

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra betonových a zděných konstrukcí



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Konstrukční návrh bílé vany administrativní budovy

Structural design of white tank of administration building

Bc. LUCIE BĚLOHRADSKÁ

2020

Vedoucí práce: Ing. Josef Novák, Ph.D.


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

 Příjmení: Bělohradská Jméno: Lucie Osobní číslo: 439078

 Zadávající katedra: Katedra betonových a zděných konstrukcí

 Studijní program: Stavební inženýrství

 Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb
II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

 Název diplomové práce: Konstrukční návrh bílé vany administrativní budovy

 Název diplomové práce anglicky: Structural design of white tank of administration building

Pokyny pro vypracování:

Předmětem diplomové práce je:

- zpracovat přehled základních poznatků k navrhování bílých van - používané normy a předpisy, zásady a metody navrhování, základní doporučení a konstrukční požadavky, typické poruchy apod.
- provést podrobný návrh konstrukčního řešení bílé vany administrativní budovy - návrh konstrukčního řešení bílé vany, návrh vyztuže, výkres tvaru a vyztuže včetně typických detailů.

Seznam doporučené literatury:

Technická pravidla ČBS 02 Bílé vany.

Technická pravidla ČBS 04 Vodonepropustné betonové konstrukce

Design of liquid retaining concrete structures, Robert D. Anchor

 Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Josef Novák, Ph.D.

 Datum zadání diplomové práce: _____ Termín odevzdání diplomové práce: 5.1.2020
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

 Podpis vedoucího práce

 Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutně uvést v diplomové 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“.

 Datum převzetí zadání

 Podpis studenta(ky)



SPECIFIKACE ZADÁNÍ

Jméno diplomanta: Bc. Lucie Bělohradská

Název diplomové práce: Konstrukční návrh bílé vany administrativní budovy

Základní část: Katedra betonových a zděných konstrukcí podíl: 90% %

Formulace úkolů:

Předmětem diplomové práce bude zpracování přehledu základních poznatků k navrhování bílých van, který bude obsahovat obecný popis bílých van, rozbor návrhových přístupů uvedených v normách a technických předpisech, základní doporučení a požadavky pro konstrukční návrhy, základní informace k řešení spár a oprav bílých van.

V druhé části diplomové práce bude zpracován podrobný konstrukční návrh bílé vany administrativní budovy na silové a nesilové účinky zatížení včetně vyztužení konstrukce.

Výstupem konstrukčního návrhu bude výkres vyztuže a výkres tvaru bílé vany.

Podpis vedoucího DP:..... Datum: 30.9.2019

Případné další části diplomové práce (části a jejich podíl určí vedoucí DP):

2. Část: Katedra geotechniky podíl: 10% %

Konzultant (jméno, katedra): Ing. DANIEL JURÁNEK, Ph.D., KATEDRA GEOTECHNIKY

Formulace úkolů: - VYHODNOCENÍ INŽ.-GEOLOG. PŘÍJELAC LOKALITY,
- NÁVRH A POSOUZENÍ ZÁKLADOVÝCH KONSTRUKCÍ MSP, MŠÚ

Podpis konzultanta:..... Datum: 7.10.2019

3. Část: podíl: %

Konzultant (jméno, katedra):

Formulace úkolů:

Podpis konzultanta:..... Datum:

4. Část: podíl: %

Konzultant (jméno, katedra):

Formulace úkolů:

Podpis konzultanta:..... Datum:

Poznámka:



Prohlášení

Prohlašuji, že diplomovou práci jsem vypracovala samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce. Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, která byla vložena do IS KOS.

V Praze dne 5. 1. 2020

.....
Lucie Bělohradská



Poděkování

Tímto bych ráda poděkovala vedoucímu mé diplomové práce Ing. Josefovi Novákovi, PhD. za odborné a cenné rady, čas strávený při konzultacích a za celkové vedení při zpracování diplomové práce.



Abstrakt

Diplomová práce se zabývá technologií bílých van a jejím návrhem u vybrané administrativní budovy. V první části práce jsou popsány základní poznatky k navrhování bílých van. Jedná se zejména o principy této technologie, normové podklady používané v ČR, omezení šířky trhlin, provádění těsnění spár a prostupů a sanací poruch bílých van. Druhá část diplomové práce se věnuje konstrukčnímu návrhu spodní stavby administrativní budovy. Výztuž jednotlivých konstrukčních prvků je navržena s ohledem na limitní šířku trhlin od silových i nesilových účinků zatížení. Výstupem návrhu jsou výkresy tvaru a výztuže základové desky a obvodových stěn.

Klíčová slova

Bílá vana, vodonepropustný beton, těsnění spár, MSP, šířka trhlin, nesilové účinky



Abstract

The master's thesis deals with design guidelines for white tanks and a structural design of a white tank of selected office building. The first part of the thesis describes the main findings about the designing of white tanks. Namely, it concerns the concept of white tanks, design standards used in the Czech Republic, requirements for crack width limitations, the sealing of joints and openings, and remediation of defects in white tanks. The second part of the thesis deals with the structural design of the substructure of the office building. The reinforcement of structural elements was designed with respect to crack width limitations when direct and indirect actions were considered. The output of the structural design are formwork drawings and reinforcement drawings of the white tank.

Key words

White tank, watertight concrete, joint sealing, serviceability limit state, crack width, non-force effects



Obsah

1.	Úvod	8
2.	Bílé vany	10
2.1.	Oblast použití	10
2.2.	Výhody a nevýhody	10
2.3.	Vodonepropustnost betonu	11
2.4.	Normy pro návrh bílých van	14
2.4.1.	Návrh dle TP ČBS 02	14
2.4.2.	Návrh dle TP ČBS 04	19
2.4.3.	Návrh dle ČSN EN 1992-3	24
2.5.	Omezení vzniku a šířky trhlin	26
2.5.1.	Omezení šířky trhlin podle ČSN EN 1992-1-1	27
2.5.2.	Omezení šířky trhlin podle ČSN EN 1992-3	29
2.5.3.	Namáhání desky při omezeném přetvoření	32
2.5.4.	Namáhání stěny při omezeném přetvoření	34
2.6.	Těsnění spár a prostupů	37
2.6.1.	Druhy spár	37
2.6.2.	Návrh spár dle TP ČBS 02	38
2.6.3.	Návrh spár dle TP ČBS 04	40
2.6.4.	Prvky těsnění spár	41
2.6.5.	Těsnění prostupů	46
2.7.	Sanace poruch bílých van	48
2.7.1.	Plošné průsaky	49
2.7.2.	Neplánované trhliny	50
2.7.3.	Sanace pracovních spár	50
2.7.4.	Sanace dilatačních spár	51
3.	Závěr	53
	Zdroje	55



1. Úvod

Diplomová práce se zabývá konstrukčním řešením bílých van a jejím návrhem u vybrané administrativní budovy. Navazuje na semestrální projekt, ve kterém byl zpracován předběžný návrh nosné konstrukce a podrobný konstrukční návrh horní stavby. V diplomové práci se bude podrobně řešit spodní stavba objektu. Cílem diplomové práce je zpracovat přehled základních informací k navrhování bílých van.

První část diplomové práce obsahuje přehledný souhrn informací a poznatků k navrhování bílých van. V úvodu je popsán princip, funkce a uplatnění bílých van. Následuje přehled základních pravidel a doporučení pro jejich konstrukční návrh, který obsahuje zásadní informace z norem a technických předpisů používaných v České republice. Ze znění závazné literatury lze usuzovat, že omezení šířky trhlin je ve většině případů rozhodujícím kritériem při návrhu výztuže. Vliv nesilových účinků na chování konstrukce je často zanedbáván, avšak může být zcela zásadní pro správnou funkci konstrukce. Nedílnou součástí práce je i kapitola, která se věnuje těsněním spár a způsobům sanací poruch.

Ve druhé části diplomové práce byly získané poznatky uplatněny při podrobném návrhu spodní stavby administrativní budovy. Konstrukce spodní stavby je navržena s ohledem na mezní stav únosnosti a mezní stav použitelnosti. Konstrukčním návrhem se prokázala složitost konstrukčního návrhu bílých van a zároveň se odkryla řada nejasností v navrhování. Při návrhu výztuže byl kladen důraz na dodržení šířky trhlin při působení přímého zatížení a nepřímého zatížení jako je např. napětí od účinků hydratačního tepla. Velice obtížné se jeví správné určení okrajových podmínek nesilových zatížení, ke kterým lze dohledat pouze omezené množství informací. Výstupem konstrukčního návrhu jsou výkresy tvaru základové desky a výkresy výztuže základové desky a obvodových stěn. Diplomová práce se nezabývá technologickým návrhem směsi vodonepropustného betonu.

Hlavním motivem pro výběr tohoto tématu byla snaha rozšířit si znalosti v oblasti návrhu bílých van, protože se v současné době jedná o nejpoužívanější řešení utěsnění spodní stavby. V základních kurzech bakalářského a magisterského studia bylo reprezentováno pouze omezené množství poznatků o oblasti návrhu



výztuže na nesilové účinky, a proto by bylo před nástupem do praxe vhodné rozšířit znalosti této problematiky. Navíc v ČR není jednotná norma, která by určovala, jak tyto konstrukce navrhovat.



2. Bílé vany

Pokud se ve stavebnictví mluví o bílé vaně, jde o železobetonovou konstrukci, která má kromě nosné funkce i funkci těsnicí. Bílá vana zabraňuje pronikání vody skrz konstrukci bez použití dalších hydroizolačních vrstev. Tato technologie se začala používat v Německu v 80. letech 20. století.

2.1. Oblast použití

Bílé vany lze použít u mnoha typů staveb, kde je nutné ochránit vnitřní prostředí před vodou či vlhkostí vně konstrukce. Jde například o objekty s podzemními podlažními, které jsou využívány jako garáže, sklady, strojovny, kotelny a jiné prostory pro domovní techniku. Technologie bílé vany je možné využít u dopravních staveb (tunely, galerie s otevřenou konstrukcí), průmyslových a inženýrských staveb (kolektory, kotelny) a také u vodohospodářských staveb, kde je často jejím úkolem zadržet vodu naopak uvnitř konstrukce.

2.2. Výhody a nevýhody

Další způsob ochrany spodní stavby proti vodě je tzv. černá vana. Jedná se o konstrukce s ochranou proti vodě pomocí povlakových izolací (natavované asfaltové pásy, fóliové izolace). Přestože se tato technologie v průběhu let významně zdokonalila, v dnešní době je často nahrazována technologií bílých van. Černé vany jsou sice zažitým a ověřeným způsobem ochrany spodní stavby, ale mají i určité nevýhody. V průběhu výstavby lze pouze obtížně kontrolovat provedení spojů a riziko vzniku poruchy z důvodu nekvalitního napojení izolace se tak zvyšuje. Může také dojít k proražení izolace při ukládání betonářské výztuže anebo k porušení v důsledku objemových změn betonu nebo deformace konstrukce. Hlavní nevýhoda technologie černých van však spočívá v nákladné sanaci vzniklých poruch, u kterých je složité odhalit přesné místo vzniku.

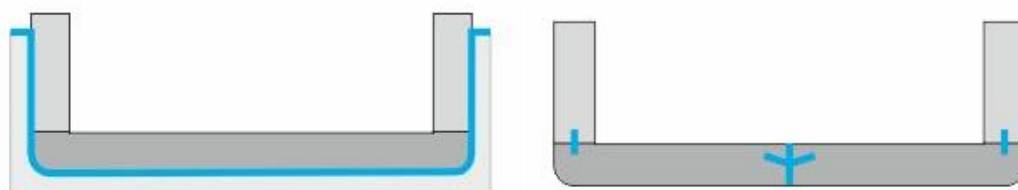
Naproti tomu bílé vany mají velkou výhodu v opravitelnosti vzniklých poruch. Jednoduše se lokalizuje místo průsaku, které se následně opraví pomocí injektáže.



Z hlediska trvanlivosti mají navrch také vodonepropustné betonové konstrukce. Za předpokladu správného provedení a neagresivního prostředí může beton bez dalších úprav plnit svoji funkci 100 a více let. U povlakových hydroizolací může docházet k degradaci materiálu a také ke zhoršování jejich pružnosti a mechanických vlastností.

Nevýhoda bílých van spočívá ve vysokých požadavcích na technologickou kázeň a kvalitu provedení konstrukce jako celku a především spár (dilatační, pracovní). Beton má vyšší difúzní propustnost, tudíž není vhodný jako ochrana proti radonu.

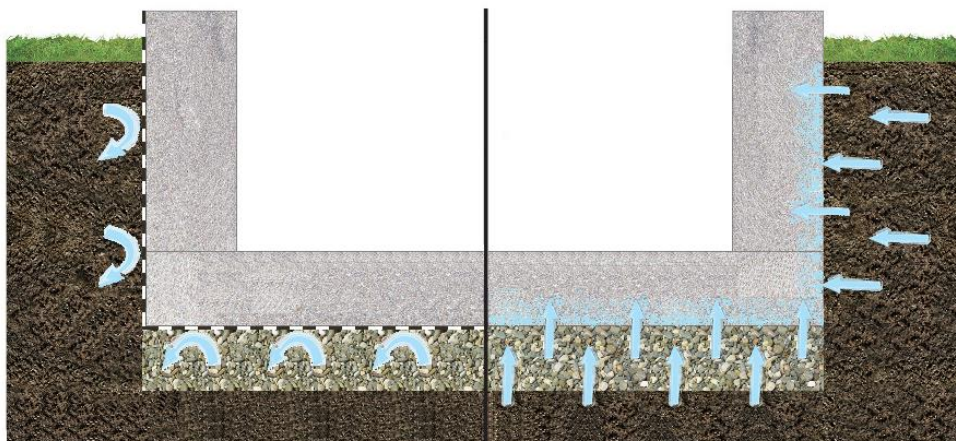
Obě technologie mají řadu výhod i nevýhod. Vždy je proto nezbytné při návrhu konstrukce vyhodnotit vhodnost použití každé technologie s ohledem na konkrétní podmínky. Důležité je také myslet na to, že obě technologie musí být správně konstrukčně navrženy a kvalitně provedeny. [3] [13]



Obr. 1: Izolace černé vany (vlevo) a bílá vana (vpravo) [13]

2.3. Vodonepropustnost betonu

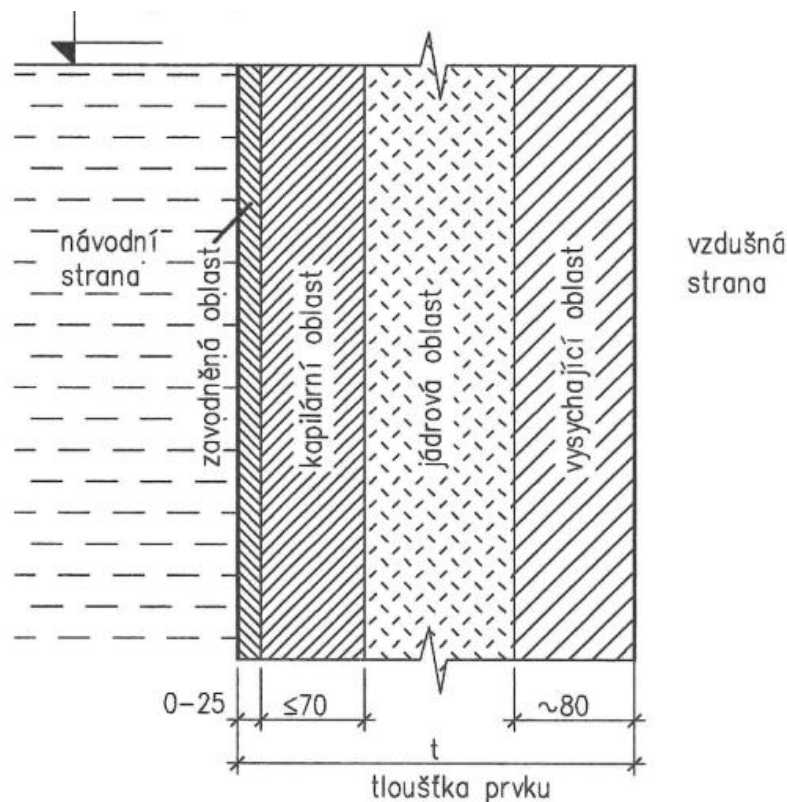
V praxi se často používá pojem vodotěsný beton, ale toto označení není zcela správné, protože význam slova vodotěsný je, že do látky nemůže proniknout žádná voda. Beton je porézní materiál, a proto nemůže být vodotěsný. Vhodnější pojmenování je vodonepropustný beton, který umožňuje průnik tlakové vody pouze do určité hloubky, ale zabraňuje průniku vody skrz celou tloušťku konstrukce.



Obr. 2: Vodotěsnost X vodonepropustnost [13]

Pokud na beton působí tlak z jedné strany, začíná docházet k transportu vody do betonu na návodní straně konstrukce. Vzniká oblast, kde je beton plně nasycen vodou a tato oblast se nazývá zavodněná. Hloubka zavodněné oblasti závisí na tlaku a době působení vody a bývá obvykle 0-25 mm. Poté se voda šíří kapilárami v kapilární oblasti v tloušťce maximálně 70 mm. Dále se šíří voda v plynném skupenství difuzí. Střední část konstrukce se nazývá jádrová. Na druhé straně konstrukce je vysychající oblast, odkud se vodní pára šíří dále do vnitřního prostoru. Tato oblast dosahuje hloubky cca 80 mm (Obr.3). [3]

Tloušťka konstrukce z vodonepropustného betonu závisí na tlaku vody. Minimální tloušťka podle německé směrnice je 200 mm [2], ale na základě praktických zkušeností je tato tloušťka nedostatečná a doporučuje se navrhovat konstrukce s tloušťkou větší než 250 mm. Doporučení v rakouské směrnici [1] dokonce uvádí, že tloušťka konstrukce nemá být menší než 300 mm bez ohledu na stupeň vyztužení. Jinými slovy to znamená, že vyšším vyztužením nelze redukovat tloušťku konstrukce pod doporučenou hodnotu.



Obr. 3: Oblasti prvku z vodonepropustného betonu [3]

Vodonepropustnost betonu se určuje podle hloubky průsaku dle normy ČSN EN 12390-8. Vytvoří se zkušební těleso a ve stáří 28 dní se vystaví z jedné strany vodnímu tlaku na 72 hodin. Poté se měří maximální hloubka průsaku. Pro vodonepropustný beton se obvykle požaduje průsak menší než 50 mm. Lze také navrhovat beton, jehož parametry se hodnotí ve stáří 90 dnů. Tím by se docílilo úspory cementu, neboť v delším času, než v běžném stáří, dosahuje beton příznivějších hodnot (menší průsak, vyšší pevnosti).

Vodonepropustnost samotného konstrukčního betonu je ovlivněna množstvím záměsové vody. Pokud by v čerstvém betonu bylo příliš mnoho vody, vznikalo by velké množství kapilárních pórů a zvyšovala by se propustnost pro vodu. V našich podmínkách se doporučuje vodní součinitel menší než 0,45. Beton by měl také obsahovat co nejmenší množství cementu, aby se během tvrdnutí betonu uvolňovalo co nejméně hydratačního tepla. Důležité je beton po ukládce důkladně ztuhnout a poté co nejdéle ošetřovat.



2.4. Normy pro návrh bílých van

V ČR neexistuje norma pro navrhování a provádění konstrukcí bílých van. Pro návrh nepropustných betonových konstrukcí se proto používají Technická pravidla ČBS 02 Bílé vany – Vodonepropustné betonové konstrukce z roku 2007 [1]. Jedná se o překlad směrnice „Wasserundurchlässige Betonbauwerke – Weiße Wannen“ vydané Rakouskou společností pro beton (ÖVBB).

Rovněž lze využít Technická pravidla ČBS 04 Směrnice pro vodonepropustné betonové konstrukce (2015) [2], které jsou překladem německé směrnice pro bílé vany „Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton“ (WU-Richtlinie) Německého výboru pro železobeton (Deutscher Ausschuss für Stahlbeton /DAfStb).

Obě tyto směrnice předpokládají, že konstrukce bílé vany nebude dokonalá a počítají s opravami určitého množství průsaků jakožto součástí technologie. Snaží se najít kompromis mezi dokonalým technickým řešením a ekonomickým návrhem.

V ČR lze také použít normu ČSN EN 1992-3 [5], která slouží k navrhování nádrží na kapaliny a zásobníky. Tato norma nebyla primárně zpracována pro návrh bílých van, ale lze ji použít i na jiné typy konstrukcí, kde je požadována vodonepropustnost.

2.4.1. Návrh dle TP ČBS 02

Princip směrnice spočívá v návrhu konstrukčního řešení, které bude z hlediska množství výztuže hospodárné a zároveň splní požadavky na šířku a rozvoj trhlin. Výsledkem by měl být bezpečný a ekonomicky přijatelný návrh vodonepropustné betonové konstrukce.

Konstrukční návrh zahrnuje několik kroků, které je zapotřebí provést. Nejdříve se musí konstrukce začlenit do třídy požadavků a třídy tlaku vody. Poté se stanoví třída konstrukce, podle které se určuje maximální šířka trhlin v konstrukci. Po zatřídění konstrukce už lze přejít k samotnému návrhu. Podrobnější postup je popsán v následující části kapitoly.

Klasifikace

Na začátku konstrukčního návrhu se musí konstrukce začlenit do jedné ze tříd požadavků, které se liší v požadavcích na průsak vody. Tuto třídu určuje projektant



po konzultaci s investorem podle předpokládaného způsobu využití vnitřního prostoru stavby. Směrnice definuje pět tříd požadavků na konstrukce – As, A1 – A4. Každá z kategorií vnitřního prostředí je určena vzhledem a požadavky na přípustný průsak (Tab. 1). Nejprísnější je třída požadavků As, která je definována pro použití ve zvláštních případech. Většina běžných konstrukcí se zařazuje do třídy požadavků A2.

Lze předpokládat, že s rostoucími požadavky na konstrukce vzroste i složitost konstrukčního návrhu, výrobní náklady apod. Proto je zapotřebí již na začátku s rozvahou zatřídit sledovanou konstrukci.

Tab. 1: Třídy požadavků na vodonepropustnost vnějších stěn, základových desek a stropů [1]

Třída požadavků	Zkrácené označení	Popis povrchu betonu	Posouzení vlhkých míst	Přípustná vadná místa (vlhká místa, trhliny atd.) na povrchu betonu	Dodatečná opatření	Příklady použití	Konstrukce
A ₅ Zvláštní třída	Zcela suché	Žádná vizuálně patrná vlhká místa (tmavé zbarvení)			Stavebně-fyzikální vyšetření a temperování/klimatizování prostoru je bezpodmínečně nutné	Sklady zboží, které je zvlášť citlivé na vlhkost	2)
A ₁	Z větší části suché	Vizuálně patrná jednotlivá vlhká místa (max. matné tmavé zbarvení)	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)
A ₂	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)
A ₃	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 ² stěny smí být v průměru max. 0,01 l/h ¹⁾	Uvažovat s odvodňovacími opatřeními	Garáže (s dodatečnými opatřeními, např. odvodňovací žlaby) atd.	(²⁾), 3)



A ₄	mokrě	Jednotlivá mokvající místa s výskytem vody, pro podlahové desky, stěny a podzemní stěny	Množství odtékající vody lze měřit v záchytných nádobách.	Maximální množství vody na jedno vadné místo nesmí překročit 2 l/h, přičemž průřez vody na 1 m ² stěny nesmí v průměru překročit 1 l/h. ¹⁾	Uvažovat s odvodňovacími opatřeními	Vnější skořepina dvouplášťových konstrukcí.	³⁾
----------------	-------	---	---	--	-------------------------------------	---	---------------

¹⁾ Tento průměr se počítá jen z průřezu vody z vnějšku 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

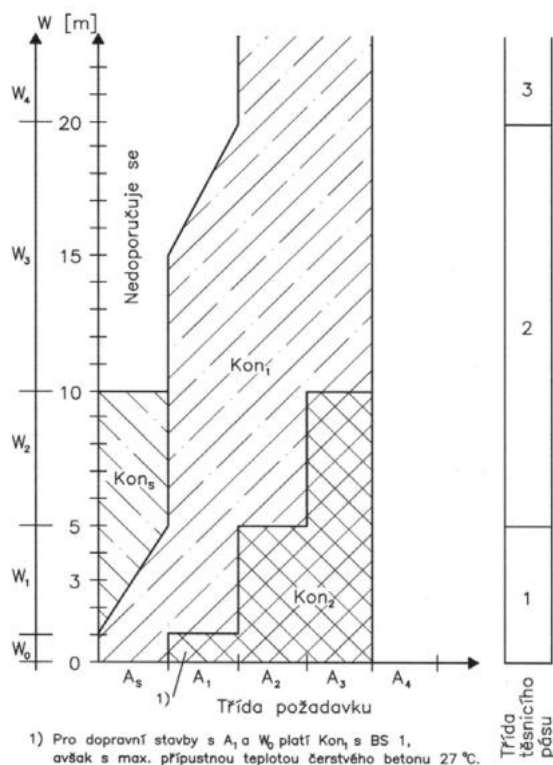
Dále se musí stanovit třída tlaku vody (Tab. 2) podle návrhového stavu vody v místě stavby. Hladina podzemní vody se určuje z geologického průzkumu a je potřeba zohlednit i možné budoucí změny vodního sloupce.

Tlak vody se určuje k úrovni spodní hrany posuzované konstrukční části. U vysokých stěn je možné odstupňovat třídy tlaku vody na jednotlivé části konstrukce.

Tab. 2: Třídy tlaku vody [1]

Třída tlaku vody ¹⁾	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

Na základě stanovené třídy požadavků a třídy tlaku vody u sledované konstrukce se určí třída konstrukce a třída těsnicího pásu v uvedeném diagramu (Obr.4). Zvolenou třídou konstrukce se definují požadavky a doporučení, které by se měly zohlednit při konstrukčním návrhu. Jedná se zejména o minimální tloušťky konstrukcí, maximální šířky trhlin, maximální vzdálenosti dilatačních a pracovních spár, minimální množství výztuže, beton atd. Informace a přesné hodnoty jednotlivých omezení lze vyčíst z přiložené tabulky (Tab.3).



Obr. 4: Diagram pro určení třídy konstrukce a třídy těsnícího pásu [1]

Tab. 3: Konstrukční třídy pro bedněné železobetonové stavební díly [1]

Konstrukční třída	Min. tloušťka stavebního dílu ¹⁾²⁾ [m]	Dimenzování na vynucená namáhání	Dimenzování na zatížení	Normalizační beton	Další konstrukční požadavky
Kon_3 zvláštní třída	$\geq 0,45$ $\geq 0,60$ pro W_2	viz Obr. 4/5	omezení šířky trhlin na $\leq 0,15$ mm	BS 1	Max. délky konstrukčních částí ³⁾ : • vzdál. dilatačních/dělicích spár: ≤ 15 m • vzdál. pracovních spár ve stěnách: ≤ 10 m Je nezbytné zabudovat kluzné fólie pro separaci vnějšího a vnitřního pláště, eventuálně uvažovat o: • předepnutí • zdvojení těsnících pásů • eliminaci skokových změn tloušťky/výšky konstrukce • eliminaci překážek, které brání v pohybu konstrukce vůči okolnímu prostředí
Kon_1	$\geq 0,35$ $\geq 0,60$ pro W_4	viz Obr. 4/6	omezení šířky trhlin na $\leq 0,20$ mm	BS 1	Doporučené délky konstrukčních částí ³⁾ : • 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 vložit separačních fólií. Doporučuje se určit teplotní pole. Pokud je konstrukční část provedena jako součást spřaženého systému (s těsným zazuběním do vnější stěny), má být max. délka konstrukční části ≤ 40 m.
Kon_2	$\geq 0,30$	viz Obr. 4/7	omezení šířky trhlin na $< 0,25$ mm ⁴⁾	BS 2	Doporučené délky konstrukčních částí ³⁾ : • 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 uvážit možnost jejího rozdělení na menší části. Skokové změny tloušťky/výšky konstrukce je vhodné eliminovat (náběhy se sklonem cca 30°, separací atd.). Doporučuje se určit teplotní pole.

¹⁾ Bez zohlednění statických, výrobně-technických a konstrukčních požadavků (viz bod 4).

²⁾ W_1, W_2, \dots = třídy tlaku vody podle Tab. 3/3

³⁾ Při zvláštních opatřeních (např. předepnutí, současném vybetonování základových desek a stěn) mohou být realizovány i větší délky konstrukčních částí.

⁴⁾ Šířka trhlin $< 0,25$ mm uvedena v Tab. 3/2 odpovídá podle ÖNORM A 6403 (zaokrouhlování čísel) až do hodnoty $w = 0,249$ mm hodnotě $w \leq 0,2$ mm požadované ÖNORM B 4700 v bodě 4.2.1(3).



Dimenzování

Vodonepropustnost železobetonového prvku závisí na vodonepropustnosti samotného betonu a nepřítomnosti trhlin (případně na šířce a typu vzniklých trhlin). Určité vědecké publikace uvádí [27], že účelem vhodně navrženého vyztužení je eliminovat vznik trhlin, pokud to okolnosti umožní. Vzhledem k tomu, že tohoto stavu je v řadě případů velice složité dosáhnout, důležité je navrhnout alespoň takové uspořádání a množství vyztuže, které vznik trhlin značně omezí.

Na konstrukci působí dva typy zatížení. Prvním jsou zatížení přímá, tj. zatížení působící přímo na konstrukci. Jedná se zejména o vlastní tíhu, užité zatížení, zatížení zemním tlakem a tlakem vody. Druhým typem jsou zatížení nepřímá, která jsou vyvolána vynucenými přetvořeními. Jde o zatížení teplotou, smršťování a dotvarování betonu, sednutí, naklopení nebo nadzdvihnutí konstrukce.

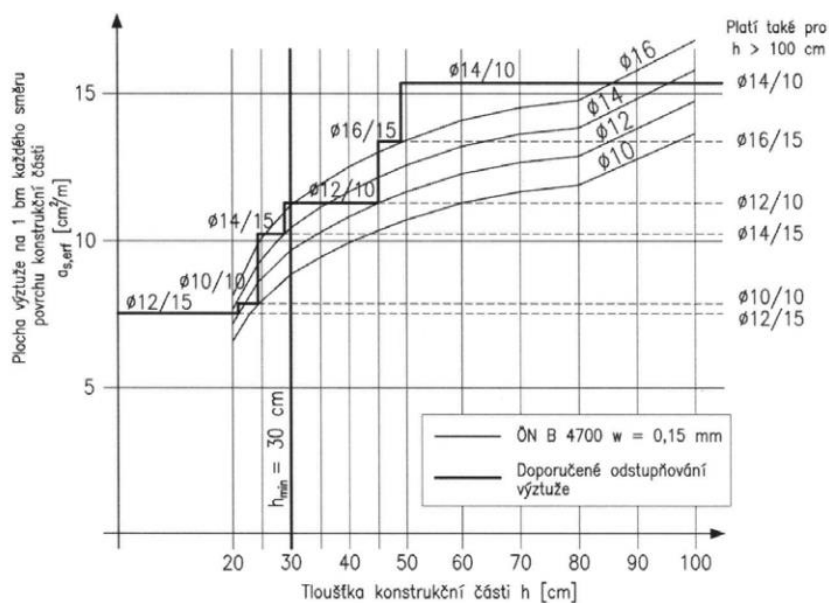
Podle TP ČBS 02 se množství vyztuže v konstrukci určí prokázáním tří kritérií:

- prokázání únosnosti
- prokázání použitelnosti – omezení šířky trhlin při převažujícím vlivu zatížení
- prokázání použitelnosti – omezení šířky trhlin při převažujícím vynuceném namáhání

Ověřením uvedených kritérií se prokazuje spolehlivost konstrukce. Zatímco ověření mezního stavu únosnosti se provádí podle pravidel a doporučení platných norem, mezní stav použitelnosti, konkrétně omezení šířky trhlin, se ověřuje podle platných norem s přihlédnutím k přísnějším požadavkům technických pravidel. Z hlediska vyztužení bílých van je ve většině případů rozhodující mezní stav použitelnosti.

Maximální povolená šířka trhlin se odvíjí od třídy konstrukce, do které byla navrhovaná konstrukce zařazena. Její hodnoty jsou 0,15 mm, 0,20 mm a 0,25 mm.

Návrh vyztuže pro omezení raných trhlin od vynuceného namáhání se provádí za pomoci grafů (Obr.5) uvedených v technických pravidlech. Jedná se o vyztuž, která má primárně zachytit tahová namáhání od ztráty hydratačního tepla v betonu a zamezit tím vznik trhlin na konstrukci raného stáří.



Obr. 5: Minimální výztuž na centrické vynucené namáhání (zde pro šířku trhliny max. 0,15 mm a krycí vrstvu 40 mm) [1]

Posouzení šířky trhlin od zatížení se musí provést pro rozhodující kombinaci normálové síly a ohybu. Pokud je namáhání od zatížení větší než mez vzniku trhlin, navrhuje se výztuž k omezení šířky trhlin. Pro tento posudek není třeba brát v úvahu žádná vynucená namáhání, avšak poměrná deformace od vynuceného namáhání nesmí překročit 0,8 ‰. Jestliže by došlo ke značně velkým deformacím od vynuceného namáhání, je nutné stanovit vnitřní síly odpovídající vynuceným namáháním a poté je přičíst k vnitřním silám od zatížení.

Minimální požadavek na vyztužení je pravoúhlou sítí se vzdálenostmi prutů 150 mm.

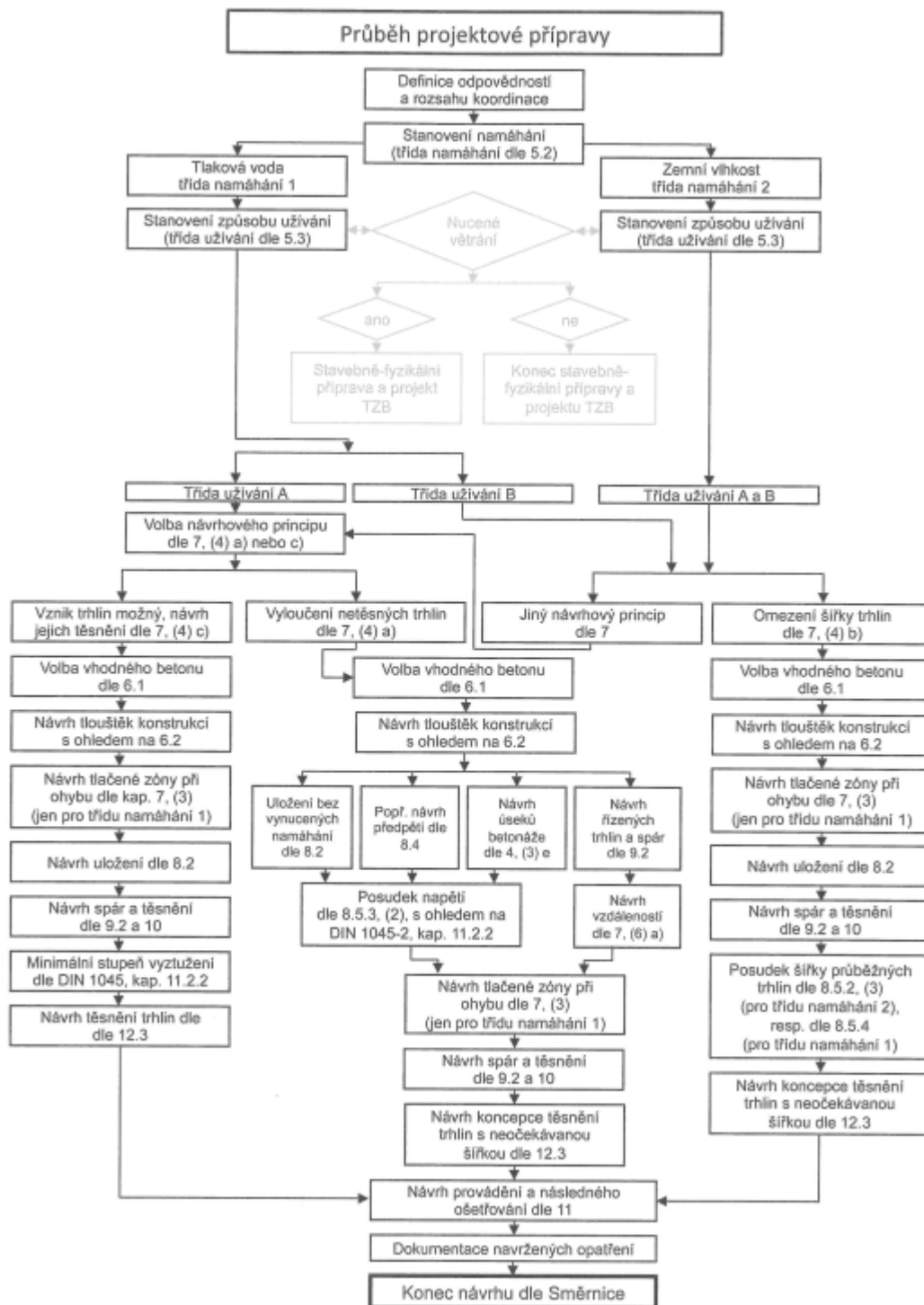
2.4.2. Návrh dle TP ČBS 04

TP ČBS 04 je překladem německé směrnice. Výhodou směrnice je detailnější a komplexnější zpracování problematiky vodonepropustných konstrukcí.

Podobně jako v TP ČBS 02 konstrukční návrh začíná zatříděním konstrukce. Nejprve se určí třída namáhání konstrukce vodou a třída užívání vnitřních prostorů konstrukce. Následně se musí vybrat návrhový přístup, podle kterého se bude postupovat. Podle tříd se stanoví maximální dovolená šířka trhlin v železobetonové



konstrukci a poté se už může přejít k návrhu konstrukce včetně těsnění spár a prostupů.



Obr. 6: Schéma postupu projektové přípravy vodonepropustných konstrukcí [2]



Klasifikace

Na začátku konstrukčního návrhu se navrhovaná konstrukce musí zatřídit podle třídy namáhání. Vybírat lze ze dvou způsobů, které se liší v míře působení vlhkosti nebo vody na konstrukci. Třída namáhání 1 platí pro tlakovou nebo dočasně vzdutou prosakující vodu, ale nezáleží na velikosti vodního tlaku. Ve třídě namáhání 2 se počítá se zemní vlhkostí a nevzdutou prosakující vodou.

Tab. 4: Třídy namáhání [2]

Třída namáhání 1	Třída namáhání 1
1	2
Trvalý kontakt konstrukce s vodou dle 3.6 a 3.18: <ul style="list-style-type: none"> - 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: <ul style="list-style-type: none"> - vlhká zemina, - nevzdutá prosakující voda (viz kap. 3.19), jen u silně propustné zeminy nebo u trvale průtočné drenáže dle DIN 4095.

Vedle definování očekávaného způsobu namáhání se u konstrukce musí stanovit i požadavky na její nepropustnost. Vybírat lze ze dvou tříd, které se liší v úrovni průsaku vody. Při výběru je rovněž důležité znát funkci a účel objektu, podle kterých lze určit přípustné limity průsaku. Třída užívání A je přísnější a nepřipouští žádná vlhká místa na vnitřním povrchu, průsak konstrukcí není dovolen. Ve třídě užívání B jsou v omezeném rozsahu dovolena vlhká místa a připouští se i omezený průsak konstrukcí. Směrnice stanovuje ještě zvláštní smluvní třídu, která se zakládá výhradně na domluvě investora a projektanta a požadavky se musí specifikovat ve smlouvě.



Tab. 5: Porovnání tříd užívání [2]

Třída užívání A	Třída užívání B
1	2
Průsak kapalné vody nepřipustný: - žádné vlhké skvrny vlivem průsaku vody ^{1), 2), 3)} , - žádné – ani dočasné – zavodněné trhliny a spáry.	Omezený průsak vody přípustný: - vlhké skvrny přípustné, - do nástupu samotěsnicí schopnosti dočasně zavodněné trhliny ⁴⁾ , - dlouhodobě vlhká povrchová kresba trhlín, avšak bez hromadění vody na volné (vnitřní) straně konstrukce ¹⁾ .
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.
¹⁾ V případě vodních kapek na povrchu dílců je třeba zjistit, zda se nejedná o kondenzát (viz níže). ²⁾ 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. ³⁾ 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. ⁴⁾ Čas ukončení procesu samotěsnění musí být v souladu s užitnými požadavky na konstrukci.	

V dalším kroku konstrukčního návrhu bílé vany se musí stanovit minimální tloušťka navrhované konstrukce. Doporučené hodnoty jsou nastaveny tak, aby konstrukce o určené tloušťce s požadovaným krytím, vyztužením, těsnicími prvky a ostatními zabudovanými prvky mohla být řádně vybetonována a mohla plnit zejména svoji nosnou a těsnicí funkci. Minimální konstrukční tloušťka betonových prvků (Tab. 6) je definována v závislosti na třídě zatížení a způsobu provádění. Zároveň musí být u stěn splněna podmínka pro minimální světlou vzdálenost vložek výztuže, která je závislá na maximální velikosti zrna kameniva. Pro běžnou velikost zrna kameniva 16 mm se u monolitického betonu doporučuje dodržet světlou vzdálenost výztuže v příčném směru alespoň 140 mm.



Tab. 6: Doporučené minimální tloušťky konstrukcí v mm [2]

	Konstrukční část	Třída namáhání	1	2	3
			Způsob provádění		
			monolit	filigránové stěny	prefabrikáty
1	stěny	1 ¹	240	240	200
2		2 ²	200	240 ³⁾	100
3	základové desky	1 ¹	250	X	200
4		2 ²	150		100
¹ třída namáhání 1:			tlaková a netlaková voda, dočasně vzdutá prosakující voda		
² třída namáhání 2:			zemní vlhkost a nevzdutá prosakující voda		
³ za zvláštních technologických a prováděcích podmínek je možné snížení na 200 mm					

Dimenzování

Směrnice popisuje tři návrhové přístupy, podle kterých lze postupovat:

- a) Vyloučení průběžných trhlin – Tato varianta je náročná na koordinaci a vyžaduje řadu preventivních opatření (konstrukční, technologická, prováděcí).
- b) Omezení šířky průběžných trhlin s využitím jejich samoutěsnění – Nejpoužívanější postup, protože jsou přípustné průběžné trhliny v omezené šířce (omezuje se vhodnou výztuží) v závislosti na tlakovém spádu. Počítá se s tím, že se většina trhlin utěsní sama (samohojení trhlin v betonu).
- c) Omezení šířky průběžných trhlin dle ČSN 1992-1-1 – Zde se předpokládá, že se všechny průběžné trhliny utěsní dodatečně (injektáží).

Maximální dovolené šířky průběžných trhlin, kdy se počítá se samoutěsněním trhlin, závisí na tlaku vody a jsou uvedeny v tabulce 7.



Tab. 7: Návrhové šířky průběžných trhlin [2]

	1	2
	Tlakový spád h_v/h_b ¹	Dovolená šířka trhliny w v mm (návrhová hodnota) ²
1	≤ 10	0.20
2	> 10 až ≤ 15	0.15
3	> 15 až ≤ 25	0.10

¹ h_v = výška vodního sloupce v m; h_b = tloušťka konstrukce v m
² Pro agresivní vodu s koncentrací > 40 mg/l CO_2 (odvápňující kyselina uhličitá) a $\text{pH} < 5,5$ se nesmí uvažovat samotěsnicí schopnost trhlin.

Posouzení konstrukce na šířku trhlin se musí provést pro častou kombinaci zatížení. Posouzení trhlin je nutné vždy provést i pro nepřímá namáhání, která jsou pro návrh bílých van většinou rozhodující. V jednotlivých posudcích se musí zohlednit efektivní tahová pevnost betonu v čase posouzení.

Ve směrnici jsou kapitoly věnované nepřímým účinkům zatížení, která významně ovlivňují vodonepropustnost betonové konstrukce. Upozorňuje se na důležitost posouzení trhlin ve fázi tuhnutí betonu, kdy dochází k uvolňování hydratačního tepla. V raném stáří betonu mohou vznikat velká tahová napětí a s ním i trhliny, jelikož beton ještě nedosahuje deklarované pevnosti v tahu. S tímto problémem souvisí i uložení vodonepropustné konstrukce, které by mělo být navrženo tak, aby co nejméně omezovalo volné deformace konstrukce od nepřímých účinků. Základová spára by měla být co nejméně členitá, popř. by se měla navrhnout kluzná vrstva mezi základovou deskou a podloží. Směrnice popisuje, jak uvažovat smršťování vysycháním a za jakých podmínek se musí kombinovat s účinky vývinu hydratačního tepla.

2.4.3. Návrh dle ČSN EN 1992-3

Jedinou závaznou normou v České republice, kterou lze uplatnit při návrhu bílých van, je ČSN EN 1992-3 [5]. Jedná se sice o normu primárně zpracovanou pro konstrukční návrh nádrží na kapaliny a zásobníky, ale pravidla a doporučení uvedená v normě lze aplikovat i na jiné typy konstrukcí, kde se požaduje vodonepropustnost.



Princip metodiky konstrukčního návrhu je obdobný jako u technických předpisů. Podle znění normy lze usuzovat, že rozhodujícím stavem při navrhování vodonepropustných konstrukcí je mezní stav použitelnosti – omezení trhlin. Respektování uvedených pravidel a doporučení by mělo vést k návrhu konstrukce, která bude splňovat požadavky na omezení šířky trhlin.

Nejdříve se konstrukce zatřídí do čtyř tříd nepropustnosti podle požadovaného průsaku (Tab. 8) s ohledem na požadovanou funkci navrhované konstrukce.

Tab. 8: Klasifikace nepropustnosti [5]

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.

Zatříděním do třídy nepropustnosti se nepřímou volí požadavky na omezení šířky trhlin:

- Třída nepropustnosti 0 – Maximální šířka trhlin se určí podle ČSN EN 1992-1-1, tzn. 0,4 mm pro stupeň vlivu prostředí X0 a XC1 a 0,3 mm pro XC2, XC3, XC4, XD1, XD2, XS1, XS2 a XS3.
- Třída nepropustnosti 1 – Maximální šířka průběžných trhlin (w_k) závisí na podílu hydrostatického tlaku (h_D) a tloušťky stěny nádrže (h). Pokud je $h_D/h \leq 5$, $w_k = 0,2$ mm, při $h_D/h \geq 35$, $w_k = 0,05$ mm. Mezilehlé hodnoty poměrů se interpolují. Při dodržení těchto hodnot by mělo dojít k samoutěsnění trhlin v poměrně krátké době. Pokud trhliny neprocházejí celou tloušťkou konstrukce, měla by být výška tlačené oblasti větší než menší z hodnot 50 mm nebo $0,2h$.
- Třída nepropustnosti 2 – Průběžné trhliny se mají úplně vyloučit, anebo se musí použít např. vystýlky nebo bariéry proti vodě.
- Třída nepropustnosti 3 – Aby byla konstrukce vodotěsná, je požadováno použití zvláštních opatření jako jsou vystýlky nebo předpětí.

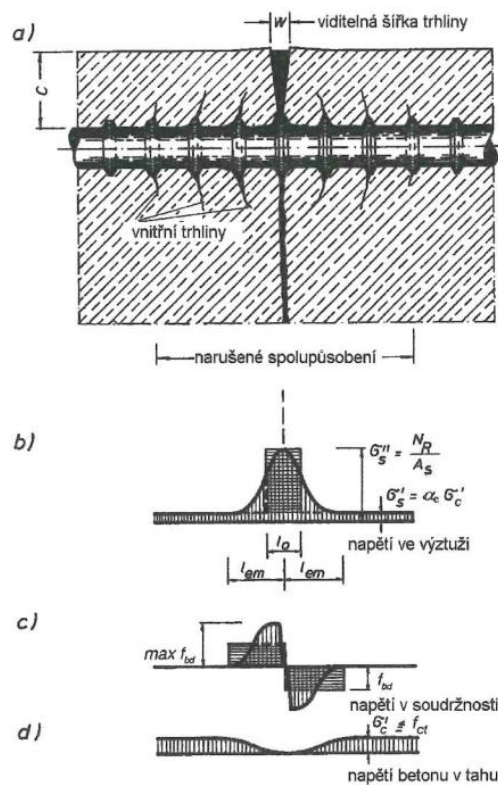
Oproti předchozím předpisům se v normě neobjevují požadavky na minimální tloušťku konstrukce, rozestup výztuže apod. Norma nechává tyto parametry na uživateli a požaduje pouze dodržení omezení šířky trhlin.

Principy návrhu dle této normy budou popsány v dalších kapitolách.

2.5. Omezení vzniku a šířky trhlin

Při návrhu bílých van je třeba klást důraz na mezní stav použitelnosti, resp. mezní stav šířky trhlin a navrhovat výztuž tak, aby vyhovovala požadavku předepsané mezní šířky trhlin. K porušení betonu trhlinou dojde, pokud napětí v betonu dosáhne jeho pevnosti v tahu. Trhliny mohou vzniknout od vnějšího zatížení (svislá zatížení, zemní tlak, tlak vody), vynuceného nebo vlastního napětí (smršťování, dotvarování, zatížení teplotou).

Před vznikem trhliny je díky spolupůsobení výztuže s betonem napětí v betonu stejné jako napětí ve výztuži. Pokud dojde v betonu k překročení mezního tahového přetvoření, vznikne trhlina a v tomto místě se zvýší napětí ve výztuži (Obr. 7). Pomocí výztuže lze omezit šířku trhliny, ale nelze trhliny úplně vyloučit.



Obr. 7: Trhlina v betonovém prvku [3]



Druhy trhlin v betonu:

- Povrchové trhliny – Vznikají při vlastním prnutí od smrštění, ochlazení atd. Nemají vliv na vodonepropustnost části konstrukce.
- Ohybové trhliny – Nemají vliv na vodonepropustnost, pokud je dostatečná výška tlačené části průřezu.
- Průběžné trhliny – Vznikají při vynuceném namáhání (smršťování, pokles teplot od hydratačního tepla, sedání...). Musí se dimenzovat vyztužení na omezení šířky průběžných trhlin. Podle šířky těchto trhlin dojde k samoutěsnění, nebo se trhliny musí utěsnit dodatečně.

Podle znění technických předpisů lze usuzovat, že konstrukční návrh by se měl provádět tak, aby byl dodržen MSP – omezení trhlin. Přestože MSÚ se musí vždy ověřit, lze předpokládat, že z důvodu přísnějších omezení šířky trhlin bude vždy splněn, pokud bude splněn MSP. Důležité je proto správně určit šířku trhlin, a to jak od silového zatížení, tak od nesilového zatížení.

2.5.1. Omezení šířky trhlin podle ČSN EN 1992-1-1

Norma ČSN EN 1992-1-1 [4] umožňuje použít dva přístupy k návrhu výztuže, která zajistí, že trhliny na konstrukci nepřekročí určitou limitní hodnotu. Zjednodušená metoda bez přímého výpočtu spočívá v návrhu výztuže pomocí tabulek, které uvádí doporučené vyztužení, aby nedocházelo k nadměrným trhlinám od objemových změn. V tabulce 9 jsou maximální průměry prutů pro omezení šířky trhlin v závislosti na napětí ve výztuži a šířce trhliny. Tabulka 10 je podobná, ale uvádí maximální vzdálenost prutů pro omezení šířky trhliny.



Tab. 9: Maximální průměr prutů pro omezení šířky trhlin [4]

Napětí ve výztuži ²⁾ [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	-

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

2) Při odpovídající kombinaci účinků zatížení.

Tab. 10: Maximální vzdálenost prutů pro omezení šířky trhlin [4]

Napětí ve výztuži ²⁾ [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	-

Obě tabulky vychází z následujícího výpočtu.

Hodnotu šířky trhliny lze spočítat ze vztahu (dle ČSN EN 1992-1-1):

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

$s_{r,max}$ maximální vzdálenost trhlin

ε_{sm} střední hodnota poměrného přetvoření výztuže

ε_{cm} střední hodnota poměrného přetvoření betonu mezi trhlinami

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

σ_s napětí ve výztuži v místě trhliny

α_e poměr modulů pružnosti, $\alpha_e = E_s / E_{cm}$



$\rho_{p,eff}$	účinný stupeň vyztužení, $\rho_{p,eff} = A_s/A_{c,eff}$
$A_{c,eff}$	efektivní plocha taženého betonu, $A_{c,eff} = b \cdot h_{c,eff}$
$h_{c,eff}$	efektivní výška taženého betonu,

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

k_t	součinitel závisící na době trvání zatížení
$f_{ct,eff}$	efektivní tahová pevnost betonu
E_s	modul pružnosti výztuže

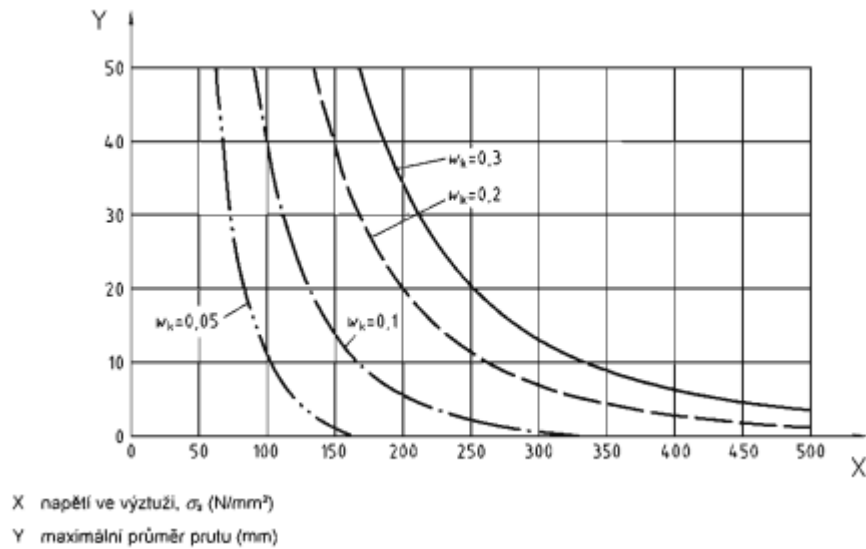
$$s_{r,max} = k_3c + k_1k_2k_4\sigma/\rho_{p,eff}$$

c	tloušťka krycí vrstvy podélné výztuže
σ	průměr prutu
k_1	součinitel zohledňující vlastnosti soudržné výztuže
k_2	součinitel zohledňující rozdělení poměrného přetvoření
k_3	3,4
k_4	0,425

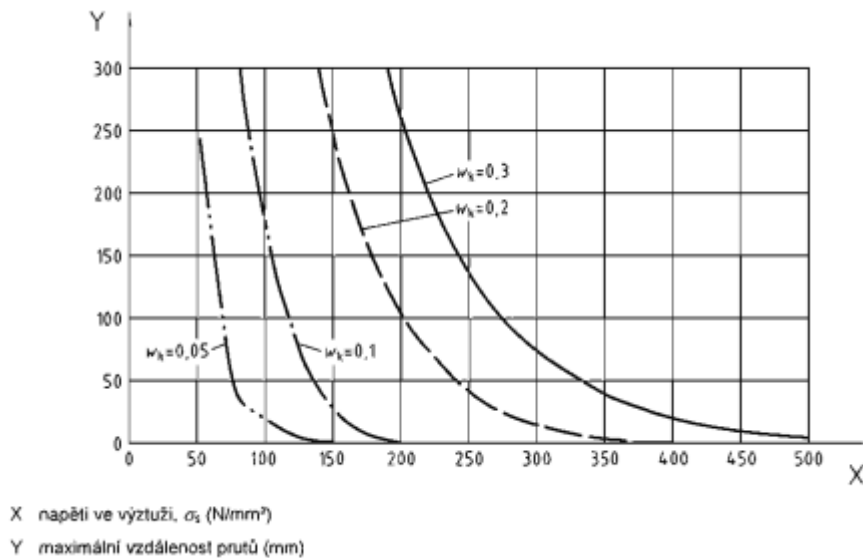
Při výpočtu trhlin je důležité správně určit vstupní parametry jako je pevnost betonu v tahu, napětí ve výztuži atd. Ale ani po tomto přesnějším výpočtu nelze předpokládat, že trhliny na skutečné konstrukci budou odpovídat spočtené šířce trhliny. I za podmínky správného výpočtu je vypočtená šířka trhliny jen reprezentativní hodnota.

2.5.2. Omezení šířky trhlin podle ČSN EN 1992-3

V normě ČSN EN 1992-3 [5] jsou, podobně jako v předchozí, grafy napětí ve výztuži na průměru výztuže (resp. na maximální vzdálenosti prutů), které se používají při návrhu vodonepropustných konstrukcí, aby v nich byla omezena maximální šířka trhlin. Grafy obsahují křivky pro šířky trhlin 0,05 mm až 0,3 mm.

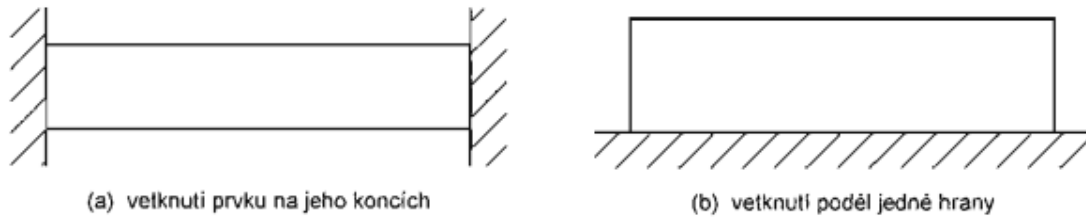


Obr. 8: Maximální průměry prutů pro omezení šířky trhlin u prvků namáhaných tahem [5]



Obr. 9: Maximální vzdálenost prutů pro omezení šířky trhlin u prvků namáhaných tahem [5]

Norma určuje dva základní případy omezení přetvoření v důsledku smršťování a ochlazení prvku během několika dnů po uložení betonové směsi. Prvním případem je vetknutí prvku na jeho koncích, který nastává, pokud je nová konstrukce betonována mezi dvě stávající části. Druhá možnost je vetknutí podél jedné hrany a dochází k tomu, když je nová stěna betonována na stávající tuhý základ.



(a) vetknutí prvku na jeho koncích

(b) vetknutí podél jedné hrany

Obr. 10: Typy omezení přetvoření stěny [5]

Výpočet trhliny se pak provádí běžně podle normy ČSN EN 1992-1-1 (kap. 2.5.1.). Liší se pouze výpočet rozdílu průměrných přetvoření ve výztuži a v betonu mezi trhlínami.

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

$s_{r,max}$ maximální vzdálenost trhlin

$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$ rozdíl průměrných přetvoření ve výztuži a v betonu mezi trhlínami

a) Vetknutí na koncích

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

α_e poměr modulů pružnosti, $\alpha_e = E_s / E_{cm}$

k_c součinitel rozdělení napětí před vznikem trhlin

k součinitel nerovnoměrnosti rozdělení vnitřních napětí

$f_{ct,eff}$ průměrná tahová pevnost betonu při vzniku trhliny

ρ účinný stupeň vyztužení, $\rho = A_s / A_{c,eff}$

Napětí ve výztuži pro posouzení trhlin bez přesného výpočtu lze spočítat dle:

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



b) Vetknutí podél jednoho okraje

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

R_{ax} součinitel omezení přetvoření

ε_{free} poměrné přetvoření, které by nastalo na zcela volném prvku

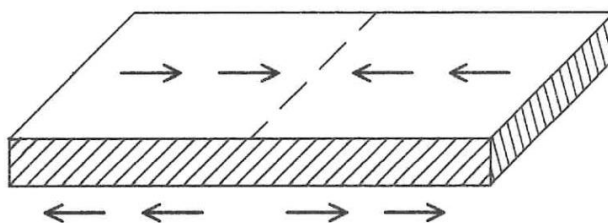
Tab. 11: Součinitel omezení přetvoření ve středních oblastech stěn [5]

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

2.5.3. Namáhání desky při omezeném přetvoření

Ze znění norem a technických předpisů lze zcela jasně usoudit, že při návrhu výztuže bílých van není často rozhodující zatížení konstrukce, ale rozhodují nepřímá zatížení způsobená vynuceným přetvořením. Velikost a vliv nesilového zatížení na konstrukci závisí na technologii výstavby. Riziko vzniku trhlin v konstrukcích obvykle vzniká v raném stádiu, pokud je bráněno volnému přetvoření desky. Základové desky se mohou přetvářet, pokud dojde k pokluzu na rozhraní desky a podloží, tzn. deska překoná vznikající tření. Možnost volného přetvoření základové desky a velikost přídatných namáhání od nepřímých zatížení lze tak do jisté míry ovlivnit typem podloží, na kterém je základová deska uložena.

Veškerá konstrukční řešení, která narušují rovinnost základové desky (dojezdy výtahových šachet apod.) omezují přetvoření základové konstrukce. S tímto je nutné počítat a popř. umožnit volné přetvoření betonů.



Obr. 11: Základová deska – tření v základové spáře [3]



Velikost třecí síly závisí na velikosti zatížení, rovinnosti dolního povrchu desky, součiniteli tření mezi deskou a podloží a na vodorovné neformovatelnosti horních vrstev podloží. Hodnoty součinitele tření pro výpočet tahové síly v desce jsou uvedeny v tabulce 12.

Tab. 12: Návrhové hodnoty součinitele tření μ [3]

Podloží	Kluzná vrstva	1. posun – μ
Štěrk	Žádná	1,4 – 2,1
Pískové 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 povlakové 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°C		

Velikost tahové síly v betonu se spočte [3] [25]:

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

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

γ součinitel spolehlivosti v MSP

μ součinitel tření

σ_0 napětí v základové spáře od vlastní tíhy desky

$\frac{l_0}{2}$ polovina délky desky za předpokladu pokluzu od středu desky

Vypočtená tahová síla je zároveň i návrhovou hodnotou tahové síly $F_{ct,d}$, pokud není větší než síla při vzniku trhlin F_{cr} .

$$F_{ct,eff} = F_{ct,d} \leq F_{cr}$$

$F_{ct,d}$ návrhová tahová síla pro stanovení minimálního vyztužení

F_{cr} síla při vzniku trhlin



$$\sigma_{ct,eff} = \frac{F_{ct,eff}}{A_{ct}}$$

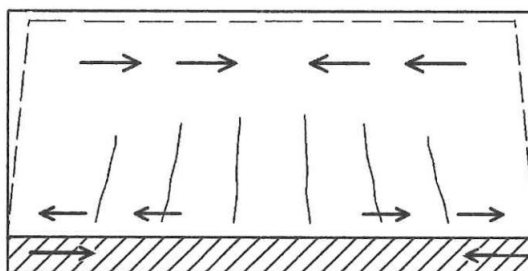
$\sigma_{ct,eff}$ předpokládané napětí v betonu při úniku hydratačního tepla
 A_{ct} průřezová plocha základové desky

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

$F_{ct,eff}$ tahová síla v betonu vznikající před vznikem trhliny
 $f_{ct,eff}$ pevnost v tahu betonu při vzniku trhliny
 k_c součinitel rozdělení napětí před vznikem trhlín
 k součinitel nerovnoměrnosti rozdělení vnitřních napětí

2.5.4. Namáhání stěny při omezeném přetvoření

Stěny bílé vany se většinou betonují na tuhou základovou desku, u které již proběhla část objemových změn. Základová deska tedy omezuje volné přetvoření stěny, u které budou objemové změny teprve probíhat. Omezení volného přetváření stěn je větší, než tomu bylo u desky, a proto ve stěnách vznikají trhliny častěji než v základových deskách.



Obr. 12: Stěna spojená se základovou deskou [3]

Napětí, které ve stěnách vzniká při úniku hydratačního tepla, lze spočítat ze vztahu [25]:

$$\sigma_{ct,ges} = k \alpha_t E_{ct} \Delta T_{b,W-S}$$

$\sigma_{ct,ges}$ napětí betonu v tahu vznikající v důsledku úniku hydratačního tepla při omezeném přetvoření
 k součinitel možnosti posunu stavebních prvků



α_t	součinitel teplotní roztažnosti betonu, $\alpha_t = 10 \cdot 10^{-6} K^{-1}$
T_0	výchozí teplota čerstvého betonu, resp. základové desky
E_{ct}	modul pružnosti mladého betonu
$\Delta T_{c,W-S}$	rozdíl teplot mezi střední teplotou stěny a základové desky $\Delta T_{c,W-S} = T_{b,m} - T_F$
$T_{b,m}$	vnitřní teplota ve stěně z důvodu vývinu hydr. tepla $T_{b,m} = k_{Tv} T_{c0} + \Delta T_{b,h}$
k_{Tv}	součinitel průběhu teploty uvnitř stavebního prvku

Tab. 13: Modul pružnosti mladého betonu [3]

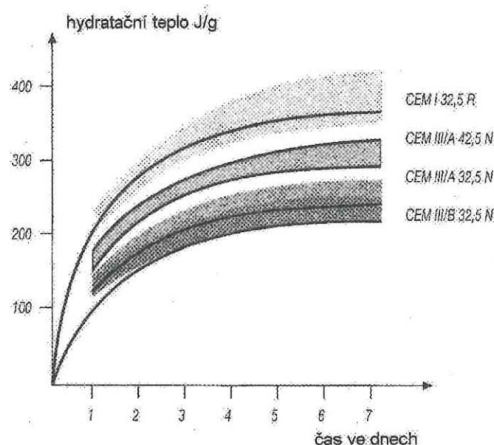
Stáří betonu	E_{ct} / E_{c28}
8 hodin	0,10
12 hodin	0,25
16 hodin	0,45
24 hodin	0,65
2 dny	0,85
14 dní	1,00

$$\Delta T_{b,h} = \alpha_c \Delta T_h = \alpha_c \frac{c H_w}{Q_{c0}}$$

α_c	součinitel vyjadřující poměr mezi vzrůstem teploty v prvku a teoretickým vzrůstem teploty
c	množství cementu v 1 m ³ betonu
H_w	hydratační teplo cementu dosažené v časovém okamžiku t_{maxT}
t_{maxT}	časový okamžik dosažení max. rozdílu teplot v jádru a na povrchu betonu, $t_{maxT} = 0,8 h + 1$
Q_{c0}	tepelná kapacita betonu, $Q_{c0} = 2500 kJ/(m^3 K)$

Tab. 14: Hodnoty součinitele α_c [3]

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



Obr. 13: Hydratační teplo pro různé cementy v průběhu prvních sedmi dnů [3]

Napětí betonu v tahu od poklesu hydratačního tepla závisí na délce stěny. Předpokládá se, že tahové síly ze stěny se budou do základové desky přenášet na koncích stěny na délce rovné přibližně polovině násobku výšky stěny. Mezi těmito částmi mohou vznikat trhliny. Největší napětí nebudou vznikat v patě stěny, ale cca ve čtvrtině výšky stěny.

$$\sigma_{ct,d} = k_{ct,d} \sigma_{ct,ges}$$

$\sigma_{ct,d}$ největší návrhové napětí betonu v tahu

$k_{ct,d}$ součinitel pro přepočítání napětí $\sigma_{ct,ges}$ na návrhové tahové napětí

Tab. 15: Hodnoty součinitele $k_{ct,d}$ [3]

Poměr délky stěny k její výšce	$k_{ct,d}$
$l_0/h_b \leq 1$	0,20
$l_0/h_b \leq 2$	0,45
$l_0/h_b \leq 3$	0,55
$l_0/h_b \leq 4$	0,65
$l_0/h_b \leq 6$	0,75
$l_0/h_b \leq 8$	0,85
$l_0/h_b \leq 10$	0,95
$l_0/h_b > 10$	1,00

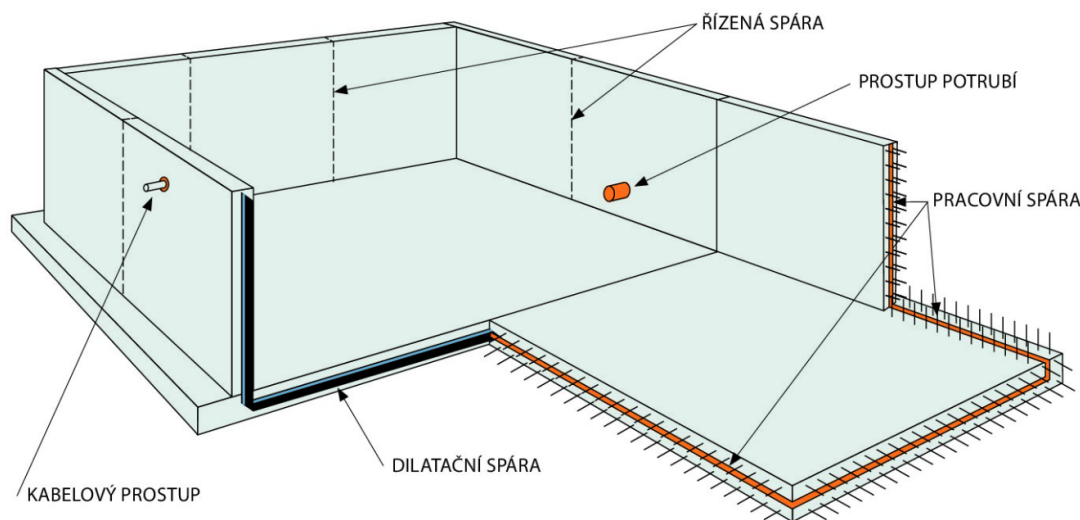
2.6. Těsnění spár a prostupů

Vodonepropustnost bílé vany nezávisí jen na vodonepropustnosti samotného betonu, nýbrž na správně fungující konstrukci jako celku. Je potřeba klást důraz především na spáry a prostupy, které musí být navrženy tak, aby v jejich místě nepronikala voda do konstrukce.

2.6.1. Druhy spár

Spáry dělíme na:

- Dilatační
- Pracovní
- Řízené (nepravé pracovní, jalové)
- Styčné (stykové)
- Neplánované pracovní



Obr. 14: Spáry v železobetonové konstrukci [2]

Dilatační spáry jsou spáry s mezerou s definovanou šířkou v celé tloušťce konstrukčního prvku, které umožňují volné objemové změny betonové konstrukce v rámci dilatačního celku nebo rozdílné sedání různě zatížených částí objektu. Vzájemná vzdálenost dilatačních spár se doporučuje volit v rozmezí od 15 m do 60 m. Obvyklá šířka spáry je 20 mm. Do spáry se vkládá těsnicí prvek a výztuž je v tomto místě přerušena, aby se části konstrukce mohly pohybovat tak, jak je třeba. [3]



Pracovní spáry jsou navrhovány z technologických důvodů při provádění. Zohledňují, jaké množství betonu lze vyrobit a uložit za určitou pracovní dobu. Pracovní spáry se také navrhují ve styku vodorovných a svislých konstrukcí. V místě pracovní spáry je, na rozdíl od dilatační, výztuž průběžná, protože posuny v pracovní spáře nejsou přípustné. Velikost pracovních úseků je obvykle 15 m až 35 m a poměr délek stran pracovních celků by měl být přibližně 1:1 až 1:1,25. [3]

Řízená spára tvoří oslabené místo v konstrukci a určuje místo vzniku trhliny. Používají se ve stěnách pro umožnění delšího pracovního úseku a zároveň omezují množství vodorovné výztuže navržené na účinky objemových změn vynucených přetvoření. Do místa plánované trhliny se vkládá trhací profil, který oslabí tloušťku stěny minimálně o jednu třetinu tloušťky prvku. Vzájemná vzdálenost řízených spár je obvykle 5 m až 8 m. [13]

Styčné spáry se týkají prefabrikovaných nebo prefa-monolitických konstrukcí a vznikají v místě styku jednotlivých předem vyrobených dílců.

Neplánované pracovní spáry vznikají z důvodu nekázně či poruch při procesu ukládání betonové směsi. Tím může být například nedostatečný přísun betonu, poruchy výroby betonu, poruchy čerpadel a jeřábů atd. Neplánované trhliny nejsou obvykle dostatečně utěsněny, protože s nimi nebylo při návrhu počítáno a musí se utěšňovat dodatečně.

2.6.2. Návrh spár dle TP ČBS 02

Dle rakouské směrnice je vodonepropustnost těsnicích prvků spár založena na principech:

- Labyrintový princip – Spočívá v prodloužení cesty oběhu vody a časté změně směru.
- Princip ukotvení – Těsnicí prvek musí být kvalitně ukotven v betonu. Princip využívá přilnavost betonu a prvku.
- Princip přitlačení – Spočívá v přitlačení bobtnajícího a rozpínajícího se prvku k bokům spáry. Vytvoří se těsnicí vložka.
- Princip zaplnění – Jde o dodatečné zaplnění pracovních spár, trhlín, štěrkových hnízd a dutin pomocí injektážních hadiček a kanálků.



V tabulce 16 jsou materiály, které mají být použity pro utěsnění dilatačních nebo pracovních spár. Dále je v tabulce uvedeno, na jakém principu jsou dané prvky založeny a jak je možné jednotlivé materiály spojovat.

Tab. 16: Materiály těsnicích pásů spár a principy utěsnění [1]

Materiál	Princip utěsnění	Možnost spojení	Způsobilost pro druh spáry	Požadavky
PVC-P termosty	Labyrintový princip	Tepelně svařit	Dilatační spáry Pracovní spáry	Pevnost v tahu: podle EN ISO 527 část 1-3 > 8 N/mm ²
Elastomery (přírodní/ syntetický kaučuk)	Labyrintový princip	Vulkanizovat	Dilatační spáry Pracovní spáry	Tažnost: podle EN ISO 527 část 1-3 > 300 %
PVC/NBR Kombinační polymerizáty	Labyrintový princip	Tepelně svařit	Dilatační spáry Pracovní spáry	Další pevnost v tahu: podle DIN 53507 > 8 N/mm ² Tažnost (-20 °C): podle EN ISO 527 část 1-3 > 200 % Odolnost trvalá: proti vodě, komunálním splaškovým vodám, solným roztokům na tání námrazy Odolnost dočasná: proti zředěným kyselinám a anorganickým alkáliím, bitumenu, topným olejům, pohonným hmotám
Plech bez potažení	Princip ukotvení	Svařit	Pracovní spáry	Jakost oceli S 235 JO
Bobtnavý těsnicí pás	Princip přítlačení	Srazit natupo, nebo stranově překrýt	Pracovní spáry	Bobtnavost: min. 200 % Chování při bobtnání: vratné chování při bobtnání, zpoždění prvního nabobtnání Vlastnosti materiálu: nelze vyplavit a nekřehne
Injektážní hadička	Princip zaplnění	Stranově překrýtý	Dodatečně pro dilatační spáry a pracovní spáry; pro spáry mezi podzemní stěnou a podlahovou deskou	DBV-list „Stlačené injektážní hadičky pro pracovní spáry“

Ve směrnici jsou uvedeny tři třídy těsnicího pásu, které jsou závislé na tlaku vody a určují se podle grafu (viz obr. 4). Minimální tloušťky, minimální šířky a materiál těsnicích pásů jsou stanoveny v tabulce 17.



Tab. 17: Třídy těsnících pásů spár [1]

Profily pro vnitřní pásy dilatačních spár				
Třída tlaku vody	Třída těsnícího pásu	Materiál	Minimální šířka [mm]	Minimální tloušťka [mm]
W ₀	1	PVC; PVC/NBR	240	4
		Elastomer	240	9
W ₁ / W ₂ / W ₃	2	PVC; PVC/NBR	320	5
		Elastomer	320	12
		Elastomer/ těsnící plech	320	10/1
W ₄	3	PVC; PVC/NBR	500	6
		Elastomer	500	13
		Elastomer/ těsnící plech	500	12/1

Profily pro vnitřní pásy pracovních spár				
Třída tlaku vody	Třída těsnícího pásu	Materiál	Minimální šířka [mm]	Minimální tloušťka [mm]
W ₀ /W ₁	1	PVC; PVC/NBR	240	3,5
		Elastomer	240	8
		Těsnící plech ¹⁾	300	2
		Bobtnavý profil	20	7
W ₂ / W ₃	2	PVC; PVC/NBR	320	4,5
		Elastomer	320	8
		Těsnící plech	350	2
W ₄	3	PVC; PVC/NBR	500	6
		Elastomer	500	10
		Těsnící plech	500	2

¹⁾ Těsnící plechy spár potažené butylkaučukem (šířka ≥ 150 mm, tloušťka 1,8 mm) jsou přípustné pro třídu tlaku vody W₀, pokud je při zabudování zajištěna minimální spojovací hloubka 30 mm.

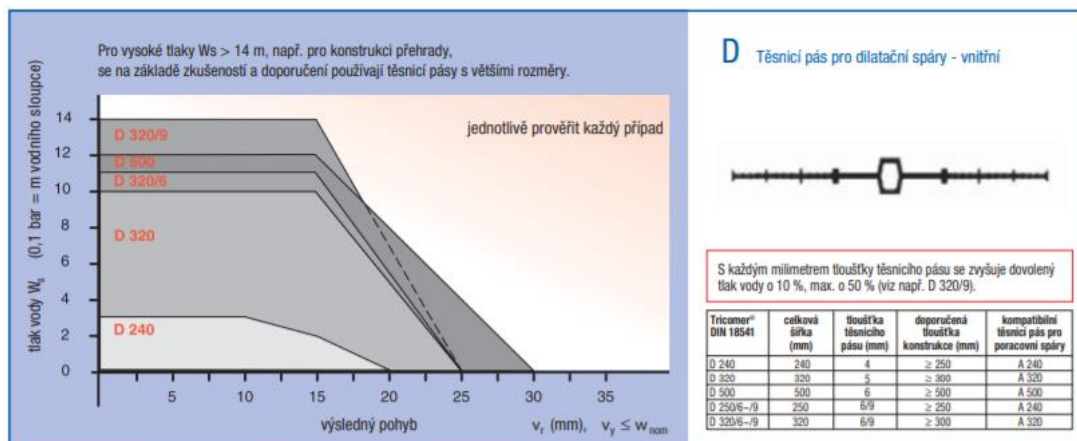
Při návrhu dilatačních spár je navíc nutné počítat s celkovými rozdíly deformací (sednutí, posunutí, natočení) obou okrajů konstrukce ve spáře. Je třeba posoudit vhodnost dilatačního prvku podle údajů od výrobce.

Tato směrnice nepřipouští řízené spáry, protože není zaručena protikorozní ochrana průběžné výztuže.

2.6.3. Návrh spár dle TP ČBS 04

V TP ČBS 04 se návrh spár vodonepropustných konstrukcí provádí podle kapitoly 10, ve které jsou popsány základní podmínky jejich řešení. Další informace jsou rozpracovány v návodech a technických listech konkrétních výrobců a odborných spolků.

Při návrhu dilatačního pásu se musí nejdříve stanovit prostorový vektor protažení v_r ze tří pravouhlých složek. Velikost prostorového vektoru protažení se spočte jako: $v_r = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$. Následně se vhodnost použití zvoleného pásu posoudí podle grafu od výrobce.

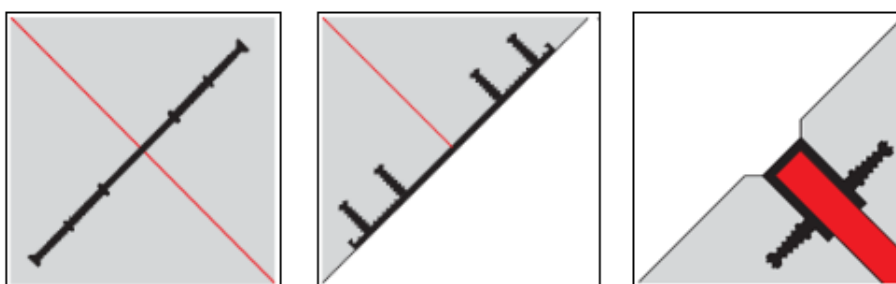


Obr. 15: Návrhový graf dilatačního pásu (výrobce Sika) [17]

2.6.4. Prvky těsnění spár

Spárové pásy

Spárové pásy se používají k utěsnění dilatačních, pracovních a řízených spár. Podle polohy pásu v konstrukci se mohou dělit na vnitřní, vnější a ukončovací (Obr. 16). Vnitřní pásy se používají pro vysoké tlaky a velké deformace, ale vyžadují úpravu výztuže v okolí pásu. Vnější pás je vhodný pro prvky s malou tloušťkou a nepotřebuje úpravu výztuže. Ukončovací pás se používá jen u dilatačních spár, kde je malý vodní tlak.



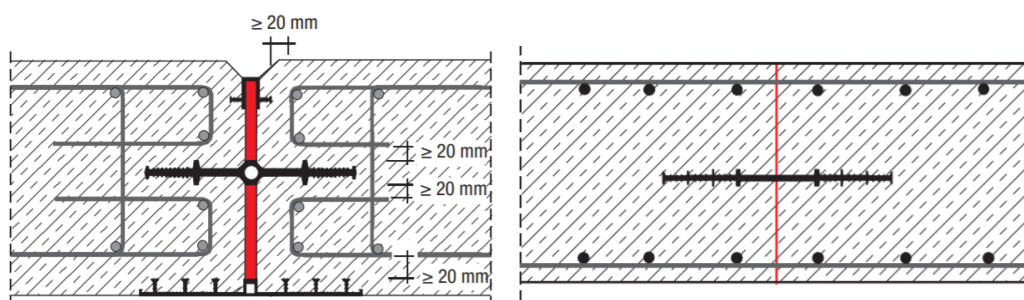
Obr. 16: Poloha spárového pásu v konstrukci – vnitřní, vnější a ukončovací [17]

Podle materiálu se spárové pásy rozdělují na termoplastické (PVC, PVC-P, TPE) a elastomerové. Zásadní rozdíl mezi materiály je v technologii spojování. Spoje termoplastických pásů lze svařovat běžnou svařovací technikou a těsnost je možné ověřit jiskrovou zkoušečkou. Jakékoli netěsnosti a vady spojů je poté možné znovu zpracovat a svařit. Spojení elastomerových spárových pásů se provádí v tlakové nádobě nebo ve vulkanizačním přístroji. Pokud je vulkanizovaný spoj vadný, je třeba



spoj vystříhnout a vložit nový kus spárového pásu. Kontrola těchto spojů na stavbě není možná. Z toho vyplývá, že spojování termoplastických pásů je jednodušší a jednodušeji opravitelné. Naopak elastomerové pásy mají vyšší pevnost a mohou přenášet větší deformace.

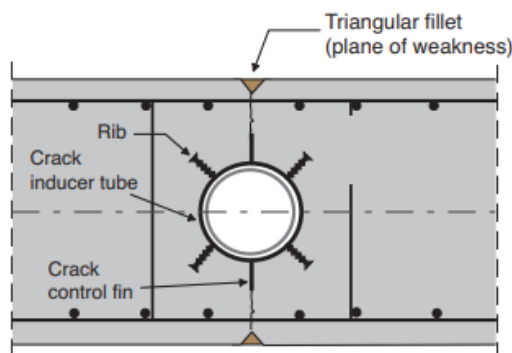
Dilatační spárový pás musí být dostatečně pružný, aby umožnil daný pohyb konstrukce ve spáře. Na následujícím obrázku je příklad provedení dilatační spáry. Pro představu je v obrázku použito několik typů těsnění.



Obr. 17: Schéma dilatační a pracovní spáry [17]

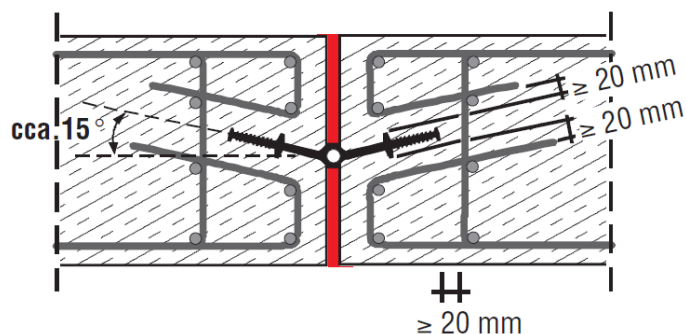
Pracovními spárami výztuž prochází a příklad této spáry je na následujícím obrázku.

Pro řízené spáry se ze spárových pásů používají těsnicí trubky.



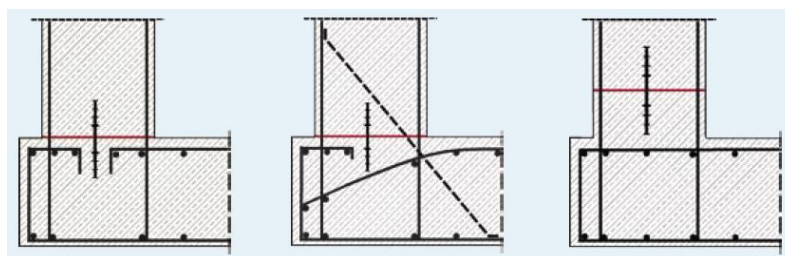
Obr. 18: Těsnění řízené spáry [15]

Každý spárový pás musí být do obou betonážních celků umístěn stejnou částí. Vnitřní spárové pásy se umísťují doprostřed, nebo minimálně 150 mm od návodní strany. Vždy musí být dodržena minimální světlá vzdálenost mezi výztuží a těsnicím prvkem. Z důvodu usnadnění zabetonování pásu bez dutin se vnitřní spárové pásy do vodorovných stavebních prvků (základových desek a stropů) osazují ve tvaru písmene V, pod úhlem ramen přibližně 15°.



Obr. 19: Těsnící prvek ve vodorovných konstrukcích [17]

Při těsnění pracovní spáry základová deska-stěna vnitřním spárovým pásem je nutné upravit výztuž (např. přerušit horní výztuž, ohnout horní výztuž nebo zhotovit nabetonávku).



Obr. 20: Pracovní spára základová deska-stěny [15]

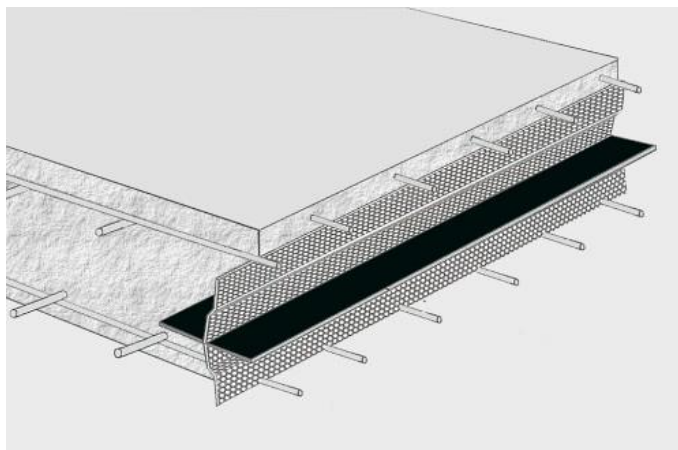
Spárové plechy

Spárové plechy se používají k utěsnění pracovních a řízených spár. Pro těsnění dilatačních spár se nepoužívají, protože nejsou dostatečně pružné. Plechy mohou být bez povrchové úpravy, nebo s povrchovou úpravou. Spárové plechy těsní na principu přilnavosti plechu k betonu.

Použití spárového plechu bez povrchové úpravy je vhodné pouze v pracovních spárách, kde se neočekávají pohyby. Pokud by ve spáře došlo k významnějším pohybům, může se uvolnit spojení mezi betonem a plechem. Následně může dojít k průsaku vody vlivem obtoku, který se buď sám zastaví (samohojení betonu) nebo se musí dodatečně injektovat.

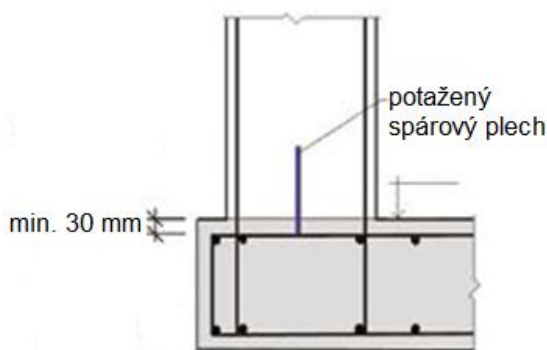
Pro plechy platí stejné konstrukční zásady jako pro spárové pásy.

Spárové plechy bez povrchové úpravy se spojují svařováním, lepením nebo svěrkami s těsnicí vložkou.

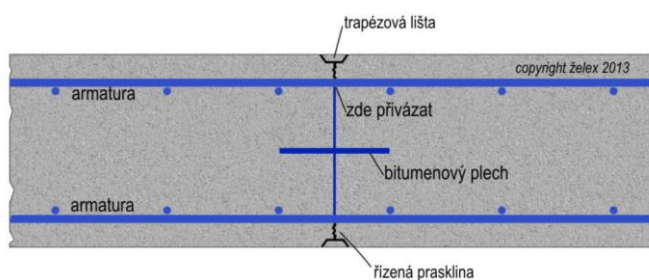


Obr. 21: Těsnicí plech ABS do desky [18]

Potažené spárové plechy se rozlišují na plechy s povrchovou úpravou modifikovaným butyl-kaučuk-bitumenem a plechy s bobtnavou vrstvou. Výhodou těchto plechů je, že není potřeba provádět nabetonávku spáry ani úpravu výztuže.



Obr. 22: Schéma spáry základová deska-stěna [13]



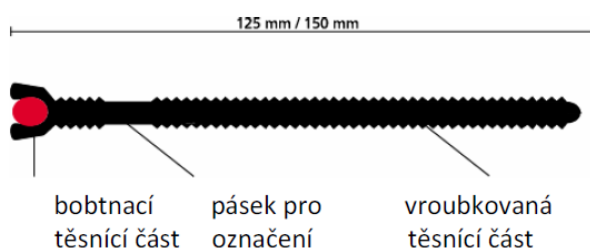
Obr. 23: ASS křížový těsnicí plech pro řízené spáry [19]

Kombinovaný spárový pás (KAB pás)

Jedná se o těsnicí pás s integrovaným bobtnavým profilem k těsnění pracovních spár. Využívá dva principy těsnění – labyrintový a princip přitlačení. KAB pásy nevyžadují nabetonávku ani úpravu výztuže.



KAB pás se umísťuje před betonáží desky přímo na horní výztuž a musí být vždy umístěn bobtnavým páskem směrem dolů.

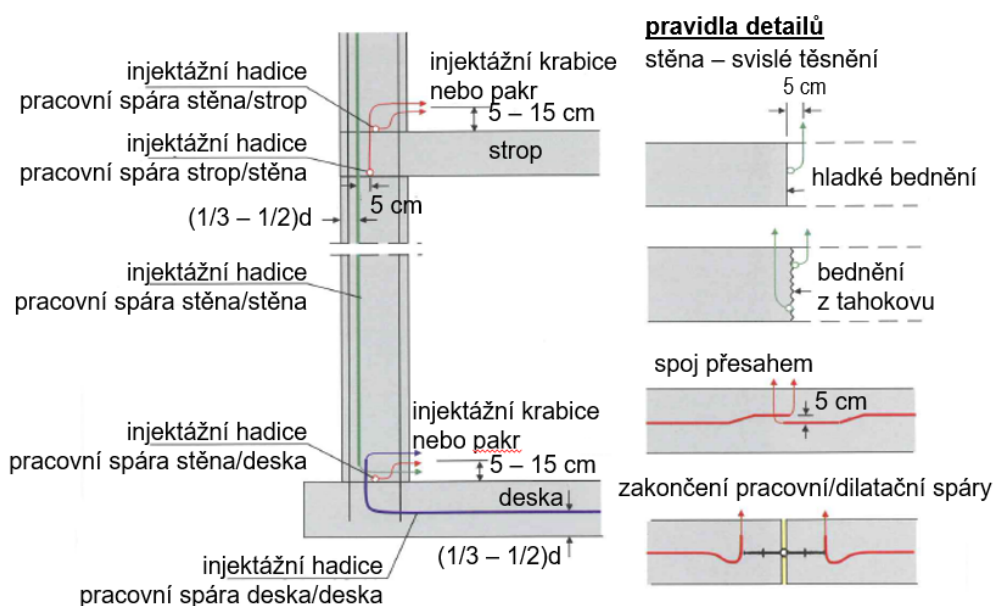


Obr. 24: Kombinovaný spárový pás (KAB pás) [13]

Injektážní systémy

Injektáž jako těsnění spár se používá jen u pracovních spár. Často se injektážní systém používá jako dodatečné těsnění vedle jiného těsnicího prvku (pojistné řešení). Výhodou tohoto systému je možnost přizpůsobení se do spár se složitým tvarem a jednoduchá montáž. Injektážní systémy se upevňují přímo do pracovní spáry po zatuhnutí předcházejícího celku.

Jde o plastovou hadičku z pevného termoplastického jádra s injektážním kanálkem a otvory, pomocí které se pod tlakem vhání do spáry směs. Jako injektážní směs se používají cementové suspenze, PUR-pryskyřice, akrylátová pryskyřice a epoxidová pryskyřice.



Obr. 25: Příklad uspořádání injektážního systému [13]

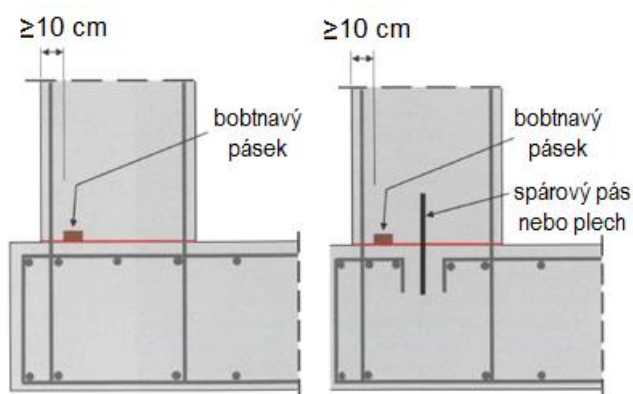


Bobtnavé pásy

Bobtnavé pásy jsou vyrobeny z materiálů, které při styku s vodou bobtnají a na základě principu přitlačení utěsňují spáru. Lze je vytvarovat do spár se složitým průběhem a jejich instalace je velmi jednoduchá. Z hlediska materiálů to jsou bentonitové bobtnavé pásy, pásy na bázi kaučuku a bobtnavé výrobky z akrylátových polymerů. Bobtnavý pásek musí mít dostatečnou schopnost bobtnat, jednotný homogenní průběh bobtnání po celé délce a dostatečnou stabilitu.

Bobtnavé pásy se nesmí používat v dilatačních spárách a nedoporučují se používat ani v případě kolísajícího vodního režimu.

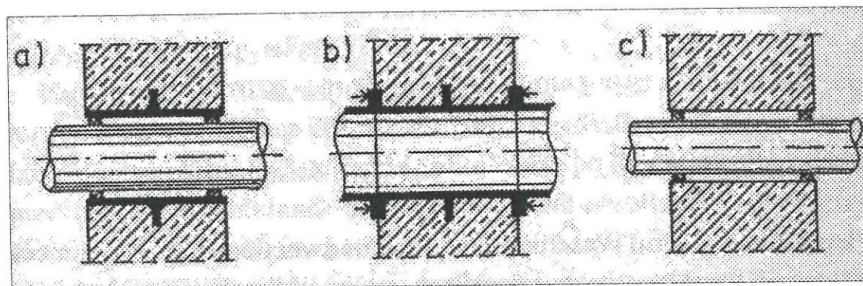
Doporučuje se umístit bobtnavý pásek ve vzdálenosti $1/3$ – $1/2$ tloušťky prvku od návodní strany. Kvůli zamezení drobení betonu v důsledku vysokého bobtnacího tlaku, musí být vzdálenost pásku od okraje alespoň 10 cm.



Obr. 26: Umístění bobtnavého pásku [13]

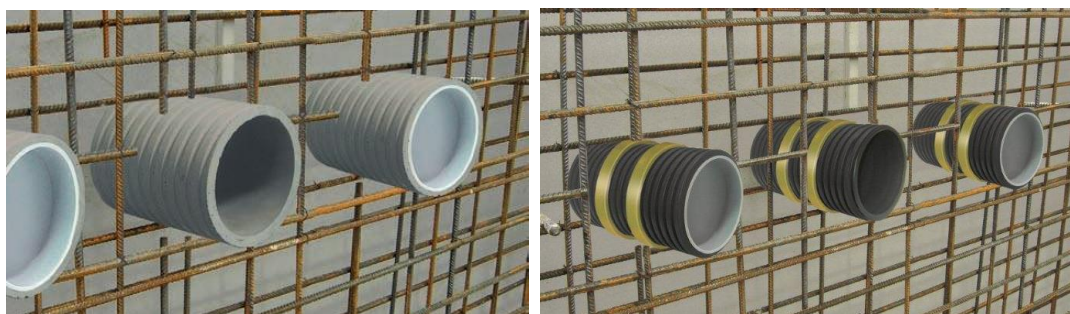
2.6.5. Těsnění prostupů

Prostupy základovou deskou a stěnami je třeba brát v úvahu již při návrhu. Aby se zabránilo průsakům, vyžadují všechny prostupy (potrubí a vedení kabelů) dodatečnou bariéru proti vodě.



Obr. 27: Způsoby řešení prostupů přes obvodovou stěnu [3]

Pro účel utěsnění prostupů se často používají zabudované trubky v betonové konstrukci jako chráničky s manžetou na vnějším povrchu trubky a se zatěsněním vnitřního povrchu k potrubí polyuretanovým tmelem (obr. 28 a)). Pro vyšší tlaky vody se toto řešení doplňuje o povrchovou manžetu se sevřeným utěsněním na vnějším líci konstrukce (obr. 28 b)). Pokud se předem s prostupem nepočítalo, řeší se vstup dodatečně provedeným jádrovým vrtem a těsněním mezi betonem a trubním vedením (obr. 28 c)). Toto řešení je ale nevhodné a nese s sebou riziko průsaku.



Obr. 28: Pažnicové trubky – vlevo vláknocementové, vpravo z PE s bobtnajícími pásy [21]

V dnešní době se často používají mechanicky rozpínané kroužky, které se umísťují do chrániček nebo jádrových vrtů (opět riziko průsaku). Tyto speciální výrobky fungují tak, že se utahováním matic proti sobě stahují nerezové přitlačné desky, které vytlačují speciální gumu jak na procházející média, tak do pažnice (chráničky), čímž je zajištěno spolehlivé utěsnění.



Obr. 29: Segmentové mechanicky rozpínané kroužky [22]

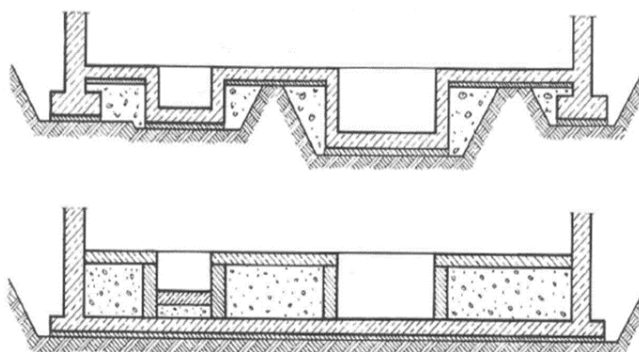


Obr. 30: Těsnicí vložky mechanicky rozpínané [23]

2.7. Sanace poruch bílých van

Ve většině případů není konstrukce bílé vany dokonalá. Téměř vždy dochází po dokončení stavby k průsakům, či vlhkým místům na konstrukci. Rakouská a německá směrnice tyto poruchy v určité míře dovolují a uvádí, jak by se měly sanovat.

Poruchy bílých van mohou plynout jak ze samotného návrhu, tak z realizace. Chyby ze strany projektanta mohou být například nesprávné stanovení vnějších podmínek (hladina podzemní vody, nedostatečný geologický průzkum...), chybné uvažování vlivů vynucených namáhání na konstrukci, špatné geometrické uspořádání konstrukce, nevhodné dělení na dilatační a pracovní celky nebo nevhodný návrh těsnění spár (nekompatibilní systémy těsnění, neuzavřený systém spár).



Obr. 31: Geometrie konstrukce (nevhodné/správné řešení základové desky) [3]



Defekty z realizační části stavby jsou důsledkem technologické nekázně. Dochází k nedostatečnému provibrování betonu a nedostatečnému ošetřování betonu po jeho uložení. Časté jsou také poruchy v okolí spár, kde nebyla například dodržena poloha těsnicích pásů, došlo k jejich poškození při montáži nebo nebylo provedeno kvalitní probetonování kolem těsnicích prvků.

V konstrukci se mohou vyskytnout dva typy poruch – plošné průsaky a průsaky trhlinami (nebo spárami).

2.7.1. Plošné průsaky

Plošné průsaky většinou vznikají v důsledku technologické nekázně jako je nedostatečné hutnění betonu. Tím se neuzavře struktura betonu a dojde ke ztrátě vodotěsnosti. Plošné průsaky lze ale spolehlivě sanovat.

Pokud dochází jen k mírnému vlhnutí, lze poruchu řešit krystalizačním nátěrem. Vlhnoucí plocha se nejdříve otryská tlakovou vodou a poté se nanese krystalizační nátěr, který utěsí póry.

Při velkých průsacích je nutné přistoupit k injektáži. Do celé plochy porušené konstrukce se navrtají otvory ve vzájemné vzdálenosti cca poloviny tloušťky konstrukce. Do otvorů se osadí pakry, pomocí kterých se poté pod tlakem vhání do betonu injektážní pryskyřice, jež vytvoří nepropustnou bariéru.



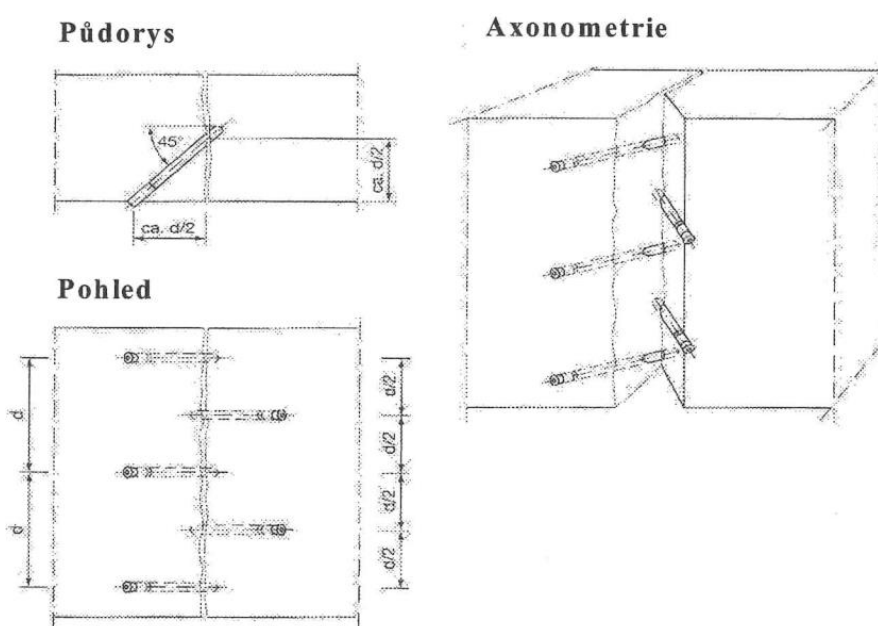
Obr. 32: Sanace plošného průsaku – vrtané pakry [13]



2.7.2. Neplánované trhliny

V konstrukci vždy vzniknou nějaké neplánované trhliny. Úzké trhliny se většinou samy utěsní, ale širší trhliny se musí opravit dodatečně. Typ sanace potom závisí na příčině vzniku trhliny. Pokud jde o trhliny, které vznikly z důvodu smršťování betonu nebo dosedání stavby a předpokládá se, že se nebudou již dále rozevírat, často stačí utěsnění materiálem s těsnicí krystalizací. Materiál se nanese přes trhlinu a průsak se pak zastaví.

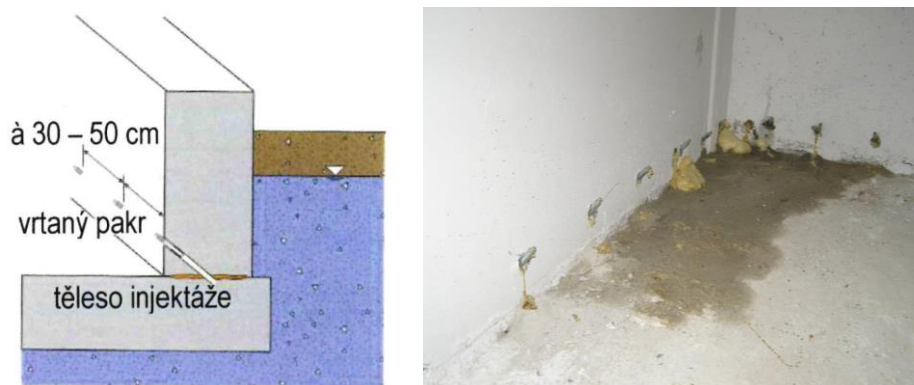
U trhlín, které nejsou stabilizované, se dává přednost injektáži.



Obr. 33: Poloha pakrů při injektáži trhliny [3]

2.7.3. Sanace pracovních spár

Netěsnosti pracovních spár se sanují pomocí injektáže. Pokud jsou ve spárách umístěny injektážní hadičky, je sanace jednodušší. Jinak se musí do spáry opěr navrtat pakry, které budou protínat spáru pod úhlem 45° . Poté se spára zainjektuje pryskyřicí nebo cementovou suspenzí.

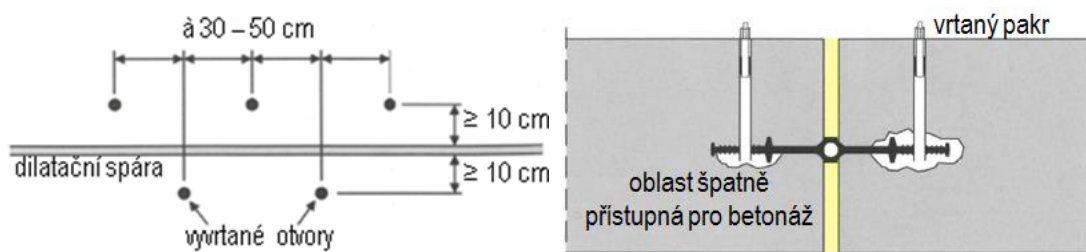


Obr. 34: Injektáž vodorovné pracovnej spáry vrtanými pakry [13]

2.7.4. Sanace dilatáčných spár

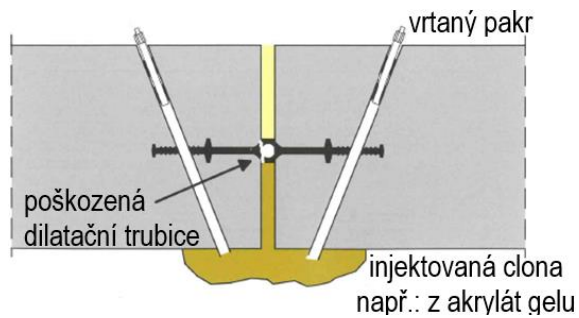
Nejnáročnější jsou opravy dilatáčních spár. Musí se zjistit, kde přesně došlo k poškození. K pronikání vody může docházet v oblasti, kde je dilatáční pás zabudován do betonu (těsnicí část pásu) nebo přímo v dilatáční spáře kvůli poškození dilatáční trubice.

Průsaky v oblasti těsnicí části se sanují tak, že se provedou vrty do konstrukce tak, aby nebyla poškozena dilatáční část pásu. Těsnicí část pásu být provrtána může. Poté se provede injektáž pryskyřicí.



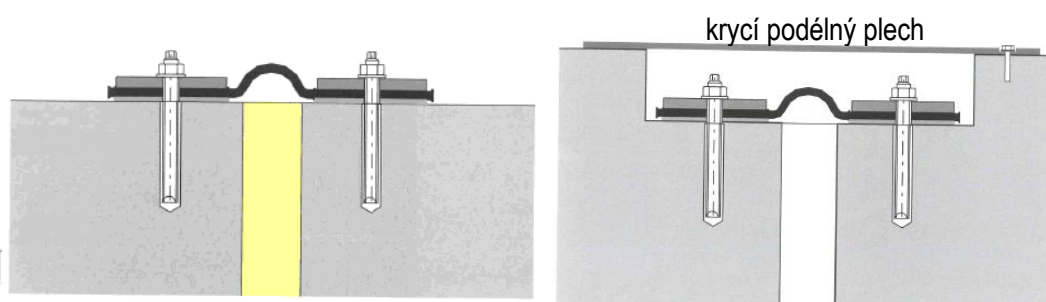
Obr. 35: Schéma opravy dilatáční spáry v těsnicí části [13]

Jestliže došlo k poškození těsnicího pásu v prostoru dilatáční spáry, je oprava samotného pásu téměř nereálná. Proto se injektuje přímo do místa spáry pružným injektážním materiálem, kde se vytvoří clona. Toto je možné, pokud se ve spáře už neočekávají žádné významné pohyby.

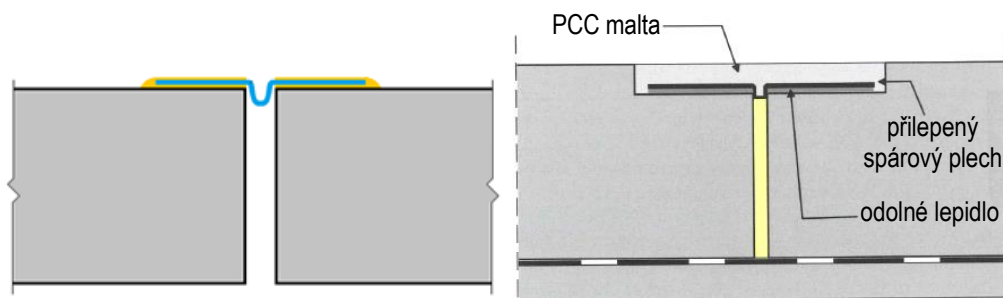


Obr. 36: Schéma opravy dilatační spáry v samotné spáře [13]

Alternativně lze v případě netěsnící dilatační spáry použít spárový pás s oboustranným upevněním přírubami nebo lepené těsnící pásy.



Obr. 37: Spárový pás s oboustranným upevněním přírubami [13]



Obr. 38: Lepené těsnění [13]



3. Závěr

Bílé vany patří v současné době k nejpoužívanějším technologickým řešením utěsnění spodní stavby. Pokud je konstrukce kvalitně navržena a při provádění se dbá vysoké technologické kázně, jde o spolehlivé řešení ochrany vnitřního prostředí proti vodě. V případě průsaků vody skrz konstrukci lze relativně jednoduše vzniklé poruchy sanovat, narozdíl od dříve hojně využívaných černých van.

V České republice neexistuje jednotná norma pro návrh bílých van, proto se využívají Technická pravidla ČBS 02 (překlad rakouské směrnice) a Technická pravidla ČBS 04 (překlad německé směrnice). V současné době se více využívá německá směrnice, protože detailněji a komplexněji řeší problematiku vodonepropustných konstrukcí. Navíc dovoluje používat trhací lišty ve stěnách, což umožňuje dělat větší betonážní záběry stěn a také uvádí nižší požadavky na výrobu betonu.

Vodonepropustnost konstrukce nezávisí jen na kvalitním betonu s omezeným průsakem, ale převážně na omezení šířky trhlin na konstrukci. Z tohoto důvodu je nutné posuzovat jednotlivé konstrukční prvky nejen na mezní stav únosnosti, ale i na mezní stav použitelnosti a dodržet maximální dovolené šířky trhlin, jejichž hodnoty určují směrnice. Návrh výztuže by se měl rovněž provádět i na nesilové účinky zatížení, které jsou v případě bílých van většinou rozhodující. V raném stáří betonu dochází k uvolňování hydratačního tepla, a tedy k vysokým hodnotám napětí v betonu, avšak beton nedosahuje ještě maximální pevnosti v tahu. Výztuž se proto musí navrhovat tak, aby došlo k omezení vzniku širokých trhlin již při tuhnutí betonu.

Dalším problémem je smršťování betonu po ukončení ošetřování. Jakmile započne smršťování vysycháním, vlhkost po výšce průřezu se začne měnit a na povrchu konstrukce mohou vznikat trhliny. Z těchto důvodů se pro vodonepropustné konstrukce používají betony s nízkým vývinem hydratačního tepla a s omezeným smršťováním. Konstrukční návrh bílé vany poukázal na to, že množství navržené výztuže se výrazně odvíjí od působení těchto nesilových účinků. Množství relevantních informací a podkladů ke správnému stanovení těchto nesilových účinků je však omezené. Jedná se zejména o průběh vlhkosti a teploty na průřezu. Rovněž u součinitele tření, který lze snadno dohledat v technické literatuře, nelze zaručit, že



bude odpovídat skutečným podmínkám na stavbě. Lze se tak domnívat, že správný konstrukční návrh obecně závisí na zkušenosti a správném odhadu statika a dodatečné sanace jsou téměř nevyhnutelné.

Zajímavým poznatkem je i skutečnost, že kromě běžné prutové výztuže lze v určitých případech vyztužení svislých stěn bílých van využít i rozptýlenou výztuž [27]. S touto alternativou však směrnice neuvažuje.

Další důležitou součástí bílých van je těsnění spár a prostupů. Veškeré spáry se musí navrhovat tak, aby fungovaly jako celek a nebyl problém spojit jednotlivé typy těsnicích prvků. Spáry a úpravu výztuže je vhodné navrhovat co nejjednodušší, aby na stavbě nebyl problém s ukotvením těsnicích prvků a následným probetonováním.

Závěr teoretické části diplomové práce se věnuje sanacím poruch bílých van. Už při návrhu se počítá s tím, že v budoucnu může dojít k nežádoucím průsakům, proto musí být už předem řešeno, jak se vzniklé poruchy budou sanovat.



Zdroje

- [1] *Bílé vany: vodotěsné betonové konstrukce. 2., upr. vyd.* Praha: ČBS Servis, 2007. Technická pravidla ČBS. ISBN 978-80-87158-03-6.
- [2] *Směrnice pro vodonepropustné betonové konstrukce: DAfStb-Richtlinie wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton (WU-Richtlinie).* Praha: Česká betonářská společnost ČSSI, 2015. Technická pravidla ČBS. ISBN 978-80-903806-9-1.
- [3] *Bílé vany: vodonepropustné betonové konstrukce: sbírka přednášek, příkladů a prezentací ke školení. 2., upr. vyd.* Praha: ČBS Servis, 2007. ISBN 978-80-87158-02-9.
- [4] 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.
- [5] ČSN EN 1992-3. *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 3: Nádrže na kapaliny a zásobníky.* Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [6] ANCHOR, Robert D. *Design of Liquid Retaining Concrete Structures.* 2nd edition. Great Britain: British Library Cataloguing in Publication Data, 1992. ISBN 0-340-54527-5.
- [7] VINKLER, Marek a Jaroslav PROCHÁZKA. Návrh výztuže bílé vany s ohledem na šířku trhlin. In: *Beton TKS* [online]. 5/2017 [cit. 2019-10-30]. Dostupné z: <http://www.betontks.cz/sites/default/files/2017-5-60.pdf>
- [8] MATIASKOVA, Lydia. *DESIGN AND EXECUTION OF WATERTIGHT CONCRETE BASEMENT STRUCTURES* [online]. 2017-06-20 [cit. 2019-10-30]. DOI: 10.5593/sgem2017/12/S02.027. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/319545711_Design_and_execution_of_watertight_concrete_basement_structures
- [9] VINKLER, Marek a Jaroslav PROCHÁZKA. Vznik trhlin v betonu vlivem nesilových účinků. In: *Beton TKS* [online]. 1/2016. [cit. 2019-10-30]. Dostupné z: <http://www.betontks.cz/sites/default/files/2016-1-49.pdf>
- [10] VINKLER, Marek a Jaroslav PROCHÁZKA. Porovnání výpočtů šířky trhliny dle různých přístupů. In: *Beton TKS* [online]. 2/2014. [cit. 2019-10-30]. Dostupné z: http://www.betontks.cz/sites/default/files/2014-2-72_0.pdf



- [11] MATIAŠKOVÁ, Lýdia, Juraj BILČÍK a Július ŠOLTÉSZ. Control of Early-Age Cracking in Watertight Concrete Structures. In: *Slovak Journal of Civil Engineering* [online]. 2018, 26(3), s. 16-21 [cit. 2019-10-30]. DOI: 10.2478/sjce-2018-0016. ISSN 1338-3973. Dostupné z: <http://content.sciendo.com/view/journals/sjce/26/3/article-p16.xml>
- [12] PERMACRETE® – beton vyvinutý speciálně pro bílé vany. In: *Materiály pro stavbu* [online]. 9/2013. [cit. 2019-10-30]. Dostupné z: http://www.tbgmestrostav.cz/fileadmin/user_upload/napsali_o_nas/clanky_ke_stazeni/050_051_MAT09.pdf
- [13] Příručka: Těsnění spár vodonepropustných konstrukcí – vydal Metrostav a. s.
- [14] HOHMANN, Rainer. Fugenabdichtung für WU-Bauwerke. In: *Der Bau-sachverständige* [online]. 2011 [cit. 2019-10-30]. ISSN 1614-6123. Dostupné z: <http://www.wissbau.de/upload/downloads/BauSV%20Hohmann-Fugenabdichtung.pdf>
- [15] HOHMANN, Rainer. *Joint sealing in water-resistant concrete structures* [online]. Fraunhofer IRB Verlag, 2008 [cit. 2019-10-30]. Dostupné z: https://www.irb.fraunhofer.de/download/Joint_Sealing_Excerpt.pdf
- [16] SIMON, Tamás a Dávid SZABO-TURÁK. *Joint sealing principles of watertight structures and their combination* [online]. 2011 [cit. 2019-10-30]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/280566284_joint_sealing_principles_of_watertight_structures_and_their_combination
- [17] *Těsnící pásy Sika® a Tricosal® pro těsnění dilatačních a pracovních spár* [online]. [cit. 2019-10-30]. Dostupné z: https://cze.sika.com/dms/getdocument.get/86832d4e-cd94-3874-b67c-cc7eceebed25/Sika%20and%20Tricosal_CZ_web.pdf
- [18] *ILLICHMAN – ABS bednicí a těsnící plech* [online]. [cit. 2019-10-30]. Dostupné z: <http://www.illichman.cz/in/abs>
- [19] *ASS plechy na řízené praskliny* [online]. ŽELEX, 2018 [cit. 2019-10-30]. Dostupné z: <http://www.kotaca.cz/clanek.php?ID=9>
- [20] *Vodonepropustné betonové konstrukce – těsnění spár* [online]. Schomburg, 2017 [cit. 2019-10-30]. Dostupné z: <http://snamijetovsuchu.cz/clanky/vodonepropustne-betonove-konstrukce-tesneni-spar/>



- [21] Pažnicové trubky – DURO Plus; WELLO; FASO + příslušenství [online]. ŽELEX, 2018 [cit. 2019-10-30]. Dostupné z: <http://www.kotaca.cz/podrubrika.php?ID=76>
- [22] Článekové těsnící vložky Lu-GT [online]. GEROTop spol. s r.o, 2019 [cit. 2019-10-30]. Dostupné z: <http://www.prostupy.cz/clankove-retezove-tesnici-vlozky-lu-gt%5b1%5d>
- [23] Těsnící vložky PS Standard [online]. GEROTop spol. s r.o, 2019 [cit. 2019-10-30]. Dostupné z: <http://www.prostupy.cz/tesnici-vlozky-ps-standard>
- [24] ROSKA, Zdeněk. *Bílá vana a její poruchy* [online]. 2012 [cit. 2019-10-30]. Dostupné z: <http://db.vstecb.cz/share/db/2012/5.pdf>
- [25] PROCHÁZKA, Jaroslav a Jiří ŠMEJKAL. *Betonové základové a opěrné konstrukce*. V Praze: České vysoké učení technické, 2017. ISBN 978-80-01-06128-2.
- [26] MATOUŠ, Hejtmánek. Vodonepropustné betonové konstrukce – Těsnění spár. In: *Beton TKS* [online]. 3/2016. [cit. 2019-12-22]. Dostupné z: http://www.betontks.cz/sites/default/files/2016-3-40_0.pdf
- [27] COUFAL, Robert, Jan L. VÍTEK a Kristýna CHMELÍKOVÁ. Technologie betonu pro vodonepropustné konstrukce – Bílé vany. In: *Beton TKS* [online]. 2/2015. [cit. 2019-12-22]. Dostupné z: http://www.betontks.cz/sites/default/files/2015-2-12_0.pdf