsou použity trapézové lišty na hranách plánované spáry v kontaktu s bedněním. Používají se pro vytvoření pohledových hran řízené spáry. [13]

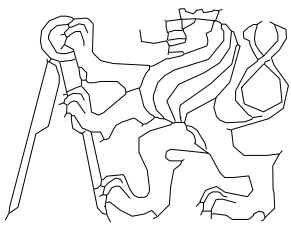


Obrázek 33: Schéma instalace těsnícího křížového ASS plechu [13]

# Detail řízené spáry v obvodové vodonepropustné stěně:

M 1:10

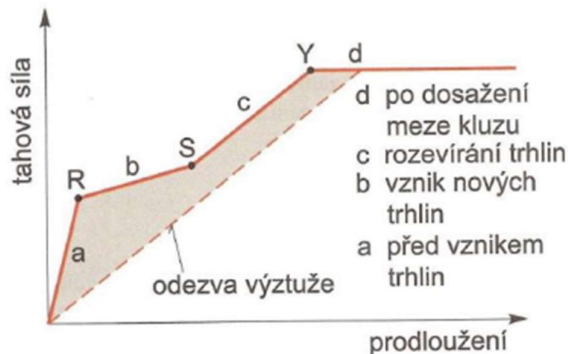


OBOR	PŘEDMĚT	Ian Crowther		
C	Bakalářská práce			
ROČNÍK	Vedoucí bakalářské práce			
4.	doc. Ing. Jitka Vašková, CSc.			
OBSAH			FORMÁT	A4
Detail řízené spáry v obvodové vodonepropustné stěně			MĚŘÍTKO	1:10
			DATUM	10.5.2022

## 2 Smršťování betonu

Smršťování betonu je příčinou mnoha problémů a omezení betonových konstrukcí. Smršťování patří spolu s dotvarováním mezi hlavními reologickými vlastnostmi betonu, u kterých dochází k objemovým změnám. Dotvarování je opožděná deformace na způsobené napětí zatížením konstrukce. Smrštění betonu však nemá nic společného se zatížením působící na betonovaný prvek. Objemová změna betonu smršťováním, která vzniká především z důvodu vysychání cementové pasty, má za následek deformaci u betonových prvků. Beton, který má zpravidla pevnost v tahu 1/10 až 1/15 pevnosti v tlaku, může být vnitřním tahovým napětím porušen. Takové stavy ovlivňují mezní stavy použitelnosti dle návrhové normy.

Smršťování vzniká ve všech betonových konstrukcích. Avšak každý jednotlivý betonový prvek má odlišný průběh a rozsah smrštění, jelikož celý proces je velmi závislý na externích klimatických podmínkách, ošetřování a složení samotného betonu. Volné smršťování probíhá, pokud nejsou objemové změny betonového prvku ničím bráněny. Nevzniká tedy žádné vnitřní napětí, prvek mění svůj objem a nehrozí porušení betonu. Často je objemové změně bráněno v betonové konstrukci, a následkem vzniká vnitřní napětí, které roste v závislosti na rostoucím požadovaném smrštění. Když však mez pevnosti betonu v tahu nedosahuje požadavkům vnitřního napětí, vzniknou trhliny, které rozdělí betonový prvek na více celků. Přerušená betonová konstrukce se může dále smršťovat, ale napětí se po vzniku trhlin sníží a dále probíhá volné smršťování. Vznik trhlin nezpůsobí přerušování konstrukce, betonářská nebo předpínací výztuž protínající trhlinu nadále přenáší tahové síly. Na obrázku 34 je znázorněno schéma průběhu vzniku trhlin v závislosti na zvyšující se tahové síle v železobetonové konstrukci. [16]



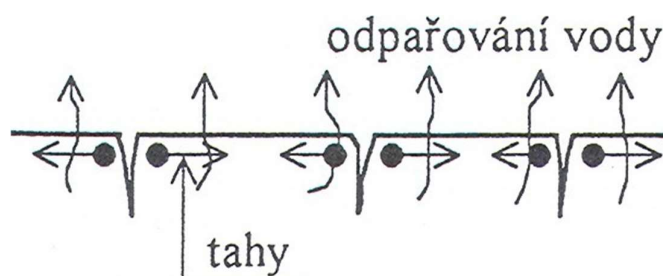
Obrázek 34: Graf rozvoje trhlin od smrštění v závislosti na tahovém napětí

## 2.1 Typy smršťování

Smršťování betonu je zapříčiněno především pohybem vody v rámci betonového prvku a jeho okolí. Smrštění lze posuzovat podle toho, zda došlo k přesunu vlhkosti mezi vnějším prostředím a betonovým prvkem nebo jen v rámci daného vzorku.

### 2.1.1 Plastické smrštění

Plastické smrštění je zásadně ovlivněno hodnotou vodního součinitele a teplotou během ukládky betonové směsi. Za důsledku vyššího vodního součinitele a teploty prostředí, se může voda z betonové směsi odpařovat během tuhnutí betonu a tím zmenšovat objem betonové směsi. Následně vznikají trhliny. Během ukládky a ošetřování prvku je tedy nutné betonové konstrukce udržovat vlhké a v rozmezí teplot nejlépe +5 až +20 °C. Tohoto stavu je možné dosáhnout ochlazením bednění a výztuže před ukládkou a během ošetřování betonu kropit povrch betonu vodou. [18]



Obrázek 35: Princip plastického smrštění betonu [18]

### 2.1.2 Smrštění vysycháním

Vlhkost betonu se v určité době vyrovná s vlhkostí okolního prostředí transportem tepla a vodní páry. Vzniká neustálá výměna hygroskopické vlhkosti, která je díky fyzikálním jevům adsorpce a kapilární kondenzace vázána v pórech a kapilárách daného betonu. Výměna vlhkosti je způsobena difuzí pórového systému v betonu, která je odstartována rozdílem vlhkosti mezi betonem a vnějším prostředím. Pokud je prostředí vlhčí než beton, dochází k bobtnání daného prvku, ale ve většině situací beton vlhkost odevzdává (vysychá). Vlivem vysychání ubývá voda v pórech, tak se vytvoří kapilární síly, které způsobují zmenšení objemu, a tedy smrštění betonu. Náhlý úbytek vody může zapříčinit velké pnutí v betonu, které je větší než pevnost betonu v tahu a vznikají mikrotrhliny. [15]

Vysychání betonové konstrukce za běžných podmínek trvá velmi dlouho. Déle samozřejmě vysychají masivnější konstrukce než konstrukce štíhlé. Je všeobecně známo,



že většina deformace od smršťování proběhne během prvních 3 měsíců. Tato teze může částečně platit pro tenké prvky, ale silnější konstrukce za takto krátkou dobu nestihnou znatelně vyschnout, a tedy se ani nesmrští. Při výpočtu charakteristického času pro vyschnutí stěny tlusté 200 mm byl výpočet roven 400 až 600 dní. Stěna tlustá 800 mm dle výpočtu vysychá 4000 až 6000 dní. Jelikož je smrštění vysycháním významná část deformací od smrštění u běžných betonů, které nepřevyšují pevnost v tlaku 60 MPa, není možné, aby proběhla většina deformací během 90 dnů. [15]

### 2.1.3 Autogenní smršťování

Chemické smrštění je vyvoláno hydratační reakcí cementového kamene a vody. Výsledek hydratační reakce má větší objem než vstupující látky. Betony s běžnou pevností v tlaku nejsou příliš ovlivněny tímto smrštěním (5% deformace smrštění vysycháním). Avšak u vysokohodnotných betonů autogenní smrštění převažuje a dosahuje stejných hodnot deformace jako smrštění vysycháním. [17]

Autogenní smršťování u betonových směsí s vyšší pevností v tlaku, tedy více jak 40 MPa, je závislé na hodnotě vodního součinitele. Deformace od smrštění za nižších hodnot vodního součinitele znatelně nabývají. [16]

### 2.1.4 Karbonatační smrštění

Tento typ smrštění vzniká důsledkem karbonatace cementového kamene. Za přítomnosti vlhkosti dochází k reakci oxidu uhličitého a cementové pasty na povrchu betonového prvku. Karbonatační smrštění může nabýt hodnot 0,7 – 1,0 mm/m za dlouhý časový úsek v řádu let. [18]

### 2.1.5 Smrštění vlivem teploty

Objemové změny za rozdílných teplot konstrukce během roku, jsou ovlivněny převážně změnou teploty v exteriéru. Při snížení teploty prvku se objem smrští a při zahřátí se naopak prvek objemově zvětšuje. Pro zamezení poruch konstrukce od teplotních objemových změn se zpravidla navrhuje dilatační spáry.

## 2.2 Opatření proti nežádoucím účinkům smršťování betonu

Smršťování betonu je problematika, kterou se již zabývá od 20. století. Stále se však zvyšují požadavky na ekonomicky a technologicky optimalizované provádění betonových konstrukcí. Díky výpočetním modelům, které nahradily původní české normy nedostačující v zohlednění reologických vlastností, lze předpovídat chování betonových konstrukcí s bezpečnější přesností. Stále je doporučeno se přiklánět ke straně

bezpečnosti z důvodu možných odchylek, započtených vlivů od skutečného chování. Smrštění lze vypočítat dle ČSN EN 1992-1-1, ČSN EN 1992-2 nebo využitím modelu B3, který je stále modifikovaný dle nových poznatků. Mezi upravené verze patří také model B4. Jednoduché výpočetní modely nemohou dostačovat, protože smrštění a dotvarování betonu je ovlivněno všemi aspekty betonové receptury, tak samotné provádění betonových prvků a vlivy prostředí, kterým je konstrukce vystavena.

### 2.2.1 Vlivy omezující smrštění betonu

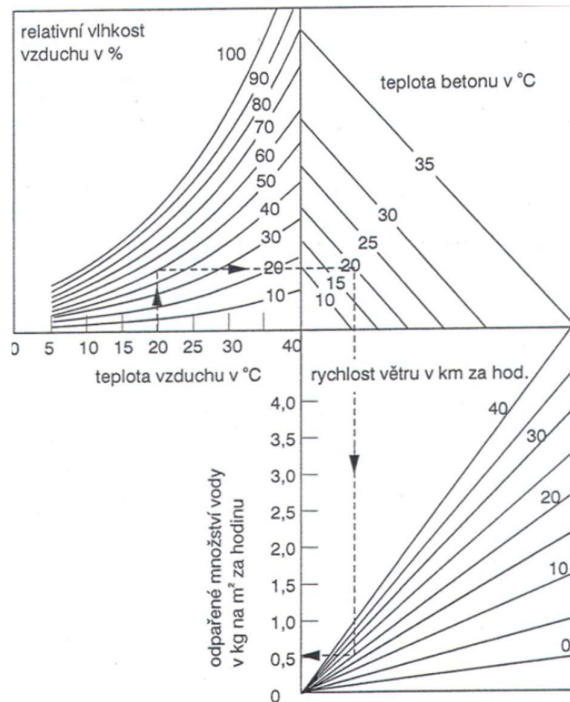
Jelikož největší deformace u běžně používaných betonů je zapříčiněna výměnou vlhkosti mezi prvkem a vnějším prostředím, vnější vlivy nesmí být opomenuty při posuzování smrštění prvku.

#### **Vlhkost**

Při vyšší relativní vlhkosti, než která je v betonové konstrukci, dochází k přijímání vody a k bobtnání daného prvku. Bobtnání zpravidla nedosahuje tak vysokých deformačních hodnot jako smrštění a působí na konstrukci tlakovým napětím. Aby docházelo ke smrštění konstrukce, relativní vlhkost okolního prostředí musí být menší než 95 %. Při snižování relativní vlhkosti v okolí, se smrštění prvku zvyšuje.

#### **Povětrnostní podmínky**

Proudění větru znatelně ovlivňuje odpařování vody z povrchu konstrukce. Při nepříznivých povětrnostních podmínkách dochází ke zvýšenému odpařování nechráněných konstrukcí. Množství odpařené vody v závislosti na relativní vlhkosti vzduchu, povrchové teploty betonu a rychlosti větru lze odvodit z obrázku 36.



Obrázek 36: Odpařování vody na povrchu betonu v závislosti na počasí

### 2.2.2 Vliv složení betonu na smršťování

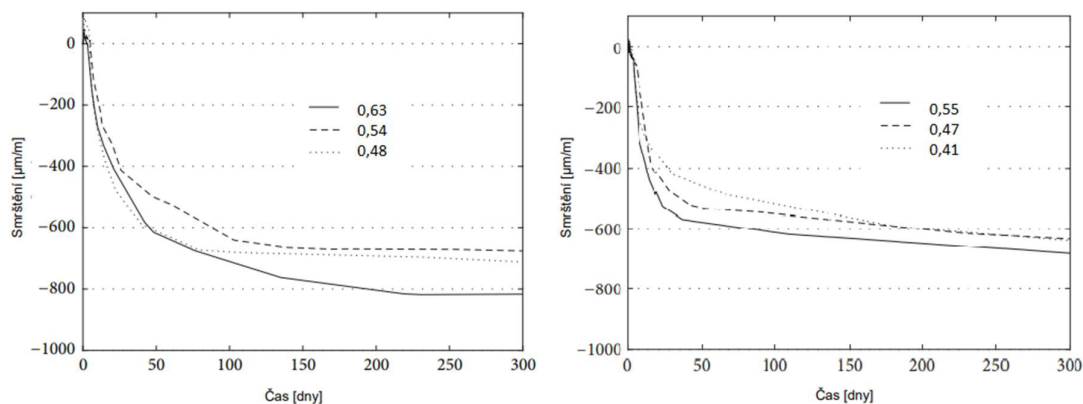
Vlastní receptura betonové směsi je jeden z nejdůležitějších ovlivňujících faktorů smrštění. V současné době, kdy je umožněno podrobně specifikovat požadavky, nebo přímo složení betonu, je možné upravit recepturu pro maximalizaci omezení smrštění betonové konstrukce. Je však nutné zohlednit ekonomickou stránku návrhu a optimalizovat návrh s jednotlivými požadavky konstrukcí.

### Vodní součinitel

Obrázek 37 znázorňuje výsledky experimentu šesti betonových směsí, kde tři jsou bez přidaného plastifikátoru a další tři mají stejné vlastnosti jako předešlé směsi, jen s rozdílem přidaného plastifikátoru. Každá směs má rozdílnou hodnotu vodního součinitele. Obecně lze říci, že betonové směsi s vyšším vodním součinitelem jsou více deformovány od smrštění vysycháním. To je dáno tím, že betony s nižším vodním součinitelem obsahují méně záměsových vod, která se vypařuje v průběhu tuhnutí a zrání.

[19]

Přidáním plastifikačních a superplastifikačních přísad se sníží objem vody v betonové směsi a znatelný podíl smrštění proběhne během prvních 60 dnů a dále se již beton nesmršťuje tak prudce jako betonové prvky bez plastifikátorů.



Obrázek 37: Vliv vodního součinitele na smrštění betonu, (vlevo) bez plastifikačních přísad (vpravo) s přidáním plastifikátorem [19]

## Cement

Smrštění betonu je zásadně ovlivněno volbou cementu, množství cementového kamene a jemnost mletí cementu. Autogenní smrštění je přímo vázané na zmíněné vlastnosti cementu.

Výzkum vedený Tazawem a Miazawem byl zaměřen na vliv cementu na autogenní smrštění betonu při jednotné hodnotě vodního součinitele 0,30. Portlandský a hlinitanový typ cementu vykazují společnou vlastnost vysokého počátečního nabytí pevnosti a ve výsledcích prokazují vysokou hodnotu počátečního autogenního smrštění a také konečného smrštění. Za to nízké hodnoty autogenního smrštění byly dosaženy cementem s vyšší koncentrací belitu. Je tedy možné uvést závěr, že je belitický cement nejvhodnějším výběrem pro omezení deformací způsobených autogenním smrštěním betonu. Jeho výhodou je také pozvolný vývoj počáteční pevnosti a hydratačního tepla. [20]

Jemnost mletí má také vliv na autogenní smrštění betonu. Byl proveden experiment, kde byl jednotný typ cementu rozdělen na čtyři různé jemnosti mletí. Z výsledků lze vyvodit, že čím jemněji namletý cement je, tím dochází k větším deformacím od autogenního smrštění. Je to dáno vyšší hodnotou měrného povrchu cementu, který se dostane do kontaktu s vodou. [20]

Lze tedy vyvodit, že vyšší koncentrace cementu v betonu má za následek vyšší hodnoty deformace od autogenního smrštění. Podobný vliv má jemnost mletého cementového kamene. Při návrhu je nutné se tedy zamyslet, zda je třeba využít betonové směsi vyšších pevností a vyšší jemnost cementu. Využitím nižších pevnostních tříd s hrubým mletím

cementu a správné volby cementového kamene lze zásadně omezit smrštění betonové konstrukce.

### **Kamenivo**

Kamenivo se v betonu nesmršťuje a nemá přímý vliv na deformaci od smrštění betonu. Je však důležité navrhnout kamenivo, které nezvýší modul pružnosti betonového prvku, jelikož hodnota modulu pružnosti má přímý vliv na vznik trhlin od smrštění betonu. [16]

Kamenivo slouží jako plnivo betonové směsi a tvoří 70-80 % objemu betonu. Samotné kamenivo nemusí mít dopad na smrštění betonu, ale při použití menší frakce kameniva, je třeba více vody na adsorpci, čímž se zvýší vodní součinitel betonové směsi. Jak již bylo poznamenáno, vyšší vodní součinitel má přímý vliv na vyšší hodnotu deformace od smrštění vysycháním a plastického smrštění betonu.

### **Přísady a příměsi**

Kombinace přísad a příměsí do betonu mají prokazatelný potenciál omezit smršťování betonu. Proověřené protismršťovací přísady fungují na bázi vícemocných alkoholů. Jejich užitím je možné redukovat deformace od smrštění až o polovinu. Osvědčená je kombinace právě protismršťujících a expanzních přísad. Expanzní přísada zvětší objem betonové směsi na počátku tuhnutí betonu. Tímto jevem vzniká v betonu tlakové napětí, které vytvoří tlakovou rezervu v betonovém prvku, která je následně využita během smršťovacích procesů. Při správné optimalizaci dávkování jednotlivých přísad je možné dosáhnout velmi nízkých deformací a tahových napětí v betonu v důsledku smrštění. Je nutné přidat superplastifikátory pro vyhovující zpracovatelnost betonové směsi. Realizované konstrukce by nemusely být tak daleka namáhány zatížením od smrštění betonu, pokud bude dodržena kázeň při výrobě, ukládce a ošetřování betonu. Je však nutné zmínit vysokou cenu takovýchto nových betonových receptur, která přesahuje o 70 % cenu betonové směsi bez opatření proti smrštění. Je tedy otázkou ekonomické optimalizace, zda se investice do výše zmíněné technologie vyplatí. [16]

### **Vyztužení betonové konstrukce**

Vyztužení betonového prvku je hlavní příčinou nedovolení volného smrštění betonových konstrukcí. Smršťování je reologická vlastnost betonu, které může probíhat nerovnoměrně po konstrukci. Příkladem jsou masivní konstrukce, které jsou často zatížené tahovým napětím nerovnoměrného smrštění vysycháním. Je tedy nutné

navrhovat do betonu vedle nosné výztuže také výztuž konstrukční, která mimo jiné roznáší vnitřní tahová napětí rovnoměrně po konstrukci. Konstrukční zásady vyztužení jsou popsány v ČSN EN 1992-1-1.

Účinky od smrštění jsou převážně omezující při ověření mezního stavu použitelnosti. Posouzení účinků smrštění v mezním stavu se provádí jen při ověřování kritických míst konstrukce, jako jsou místa s působícími účinky druhého řádu nebo posuzování mezního stavu stability. Zda má prvek dostatečnou duktilitu a rotační kapacitu, není nutné posuzovat účinky smrštění v mezním stavu únosnosti. [2]

Při navrhování mezního stavu použitelnosti, je třeba omezit napětí, trhliny a průhyby v konstrukci. Následky deformace od smrštění mohou být převážně napětí a vznik trhlin v betonové konstrukci. Při vysokém napětí ve výztuži betonového prvku je třeba změnit maximální průměr prutů pro omezení možné šířky trhlin v konstrukci (viz tabulka 2 a 3). [2]

Tabulka 2: Maximální průměry výztuže pro omezení šířky trhlin [2]

Napětí ve výztuži [Mpa]	Maximální průměr prutu [mm]		
	$w_k=0,4$ mm	$w_k=0,3$ mm	$w_k=0,2$ mm
160	40	32	25
200	32	25	16
240	20	16	12
280	16	12	8
320	12	10	6
360	10	8	5
400	8	6	4
450	6	5	-

Hodnoty v tabulce vycházejí z následujících předpokladů:  $c = 25$  mm;  $f_{ct, eff} = 2,9$  Mpa;  $h_{cr} = 0,5h$ ;  $(h-d) = 0,1h$ ;  $k_1 = 0,8$ ;  $k_2 = 0,5$ ;  $k_c = 0,4$ ;  $k = 1,0$ ;  $k_t = 0,4$ ;  $k_4 = 1,0$



Tabulka 3: Maximální vzdálenost prutů pro omezení šířky trhliny [2]

Napětí ve výztuži [Mpa]	Maximální průměr prutu [mm]		
	$w_k=0,4$ mm	$w_k=0,3$ mm	$w_k=0,2$ mm
160	300	300	200
200	300	250	150
240	250	200	100
280	200	150	50
320	150	100	-
360	100	50	-

Hodnoty v tabulce vycházejí z následujících předpokladů:  $c = 25$  mm;  $f_{ct, eff} = 2,9$  Mpa;  $h_{cr} = 0,5h$ ;  $(h-d) = 0,1h$ ;  $k_1 = 0,8$ ;  $k_2 = 0,5$ ;  $k_c = 0,4$ ;  $k = 1,0$ ;  $k_t = 0,4$ ;  $k_4 = 1,0$

Návrh výztužení betonového prvku na účinky smrštění lze provést, ale má to své omezení. Příliš vysoké dimenzování výztuže na účinky smrštění jsou již nevhodné a nevyplácí se. Poté je třeba zamezit smršťování betonu jinými prostředky.

Při návrhu předpínaných betonových konstrukcí, je nutné neopomenout vlivy smrštění a dotvarování betonu, která snižují postupem času napětí v předpínané výztuži.

Využití drátkobetonu nebo vláknobetonu výrazně sníží deformace od smrštění z důvodu vylepšení pevnosti betonu v tahu, a to přidáním drátků nebo vláken do betonové směsi.

### Ošetřování betonu

Ošetřování betonu může velmi pomoci při zamezení deformací smrštěním betonu. Je však velmi závislé na technologické kázi realizačního týmu.

Při okamžitém zakrytí betonového prvku fólií, jak to je možné (až po začátku tuhnutí betonu), se zamezí odpařování vody z povrchu betonové konstrukce a omezí se plastické smrštění a vysychání betonu. Lze také aplikovat ochranný nátěr na čerstvý beton, který zamezí výměně vlhkosti mezi betonovou konstrukcí a ovzduším. Ze stejných důvodů lze také zvolit postup kropení betonové konstrukce vodou. Teplota klopené vody by měla být obdobná jako teplota betonu. Nesmí se však vyplavovat cement z betonové směsi v důsledku klopení. Nejlepší možnou alternativou je vlhčení betonu vodní mlhou. Malé vodní kapky mají stejnou teplotu jako okolní ovzduší, tudíž nehrozí prudké ochlazení hydratujícího betonu a také je obtížné vyplavit cement z betonu. Jednou z možností, jak omezit odpařování vody z betonu, je volba betonáže za chladnějšího počasí. Místo

ukládání betonu ve dne, kdy teplota dosahuje nejvyšších hodnot, je možné přesunout betonáž na večerní až noční hodiny. [21]

Ošetřované povrchy je možné také přikrýt geotextilií, ale je zakázáno uložit na betonový prvek suchou geotextilii, protože nasaje vlhkost z betonového prvku a přispěje ke smrštění betonu vysycháním. Navlhčená vrstva geotextilie však ochraňuje beton od povětrnostních podmínek a také povrch konstrukce zůstává déle vlhký bez potřeby neustálého kropení. Variantou také může být kombinace výše uvedených opatření proti vysychání povrchu betonové konstrukce. Uložení mokré geotextilie, řádné pokropení konstrukce vodní mlhou a přikrytí folií může být velmi účinná variant ošetření betonu. Je ale nutné uvedený technologický postup ověřit, zda ovlivní omezení smrštění betonu během tuhnutí natolik, aby byl tento postup navrhován a používán.

### 2.2.3 Smršťovací pruhy

Smršťovací pásy slouží k rozdělení konstrukce během provádění. Cílem je zamezit příliš vysokému tahovému napětí v betonu z důvodu jeho smršťování, které by nevyhovělo meznímu stavu použitelnosti případně únosnosti. V jednotlivých betonových úsecích v průběhu času začnou vznikat tahová napětí. závislá na míře deformací betonu od smrštění. Kdyby celá objemná železobetonová konstrukce byla celistvá, tahová napětí by byla příliš vysoká a železobeton by nedovedl přenášet takové zatížení a začal by se trhat. Snahou je tedy rozdělit konstrukci na menší úseky, které by byly schopny absorbovat deformace od smrštění. Po ukončení převážného množství smrštění betonu se jednotlivé úseky spojí a tvoří celistvou konstrukci. Aby takový postup byl funkční, musí být armatura ve smršťovacích pásech přerušena. Jinak by výztuž byla zatížena tahovým napětím, od více úseků, které je příliš vysoké na dimenzovanou výztuž.



Obrázek 38 Realizace stropní desky se smršťovací pásem [22]

V jednotlivých dilatačních celcích se provádí smršťovací pruhy zpravidla 30 až 35 metrů daleko od sebe. Pruhy jsou široké 600-1200 mm, v závislosti na požadující délce stykování výztuže. Smršťovací spáry se betonují co nejpozději, jak je to možné. Většina smršťovacích pásů se betonuje 90 dní od jejího vzniku, pokud není dáno jinak. Návrhy smršťovacích pásů jsou zpravidla na straně bezpečnosti a zdaleka nejsou navržena všechna opatření zamezující dopady od smršťování betonu.



Obrázek 39: Připravený smršťovací pruh [22]

Většina betonových konstrukcí, ve kterých jsou tvořeny smršťovací pásy jsou konstruovány z betonu běžných pevnostních tříd. V těchto pevnostních třídách betonu je

nejzásadnější smršťování od vysychání. Je to proces, který trvá i několik let, než se vyrovná vlhkost betonu s relativní vlhkostí okolního prostředí. Je tedy otázkou, zda je návrh smršťovacích pásů efektivní a dostačující. Smršťovací pásy jsou styky betonových konstrukcí, které nedosahují pevnosti betonu v tahu nepřerušeného prvku. Je tedy možné, že vzniknou trhliny právě v místech provedení smršťovacího pásu. Dále je problémem samotný zabetonovaný smršťovací pás, který se také smršťuje, ale především ve směru delšího rozměru pásu. Musí se zohlednit smršťování v tomto směru, návrhem výztuže v namáhaném směru. Vzniká zde však smykové napětí ve spáře.

Je tedy doporučeno navrhnout betonovou směs dle výše uvedených poznatků. Vyztužení by mělo být navrženo z výztuže s menším průměrem a hustší sítí armatury. Bednění a ošetření betonu by mělo být na místě do dokončení hydratačního procesu. Následně je doporučeno co nejdříve odbednit betonovou konstrukci, aby betonový prvek vyschnul v co největší míře před betonáží smršťovacího pásu. Vysychání může být podpořeno prouděním vzduchu. V uzavřených prostorech je doporučeno aktivní odvětrávání. Smršťovací pás je třeba vhodně umístit v konstrukci tam, kde nejsou vysoké smykové síly a ohybové momenty. Pracovní spáru je doporučeno uskutečnit způsobem, který je vysvětlen v předešlé kapitole. Recepturu betonu je doporučeno navrhnout tak, aby bylo smrštění co nejvíce omezeno. Využití vláknobetonu s expanzní a protismršťovací přísadou spolu s nízkým vodním součinitelem a hrubě namletým cementovým kamenem je optimálně dosaženým stavem. Frakce kameniva by měla být co největší. Dle výše uvedeného výzkumu, využití belitického cementu by mohlo také snížit deformace od autogenního smršťování. Kvalitní ošetření betonu po ukládce by mělo být samozřejmostí každého realizovaného betonového prvku. Při dodržení výše uvedených podmínek při návrhu a realizaci smršťovacího pásu je možno umístit jednotlivé smršťovací pásy dále od sebe. Zároveň konstrukce nebude o tolik dražší, jako s využitím protismršťovacích a expanzních přísad v celé konstrukci nebo s návrhem dodatečného vyztužení za účelem zamezení smrštění betonu.

### 3 Závěr

Prezentovaná závěrečná bakalářská práce byla zaměřena na studii a popis variant provádění pracovních spár v betonových konstrukcích. Dále se práce zabývala problematikou smrštění betonu a vlivy omezujícími deformaci od smrštění betonových prvků.

V první části práce byl popsán styk betonových vrstev. Z popisů vlivů na soudržnost betonových vrstev a poznatků z realizace byly navrženy technologické postupy provádění různých druhů spojů betonových konstrukcí. Z uvedených informací je prokázáno, že při správném a důkladném technologickém postupu provádění betonových spár je možné navrhovat styky betonových konstrukcí na staticky méně příznivých místech bez ohrožení návrhových mezních stavů. Tento fakt umožňuje postup plynulé a optimalizované výstavby betonových konstrukcí. Hlavním řešeným problémem bylo přerušení vodorovných konstrukcí, které mají vysoké požadavky na mezní stavy únosnosti a použitelnosti.

V druhé polovině závěrečné práce byla popsána problematika smršťování betonu, který má dopad na návrh smršťovacích spár. Smršťování je ovlivněno mnoha faktory vstupujícími do provedení betonové konstrukce. V této práci jsou popsány možné varianty provedení nebo výběr jednotlivých komponentů, které mohou ovlivnit rozsah smrštění betonu. Dále byly poznatky vyhodnoceny. Výsledkem druhé části závěrečné práce byl popis provádění smršťovacích pásů. Z popsaných poznatků jak pracovních spár, tak smrštění betonu, byl navržen technologický postup provádění smršťovacích pruhů za účelem zlepšit funkci a spolehlivost zmíněných pruhů. Bylo dokázáno, že při dodržení technologického postupu je možné prodloužit smršťovací úseky. Je však potřeba daný návrh podložit výpočtem, protože je mnoho proměnných vlivů, které mohou mít dopad na smrštění betonových konstrukcí.

Obecně je možné říci, že jednotlivé návrhy betonových konstrukcí by mohly být účinnější při kvalitnějším dohledu na důslednost při provádění betonových konstrukcí. Důkazem mohou být prefabrikované betonové prvky, které jsou navrhovány a provedeny s vyšší spolehlivostí.

## Seznam literatury

- [1] ČÍRTEK, Ladislav. Betonové konstrukce I: Betonové konstrukce prutové. Brno: [sn], 2005.
- [2] ČSN, E. N. 1-1 (ČSN 73 1201). Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí-Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby, 1992, 1-1.
- [3] DYBEL, Piotr; WAŁACH, Daniel. Evaluation of the development of bond strength between two concrete layers. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing, 2017. p. 032056.
- [4] NANIĆ, Denis. Vliv cyklického zatěžování teplotou na soudržnost betonových vrstev. 2018. Bachelor's Thesis. České vysoké učení technické v Praze.
- [5] FIB model code for concrete structures 2010. Berlin : Ernst&Sohn, 2013, ISBN: 978-3-433-03061-5
- [6] HUI-CAI, Xie; GENG-YING, Li; GUANG-JING, Xiong. Microstructure model of the interfacial zone between fresh and old concrete. *Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed.*, 2002, 17.4: 64-68.
- [7] Needle-like particles of cement (Ettringit) in the BREX surrounded by... | Download Scientific Diagram. ResearchGate | Find and share research [online]. Copyright © 2016 The Institution of Chemical Engineers. Published by Elsevier B.V. All rights reserved. [cit. 10.05.2022]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/figure/Needle-like-particles-of-cement-Ettringit-in-the-BREX-surrounded-by-the-bentonite\\_fig5\\_272385714](https://www.researchgate.net/figure/Needle-like-particles-of-cement-Ettringit-in-the-BREX-surrounded-by-the-bentonite_fig5_272385714)
- [8] Českomoravský beton – výroba betonu, doprava betonu a čerpání betonových směsí [online]. Copyright © [cit. 11.05.2022]. Dostupné z: [https://www.transportbeton.cz/uploads/sources/beton-university-prezentace/c903216a377012e6851f016ac30f70e8\\_07-bu-betony-pro-masivni-konstrukce-zasady-materialy-hunka-pdf.pdf](https://www.transportbeton.cz/uploads/sources/beton-university-prezentace/c903216a377012e6851f016ac30f70e8_07-bu-betony-pro-masivni-konstrukce-zasady-materialy-hunka-pdf.pdf)
- [9] ČSN 73 1332. Stanovení tuhnutí betonu. Praha: Český normalizační institut, 1986, 8 s. Třídící znak 73 1332.
- [10] FIB model code for concrete structures 2010. Berlin : Ernst&Sohn, 2013, ISBN: 978-3-433-03061-5.
- [11] ScienceDirect. ScienceDirect [online]. Copyright © [cit. 15.05.2022]. Dostupné z: [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061810004654?casa\\_token=](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061810004654?casa_token=)

VllchmbNUeUAAAAA:cUnnZOxsxOeXPd\_1kTIRhgCtw5PD5g4vdMenfKNy8FvDJK  
Tjs6aF2hEtSuYFWYIsHRerC5\_rwK8

[12] Hilti.cz - Hilti Czech Republic [online]. Copyright © [cit. 11.05.2022]. Dostupné z: <https://www.hilti.cz/content/dam/documents/pdf/ee/cz/Novinky%20v%20metod%C4%9B%20n%C3%A1vrhu%20dodate%C4%8Dn%C4%9B%20vleповan%C3%A9%20v%C3%BDztu%C5%BEE.pdf>

[13] Illichman.cz – ILLICHMAN, Výroba těsnících materiálů pro pracovní spáry v betonech [online]. Copyright © [cit. 11.05.2022]. Dostupné z: [www.illichman.cz/in/ass](http://www.illichman.cz/in/ass)

[14] IndiaMART - Indian Manufacturers Suppliers Exporters Directory, India Exporter Manufacturer [online]. Copyright © [cit. 10.05.2022]. Dostupné z: <https://www.indiamart.com/proddetail/cold-forging-splicing-rebar-coupler-11462782633.html>

[15] eBETON neboli SVĚT BETONU [online]. Copyright © [cit. 14.05.2022]. Dostupné z: [https://www.ebeton.cz/wp-content/uploads/2016-2-40\\_0.pdf](https://www.ebeton.cz/wp-content/uploads/2016-2-40_0.pdf)

[16] Ministerstvo dopravy ČR-Domovská stránka [online]. Copyright © [cit. 14.05.2022]. Dostupné z: <https://www.mdcz.cz/getattachment/Dokumenty/Veda-a-vyzkum/Certifikovane-metodiky/Dopravni-stavitelstvi/Methodika-navrhu-a-provadeni-rizenych-smrstovacich/ME61C2~1.PDF.aspx>

[17] [online]. Dostupné z: [https://mech.fsv.cvut.cz/wiki/images/1/15/Bazant\\_2010\\_havasek.pdf](https://mech.fsv.cvut.cz/wiki/images/1/15/Bazant_2010_havasek.pdf)

[18] [online]. Dostupné z: <https://www.stavba.tzb-info.cz/podlahy/21497-prumyslove-podlahy-vlivy-na-kvalitu>

[19] KUCHARCZYKOVÁ, Barbara, et al. Experimental analysis on shrinkage and swelling in ordinary concrete. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2017, 2017.

[20] TAZAWA, Ei-ichi; MIYAZAWA, Shingo. Influence of cement and admixture on autogenous shrinkage of cement paste. *Cement and concrete research*, 1995, 25.2: 281-287.

[21] Smršťování betonu | Ebeton. eBETON neboli SVĚT BETONU [online]. Copyright © Svaz výrobců betonu ČR [cit. 18.05.2022]. Dostupné z: <https://www.ebeton.cz/pojmy/smrstovani-betonu/>

[22] Výukové materiály – prezentace, doc. Ing. Jitka Vašková, 2022



## Seznam tabulek

Tabulka 1: Maximální délky dilatačních celků v budovách a halách v [m], vlastní zpracování.....	17
Tabulka 2: Maximální průměry výztuže pro omezení šířky trhlin [2] .....	56
Tabulka 3: Maximální vzdálenost prutů pro omezení šířky trhliny [2].....	57

## Seznam obrázků

Obrázek 1: Typy spár a prostupů v betonové konstrukci [4].....	9
Obrázek 2: Rozhraní betonových vrstev [4].....	10
Obrázek 3: Chemický spoj vyztuženého a čerstvého betonu [11] .....	11
Obrázek 4: Krystaly ettringitu v betonové směsi [7].....	12
Obrázek 5: Schéma smykového třecího mechanismu [10].....	13
Obrázek 6: Drsnost povrchu, l-délka úseku, $R_m$ -průměrná odchylka, $y$ -absolutní odchylka [10].....	14
Obrázek 7: Zdrsněný základový pás pneumatickým kladivem, vlastní zpracování .....	15
Obrázek 8: Deformace a momenty při oteplení rámu [1].....	16
Obrázek 9: Dilatační celky navržené z důvodu rozdílného sedání základů [1].....	18
Obrázek 10: Schéma betonáže odstávky pracovního záběru masivní betonové konstrukce [8].....	20
Obrázek 11: Věžový jeřáb prostupující stropními konstrukcemi, vlastní zpracování ....	22
Obrázek 12: Schéma rámové konstrukce s vykreslením ostatního zatížení, vlastní zpracování.....	23
Obrázek 13: Schéma rámové konstrukce s vykreslenými posouvajícími silami, vlastní zpracování.....	23
Obrázek 14: Schéma rámové konstrukce s vykreslením ohybových momentů, vlastní zpracování.....	24
Obrázek 15: Příhradová analogie toku tlakového a tahového napětí na prostém nosníku od zatížení, vlastní zpracování.....	25
Obrázek 16: Betonovaná pracovní spára stropní desky, vlastní zpracování.....	26
Obrázek 17: Pracovní spára v základovém pasu, vlastní zpracování .....	27
Obrázek 18: Šroubovaný styk výztuže [14].....	27
Obrázek 19: Pracovní spára v základové desce s vodonepropustnými vlastnostmi .....	28

Obrázek 20: Pracovní spáry mezi stropní deskou a stěnami, vlastní zpracování .....	31
Obrázek 21: Neočištěná (vlevo) a očištěná (vpravo) pracovní spára, vlastní zpracování .....	32
Obrázek 22: Přivázaný těsnící plech BK před betonáží základové desky, vlastní zpracování .....	33
Obrázek 23: Umístěný těsnící BK plech a bentonitový pásek na zabetonované základové desce, vlastní zpracování .....	33
Obrázek 24: Prefabrikované stěny s instalovanou vylamovací výztuží, vlastní zpracování .....	37
Obrázek 25: Nainstalované vylamovací lišty ve stěně, vlastní zpracování .....	38
Obrázek 26: Realizace zesilujícího základového pasu již stávajících prefabrikovaných sloupů, vlastní zpracování.....	38
Obrázek 27: Připravená pracovní spára s vlepovanou výztuží, vlastní zpracování .....	39
Obrázek 28: Styk monolitické stěny a mezipodesty s použitím vylamovací výztuže a vlepované armatury, vlastní zpracování .....	40
Obrázek 29: Pracovní spára mezi základovým pasem a retenční nádrží, vlastní zpracování .....	40
Obrázek 30: Svislá pracovní spára ve stěně s ABS těsnícím plechem, vlastní zpracování .....	42
Obrázek 31: Betonování spár mezi prefabrikovanými prvky, vlastní zpracování.....	44
Obrázek 32: Uložení a zabetonování prefabrikovaného sloupu do základové patky, vlastní zpracování.....	45
Obrázek 33: Schéma instalace těsnícího křížového ASS plechu [13] .....	47
Obrázek 34: Graf rozvoje trhlin od smrštění v závislosti na tahovém napětí.....	49
Obrázek 35: Princip plastického smrštění betonu [18].....	50
Obrázek 36: Odpařování vody na povrchu betonu v závislosti na počasí .....	53
Obrázek 37: Vliv vodního součinitele na smrštění betonu, (vlevo) bez plastifikačních přísad (vpravo) s přidaným plastifikátorem [19] .....	54
Obrázek 40: Realizace stropní desky se smršťovací pásem [22].....	59
Obrázek 41: Připravený smršťovací pruh [22] .....	59