

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**Fakulta Stavební**

**Katedra betonových a zděných konstrukcí**



**Rešerše**

**Matěj Vyskočil**

**Podzemního vodojemu na vrchu Čakan u Sobotky**

Studijní program: Stavební inženýrství

Obor: Konstrukce a dopravní stavby

Vedoucí práce: Ing. Hana Hanzlová, CSc.

Praha 2023

## Obsah

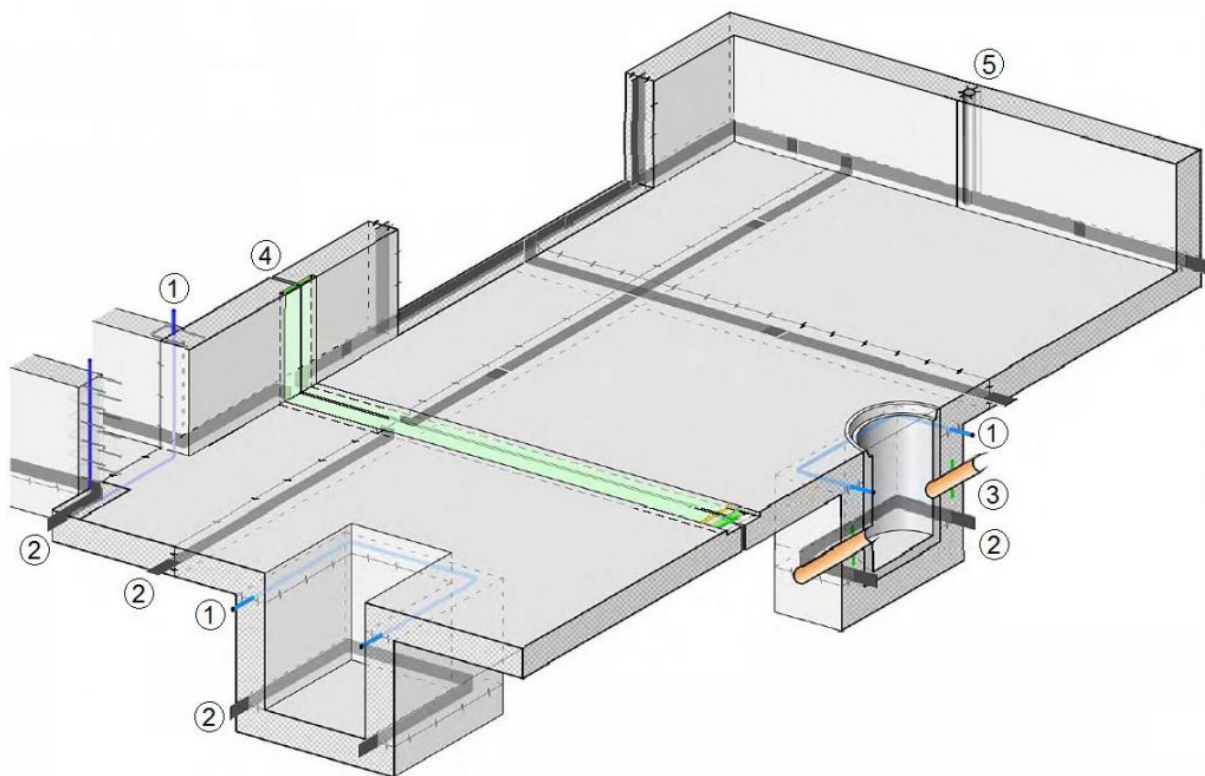
1. ÚVOD.....	3
2. Betonová směs.....	4
3. Normy pro navrhování.....	4
3.1. ČSN 1992-1-1 [1].....	4
3.2. ČSN 1992-3 [2].....	5
3.3. TP ČBS 02 [4].....	6
3.4. TP ČBS 04 [5].....	9
4. Výpočet šířky trhlin.....	11
4.1. ČSN EN 1992 1-1 [1].....	11
4.2. ČSN EN 1992 - 3 [1].....	13
4.3. Výpočet raných trhlin.....	15
4.4. Deska namáhaná omezeným vynuceným přetvořením.....	16
4.5. Stěna namáhaná omezeným vynuceným přetvořením.....	18
4.6. Vzorce použité v rámci statického výpočtu.....	21
4.6.1. Průřezové charakteristiky ideálního průřezu.....	21
4.6.2. Volná přetvoření.....	22
5. Řešení spár a prostupů.....	24
5.1. Pracovní spára.....	24
5.2. Dilatační spára.....	26
5.3. Řízené pracovní spáry.....	26
5.4. Neplánované pracovní spáry.....	26
5.5. Těsnění prostupů.....	26
6. Postupy při betonáži.....	27
7. Zdroje.....	28

## 1. ÚVOD

Bílá vana je železobetonová konstrukce, která plní funkci nosnou a těsnicí, bez nutnosti použití povlakové hydroizolace. Bílá vana je tvořena betonovou směsí, která může být upravena pomocí přísad a příměsí (plastifikační, zpomalovače tuhnutí, stabilizační atd.), ale nejsou pro vodotěsnost konstrukce bezpodmínečně nutné. Vodonepropustnost konstrukce zajišťuje celistvost konstrukce bez drobných trhlin (dle různých národních standardů se jedná o trhliny řádově okolo 0,2mm). Výztuž do bílé vany je navržena s ohledem na vznik těchto trhlin v raných fázích tuhnutí a tvrdnutí betonu.

Bílé vany se používají pro různé typy konstrukcí od spodní stavby pozemních staveb přes průmyslové a inženýrské stavby až po tunely a kolektory, které je třeba chránit proti vodě nebo zemi vlhkosti.

Nedílnou součástí vodonepropustnosti bílé vany je řešení pracovních a dilatačních spár a prostupů inženýrských sítí, které jsou velmi častým zdrojem problémů u tohoto typu konstrukce.



Obázek. 1 – Schéma konstrukce bílé vany [10]

## 2. Betonová směs

Pro funkční návrh bílé vany je důležitá i správně navržená betonová směs. Beton by měl být dobře zpracovatelný, dostatečně hutný a s co nejmenším odloučením vody. Správným výběrem betonové směsi lze pozitivně ovlivnit množství hydratačního tepla a tím zabránit vzniku trhlin a omezit napětí od smršťování. Cílem je použít beton, který obsahuje co nejmenší množství pojiva a vody. [3]

Minimální vodní součinitel pro úplnou hydrataci cementu je cca 0,18-0,25, nicméně z technologických důvodů je potřeba vody více. Nicméně je zde snaha držet vodní součinitel co nejnižší, aby nedocházelo ke vzniku pórů, které mají nepříznivý vliv na vodonepropustnou funkci betonu. Dle ČSN EN 206-1 by se měl vodní součinitel pohybovat do 0,45. [3]

Během betonáže dochází k velkému nárůstu teplot betonu, které je třeba co nejvíce omezit, aby nedošlo ke vzniku trhlin. Největší vliv na teplotu má teplota čerstvého betonu, teplota prostředí, rozměry konstrukce a vývoj hydratačního tepla betonu. Nejlépe lze ovlivnit vývin hydratačního tepla, a proto je vhodné používat pomalu tuhnoucí cementy s nízkým obsahem tricalcium silikátu (C3A), který rychle hydratuje a vyvíjí velké hydratační teplo. Lze také použít cementy směsné nebo cementy s příměsí nahrazujícími část cementu (popílek, struska). [9]

Kamenivo by mělo mít nízkou porozitu a být odolné vůči alkalické reakčnosti. [3]

## 3. Normy pro navrhování

Jako pro každou betonovou konstrukci v České republice by měla být splněna ustanovení Eurokódu 2 pro betonové konstrukce ČSN EN 1992-1-1[1] a souvisejících Eurokódů 0 a 1 (zásady navrhování a zatížení konstrukce). Česká norma pro návrh bílé vany neexistuje kromě normy pro nádrže a zásobníky ČSN EN 1992-3[2]. Pro návrh je možné použít překlad německé směrnice pod označením TP ČBS 04 – Směrnice pro vodonepropustné betonové konstrukce[5] nebo překlad rakouské směrnice TP ČBS 02 – Bílé vany – Vodotěsné betonové konstrukce[4]. Dalším zdrojem informací k problematice bílých van je kniha od autorů Lohmayer a Ebeling: Weisse Wannen einfach und sicher ("Bílé vany snadné a bezpečné")[11]. Požadavky na výrobu a specifikaci betonu jsou uvedeny v normě ČSN 206 a ČSN P 73 2404. Požadavky na provádění betonových konstrukcí jsou stanoveny v ČSN EN 13670.

### 3.1. ČSN 1992-1-1 [1]

Tato norma omezuje maximální šířku trhliny  $w_{max}$ , která závisí na stupni vlivu prostředí podle tabulky 1. Toto omezení však nebere ohled na vodonepropustnost, a tak bude maximální přípustná šířka trhliny vycházet větší, než maximální přípustná šířka trhliny podle směrnice zabývající se bílou vanou a jejími požadavky na vodonepropustnost.

Stupeň vlivu prostředí	Železobetonové prvky a prvky předpjaté nesoudržnou výztuží	Prvky předpjaté soudržnou výztuží
	Kvazi-stálá kombinace zatížení	Častá kombinace zatížení
X0, XC1	0,4 <sup>1)</sup>	0,2
XC2, XC3, XC4	0,3	0,2 <sup>2)</sup>
XD1, XD2, XD3, XS1, XS2, XS3		Dekomprese
<sup>1)</sup> Pro stupně vlivu prostředí X0, XC1 nemá šířka trhliny vliv na trvanlivost a uvedená hodnota má vést k obecně přijatelnému vzhledu. Pokud nejsou kladeny požadavky na vzhled, lze uvedenou hodnotu zvětšit. <sup>2)</sup> Pro tyto stupně vlivu prostředí má být kromě toho posouzena dekomprese při kvazi-stálé kombinaci zatížení.		

Tabulka 1 – doporučené hodnoty  $w_{max}(mm)$ [1]

### 3.2. ČSN 1992-3 [2]

Pro návrh klasické bílé vany by byla tato Norma až příliš přísná vzhledem k tomu, že je určená pro nádrže a zásobníky. Moje bakalářská práce se zabývá návrh podzemního vodojemu, takže pro mě bude tato norma závazná. Konstrukce je zde roztržena do tříd nepropustnosti (0-3) dle požadavku na omezení průsaku. Jednotlivé třídy nepropustnosti udávají požadavky na omezení šířky trhlin.

Třída nepropustnosti	Požadavky na průsak
0	Jistý stupeň průsaku se připouští nebo je průsak kapalin irelevantní.
1	Průsak je omezen na malé množství. Připouští se několik povrchových skvrn nebo vlhkých míst.
2	Průsak je minimální. Vzhled nesmí být znehodnocen skvrnami.
3	Průsak není povolen.

(111) Příslušná omezení trhlin, závisající na zatřídění uvažovaného prvku, se mají volit a to s ohledem na požadovanou funkci konstrukce. Pokud nejsou zvláštní požadavky lze uvažovat následující.

Třída nepropustnosti 0 – lze přijmout ustanovení 7.3.1 EN 1992-1-1

Třída nepropustnosti 1 – pokud lze očekávat, že trhliny budou procházet přes celou tloušťku průřezu, musí být šířka trhliny maximálně  $w_{k1}$ . Ustanovení 7.3.1 EN 1992-1-1 se použijí, pokud trhliny neprocházejí celou tloušťkou průřezu a jsou splněny podmínky (112) a (113).

Třída nepropustnosti 2 – trhliny, u nichž lze očekávat, že budou procházet přes celou tloušťku průřezu, se mají vyloučit, pokud nejsou přijata vhodná opatření jako jsou vystýlky nebo bariéry proti vodě

Třída nepropustnosti 3 – pro zajištění vodotěsnosti bude požadováno použití zvláštních opatření (jako např. vystýlky nebo předpětí)

Tabulka 2 – Klasifikace nepropustnosti [2]

### 3.3. TP ČBS 02 [4]

Návrh dle rakouské směrnice připouští vznik závad, které je možné vyřešit příslušnými sanačními zásahy. Tento přístup omezuje výši nákladů, které by bylo třeba vynaložit v případě přísnějších požadavků na konstrukci, která by měla vyloučit veškeré závady. Cílem této směrnice je navrhnout optimální množství výztuže, které dostatečně omezí šířku trhlin. Výsledkem je hospodárný a bezpečný návrh[3].

Tato směrnice rozlišuje 5 tříd požadavků na konstrukci: As, A1, A2, A3 a A4. Konstrukce jsou rozříděny do tříd dle požadavků na vzhled povrchu, posouzení vlhkých míst a vad na povrchu betonu. Nej přísnější požadavky jsou na třídu As a nejméně požadavků je na třídu A4. Projektant spolu s investorem vyberou nejvhodnější třídu v závislosti na využití vnitřních prostor stavby.

Třída požadavků	Zkrácené označení	Popis povrchu betonu	Posouzení vlhkých míst	Připustná vadná místa (vlhká místa, trhliny atd.) na povrchu betonu	Dodatečná opatření	Příklady použití	Konstrukce
As Zvláštní třída	Zcela suché	Žádná vizuálně patrná vlhká místa (tmavé zabarvení)			Stavebně-fyzikální vyšetření a temperování/klimatizování prostoru je bezpodmínečně nutné	Sklady zboží, které je zvláště citlivé na vlhkost	2)
A1	Z větší části suché	Vizuálně patrná jednotlivá vlhká místa (max. matné tmavé zabarvení)	Po plošném dotyku suchou rukou nejsou patrné žádné stopy po vodě	Na 1 % povrchu sledované konstrukce mohou být vlhká místa. Proužky vody vysychají po max. 20 cm	Je nutné stavebně-fyzikální vyšetření, v jeho důsledku může být potřebné temperování/klimatizace prostoru (např. při dlouhodobém pobytu lidí)	Dopravní stavby s vysokými požadavky, místnosti pobytu, sklady, domovní sklepy (skladovací prostory), domovní technické prostory se zvláštními požadavky	2), 3)
A2	Lehce vlhké	Vizuálně a dotykem patrná jednotlivá lesklá (vlhká) místa na povrchu	Není možné změřit množství odtékající vody. Po dotyku ruky jsou rozeznatelné stopy vody.	je přípustné 1 % vlhkých míst na celém povrchu betonového dílu. Jednotlivé proužky vody, které na povrchu betonu vysychají.	Ve zvláštních případech může být potřebné temperování/klimatizování	Garáže, prostory s domovní technikou (např. kotelny, kolektory), dopravní stavby	2), 3)
A3	Vlhké	Kapkovitý výskyt vody s tvorbou proužků vody	Množství odtékající vody lze měřit v zachytných nádobách	Pro stěny, podlahové desky a podzemní stěny platí: max. množství vody na jedno chybné místo resp. běžný m pracovní spáry podzemní stěny nesmí překročit 0,2 l/h, přičemž průnik vody na 1 m <sup>2</sup> stěny smí být v průměru max. 0,01 l/h <sup>1)</sup>	Uvažovat s odvodňovacími opatřeními	Garáže (s dodatečnými opatřeními, např. odvodňovací žlaby) atd.	(2)), 3)
A4	mokré	Jednotlivá mokvající místa s výskytem vody, pro podlahové desky, stěny a podzemní stěny	Množství odtékající vody lze měřit v zachytných nádobách.	Maximální množství vody na jedno vadné místo nesmí překročit 2 l/h, přičemž průnik vody na 1 m <sup>2</sup> stěny nesmí v průměru překročit 1 l/h <sup>1)</sup>	Uvažovat s odvodňovacími opatřeními	Vnější skořepina dvouplášťových konstrukcí.	3)

1) Tento průměr se počítá jen z průniku vody z vnějšího smáčené plochy stěny mezi hladinou návrhového stavu vody a spodní hranou posuzované části konstrukce.

2) Bílé vany ve smyslu této směrnice.

3) Souvislé podzemní stěny podle ÖVBB-směrnice

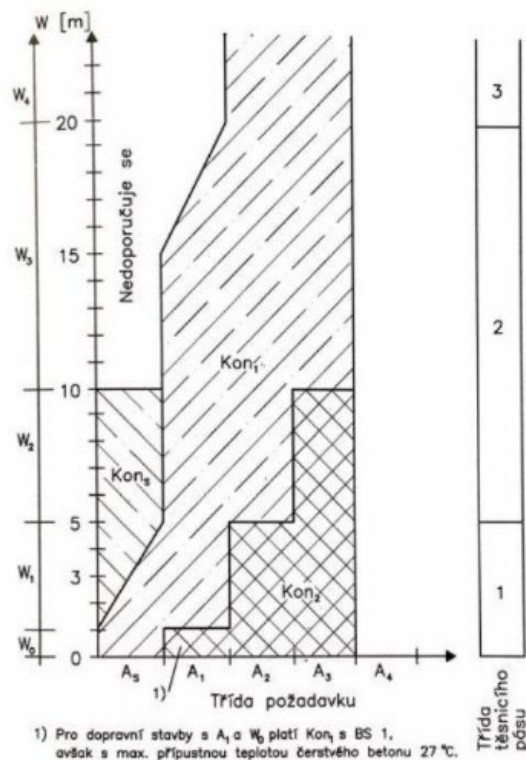
Tabulka 3 – Třída požadavků na vodotěsnost vnějších stěn, základových desek a stropů [4]

Dále je třeba určit třídu tlaku vody podle výšky vodního sloupce. Vodní sloupec je měřen od hladiny podzemní vody ke spodní hraně konstrukce. V případě vysokých stěn lze rozdělit stěnu po výšce na několik částí a třídy tlaku odstupňovat.

Třída tlaku vody <sup>1)</sup>	Popis
$W_0$	Tlak vody 0,0 až 1,0 m
$W_1$	Tlak vody > 1,0 až 5,0 m
$W_2$	Tlak vody > 5,0 až 10,0 m
$W_3$	Tlak vody > 10,0 až 20,0 m
$W_4$	Tlak vody > 20,0 m

Tabulka 4 – Třídy tlaku vody [4]

Pomocí třídy požadavků a třídy tlaku vody je možné z grafu stanovit konstrukční třídu  $K_{ons}$ ,  $K_{on1}$ ,  $K_{on2}$  a třídu těsnícího pásu. Konstrukční třída určuje požadavky, které je třeba při návrhu konstrukce dodržet, jako je například minimální tloušťka konstrukce, minimální vyztužení, maximální šířka trhlin, použitý beton, maximální vzdálenost dilatačních a pracovních spár.



Obrázek 2 – Graf pro určení konstrukční třídy a třídy těsnících pásů pomocí třídy tlaku vody a třídy požadavků [4]

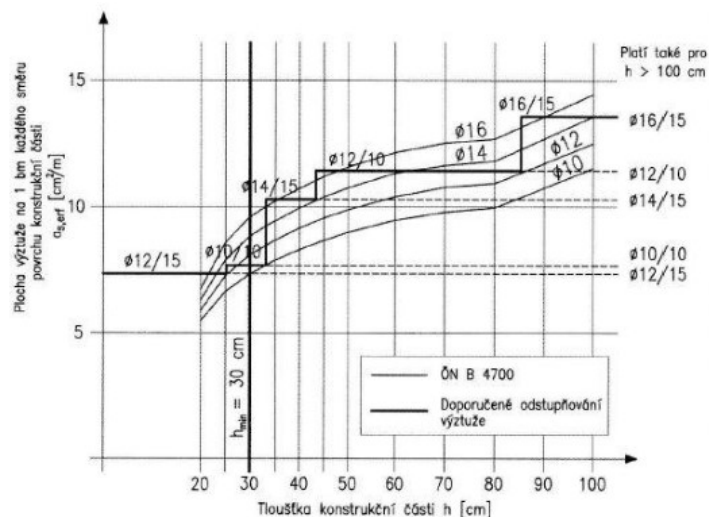
Konstrukční třída	Min. tloušťka stavebního dílu <sup>1)</sup> [m]	Dimenzování na vynucená namáhání	Dimenzování na zatížení	Normativní beton	Další konstrukční požadavky
Kon <sub>4</sub> zvláštní třída	≥ 0,45 ≥ 0,60 pro W <sub>2</sub>	viz Obr. 4/5	omezení šířky trhlin na ≤ 0,15 mm	BS 1	Max. délky konstrukčních částí <sup>2)</sup> : • vzdál. dilatačních/dělicích spár: ≤ 15 m • vzdál. pracovních spár ve stěnách: ≤ 10 m Je nezbytné zabudovat kluzné fólie pro separaci vnějšího a vnitřního pláště, eventuelně uvažovat o: • předepnutí • zdvojení těsnících pásů • eliminaci skokových změn tloušťky/výšky konstrukce • eliminaci překážek, které brání v pohybu konstrukce vůči okolnímu prostředí
Kon <sub>3</sub>	≥ 0,35 ≥ 0,60 pro W <sub>4</sub>	viz Obr. 4/6	omezení šířky trhlin na ≤ 0,20 mm	BS 1	Doporučené délky konstrukčních částí <sup>2)</sup> : • vzdál. dilatačních/dělicích spár: 15 až 30 m • vzdál. pracovních spár ve stěnách: ≤ 15 m Skokové změny tloušťky/výšky konstrukce nahradit náběhy se sklonem cca 30°. Doporučuje se určit teplotní pole. Pokud je konstrukční část provedena jako součást spřaženého systému (s těsným zabudováním do vnější stěny), má být max. délka konstrukční části ≤ 40 m.
Kon <sub>2</sub>	≥ 0,30	viz Obr. 4/7	omezení šířky trhlin na < 0,25 mm <sup>3)</sup>	BS 2	Doporučené délky konstrukčních částí <sup>2)</sup> : • vzdál. dilatačních/dělicích spár: 30 až 60 m • vzdál. pracovních spár ve stěnách: ≤ 15 m Těsný kontakt s okolním prostředím je přípustný, při změnách tvaru průřezu nebo tuhosti konstrukce je ale vhodné uvažít možnost jejího rozdělení na menší části. Skokové změny tloušťky/výšky konstrukce je vhodné eliminovat (náběhy se sklonem cca 30°, separaci atd.). Doporučuje se určit teplotní pole.

- <sup>1)</sup> Bez zohlednění statických, výrobně-technických a konstrukčních požadavků (viz bod 4).  
<sup>2)</sup> W<sub>2</sub>, W<sub>3</sub>, ... = třídy tlaku vody podle Tab. 3/3  
<sup>3)</sup> Při zvláštních opatřeních (např. předepnutí, současném vybetonování základových desek a stěn) mohou být realizovány i větší délky konstrukčních částí.  
<sup>4)</sup> Šířka trhlin < 0,25 mm uvedená v Tab. 3/2 odpovídá podle ÖNORM A 6103 (zaokrouhlování čísel) až do hodnoty w = 0,249 mm hodnotě w ≤ 0,2 mm požadované ÖNORM B 4700 v bodě 4.2.1(3).

Tabulka 5 – Konstrukční třídy pro bedněné železobetonové stavební díly [4]

Při návrhu vodonepropustné konstrukce se musí zohlednit vliv přímých zatížení (vlastní tíha konstrukce, zemní tlak..) také zatížení nepřímá, která jsou vyvolána vynuceným přetvořením (zatížení teplotou, smršťování, dotvarování). Konstrukce musí splnit kritéria na množství výztuže, aby byla prokázána únosnost a použitelnost (omezení šířky trhlin od vlivu zatížení, nebo vynuceném namáhání).

Minimální výztuž pro omezení raných trhlin od vynuceného namáhání je určena grafy uvedených v technických pravidlech [4] (Obrázek 3). Jedná se především o namáhání způsobené ztrátou hydratačního tepla.



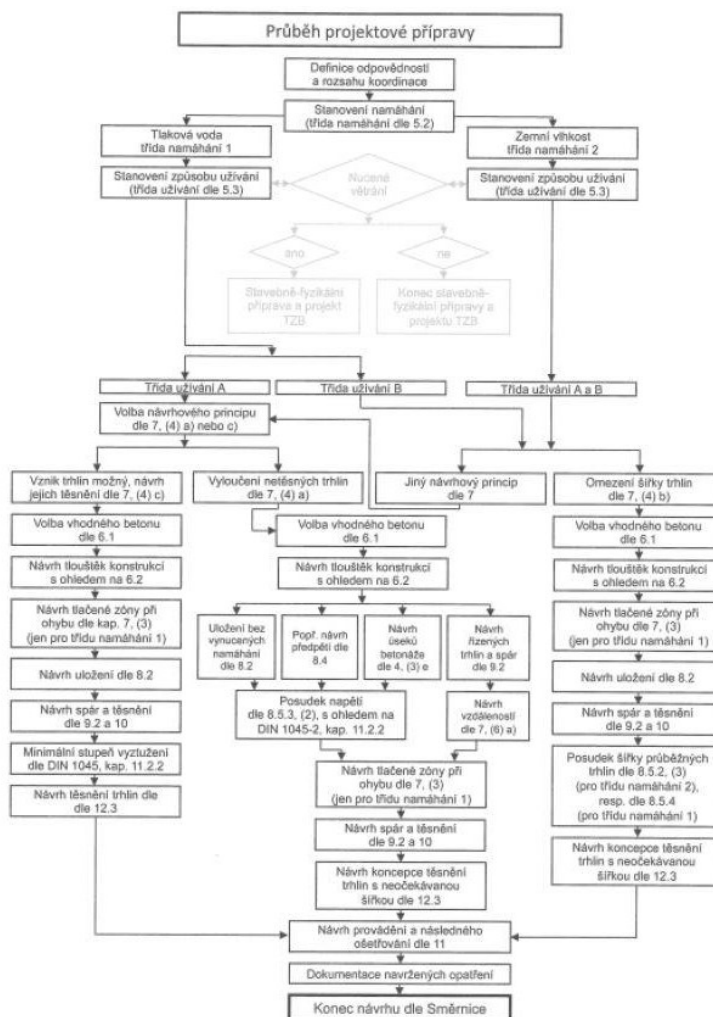
Obr. 4/6b Minimální výztuž na centrické vynucené namáhání (proti tvorbě časných trhlin). Šířka trhliny  $w_k = 0,20$  mm (stanoveno pro krytí  $c = 4,0$  cm)

Obrázek 3 – Graf minimální výztuže na centrické vynucené namáhání [4]



### 3.4. TP ČBS 04 [5]

Německá směrnice nepovoluje závady, s kterými by se počítalo dopředu a jejich následnou sanaci. Děří konstrukce do tříd podle toho, jeli vznik závad přípustný nebo ne. Na schématu (obrázek 4) je znázorněn postup projektové přípravy. Během projektové přípravy je třeba definovat funkci a požadavky na užívání, požadavky na použitelnost, životnost konstrukce a další okolnosti, které mají vliv na vodonepropustnost konstrukce.



Obrázek 4 – Schéma postupu projektové přípravy vodonepropustných konstrukcí [5]

Nejprve je konstrukce zatříděna do třídy namáhání. Zatřídění je provedeno podle působení vlhkosti nebo vody na konstrukci. Směrnice definuje dvě třídy namáhání: Třidu namáhání 1, která platí pro tlakovou i netlakovou vodu a dočasně vzdušnou vodu, Třidu namáhání 2, která platí pro zemní vlhkost a nevzdušnou prosakující vodu.

Třída namáhání 1	Třída namáhání 1
1	2
Trvalý kontakt konstrukce s vodou dle 3.6 a 3.18: - podzemní voda, záplava, dočasná tlaková voda (viz kap. 3.6.2), - dočasně vzdutá prosakující voda (viz kap. 3.6.1), - netlaková voda, výhradně na vodorovných a ukloněných plochách (viz kap. 3.18).	Kontakt konstrukce s vlhkostí nebo prosakující vodou: - vlhká zemina, - nevzdutá prosakující voda (viz kap. 3.19), jen u silně propustné zeminy nebo u trvale průtočné drenáže dle DIN 4095.

Tabulka 6 – Porovnání tříd namáhání [5]

Dále je třeba konstrukci zatřídit do třídy užívání podle funkce objektu a požadavků na způsob užívání objektu. Třída užívání A nepovoluje transport vlhkosti v kapalně formě konstrukcí. Konstrukce musí být navržena tak, aby bylo zabráněno vzniku vlhkých míst vlivem prosakující vody. Třída užívání B povoluje vznik vlhkých míst na povrchu konstrukce, průsak vody je do určité míry přípustný.

Třída užívání A	Třída užívání B
1	2
<b>Průsak kapalné vody nepřipustný:</b> - žádné vlhké skvrny vlivem průsaku vody <sup>1), 2), 3)</sup> , - žádné – ani dočasné – zavodněné trhliny a spáry.	<b>Omezený průsak vody přípustný:</b> - vlhké skvrny přípustné, - do nástupu samotěsnění schopnosti dočasně zavodněné trhliny <sup>4)</sup> , - dlouhodobě vlhká povrchová kresba trhlín, avšak bez hromadění vody na volné (vnitřní) straně konstrukce <sup>1)</sup> .
Příklady použití: - standard pro bytové objekty, - sklady s vysokými užitnými požadavky.	Příklady použití: - samostatné a hromadné garáže, - instalační a zásobovací šachty a kolektory, - sklady s nižšími užitnými požadavky.
<sup>1)</sup> V případě vodních kapek na povrchu dílců je třeba zjistit, zda se nejedná o kondenzát (viz níže). <sup>2)</sup> Pod instalovanou vnitřní parozábranou se může vytvořit vlivem tlakových poměrů páry vysoká vyrovnávací vlhkost betonu, která se po odstranění parozábrany projeví tmavým zabarvením povrchu. Důvodem je zamezený odvod vlhkosti a nesouvisí se zvoleným způsobem těsnění konstrukce. <sup>3)</sup> Pomocí „pijákového testu“ lze spolehlivě zjistit, zda se jedná u tmavých skvrn o pronikající vlhkost: volně položený sací papír nebo savý novinový papír na povrchu betonu se nesmí v důsledku svého zvlhčení zabarvit tmavě. <sup>4)</sup> Čas ukončení procesu samotěsnění musí být v souladu s užitnými požadavky na konstrukci.	

Tabulka 7 – Porovnání tříd užívání [5]

Směrnice dále uvádí minimální tloušťky stěn a základových desek, které jsou určeny v závislosti na třídě namáhání a způsobu provádění. Tloušťky prvků byly uzpůsobeny tak, aby bylo možné prvky dobře probetonovat a aby bylo splněno požadované krytí, vyztužení, utěsnění a aby prvek plnil nosnou i těsnící funkci.

Konstrukční část	Třída namáhání	1	2	3
		Způsob provádění		
		monolit	filigránové stěny	prefabrikáty
1 stěny	1 <sup>1)</sup>	240	240	200
	2 <sup>2)</sup>	200	240 <sup>3)</sup>	100
3 základové desky	1 <sup>1)</sup>	250	X	200
	2 <sup>2)</sup>	150		100
<sup>1)</sup> třída namáhání 1: <sup>2)</sup> třída namáhání 2: <sup>3)</sup> za zvláštních technologických a prováděcích podmínek je možné snížení na 200 mm		tlaková a netlaková voda, dočasně vzdutá prosakující voda zemní vlhkost a nevzdutá prosakující voda		

Tabulka 8 – Doporučené minimální tloušťky konstrukce [5]

## 4. Výpočet šířky trhlin

Pro návrh konstrukce bílé vany je klíčové posoudit mezní stav šířky trhlin, protože právě absence drobných trhlin zaručuje vodonepropustnost konstrukce. Výztuž musí být navržena tak, aby byla omezena šířka trhlin na požadovanou hodnotu, která je definována normou nebo směrnici dle zvoleného postupu. Vhodným návrhem lze šířku trhlin pouze omezit, nikoli však vyloučit vzhledem k tomu, že vypočtené šířky trhlin jsou pouze zástupná hodnota, nejedná se o skutečné šířky trhlin.

### 4.1. ČSN EN 1992 1-1 [1]

Výpočet šířky trhlin dle normy ČSN EN 1992 1-1 lze provést bez přímého výpočtu pomocí tabulek nebo pomocí přímého výpočtu. První přístup je jednodušší, ale výsledek není tak hospodárný jako přímý výpočet. Výpočet dle tabulek je na základě přípustné šířky trhlin a napětí ve výztuži bezprostředně po vzniku trhlin. Tabulky udávají maximální průměr prutů a maximální vzdálenosti prutů pro omezení šířky trhliny.

Napětí ve výztuži <sup>2)</sup> [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	–

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

<sup>2)</sup> Při odpovídající kombinaci účinků zatížení.

Tabulka 9 – Maximální vzdálenost prutů pro omezení šířky trhlin [1]

Napětí ve výztuži <sup>2)</sup> [MPa]	Maximální vzdálenost prutů [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	–

POZNÁMKY jsou vysvětleny v tabulce 7.2N

Tabulka 10 – Maximální vzdálenost prutů pro omezení šířky trhlin [1]

Výpočet šířky trhlin podle ČSN EN 1992 1-1 [1] se provádí podle následujících vzorců:

$$w_k = s_{r,max}(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

$w_k$  . . . šířka trhliny

$\varepsilon_{sm}$  . . . průměrná hodnota poměrného přetvoření výztuže

$\varepsilon_{cm}$  . . . průměrná hodnota poměrného přetvoření betonu mezi trhlinami

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} (1 + \alpha_e * \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \frac{\sigma_s}{E_s}$$

$\sigma_s$  . . . napětí ve výztuži v průřezu porušeném trhlinou

$\alpha_e$  . . . poměr modulů pružnosti výztuže a betonu,  $\alpha_e = E_s/E_c$

$\rho_{p,eff}$  . . . stupeň vyztužení v tažené části průřezu,  $\rho_{p,eff} = A_s/A_{c,eff}$

$A_{c,eff}$  . . . účinná plocha taženého betonu,  $A_{c,eff} = h_{c,ef} * b$

$$h_{c,ef} = \min \left( 2,5 * (h - d), \frac{h - x}{3}, \frac{h}{2} \right)$$

$h$  . . . výška průřezu

$x$  . . . tlačená výška

$d$  . . . účinná výška průřezu

$k_t$  . . . součinitel zohledňující dobu trvání zatížení

$k_t = 0,6$  pro krátkodobé zatížení

$k_t = 0,4$  pro dlouhodobé zatížení

$s_{r,max}$  . . . maximální vzdálenost trhlin

$$s_{r,max} = k_3 * c + k_1 k_2 k_4 \phi / \rho_{p,eff}$$

$\phi$  . . . průměr prutu

Pokud je v průřezu použito více prutů, je třeba dosadit ekvivalentní průměr  $\phi_{eq}$

$$\phi_{eq} = \frac{n_1 * \phi_1^2 + n_2 * \phi_2^2}{n_1 * \phi_1 + n_2 * \phi_2}$$

$C$  . . . krycí vrstva

$k_1$  . . . součinitel zohledňující vlastnosti soudržné výztuže

$k_1 = 0,8$  pro pruty s velkou soudržností

$k_1 = 1,6$  pro pruty s hladkým povrchem

$k_2$  . . . součinitel zohledňující rozdělení poměrného přetvoření

$k_2 = 0,5$  pro ohyb

$k_2 = 1,0$  pro prostý tah

Pokud se jedná o mimostředný tlak, vypočte se hodnota  $k_2$  ze vztahu:

$$k_2 = (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) / 2\varepsilon_1$$

$\varepsilon_1$  je větší a  $\varepsilon_2$  menší tahové poměrné přetvoření na okrajích daného průřezu porušeného trhlinou

pro vodonepropustné konstrukce doporučeno  $k_2 = 1,0$

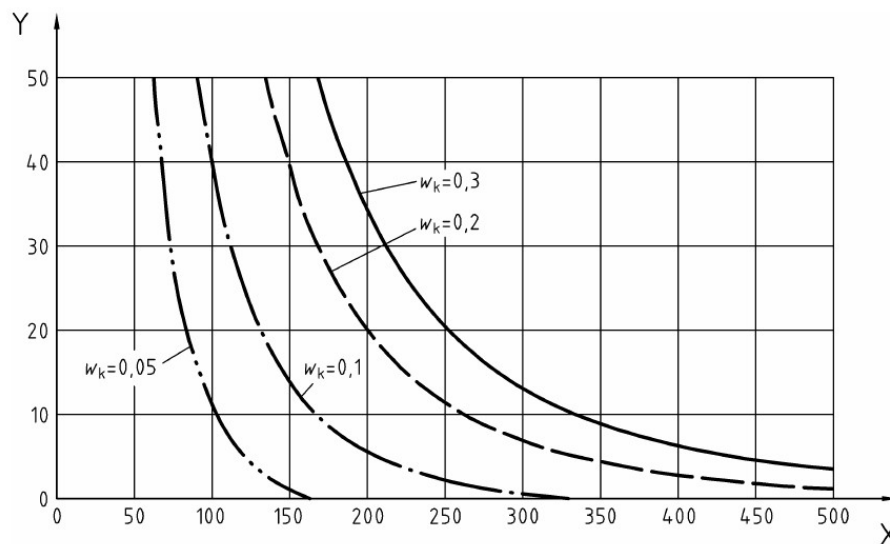
$$k_3 = 3,4 \cdot (25/c)^{2/3} \leq 3,4$$

$c$  . . . krytí [mm]

$k_4 = 0,425$  . . . doporučená hodnota

## 4.2. ČSN EN 1992 - 3 [1]

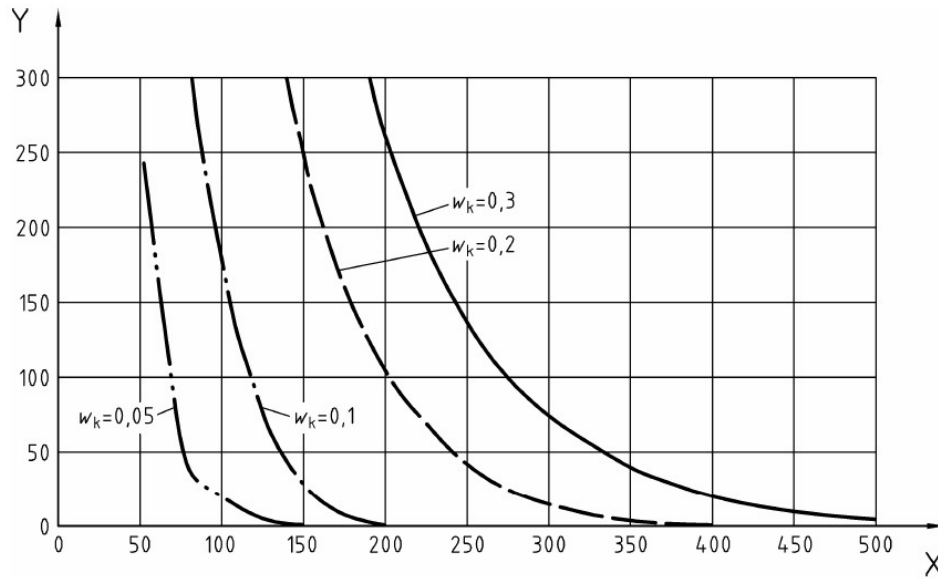
Výpočet šířky trhlin dle ČSN EN 1992-3 lze provést analogicky jako podle normy ČSN EN 1992 1-1, podle grafů na základě napětí ve výztuži po vzniku trhlin a maximální šířky trhliny lze určit maximální průměr a vzdálenost prutů.



X napětí ve výztuži,  $\sigma_s$  (N/mm<sup>2</sup>)

Y maximální průměr prutu (mm)

Tabulka 11 – Maximální vzdálenost prutů pro omezení šířky trhlin u prvků namáhaných tlakem [2]

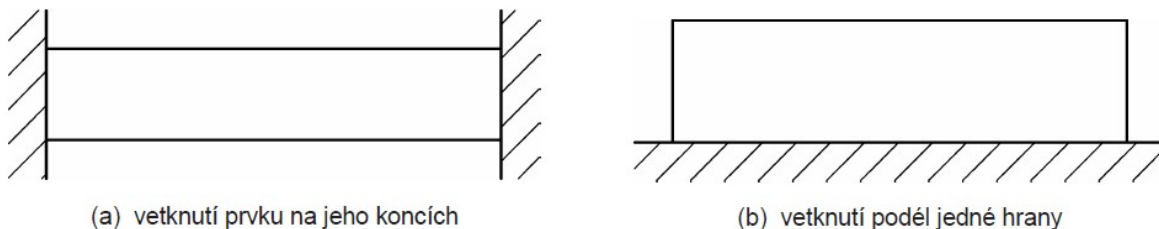


X napětí ve výztuži,  $\sigma_s$  (N/mm<sup>2</sup>)

Y maximální vzdálenost prutů (mm)

Tabulka 12 – Maximální vzdálenost prutů pro omezení šířky trhlin u prvků namáhaných tahem [2]

Také lze podle této normy provést přímý výpočet šířky trhlin v důsledku omezení vynuceného přetvoření, které je způsobeno smršťováním a změnou teploty (ochlazení prvku několik dní po betonáži). Norma popisuje dva případy omezení přetvoření prvku, prvek je vetknutý na koncích nebo podél jedné hrany.



(a) vetknutí prvku na jeho koncích

(b) vetknutí podél jedné hrany

Obrázek 5 – Typ omezení přetvoření stěn [2]

Maximální šířka trhlin se vypočte stejným vzorem, jako dle normy ČSN EN 1992 1-1[1]. Rozdíl je ve výpočtu průměrného přetvoření.

Výpočet šířky trhlin [2]:

$$w_k = s_{r,max}(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm})$$

$w_k$  . . . šířka trhliny

$\varepsilon_{sm}$  . . . průměrná hodnota poměrného přetvoření výztuže

$\varepsilon_{cm}$  . . . průměrná hodnota poměrného přetvoření betonu mezi trhlínami

### a) Vetknutí na koncích[2]

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = 0,5\alpha_e k_c k f_{ct,eff} \left(1 + \frac{1}{\alpha_e \rho}\right) / E_s$$

$\alpha_e$  . . . poměr modulů pružnosti výztuže a betonu,  $\alpha_e = E_s/E_c$

$k_c$  . . . součinitel zohledňující rozdělení napětí před vznikem trhlin

$k$  . . . součinitel zohledňující nerovnoměrné rozdělení vnitřních napětí

$f_{ct,eff}$  . . . střední hodnota pevnosti betonu v tahu při vzniku trhlin

$\rho$  . . . stupeň vyztužení vztažený na účinnou plochu taženého betonu,  $\rho = A_s/A_{c,eff}$

V případě posouzení trhlin bez přesného výpočtu lze využít následující vztah pro výpočet napětí ve výztuži:

$$\sigma_s = k_c k f_{ct,eff} / \rho$$

### b) vetknutí podél jednoho okraje dlouhé stěny[2]

$$(\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) = R_{ax} \varepsilon_{free}$$

$\varepsilon_{free}$  . . . poměrné přetvoření, které by nastalo v případě zcela volného prvku

$R_{ax}$  . . . součinitel omezení přetvoření, určen z tabulky na základě L/H

L . . . délka stěny

H . . . výška stěny

Poměr L/H (viz obrázek L.1)	Součinitel omezení přetvoření	
	u základu	ve vrcholu
1	0,5	0
2	0,5	0
3	0,5	0,05
4	0,5	0,3
>8	0,5	0,5

Tabulka 13 – Součinitel omezení přetvoření [2]

## 4.3. Výpočet raných trhlin

Důležité je také posoudit výztuž s ohledem na vznik raných trhlin. Nejdůležitějším faktorem je v tomto ohledu tahová pevnost betonu  $f_{ct,eff}$ , která závisí na mnoha faktorech a kvůli tomu ji není snadné určit. Tahové napětí v betonu závisí na Hydratačním teple, teplotě betonové směsi, okolní teplotě, vlhkosti prostředí, době odbednění způsobu ošetřování betonu. Efektivní pevnost betonu v tahu u raných trhlin lze uvažovat

$f_{ct,eff} = (0,5-0,6)f_{ctm}$  [7] nebo přesněji podle časové funkce  $\beta_{cc}(t)$ . Efektivní pevnost betonu v tahu je potom dána součinitelem časové funkce a střední pevnosti betonu v tahu po 28 dnech  $f_{ct,eff} = f_{ct}(t) = \beta_{cc}(t) f_{ctm}$ . Pro betony s pomalým nárůstem pevnosti  $f_{ct,eff} = f_{ctm}$ . [8]

$$\beta_{cc}(t) = \exp \left\{ s \left[ 1 - \left( \frac{28}{t} \right)^{0,5} \right] \right\}$$

s . . . koeficient závisející na druhu cementu

=0,20 pro cement pevnostní třídy CEM 42,5 R, CEM 52,5 N a CEM 52,5 R

=0,25 pro cement pevnostní třídy CEM 32,5 R, CEM 42,5 N

=0,38 pro cement pevnostní třídy CEM 32,5 N

$$\sigma_s = k_c * k * f_{ct,eff} * \frac{A_{ct}}{A_{s,min}}$$

$k_c$  . . . součinitel rozdělení napětí v průřezu před vznikem trhlin,  $k_c = 1,0$

$k$  . . . součinitel účinku nerovnoměrného rozdělení vnitřních napětí,  $k = 1,0$

$$A_{ct} = h_{ct} * b$$

$A_{ct}$  . . . plocha tažené části průřezu bezprostředně před vznikem trhlin

$$h_{ct} = h/2$$

$h_{ct}$  . . . výška tažené části průřezu bezprostředně před vznikem trhlin

#### 4.4. Deska namáhaná omezeným vynuceným přetvořením

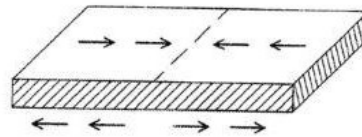
Ve většině případů návrhu bílých van rozhodují nepřímá zatížení, která vznikají důsledkem vynucených přetvoření. Již v raném stádiu tuhnutí betonu je potřeba počítat se vznikem trhlin, pokud je bráněno volnému přetvoření desky. Aby se mohla deska volně přetvářet je dobré minimalizovat třecí sílu desky s podložím. Je dobré minimalizovat zlomy a prvky narušující rovinnos desky jako dojezdy výtahových šachet atd, vzhledem k tomu, že tyto prvky brání volnému prokluzu desky.[3]

Pro výpočet tahové síly je možné použít následující tabulku, která určuje hodnoty součinitele tření za předpokladu, že se deska může po podloží volně pohybovat.[3]



Podloží	Kluzná vrstva	1. posun - $\mu$
Štěrka	žádná	1,4 - 2,1
Pískovcové lože	žádná	0,9 - 1,1
Soudržná zemina	žádná	0,5 - 0,8
Nesoudržná zemina, písek	1 vrstva PE fólie	0,5 - 0,7
Hlazený podkladní beton	1 vrstva PE fólie	0,8 - 1,4
Hlazený podkladní beton	2 vrstvy PE fólie	0,6 - 1,0
Hlazený podkladní beton	PTFE povlakované fólie	0,2 - 0,5
Podkladní beton	asfaltové svařované pásy 1)	0,35 - 0,7
Podkladní beton	vrstva asfaltu 1), asfaltová malta	0,03 - 0,2
1) Musí být dostatečná tloušťka asfaltu a teplota v kluzné vrstvě $> 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ .		

Tabulka 14 – Návrhová hodnota součinitele tření [3]



Obrázek 6 – Základová deska – tření v základové spáře [3]

Výpočet velikosti tahové síly[3]:

$$F_{ct,eff} = \gamma \mu \sigma_0 \frac{l_0}{2}$$

$F_{ct,eff}$  . . . předpokládaná tahová síla při úniku hydratačního tepla základové desky

$\mu$  . . . součinitel tření

$\sigma_0$  . . . napětí v základové spáře od vlastní tíhy desky a užitého zatížení

$l_0/2$  . . . délka desky za předpokladu prokluzu od středu

$\gamma$  . . . součinitel spolehlivosti v MSP  $\gamma=1$

Tahová síla je zároveň návrhovou hodnotou tahové síly  $F_{ct,d}$ , pokud není vyšší než síla při vzniku trhliny  $F_{cr}$  [3]

$$\sigma_{ct,eff} = \frac{F_{ct,eff}}{A_{ct}} = F_{ct,eff} / (b * h)$$

$\sigma_{ct,eff}$  . . . předpokládané napětí betonu v tahu při úniku hydratačního tepla

$A_{ct}$  . . . průřezová plocha základové desky, uvažuje se tloušťka  $h$  a šířka  $b = 1\text{ m}$

Tahová síla, kterou baton přenáší bezprostředně před vznikem trhlin[3]:

$$F_{ct,eff} = k_c k_{f_{ct,eff}} A_{ct} = F_{cr}$$

$F_{ct,eff}$  . . . tahová síla v betonu bezprostředně před vznikem trhlin

$k_c$  . . . součinitel zohledňující rozdělení napětí před vznikem trhlin

$k$  . . . součinitel zohledňující nerovnoměrné rozdělení vnitřních napětí

$f_{ct,eff}$  . . . střední hodnota pevnosti betonu v tahu při vzniku trhlin

$A_{ct}$  . . . průřezová plocha základové desky, uvažuje se tloušťka desky  $h$  a šířka  $b = 1\text{m}$

Napětí ve výztuži se počítá ze vztahu[3]:

$$\sigma_s = \frac{F_{ct,eff}}{A_s}$$

#### 4.5. Stěna namáhaná omezeným vynuceným přetvořením

Přetvoření stěn bílé vany omezuje základová deska, na kterou je stěna betonována. Vzhledem k tomu, že při betonování stěn je již základová deska nějakou dobu vybetonována a proběhla u ní určitá část objemových změn, ale u stěn bude teprve probíhat, je stěna více namáhána omezením přetvoření a vznikají u ní trhliny častěji než u základové desky.

Výpočet napětí při úniku hydratačního tepla[8]:

$$\sigma_{ct,T} = \frac{k_L k_T \alpha_c(t) \Delta T_{max} E_{cm}(t)}{H (1 + \varphi_t)}$$

$\sigma_{ct,T}$  . . . celkové napětí betonu v tahu při úniku hydratačního tepla při omezeném přetvoření

$k_{L/h}$  . . . součinitel vlivu geometrie stěny na napjatost viz. Tabulka 17

$k_T$  . . . součinitel pro rozdělení napjatosti po průřezu

0,5 pro desky s tloušťkou menší než 0,5m

2/3 pro desky s tloušťkou 0,5-3m

1 pro desky s tloušťkou nad 3m

$\alpha_c(t)$  . . . součinitel teplotní roztažnosti betonu

$$\alpha_c(t) = 10 + 9 \exp(-0,588t_{maxT})$$

$t_{maxT}$  . . . maximální dosažená teplota v betonu

$$T_{maxT} = 0,8h_d + 1$$

$h_d$  . . . tloušťka desky

$\Delta T_{max}$  . . . maximální teplotní rozdíl

$$\Delta T_{max} = T_{c,0} + \Delta T_c - T_a$$

$T_{c,0}$  . . . teplota čerstvého betonu

$T_a$  . . . teplota vzduchu

$\Delta T_c$  . . . teplotní rozdíl mezi jádrem a povrchem průřezu

$$\Delta T_c = \alpha_d \frac{c Q_H}{c_v}$$

$\alpha_d$  . . . součinitel vyjadřující poměr mezi vzrůstem teploty v prvku a teoretickým vzrůstem teploty viz tabulka 15

Tloušťka prvku h [m]	$\alpha_c = \Delta T_c / \Delta T_{th}$
$\leq 0,4$ m	0,75
0,6 m	0,80
0,8 m	0,85
1,0 m	0,95
$\geq 2,0$ m	1,00

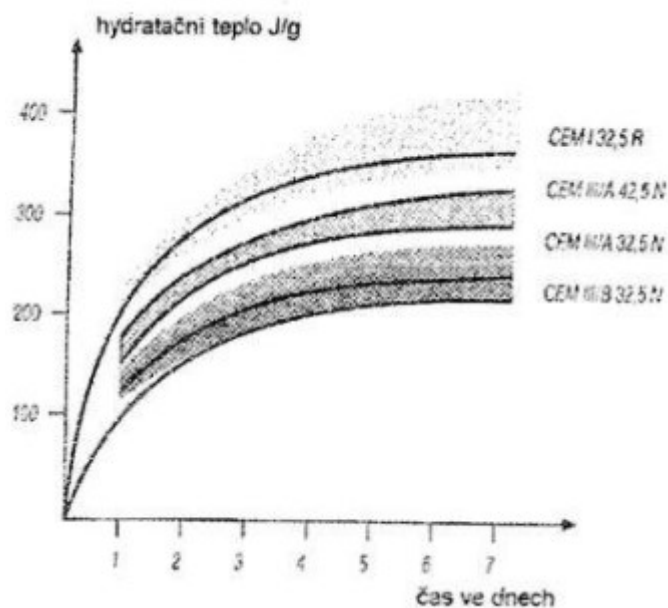
Tabulka 15 – Hodnoty součinitele  $\alpha_c$  [3]

$c$  . . . množství cementu

$Q_H$  . . . hydratační teplo cementu dosažené v bodě  $t_{maxT}$

$C_v$  . . . objemová tepelná kapacita betonu

$\varphi_t$  . . . krátkodobý součinitel dotvarování



Obrázek 7 – Hydratační teplo pro různé cementy v průběhu prvních 7 dnů [3]

$E_{cm}(t)$  . . . střední modul pružnosti betonu v čase (lze určit výpočtem nebo dle Tabulky 16[3])

$$E_{cm}(t) = \left( \frac{f_{cm}(t)}{f_{cm}} \right)^{0,3} E_{cm}$$

$$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) f_{cm}$$

$f_{cm}(t)$  . . . průměrná hodnota pevnosti betonu v tlaku v čase  $t$

$f_{cm}$  . . . průměrná hodnota pevnosti v tlaku ve stáří 28 dní

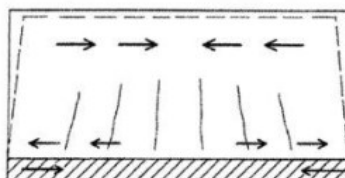
$\beta_{cc}(t)$  . . . součinitel závisí na stáří betonu viz výše

$E_{cm}$  . . . střední modul pružnosti betonu v čase

Stáří betonu	$E_{ct} / E_{c28}$
8 hodin	0,10
12 hodin	0,25
16 hodin	0,45
24 hodin	0,65
2 dny	0,85
14 dní	1,00

Tabulka 16 – Moduly pružnosti mladého betonu [3]

Poměr celkové délky stěny k její výšce	$k_{ct,d}$
$l_0 / h_b \leq 1$	$\approx 0,2$
$l_0 / h_b \leq 2$	$\approx 0,45$
$l_0 / h_b \leq 3$	$\approx 0,55$
$l_0 / h_b \leq 4$	$\approx 0,65$
$l_0 / h_b \leq 6$	$\approx 0,75$
$l_0 / h_b \leq 8$	$\approx 0,85$
$l_0 / h_b \leq 10$	$\approx 0,95$
$l_0 / h_b > 10$	$\approx 1,00$

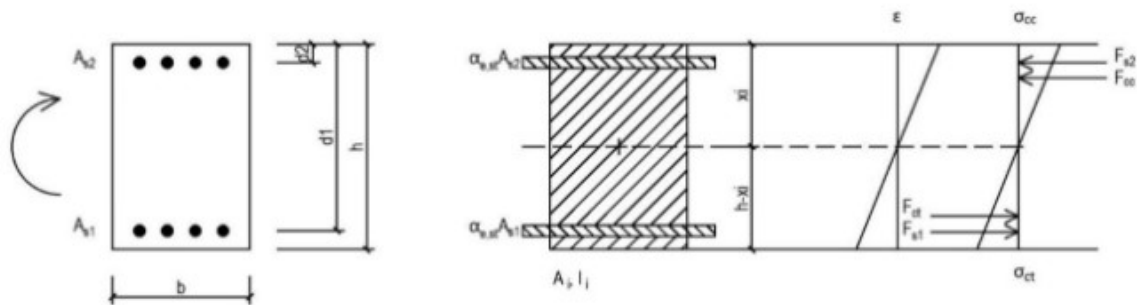


Tabulka 17 – Hodnoty součinitele  $K_{L/h}=k_{ct,d}$  [3]

## 4.6. Vzorce použité v rámci statického výpočtu

### 4.6.1. Průřezové charakteristiky ideálního průřezu

#### Průřez bez trhlin



Obrázek 8 – Průběh napětí v betonovém oboustranně vyztuženém průřezu bez trhlin

Poměr modulů pružnosti oceli a betonu

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}}$$

Plocha ideálního průřezu

$$A_i = A + \alpha_e(A_{s1} + A_{s2})$$

Vzdálenost těžiště ideálního průřezu od horních vláken

$$x_i = \left[ A * \frac{h}{2} + \alpha_e(A_{s1} * d_1 + A_{s2} * d_2) \right] / A_i$$

Moment setrvačnosti

$$I_i = I + A \left( x_i - \frac{h}{2} \right)^2 + \alpha_e [A_{s1}(d_1 - x_i)^2 + A_{s2}(x_i - d_2)^2]$$

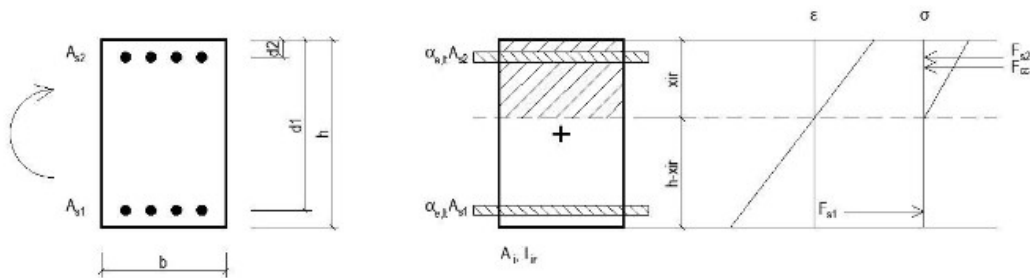
Tahová napětí v betonu

$$\sigma_c = \frac{M_{ek}}{I_i} x_i$$

Moment na vzniku trhlin

$$M_{cr} = \frac{I_i}{h - x_i} f_{ct,eff}$$

## Průřez s trhlinou



Obrázek 9 – Průběh napětí v betonovém oboustranně vyztuženém průřezu s trhlinou

Vzdálenost těžiště ideálního průřezu od horních vláken:

$$x_{ir} = \frac{\alpha_e}{b} * (A_{S1} + A_{S2}) * \left[ -1 + \sqrt{1 + \frac{2b}{\alpha_e} * \frac{(A_{S1} * d_1 + A_{S2} * d_2)}{(A_{S1} + A_{S2})^2}} \right]$$

Moment setrvačnosti

$$I_{ir} = \frac{1}{3} * b * x_{ir}^3 + \alpha_e [A_{S1} (d_1 - x_{ir})^2 + A_{S2} (x_{ir} - d_2)^2]$$

Napětí ve výztuži

$$\sigma_s = \frac{M_{ek}}{I_{ir}} (d_1 - x_{ir})$$

### 4.6.2. Volná přetvoření

Vliv smršťování a dotvarování

Náhradní tloušťka

$$h_0 = \frac{2 * A}{u} = \frac{2 * A}{2 * b}$$

Smršťování vysycháním

$$\varepsilon_{cd}(t) = \beta_{ds(t,t_s)} * \varepsilon_{cd\infty}$$

Součinitel smršťování závislý na čase:

$$\beta_{ds(t,t_s)} = \frac{(t-t_s)}{(t-t_s) + 0,04 \sqrt{h_0^3}}$$

$$\varepsilon_{cd\infty} = k_h * \varepsilon_{cd,0}$$

Součinitel  $k_h$  závislý na náhradní tloušťce

$h_0$ (mm)	$k_h$
100	1,0
200	0,85
300	0,75
$\geq 500$	0,70

Tabulka 18 – Hodnoty součinitele  $k_h$  [1]

Jmenovitá hodnota poměrného smrštění vysycháním betonu

$$\varepsilon_{cd,0} = 0,85 \left[ (220 + 110 \alpha_{ds1}) * \exp\left(-\alpha_{ds2} \frac{f_{cm}}{10}\right) \right] * 10^{-6} \beta_{RH}$$

Součinitel vyjadřující závislost smršťování na vlhkost

$$\beta_{RH} = 1,55 \left[ 1 - \left( \frac{RH}{100} \right)^3 \right]$$

Smršťování autogenní

$$\varepsilon_{ca}(t) = \beta_{as}(t) * \varepsilon_{ca}(\infty)$$

Součinitel smršťování závislý na čase

$$\beta_{as}(t) = 1 - \exp(-0,2t^{0,5})$$

Vliv pevnosti betonu

$$\varepsilon_{ca}(\infty) = 2,5(f_{ck} - 10) * 10^{-6}$$

Celkové smršťování

$$\varepsilon_{cs}(t) = \varepsilon_{cd}(t) + \varepsilon_{ca}(t)$$

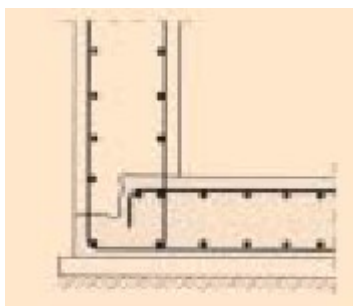
## 5. Řešení spár a prostupů

K zajištění správného fungování bílé vany a její vodonepropustnosti je důležité vyřešit těsnění spár a prostupů. Této činnosti by měla být věnována zvláštní pozornost, jelikož jsou častým zdrojem poruch bílých van.

### 5.1. Pracovní spára

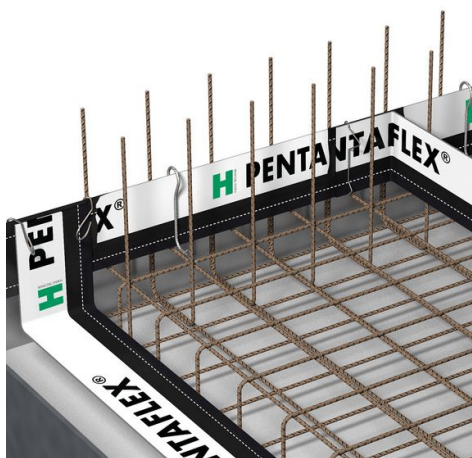
Rozděluje monolitickou konstrukci na jednotlivé záběry, které se postupně betonují. Pořadí, ve kterém se budou betonovat, se musí určit již ve fázi návrhu. Výztuž v těchto spárách není přerušena. Spára je schopna přenášet napětí. Jedná se o spáru mezi jednotlivými pracovními záběry desky (25-35m s poměrem stran 1:1 až 1:1,25), mezi stěnou a deskou nebo v dlouhých stěnách (délka úseku 11-15m).

Způsobů jak k utěsnění pracovní spáry je mnoho, nejjednodušší je zalomení pracovní spáry, to je však pro konstrukci bílé vany naprosto nedostačující, a proto je třeba zvolit nějaký fyzický prostředek vložený do spáry nebo injektáží základové spáry.



Obrázek 10 – Zalomení pracovní spáry [12]

V minulosti byly pro utěsnění pracovní spáry používány plechy, nebo umělohmotné pásy. Problém tohoto řešení spočívá ve správném uchycení těsnícího prvku, aby byl dostatečně ukotven do základové desky i následně betonované stěny. Největší riziko vzniká při betonáži, kdy může dojít k posunutí pásu.



Obrázek 11 a 12 – Těsnění pracovní spáry umělohmotný pásek (vlevo) ocelový plech (vpravo) [12]



V dnešní době vzhledem k dobré těsnosti a pružnosti materiálů je poměrně praktické využití těsnících pásů vkládaných na vnější stranu betonové konstrukce. K tomuto způsobu se používají buďto gumových pásů vkládaných do bednění, nebo pokud je po vybetonování konstrukce přístup k rubu zdi použití bentonitového pásu.



*Obrázek 13 – Těsnění pracovní spáry gumovým pásem vkládaným do bednění [12]*

Další možnost těsnění pracovní spáry je vložení bobtnavého pásu. Toto řešení vykazuje při správném provedení velmi dobré výsledky.



*Obrázek 14 – Těsnění pracovní spáry pomocí bobtnavého pásu [12]*

Také lze vložit do pracovní spáry perforovanou trubičku, jejímž prostřednictvím lze pracovní spáru proinjektovat. Toto řešení je vhodné kombinovat s například s řešením pomocí gumových pásů.



Obrázek 15 – Těsnění pracovní spáry injektážní trubičkou [12]

## 5.2. Dilatační spára

Tato spára rozděluje objekt na několik celků, u kterých jsou umožněny objemové změny. Výztuž je v tomto typu spáry přerušena. Dilatační spáry by měla být minimálně 20mm široké. Doporučená délka dilatačního celku je 15-60 metrů.

## 5.3. Řízené pracovní spáry

V předem daném místě se průřez oslabí pomocí vloženého plechu nebo jiného prostředku a umožní tak betonáž delších pracovních úseků. Tato řešení není úplně vhodné z důvod nezaručené protikorozní ochrany průběžné výztuže.

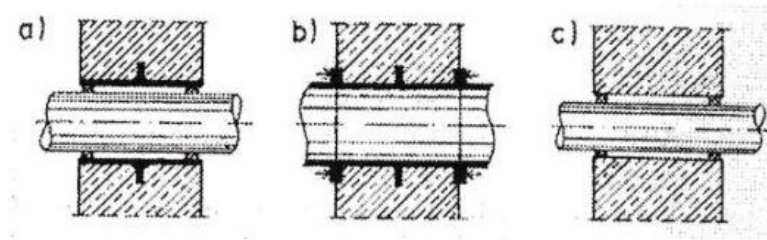
## 5.4. Neplánované pracovní spáry

Vznikají v důsledku technologické nekázně. U bílých van nejsou přípustné, jelikož nejsou zohledněny v návrhu těsnění. Případně je nutně je dodatečně utěšňovat.

## 5.5. Těsnění prostupů

Místo častých poruch bílých van, jsou prostupy instalačních přípojek. Do betonového prvku se zabuduje kovová trubka jako chránička, která má na vnější straně manžetu a provede se utěsnění vnitřního povrchu k potrubí polyuretanovým tmelem. Při působení vyššího tlaku vody bylo toto řešení doplněno o povrchovou manžetu se sevřeným utěsněním na vnější straně objektu. Na obrázku je zobrazeno nevhodné řešení prostupu provedené dodatečným jádrovým vrtem, který je utěsněn mezi betonem a trubkou. V současnosti se pro utěsnění prostupů přípojek používají mechanicky rozpínané kroužky,

které se osadí do chráničky s vnitřní manžetou, nebo do chráničky se zdrsněným povrchem kvůli lepšímu přilnutí k betonu.



Obrázek 16 – Způsob řešení prostupů [3]

## 6. Postupy při betonáži

Dopravu betonu na stavbu je zajišťována autodomíchávači. Směs není možné vyrábět v suchém stavu, nebo v konzistenci vhodné pro převoz sklápěčkami. Sekundární doprava betonu je možná běžnými čerpadly na beton nebo pomocí bádří. Při betonáži se musíme vyvarovat padání betonu z výšky větší než 1 m, aby nedošlo k separaci složek v betonu.

Odbedňování konstrukce je třeba naplánovat tak, aby byl beton chráněn minimálně 3 dny po betonáži proti náhlému ochlazení a minimálně 7 dní před náhlým vysušením. Toho lze dosáhnout tak, že konstrukci odbedňujeme v nejzazším termínu. Z důvodu prochladnutí jsou výhodnější bednění dřevěná než ocelová, která je třeba při teplotách pod 5 °C opatřovat tepelnou izolací. Minimální doba pro odbednění je 36 h od betonáže. Pro dřívější odbednění nesmí teplota vzduchu klesnout pod 0 °C a je třeba beton chránit proti vysychání maximálně do 1 hodiny po odbednění. Při teplotách vzduchu pod 0 °C je třeba odbedňovat minimálně po 72 hodinách. Při teplotách pod -3 °C musí být zaručená minimální teplota betonu 10 °C po dobu 3 dnů od betonáže.

Ihned po odbednění je nutné zakrýt betonovou plochu světlým materiálem (například geotextilií) a nechat zakrytou až do stáří betonu 7 dnů. Zakrytí by mělo zabránit pohybu vzduchu nad povrchem betonu. Zakrytí tkaninou je možné nahradit světlým ošetřovacím postřikem. Při teplotách nad 20 °C je nutné provést zakrytí takovým materiálem, který je schopný zachycovat vlhkost a nesmí při tom docházet k vlhčení studenou vodou, aby nedocházelo k prudkému ochlazení betonu. Při teplotách pod 5 °C je doporučováno zakrytí více vrstvami a tyto vrstvy chránit před navlhčením, aby byla zachována jejich tepelněizolační schopnost.

Těsnící pásy dilatačních a konstrukčních spár je třeba chránit proti poškození a nadměrnému znečištění. Před betonáží dalšího konstrukčního celku je nutné těsnící pásy dokonale očistit a zkontrolovat, zda nedošlo k jejich poškození. V případě konstrukčních spár je třeba spáru očistit od nečistot a odstranit zbytky cementového mléka, aby bylo dosaženo co nejlepší soudržnosti.

## 7. Zdroje

- [1] ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: Český normalizační institut 2006.210 s.
- [2] ČSN EN 1992-3 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-3:Nádrže na kapaliny a zásobníky. Praha: Český normalizační institut 2007.24 s.
- [3] Kolektiv. Bílé vany - Vodonepropustné betonové konstrukce – Sborník přednášek, příkladů a prezentací ke školení (duben 2007). Praha: ČBS Servis, s.r.o. 2007.202 s.
- [4] Kolektiv autorů Rakouské společnosti pro beton a stavební technologie. Bílé vany - Vodotěsné betonové konstrukce – Technická pravidla ČBS 02. Praha: ČBS Servis, s.r.o. 2006.76 s.
- [5] pracovní skupina ČBS. Vodonepropustné betonové konstrukce – Překlad německé směrnice a komentáře – Technická pravidla ČBS 04. Praha: Česká betonářská společnost ČSSI. 2015.70 s.
- [6] Kohoutková, Alena. Procházka, Jaroslav. Vašková, Jitka. Navrhování železobetonových konstrukcí – příklady a postupy. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2016, 256 s.
- [7] Šmejkal, Jiří. Procházka, Jaroslav. Výpočet šířky trhliny. Beton TKS 6/2014, dostupné na: [https://www.ebeton.cz/wp-content/uploads/2014-6-68\\_0.pdf](https://www.ebeton.cz/wp-content/uploads/2014-6-68_0.pdf)
- [8] Marek Vinkler, Jaroslav Procházka. NÁVRH VÝZTUŽE BÍLÉ VANY S OHLEDEM NA ŠÍŘKU TRHLINY. Beton TKS 5/2017, dostupné na: <https://www.ebeton.cz/wp-content/uploads/2017-5-60.pdf>
- [9] Coufal, Robert, Vitek, Jan L., Chmelíková, Kristýna. Technologie betonu pro vodonepropustné konstrukce – bílé vany. Beton TKS 2/2015, dostupné na: <https://www.ebeton.cz/clanky/2015-2-12-technologie-betonu-pro-vodonepropustne-konstrukce-bile-vany/>
- [10] Katalog Schomburg – Bílé vany dostupné na: <https://www.schomburg.com/cz/cs/slozky/bile-vany/B%C3%ADI%C3%A9%20vany.pdf>
- [11] LOHMAYER, G., EBELING, K. Weisse Wannen einfach und sicher: Konstruktion und Ausführung wasserundurchlässiger Bauwerke aus Beton. Verlag Bau+Technik. 1985, 9. vyd., 2009.

- [12] Matouš Hejtmánek, VODONEPROPUSTNÉ BETONOVÉ KONSTRUKCE – TĚSNĚNÍ SPÁR, Dostupné na: <https://www.ebeton.cz/clanky/2016-3-40-vodonepropustne-betonove-konstrukce-tesneni-spar/>