

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ

Fakulta stavební

Katedra betonových a zděných konstrukcí



DIPLOMOVÁ PRÁCE

Konstrukční návrh bílé vany bytového domu, Dobruška

Teoretická část

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

Vedoucí práce: Ing. Hana Hanzlová, CSc.

Bc. Tereza Kučerová

OBSAH

1	BÍLÁ VANA - ÚVOD.....	- 3 -
2	POUŽITÍ BÍLÝCH VAN A JEJICH VÝHODY.....	- 3 -
3	SLOŽENÍ BETONU.....	- 4 -
4	VODONEPROPUSTNOST A VODOTĚSNOST BETONU	- 5 -
5	MAXIMÁLNÍ ŠÍŘKA TRHLINY PODLE ČSN 1992-1-1 [1].....	- 6 -
6	MAXIMÁLNÍ ŠÍŘKA TRHLINY PODLE ČSN EN 1992-3 [2].....	- 7 -
7	NORMY PRO BÍLÉ VANY	- 8 -
7.1	NÁVRH BÍLÉ VANY DLE TP ČBS 02 [4].....	- 8 -
7.1.1	ZATRŽIDĚNÍ KONSTRUKCE.....	- 8 -
7.1.2	NÁVRH KONSTRUKCE.....	- 11 -
7.2	NÁVRH BÍLÉ VANY DLE TP ČBS 04 [5].....	- 13 -
7.2.1	ZATRŽIDĚNÍ KONSTRUKCE.....	- 14 -
7.2.2	NÁVRH KONSTRUKCE.....	- 16 -
8	VÝPOČET ŠÍŘKY TRHLIN	- 17 -
8.1	VÝPOČET ŠÍŘKY TRHLINY PODLE ČSN EN 1992-1-1 [1]...-	17 -
8.2	VÝPOČET ŠÍŘKY TRHLINY PODLE ČSN EN 1992-3 [2].....-	19 -
8.3	VÝPOČET RANÝCH TRHLIN	- 22 -
8.4	DESKA NAMÁHANÁ OMEZENÝM VYNUCENÝM PŘETVOŘENÍM - 23 -	- 23 -
8.5	STĚNA NAMÁHANÁ OMEZENÝM VYNUCENÝM PŘETVOŘENÍM - 25 -	- 25 -
9	ŘEŠENÍ SPÁR A PROSTUPŮ	- 28 -
9.1	TĚSNĚNÍ SPÁR PODLE TP ČBS 02 [4].....	- 28 -
9.2	TĚSNĚNÍ SPÁR PODLE TP ČBS 04 [5].....	- 30 -
9.3	TĚSNĚNÍ PROSTUPŮ.....	- 30 -
10	VZORCE POUŽITÉ V RÁMCI STATICKÉHO VÝPOČTU.....	- 32 -
10.1	PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY IDEÁLNÍHO PRŮŘEZU – KRÁTKODOBÉ PŮSOBNÍ ZATÍŽENÍ [6].....	- 32 -
10.1.1	PRŮŘEZ BEZ TRHLIN	- 32 -
10.1.2	PRŮŘEZ S TRHLINAMI.....	- 33 -
10.2	VOLNÉ PŘETVOŘENÍ [6].....	- 33 -
11	LITERATURA	- 35 -

1 BÍLÁ VANA - ÚVOD

Bílá vana je železobetonová konstrukce, která plní funkci nosnou a zároveň funkci těsnící. Těsnost proti pronikání vody skrz konstrukci je zajištěna betonovou konstrukcí bez použití dalších izolačních vrstev. Využívá se vodonepropustnosti betonu. V rámci teoretické části diplomové práce budou popsány výhody a nevýhody bílé vany oproti jiným způsobům ochrany spodních staveb proti zemní vlhkosti a vodě, požadavky na beton, různé přístupy k návrhu bílých van podle rakouské a německé směrnice s porovnáním s normami, které se vyloženě bílou vanou nezabývají a řešení spár a prostupů pro zajištění vodonepropustnosti konstrukce.

V rámci teoretické části jsou uvedeny vzorce pro výpočet šířek trhlin podle jednotlivých přístupů a vzorce pro průřezové charakteristiky ideálního průřezu, které jsou použity v rámci statického výpočtu.

2 POUŽITÍ BÍLÝCH VAN A JEJICH VÝHODY

Bílé vany se používají pro spodní stavby pozemních staveb (garáže, sklady), dopravních (tunely), staveb průmyslových, inženýrských (kolektory), kde je třeba ochránit spodní stavbu proti vodě. Využívají se také u podzemních staveb, které je nutno zajistit proti zemní vlhkosti, jelikož je bílá vana trvanlivější v porovnání s povlakovými izolacemi a místo případných poruch je lépe identifikovatelné.

Kromě bílých van se používá jako ochrana spodní stavby proti vodě vana černá, u které je ochrana proti vodě zajištěna povlakovými izolacemi (asfaltovými pásy, foliovými izolacemi). Nevýhodou těchto izolací je obtížná kontrola provádění spojů v průběhu stavby, častý vznik poruch izolace při provádění konstrukce, vznik poruch způsobených objemovými změnami, či deformací konstrukce. Další nevýhodou je nákladná sanace poruch černé vany, jelikož je často obtížné identifikovat místo vzniku poruchy.

V případě poruchy bílé vany je místo vzniku poruchy vždy lokalizováno, což je oproti černým vanám výhoda. I vzhledem k trvanlivosti jsou výhodnější bílé vany. Pokud beton není v agresivním prostředí, může svou funkci plnit i přes 100 let, kdežto fóliové izolace podléhají degradaci materiálu, zhoršuje se pružnost a mechanické vlastnosti.

Z hlediska funkčnosti jsou obě varianty rovnocenné, podmínkou však je jejich správné konstrukční řešení a kvalitní provedení.

[3]

3 SLOŽENÍ BETONU

Beton pro bílou vanu by měl být dobře zpracovatelný, dostatečně hutný a s co nejmenším odlučováním vody. Složení betonu ovlivňuje vznik napětí od smršťování a od teploty, což ovlivňuje vznik trhlin. Vhodným složením betonu lze vznik těchto trhlin omezit. Volí se takový beton, který má požadované vlastnosti, co nejmenší množství pojiva a vody a uvolněné hydratační teplo je co nejmenší. [3]

Potřeba vody na dokončení hydratace cementu je přibližně 18-25 g na 100 g cementu, nicméně z technologických důvodů je třeba vody více. Avšak s vyšším vodním součinitelem se zvyšuje pórovitost betonu a zvyšuje se tak propustnost pro vodu. Vodní součinitel by se měl dle doporučení pohybovat do 0,45. [3]

Vzrůst teploty betonu během hydratace by neměl být vyšší než 13° C. Na tuto teplotní změnu má vliv především teplota čerstvého betonu, teplota prostředí, rozměry konstrukce a vývoj hydratačního tepla betonu. Složením betonu lze ovlivnit z těchto faktorů pouze vývoj hydratačního tepla. Uvolněné hydratační teplo závisí především na množství a typu cementu. Aby bylo dosaženo nižšího uvolňování hydratačního tepla, které způsobuje teplotní namáhání konstrukce a vznik trhlin, používají se pro výrobu betonu pro bílé vany cementy bez, či s nižším obsahem trikalciium silikátu (C3A), který ihned po smíchání s vodou hydratuje a vyvíjí velké hydratační teplo, či cementy směsné, nebo se využívají k nahrazení části cementu latentně hydraulické příměsí (popílek, struska). [8]

Kamenivo by mělo být odolné vůči alkalické reaktivnosti a s co nejmenší porozitou.

[3]

Pevnostní třída betonu bílé vany by měla být minimálně C20/25 podle ČSN EN 206-1 [3]. Z hlediska vývinu hydratačního tepla by pevnostní třída neměla být vyšší než C25/30, u betonu, který je vystaven působení rozmrazovacích prostředků maximálně C20/25. [4]

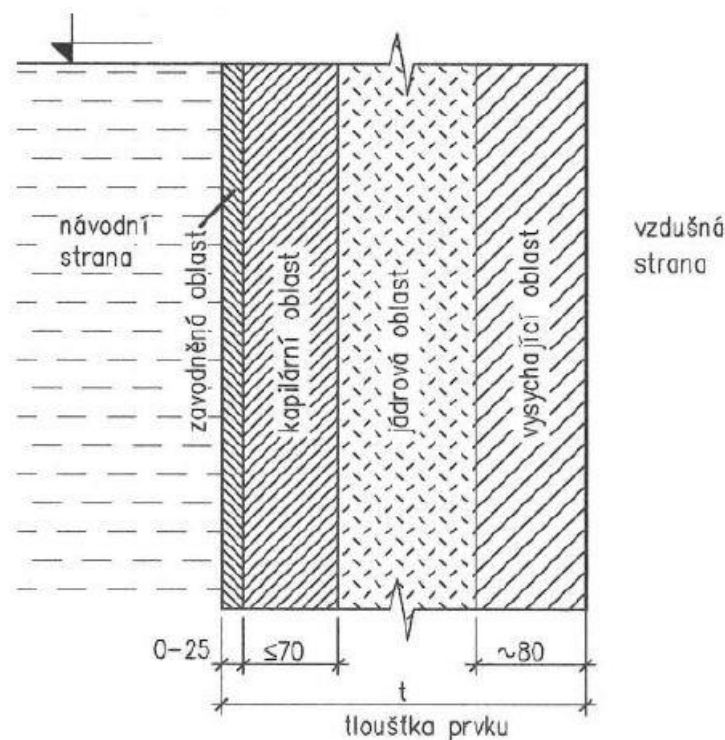
Vodonepropustnost betonu se vyvíjí s časem, a proto je vhodné ji měřit po 90 dnech. [3]

4 VODONEPROPUSTNOST A VODOTĚSNOST BETONU

Často bývají zaměňovány pojmy vodotěsnost a vodonepropustnost. Pokud je materiál vodotěsný, nepronikne do něj tlaková voda. Jedná-li se o materiál vodonepropustný, pronikne tlaková voda do určité hloubky. Beton je porézní materiál, voda do něj může pronikat a proto nelze dosáhnout vodotěsnosti, ale vodonepropustnosti ano.

Při působení vody na beton se na návodní straně dostává voda do betonu a vzniká zde oblast nasycená vodou, nazývaná zavodněná. Obvykle bývá 0-25 mm v závislosti na tlaku vody a době působení. Voda se dále šíří kapilárami, takzvanou kapilární oblastí, která je maximálně 70 mm tlustá. Transport vody se dále uskutečňuje difuzí přes jádrovou oblast. Na druhé straně, vzdušné straně, je oblast vysychající, ze které se odpařuje vodní pára a šíří se dále do vnitřního prostředí konstrukce. Vysychající oblast má tloušťku zhruba 80 mm.

[3]



Obrázek 1 - Oblasti prvku z vodonepropustného betonu [3]

K hodnocení vodonepropustnosti slouží ČSN EN 12390-8 Hloubka průsaku tlakovou vodou. Zkouší se na krychli, válci, či hranolu s délkou hrany či průměrem 150 mm, při stáří betonu 28 dní a tlaku vody 500 kPa působícím 72 hodin. Maximální průsak je 50 mm pro vodonepropustný beton ve středně, či silně agresivním prostředí, 30 mm pro tunely. Výhodnější však je měřit vodonepropustnost ve stáří betonu 90 dní, jelikož vodonepropustnost se s časem zlepšuje.

Hodnocení lze také provést pomocí Darcyho filtračního zákona pro lineární tok pomocí vodonepropustnosti k [$\text{mm}^3/(\text{mm}^2 \cdot \text{s})$], která vyjadřuje objem vody, která protékla určitou plochou za jednotku času.

S vodonepropustností betonu souvisí trhliny, jejichž šířku je nutné pro zajištění vodonepropustnosti betonu omezovat.

S ohledem na požadovanou vodonepropustnost je třeba se zabývat kvalitou betonové směsi, prováděním betonáže, ošetřováním čerstvého betonu, vnějšími podmínkami působícími na konstrukci, koncepčním návrhem vodonepropustné konstrukce, opatřeními k omezení šířky trhliny a těsněním spár a prostupů.

Požadavky na vodonepropustnost konstrukce jsou dány požadavky na vnitřní prostředí bílé vany a jeho využití.

[3]

5 MAXIMÁLNÍ ŠÍŘKA TRHLINY PODLE ČSN 1992-1-1 [1]

S vodonepropustností souvisí šířka trhliny, která bude určována v rámci práce několika způsoby, podle různých norem a směrnic. Podle normy ČSN EN 1992-1-1 [1] se stanoví omezení šířky trhliny hodnotou w_{\max} , která závisí na stupni vlivu prostředí podle tabulky 9 [1]. Toto omezení nebere ohled na vodonepropustnost a maximální přípustná šířka trhliny tak bude vycházet větší, než maximální přípustná šířka trhliny určená podle směrnic zabývajících se bílou vanou, které uvažují požadavek na vodonepropustnost.

Tabulka 1 - Doporučené hodnoty w_{\max} (mm) [1]

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 ¹⁾	0,2
XC2, XC3, XC4	0,3	0,2 ²⁾
XD1, XD2, XS1, XS2, XS3		Dekomprese
¹⁾ Pro stupně vlivu prostředí X0, XC1 nemá šířka trhliny vliv na trvanlivost a uvedená hodnota má zajistit přijatelný vzhled. Pokud nejsou kladeny požadavky na vzhled, lze uvedenou hodnotu zvětšit.		
²⁾ Pro tyto stupně vlivu prostředí má být kromě toho posouzena dekomprese při kvazi-stálé kombinaci zatížení.		

6 MAXIMÁLNÍ ŠÍŘKA TRHLINY PODLE ČSN EN 1992-3 [2]

Jedná se o normu sloužící pro návrh nádrží na kapaliny a zásobníků, nicméně postupy, které jsou uvedené v této normě, lze použít i pro návrh jiných typů konstrukcí, u kterých je požadována vodonepropustnost. V rámci práce bude určena maximální šířka trhliny podle této normy, avšak bude sloužit pouze pro porovnání s ostatními přístupy, jelikož kritéria uvedená v normě jsou pro bílé vany přísná, jelikož se nejedná o zásobník ani o nádrž, která slouží k udržení vody uvnitř konstrukce.

Konstrukce je zaříděna do třídy nepropustnosti (0 – 3) na základě požadavku na omezení průsaku. Jednotlivé třídy nepropustnosti udávají požadavky na omezení šířky trhlin.

Tabulka 2 - Klasifikace nepropustnosti [2]

Třída nepropustnosti	Požadavky na průsak
0	Jistý stupeň průsaku se připouští nebo je průsak kapalin irrelevantní.
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.

- Třída nepropustnosti 0: maximální šířka trhliny se určí na základě ČSN EN 1992-1-1
- Třída nepropustnosti 1: maximální šířka průběžných trhlin se určí v závislosti na podílu výšky vodního sloupce a tloušťky stěny. Pokud trhliny nejsou průběžné, lze při splnění určitých podmínek určit maximální šířku trhliny na základě ČSN EN 1992-1-1
- Třída nepropustnosti 2: vyloučení průběžných trhlin, pokud nejsou použita vhodná opatření (např. vystýlky, bariéry)
- Třída nepropustnosti 3: požadavek na zvláštní opatření, jako jsou vystýlky, či předpětí

7 NORMY PRO BÍLÉ VANY

V České republice neexistuje norma pro bílé vany, jejich návrh a provádění. Využívají se Technická pravidla ČBS 02: Bílé vany – Vodonepropustné konstrukce, jež jsou překladem rakouské směrnice Wasserundurchlässige Betonbauwerke – Weisse Wannen, od rakouské společnosti pro beton (ÖVBB) a Technická pravidla ČBS 04: Směrnice pro vodonepropustné betonové konstrukce, která jsou překladem německé směrnice Richtlinien wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton od německého výboru DAfStb (Deutscher Ausschuss für Stahlbeton).

7.1 NÁVRH BÍLÉ VANY DLE TP ČBS 02 [4]

Návrh vodonepropustných konstrukcí podle rakouské směrnice je založen na předpokladu, že mohou vznikat závady, které je možné vyřešit příslušnými sanačními postupy. Omezuje tím výši nákladů, které by bylo třeba vynaložit v případě přísnějších požadavků na konstrukci, která by měla veškeré závady vyloučit. Cílem je navrhnout řešení s optimálním množstvím výztuže, které dostatečně omezí šířku trhlin. Takto navržené řešení by ve výsledku mělo být bezpečné a hospodárné. [3]

7.1.1 ZATŘÍDĚNÍ KONSTRUKCE

Konstrukci je třeba zařadit do třídy požadavků. Rakouská směrnice rozlišuje 5 tříd požadavků: As, A1, A2, A3 a A4. Zařazení konstrukce do třídy požadavků je provedeno na základě požadovaného vzhledu povrchu betonu, posouzení vlhkých míst a přípustných vad na povrchu betonu (viz. Tabulka 1). Nejpřísnější třídou požadavků je třída As, které je používána pro zvláštní případy. Naopak třída A4 má nejméně přísné požadavky na konstrukci. Třidu požadavků určuje projektant spolu s investorem v závislosti na předpokládaném využití vnitřních prostorů stavby.

Tabulka 3 - Třídy požadavků na vodotěsnost vnějších stěn, základových desek a stropů [4]

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 zabarvení)			Stavebně-fyzikální vyšetření a temperování/klimatizování prostoru je bezpodmínečně nutné	Skлады zboží, které je zvlášť citlivé na vlhkost	2)
A ₁	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)
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 žleby) 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 zachytných nádobách.	Maximální množství vody na jedno vadné místo nesmí překročit 2 l/h, přičemž průnik 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 průniku vody z vnějšíku smáčené plochy stěny mezi hladinou návrhového stavu vody a spodní hranou posuzované části konstrukce.

²⁾ Bílé vany ve smyslu této směrnice.

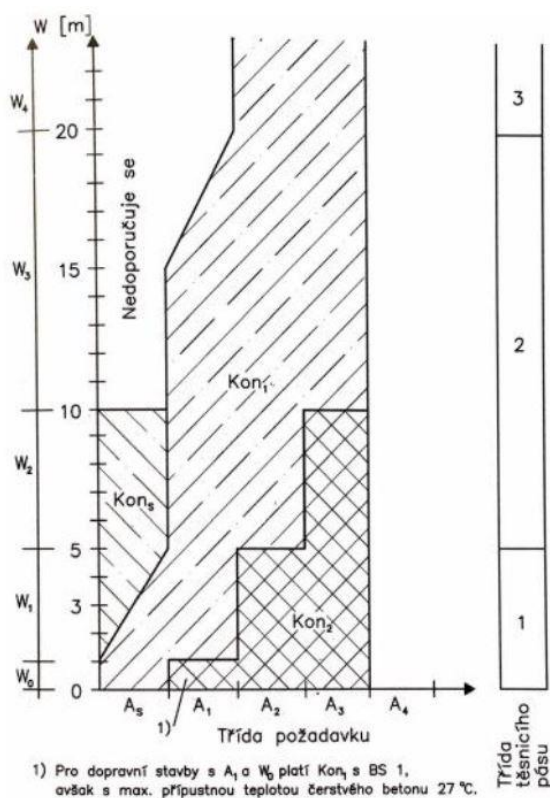
³⁾ Souvislé podzemní stěny podle ÖVBB-směrnice

Dalším krokem je určení třídy tlaku vody podle výšky vodního sloupce (viz. Tabulka 2). Vodní sloupec je měřen od hladiny podzemní vody ke spodní hraně konstrukce. V případě vysokých stěn je možné stěnu rozdělit po výšce na více částí a třídy tlaku vody odstupňovat.

Tabulka 4 - Třídy tlaku vody [4]

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

Pomocí třídy požadavků a třídy tlaku vody je možné z grafu (Obrázek 2) stanovit konstrukční třídu (Kon_s, Kon₁, Kon₂) 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 (viz Tabulka 3).



Obrázek 2 - Graf pro určení konstrukční třídy a třídy těsnících pásů pomocí třídy tlaku vody a třídy požadavků [3]

Tabulka 5 - Konstruktivní třídy pro bedněné železobetonové stavební díly [4]

Konstruktivní třída	Min. tloušťka stavebního dílu ¹⁾²⁾ [m]	Dimenzování na vynucená namáhání	Dimenzování na zatížení	Normativní beton	Další konstrukční požadavky
Kon _z zvláštní třída	≥ 0,45 ≥ 0,60 pro W ₂	viz Obr. 4/5	omezení šířky trhlin na ≤ 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	≥ 0,35 ≥ 0,60 pro W ₄	viz Obr. 4/6	omezení šířky trhlin na ≤ 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 vložení 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	≥ 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⁾ W₁, W₂, ... = 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 uvedená v Tab. 3/2 odpovídá podle ÖNORM A 6403 (zaokrouhlování čísel) až do hodnoty w = 0,249 mm hodnotě w ≤ 0,2 mm požadované ÖNORM B 4700 v bodě 4.2.1(3).

7.1.2 NÁVRH KONSTRUKCE

Při dimenzování vodonepropustné konstrukce je třeba zohlednit kromě zatížení přímých, jako je vlastní tíha konstrukce, užité zatížení, zatížení zemním tlakem a zatížení tlakem vody, také zatížení nepřímá, která jsou vyvolána vynuceným přetvořením konstrukce. Jedná se o zatížení teplotou, smršťováním a dotvarováním betonu, sedáním, zdviháním, či natočením konstrukce.

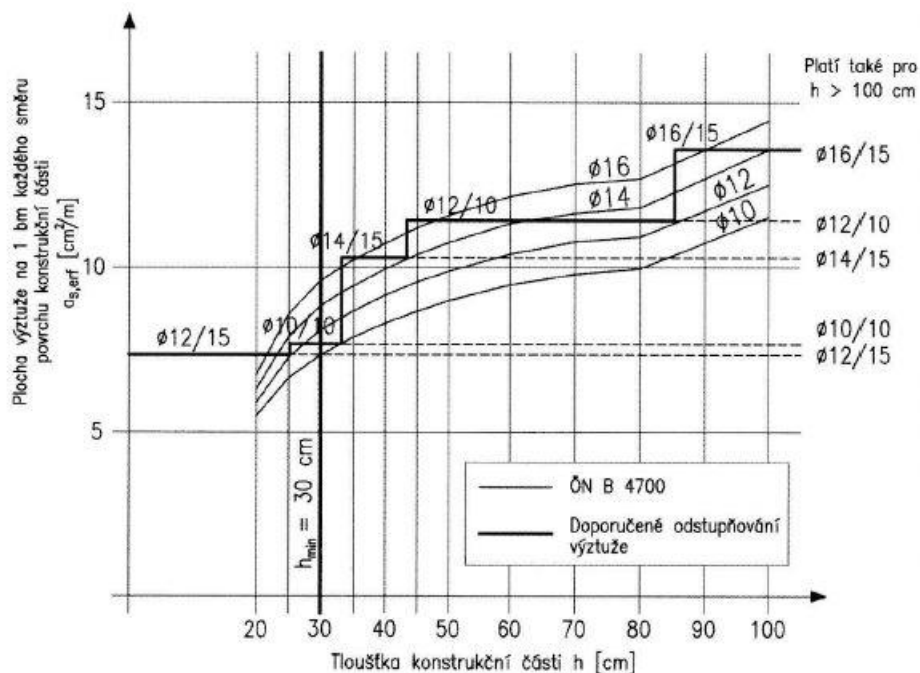
Množství výztuže se určí na základě těchto kritérií:

- prokázání únosnosti
- prokázání použitelnosti – splnění požadavků na omezení šířky trhlin při vlivu zatížení
- prokázání použitelnosti – splnění požadavků na omezení šířky trhlin při vynuceném namáhání

Prokázání únosnosti se provádí na základě aktuálně platných norem, prokázání použitelnosti na základě platných norem se zohledněním přísnějších požadavků technických pravidel. Použitelnost bývá v těchto případech rozhodující.

Navržený průměr prutů výztuže, jejich množství a vzdálenosti ovlivňují šířky trhlin, jejichž maximální přípustná hodnota je dána konstrukční třídou.

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)

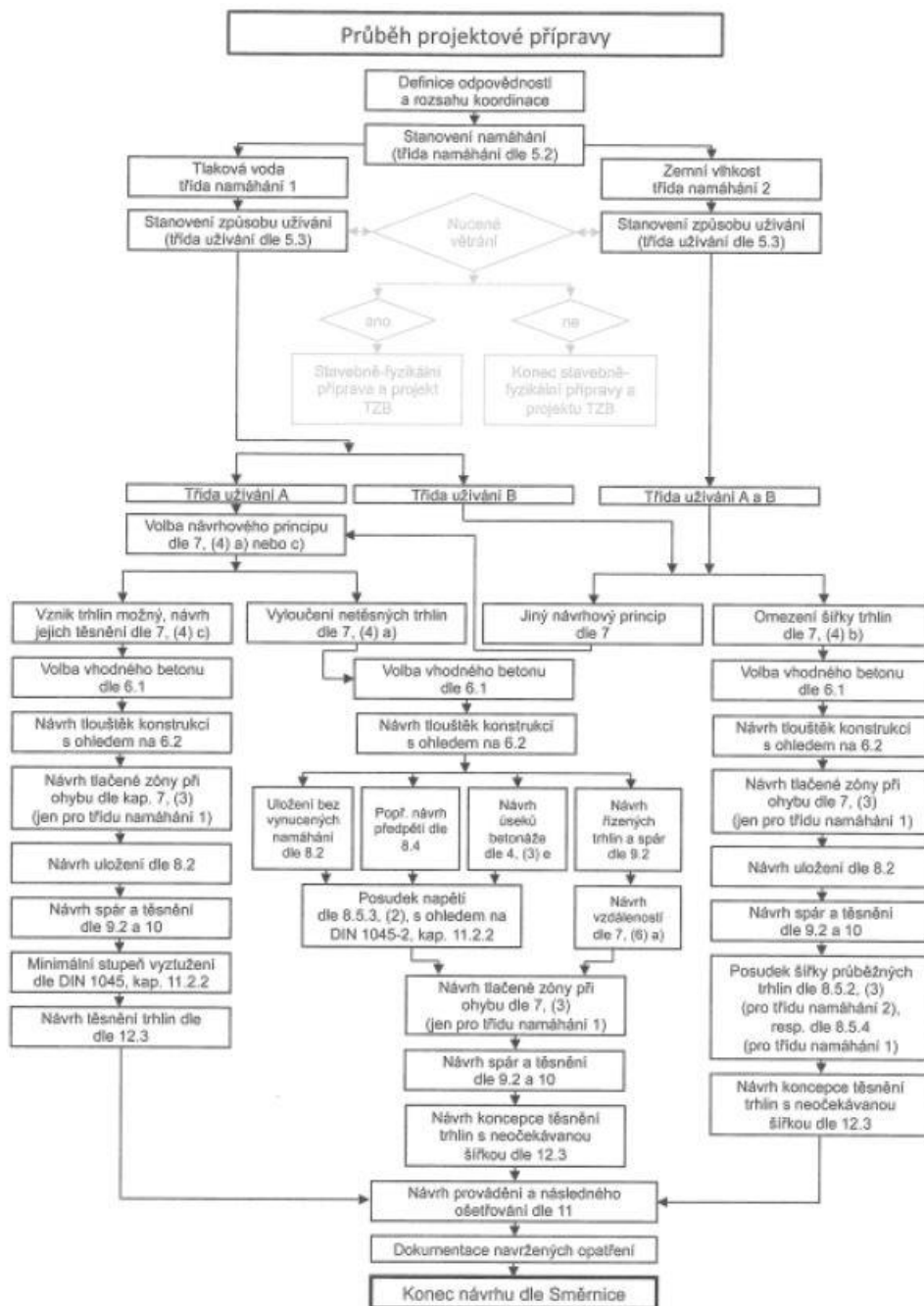
Obrázek 3 - Graf minimální výztuže na centrické vynucené namáhání [4]

Omezení šířky trhlin od zatížení se provádí pro rozhodující kombinaci normálové síly a momentu působícího na konstrukci. Jestliže poměrná deformace od vynuceného namáhání nepřekračuje 0,8 ‰, není třeba vnitřní síly, které odpovídají vynucenému namáhání, do posouzení uvažovat. Pokud poměrná hodnota deformace překračuje 0,8 ‰, je třeba vnitřní síly od vynuceného namáhání do posouzení zahrnout.

O návrhu výztuže rozhodne návrh s vyšším množstvím výztuže.

7.2 NÁVRH BÍLÉ VANY DLE TP ČBS 04 [5]

Cílem návrhu vodonepropustné konstrukce podle německé směrnice je navrhnout konstrukci tak, aby splňovala svůj účel a aby byl návrh hospodárný. Německá směrnice, oproti rakouské směrnici, nepovoluje závady (průsak vody betonem, spárami, trhlinami) a možnost jejich následné sanace, u všech konstrukcí. Dělí konstrukce do tříd užívání podle toho, zda je vznik závad přístupný, či nikoliv. Na schématu (Obrázek 4) je popsán průběh projektové přípravy, v rámci kterého je třeba definovat funkci a požadavky na užívání, požadavky na použitelnost a životnost konstrukce a zohledňuje další skutečnosti, které mají vliv na vodonepropustnost konstrukce.



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

7.2.1 ZATŘÍDĚNÍ KONSTRUKCE

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 vzduťou vodu, Třidu namáhání 2, která platí pro zemní vlhkost a nevzduťou prosakující vodu.

Tabulka 6 - Porovnání tříd namáhání [5]

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 vzduťá 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, - nevzduťá prosakující voda (viz kap. 3.19), jen u silně propustné zeminy nebo u trvale průtočné drenáže dle DIN 4095.

Dále je třeba konstrukci zatřídít do třídy užívání podle funkce objektu a požadavků na způsob užívání objektu. Směrnice definuje dvě třídy. 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.

Tabulka 7 - Porovnání tříd užívání [5]

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 samotěsnící 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.	

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.

Tabulka 8 - Doporučené minimální tloušťky konstrukcí [5]

	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: ²⁾ třída namáhání 2: ³⁾ za zvláštních technologických a prováděcích podmínek je možné snížení na 200 mm			tlaková a netlaková voda, dočasně vzduťá prosakující voda		
			zemní vlhkost a nevzduťá prosakující voda		

7.2.2 NÁVRH KONSTRUKCE

Směrnice definuje tři návrhové zásady

- Úplné vyloučení trhlin - jsou předepsána konstrukční, technologická a prováděcí opatření, která vzniku trhlin zamezí
- Omezení šířky průběžných trhlin s ohledem na samoutěsnění - maximální šířka trhliny, u které se uvažuje její samoutěsnění, závisí na tlakové spádu

Tabulka 9 - Šířky průběžných trhlin v závislosti na tlakovém spádu, při využití omezení průsaku vody samotěsnící schopností [5]

	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 $pH < 5,5$ se nesmí uvažovat samotěsnící schopnost trhlin.

- Omezení šířky průběžných trhlin podle ČSN 1992-1-1 a návrh těsnících opatření

Při posouzení šířky trhlin se uvažuje častá kombinace zatížení. Omezit šířku trhlin je třeba také s ohledem na vynucená namáhání.

V německé směrnici jsou dále popsány nepřímé účinky zatížení, které mají vliv na vodonepropustnost betonu, mezi které patří teplotní účinky (klimatické podmínky, či uvolňováním hydratačního tepla), smršťování a bobtnání betonu nebo nerovnoměrné sedání. Důraz je kladen na posouzení trhliny ve fázi tuhnutí betonu s ohledem na uvolňování hydratačního tepla, které je v této fázi rozhodujícím nepřímým účinkem. Hydratační teplo je závislé na složení betonu, kterému se směrnice ve svých kapitolách též věnuje. Vznik raných trhlin kromě hydratačního tepla ovlivňuje také omezení volné deformace, se kterým souvisí ukládání čerstvého betonu. Beton by měl být uložen tak, aby doházelo k co nejmenšímu omezení volné deformace betonu a následného vzniku trhlin. Základová spára by neměla být příliš členitá a tření v základové spáře lze omezit kluznými vrstvami.

8 VÝPOČET ŠÍŘKY TRHLIN

Pro návrh konstrukce bílé vany je důležité posouzení mezního stavu šířky trhliny. Je potřeba navrhnout výztuž tak, aby byla šířka trhliny omezená na požadovanou hodnotu, která je definována normou, či směrnici (záleží na zvoleném přístupu). Vhodným návrhem výztuže lze šířku trhliny omezit, nikoliv však vyloučit.

8.1 VÝPOČET ŠÍŘKY TRHLINY PODLE ČSN EN 1992-1-1 [1]

Návrh výztuže lze podle normy ČSN EN 1992-1-1 provést bez přímého výpočtu, či výpočtem šířky trhliny. Metodou bez přímého výpočtu je výztuž navržena na základě maximální přípustné šířky trhliny a napětí ve výztuži bezprostředně po vzniku trhlin podle tabulek, které udávají maximální průměr prutu a maximální vzdálenosti prutů pro omezení šířky trhliny.

Tabulka 10 - Maximální průměry prutů pro omezení šířky trhlin [1]

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; $h_{cr} = 0,5$; $(h-d) = 0,1h$; $k_1 = 0,8$;
 $k_2 = 0,5$; $k_c = 0,4$; $k = 1,0$; $k_1 = 0,4$ a $K' = 1,0$

²⁾ Při odpovídající kombinaci účinků zatížení.

Tabulka 11 - Maximální vzdálenost prutů pro omezení šířky trhliny [1]

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	-

POZNÁMKY jsou vysvětleny v tabulce 7.2N

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

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

w_k ... šířka trhliny

ε_{sm} ... průměrná hodnota poměrného přetvoření výztuže

ε_{cm} ... průměrná hodnota poměrného přetvoření betonu mezi trhlínami

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

σ_s ... napětí ve výztuži v průřezu porušeném trhlinou

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

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

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

$A_{c,eff}$... 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

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

\emptyset ... průměr prutu

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

$$\emptyset_{eq} = \frac{n_1 * \emptyset_1^2 + n_2 * \emptyset_2^2}{n_1 * \emptyset_1 + n_2 * \emptyset_2}$$

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 z následujícího vztahu:

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

ε_1 je větší a ε_2 menší tahové poměrné přetvoření na okrajích daného průřezu porušeného trhlinou

pro vodonepropustné konstrukce doporučeno $k_2 = 1,0$

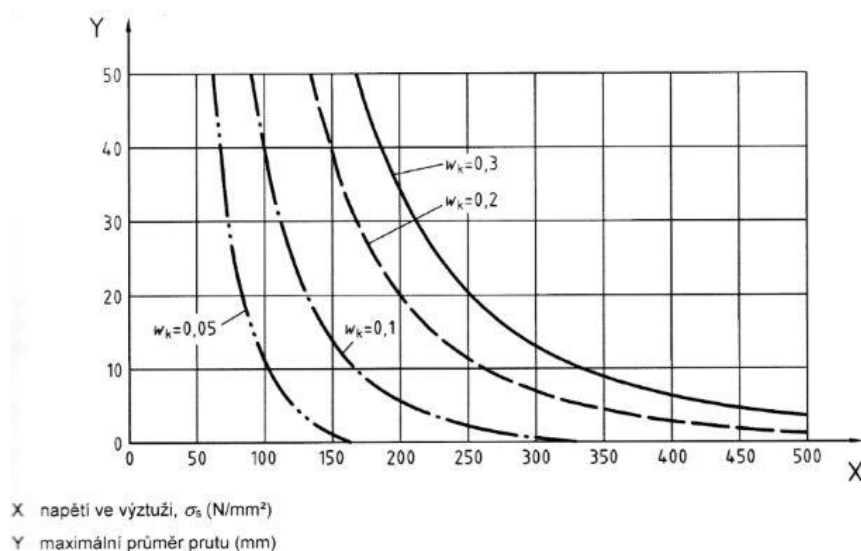
$k_3 = 3,4 * (25/c)^{2/3} \leq 3,4$; c...krytí [mm]

$k_4 = 0,425$... doporučená hodnota

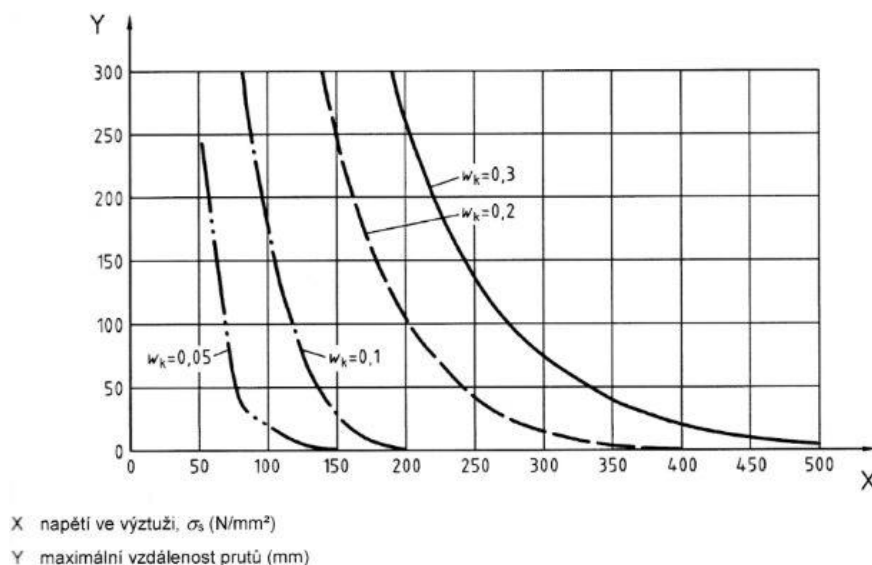
8.2 VÝPOČET ŠÍŘKY TRHLINY PODLE ČSN EN 1992-3 [2]

Norma ČSN EN 1992-3 popisuje omezení šířky trhliny bez přímého výpočtu. Na základě napětí ve výztuži po vzniku trhlin a maximální šířky trhliny lze z grafů určit maximální průměr a vzdálenosti prutů.

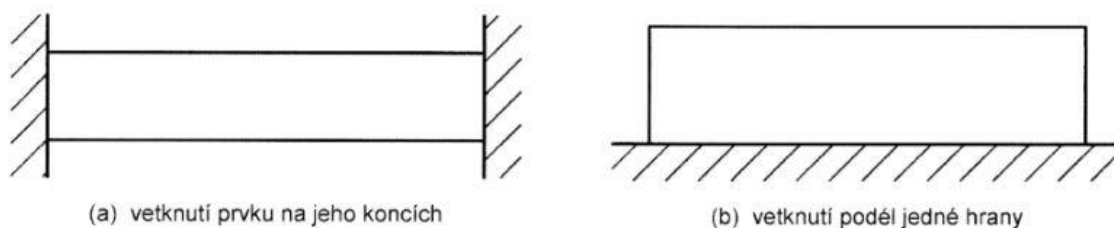
Tabulka 12 - Maximální průměry prutů pro omezení šířky trhliny u prvků namáhaných tlakem [2]



Tabulka 13 - Maximální vzdálenost prutů pro omezení šířky trhlin u prvků namáhaných tahem [2]



Dále norma uvádí výpočet šířky trhliny v důsledku omezení vynuceného přetvoření, které je způsobeno smršťováním a změnou teploty (ochlazením prvku během několika dnů po uložení). Norma popisuje dva případy omezení přetvoření prvku. První případ, kdy je prvek na koncích vetknut a druhý případ, kdy je prvek vetknutý podél jedné hrany.



Obrázek 5 - Typy omezení přetvoření stěny [2]

Maximální šířka trhliny se vypočte stejným vzorcem, jako je tomu v normě ČSN EN 1992-1-1[1]. Rozdíl je ve výpočtu průměrné hodnoty poměrného přetvoření výztuže a betonu.

Výpočet šířky trhliny[2]:

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

w_k ... šířka trhliny

ε_{sm} ... průměrná hodnota poměrného přetvoření výztuže

ε_{cm} ... průměrná hodnota poměrného přetvoření betonu mezi trhlínami

a) Vetknutí na koncích [2]

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

α_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

ρ ... 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]

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

ε_{free} ... poměrné přetvoření, které by nastalo v případě zcela volného prvku

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

L... délka stěny

H ... výška stěny

Tabulka 14 - Součinitele omezení přetvoření [2]

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

8.3 VÝPOČET RANÝCH TRHLIN

V rámci posouzení konstrukčních prvků bílé vany, bude návrh výztuže proveden také s ohledem na vznik raných trhlin. Rozhodující je v tomto případě tahová pevnost betonu $f_{ct,eff}$, kterou je obtížné určit, jelikož závisí na mnoha faktorech: hydratačním teple, době odbednění, okolní teplotě, vlhkosti prostředí, způsobu ošetřování betonu. Při návrhu tyto faktory neznáme. Lze uvažovat přibližný odhad efektivní pevnosti betonu v tahu, pro betony s normálním nárůstem pevnosti $f_{ct,eff} = 0,5 f_{ctm}$ a pro betony s pomalým nárůstem pevnosti $f_{c,teff} = f_{ctm}$. [7]

Napětí ve výztuži se spočte následujícím vztahem [7]:

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

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

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

$f_{ct,eff} = f_{ctm} / 2$... pro betony s normálním nárůstem pevnosti

$f_{ct,eff} = f_{ctm}$... pro betony s pomalým nárůstem pevnosti

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

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

h ... výška průřezu

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

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

Šířka trhliny se dále spočte podle vzorců uvedených v kapitole 8.1.

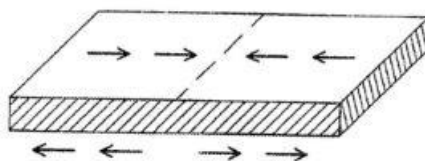
8.4 DESKA NAMÁHANÁ OMEZENÝM VYNUCENÝM PŘETVOŘENÍM

Při návrhu bílých van jsou ve většině případů rozhodující nepřímá zatížení, která vznikají důsledkem vynucených přetvoření. Již v raném stáří betonu je třeba počítat s rizikem vzniku trhlin, pokud je bráněno volnému přetvoření desky. Aby se mohla deska volně přetvářet, musí být překonáno tření mezi deskou a podložím, musí docházet k pokluzu. Velikost síly, která je nutná k překonání tření, závisí mimo jiné na rovinnosti desky. Prvky, které narušují rovinnost desky, jsou například dojezdy výtahových šachet. Tyto prvky brání volnému přetvoření desky. [3]

Pro výpočet tahové síly, která může vznikat v základové desce, je možné využít následující tabulku, která určuje hodnoty součinitele tření, za předpokladu, že se deska může po podloží volně pohybovat, není omezena prohlubněmi, například zmíněnými dojezdy výtahových šachet. [3]

Tabulka 15 - Návrhové hodnoty součinitele tření μ [3]

Podloží	Kluzná vrstva	1. posun - μ
Štěrk	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 folie	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 °C.		



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

Hodnotu součinitele tření lze také určit na základě úhlu vnitřního tření podloží [3]:

$$\mu = \tan \varphi_d$$

μ ... součinitel tření

φ_d ... návrhová hodnota vnitřního úhlu tření

Výpočet velikosti tahové síly [3]:

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

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

μ ... součinitel tření

σ_0 ... napětí v základové spáře od vlastní tíhy desky a užitého zatížení

$l_0/2$... polovina délky desky za předpokladu pokluzu od středu

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

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

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

Stanovení napětí v betonu v tahu [3]:

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

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

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

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

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

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

k_c ... součinitel zohledňující rozdělení napětí před vznikem trhlin

k_f ... 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 $b = 1$ m

Napětí ve výztuži se spočte vztahem [3]:

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

$$A_{c,eff} = 2,5 * (c + 0,5 * \emptyset) * b$$

Dále se pokračuje ve výpočtu trhliny podle kapitoly 8.1

8.5 STĚNA NAMÁHANÁ OMEZENÝM VYNUCENÝM PŘETVOŘENÍM

Přetvoření stěny bílé vany omezuje základová deska, na kterou je stěna betonována. U desky, která byla betonována v dřívější pracovní etapě, již proběhla určitá část objemových změn, ale u stěny tyto změny budou probíhat později. To způsobuje větší omezení přetvoření u stěn než u desek a trhliny tak častěji vznikají právě u stěn. [3]

Výpočet napětí při úniku hydratačního tepla [3]:

$$\sigma_{ct,ges} = k \alpha_T \Delta T_c E_{ct} \frac{T_0 - \Delta T_c}{2}$$

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

k ... součinitel možnosti posunu stavebních prvků

u stěn betonovaných na základových deskách obvykle $k = 1,0$

α_T ... součinitel teplotní roztažnosti betonu

T_0 ... výchozí teplota čerstvého betonu, resp, teplota základové desky

ΔT_c ... vzrůst teploty v prvku důsledkem hydratačního tepla H_w

$$\Delta T_c = \alpha_c \Delta T_{th} = \alpha_c \frac{c * H_w}{Q_{c0}}$$

α_c ... součinitel, který vyjadřuje poměr mezi vzrůstem teploty v prvku ΔT_c a teoretickým vzrůstem teploty ΔT_{th} , viz tabulka 16

Tabulka 16 - Hodnoty součinitele α_c [3]

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

c ... množství cementu [kg] v 1 m^3

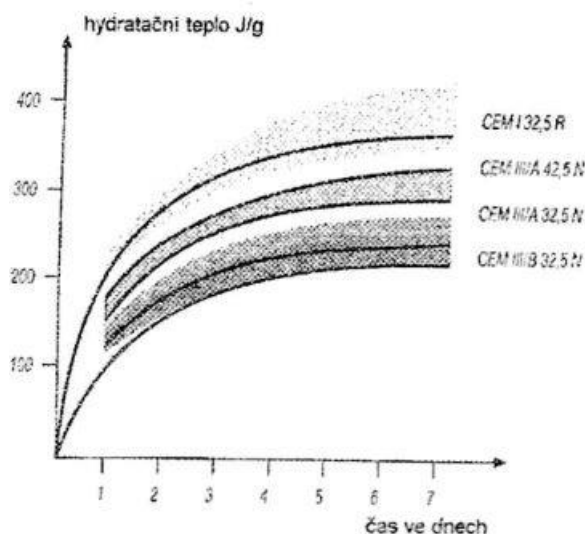
H_w ... hydratační teplo cementu [J/kg] dosažené v časovém okamžiku t_{maxT} (viz obr 8)

t_{maxT} ... časový okamžik, kdy je maximální rozdíl teplot v jádru a na povrchu betonu

$$t_{maxT} = 0,8h + 1 \text{ [dní]}, \text{ dosažení tloušťky stěny v metrech}$$

Q_{c0} ... tepelná kapacita betonu

E_{ct} ... modul pružnosti betonu při dosažení tahové pevnosti (viz tabulka 17)



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

Tabulka 17- Moduly 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

Tahové napětí, které v betonu vzniká při omezeném přetvoření stěny v důsledku unikání hydratačního tepla, závisí na délce stěny l_0 . Předpokládá se, že tahové síly jsou přenášeny ze stěny na základovou desku na koncích stěny v délce asi $l_e = 0,5 h_b$ (h_b = výška stěny). Mezi těmito částmi vzniká oblast, kde nastává plné omezené přetvoření a vznikají zde trhliny. Největší napětí vzniká ve stěně asi v jedné čtvrtině výšky a lze ho spočítat následujícím vztahem [3]:

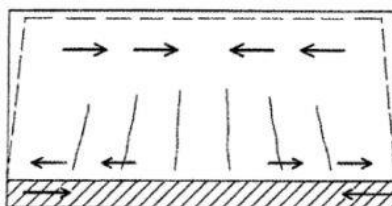
$$\sigma_{ct,d} = k_{ct,d} \sigma_{ct,ges}$$

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

Hodnoty součinitele $k_{ct,d}$ jsou uvedeny v tabulce 18:

Tabulka 18 - Hodnoty součinitele $k_{ct,d}$ [3]

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



Obrázek 8 - Stěna pojená se základovou deskou [3]

Výpočet tahové síly, kterou beton přenáší bezprostředně před vznikem trhlin, účinná plocha tažené části betonu a výpočet napětí ve výztuži se provede stejně jako v kapitole 8.4. Šířka trhliny se spočte podle kapitoly 8.1.

9 ŘEŠENÍ SPÁR A PROSTUPŮ

K zajištění vodonepropustnosti je třeba zajistit kromě vodonepropustnosti samotného betonu, omezení šířky trhlin na požadované hodnoty dané směrnicí, také dostatečné utěsnění spár a prostupů.

Typy spár:

- Pracovní spára

Rozděluje monolitickou betonovou konstrukci po jednotlivých pracovních záběrech. Výztuž není v těchto místech přerušena. Spára je schopná přenášet napětí. Neuvažuje se s pohybem oddělených částí pracovní spárou. U základových desek by měli být pracovní úseky v rozmezích 25 – 35 metrů s poměrem stran 1:1 až 1:1,25. U stěn jsou doporučené délky pracovních úseků 11- 15 metrů.

- Dilatační spára

Rozděluje konstrukci na samostatné části, u kterých jsou umožněny volné objemové změny. Výztuž je v tomto místě přerušena. Uvažuje se s pohybem částí oddělených dilatační spárou, který je způsoben například odlišným sedáním konstrukce. Doporučená délka dilatačního celku je 15 – 60 metrů.

- Řízené trhliny (nepravé spáry)

V daném místě se cíleně oslabí průřez. Řízené trhliny umožňují větší délku pracovního úseku, který je řízenými spárami rozdělen na menší úseky.

- Neplánované pracovní spáry

Spáry vznikající v důsledku technologické nekázně. Při realizaci bílé vany jsou nepřijatelné, jelikož nejsou zohledněny v návrhu těsnění. Případně je nutné je dodatečně utěšňovat.

[3]

9.1 TĚSNĚNÍ SPÁR PODLE TP ČBS 02 [4]

Podle rakouské směrnice je vodonepropustnost spár zajištěna těsnícím prvkem, který má za cíl znemožnit vodě pronikat spárou a funguje na těchto principech:

- labyrintový princip

Těsnící prvek prodlužuje cestu průniku vody a mění směr cesty průniku.

- princip ukotvení

Těsnící prvek je řádně přikotven k betonu. Využívá při tom přilnavosti betonu k prvku.

- princip přitlačení

Těsnící prvek, který je vyroben z bobtnavého a rozpínavého materiálu, vytváří těsnící vložku. Prvek se přitlačí k bokům spáry, čímž dojde k utěsnění.

- princip vyplnění

Tento princip je založen na dodatečném vyplnění spáry vhodným materiálem.

Vhodné materiály těsnících výrobků, principy utěsnění, možnosti spojení prvků a vhodnost použití pro jednotlivé druhy spár jsou uvedeny v tabulce 19 [4]. Rakouská směrnice nepřipouští spáry řízené, jelikož nezaručují protikorozní ochranu průběžné výztuže.

Tabulka 19 - Materiály těsnících výrobků a principy utěsnění [4]

Materiál	Princip utěsnění	Možnost spojení	Způsobnost pro druh spáry	Požadavky
PVC-P termoplasty	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 polymenzáty	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 těsnící pás	Princip přitlačení	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 překrýt	Dodatečně pro dilatační spáry a pracovní spáry; pro spáry mezi podzemní stěnou a podlahovou deskou	DBV-list „Stlačené injektážní hadičky pro pracovní spáry“

Při návrhu těsnícího pásu podle rakouské směrnice je třeba určit třídu těsnícího pásu v závislosti na třídě tlaku vody. Rakouská směrnice definuje 3 třídy těsnícího pásu, které se určí z grafu, který je na obrázku 2. Požadavky pro jednotlivé třídy těsnících pásů jsou shrnuty v tabulce 20 [4]. Požadavky se liší také podle toho, zda se jedná pracovní, či dilatační spáru.

Tabulka 20 - Třídy těsnících pásů spár [4]

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

9.2 TĚSNĚNÍ SPÁR PODLE TP ČBS 04 [5]

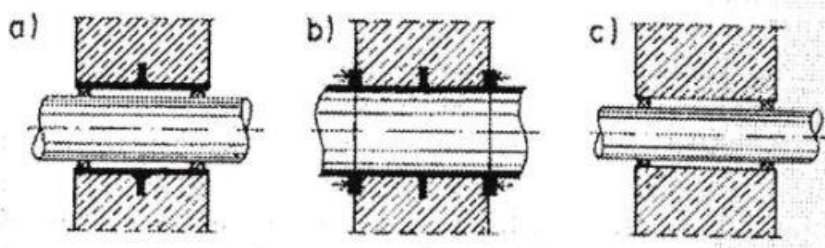
Německá směrnice uvádí základní podmínky řešení těsnění spár. Více informací je pak uvedeno v technických listech a návodech výrobců.

Pro návrh těsnění dilatační spáry je třeba určit vektor protažení v_r ze tří pravoúhlých složek: $v_r = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$ (v_x, v_y, v_z jsou deformace v jednotlivých osách). Následně se na základě vektoru protažení a tlaku vody určí pomocí grafu uvedeného výrobcem vhodný těsnící pás.

Vhodné těsnící pásy pro pracovní a řízené spáry se určí na základě výšky vodního sloupce, či poměru výšky vodního sloupce a tloušťky betonového prvku.

9.3 TĚSNĚNÍ PROSTUPŮ

Jedním z míst, které také ovlivňuje vodonepropustnost konstrukce, 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 (obrázek 10a)). Při působení vyššího tlaku vody bylo toto řešení doplněno o povrchovou manžetu se sevřeným utěsněním na vnější straně objektu (obrázek 10b)). Na obrázku 10c) je zobrazeno nevhodné řešení prostupu provedeného dodatečným jádrovým vrtem, který je utěsněn mezi betonem a trubkou.[3]



Obrázek 9 - Způsoby řešení prostupů [3]

V současnosti se pro utěsnění prostupů přípojek používají mechanicky rozpínané kroužky, které se osadí do chráničky s vnitřní manžetou, nebo do chráničky se zdrsňeným povrchem kvůli lepšímu přilnutí k betonu. [3]

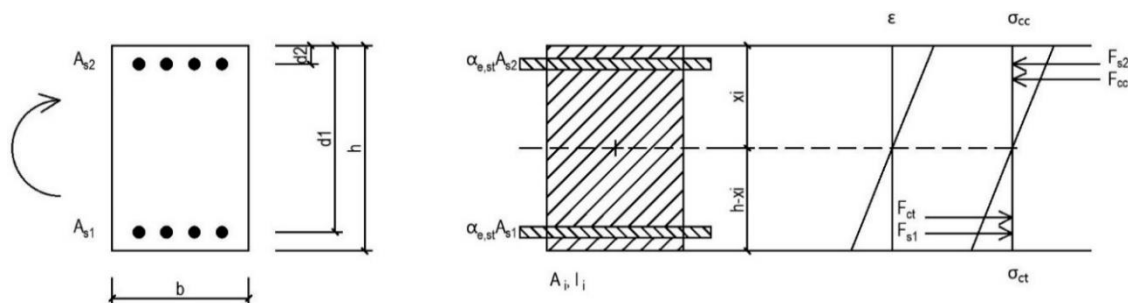


Obrázek 10 - Trubní prostup Permur®[9]

10 VZORCE POUŽITÉ V RÁMCI STATICKÉHO VÝPOČTU

10.1 PRŮŘEZOVÉ CHARAKTERISTIKY IDEÁLNÍHO PRŮŘEZU – KRÁTKODOBÉ PŮSOBNÍ ZATÍŽENÍ [6]

10.1.1 PRŮŘEZ BEZ TRHLIN



Obrázek 11 – Průběh napětí v betonovém oboustranně vyztuženém průřezu bez trhlin

Poměr modulu pružnosti ocele 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:

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

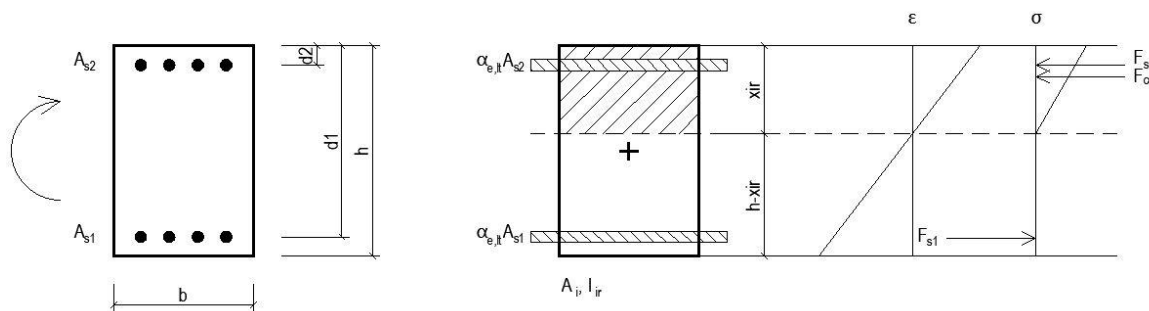
Tahové napětí v betonu:

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

Moment na vzniku trhlin:

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

10.1.2 PRŮŘEZ S TRHLINAMI



Obrázek 12 - Průběh napětí v betonovém oboustranně vyztuženém průřezu s trhlinami

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:

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

10.2 VOLNÉ PŘETVOŘENÍ [6]

- vliv smršťování a dotvarování

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

Smršťování vysycháním $\varepsilon_{cd}(t)$:

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

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:

Tabulka 21 - Hodnoty k_h [1]

h_0 (mm)	k_h
100	1,0
200	0,85
300	0,75
≥ 500	0,70

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 vlhkosti

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

Smršťování autogenní $\varepsilon_{ca}(t)$:

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

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 smrštění:

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

11 LITERATURA

- [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.betontks.cz/sites/default/files/2014-6-68_0.pdf
- [8] Coufal, Robert, Vitek, Jan L., Chmelíková, Kristýna. *Technologie betonu pro vodonepropustné konstrukce – bílé vany*. Beton TKS 2/2015, dostupné na: https://www.betontks.cz/sites/default/files/2015-2-12_0.pdf
- [9] Technologie a materiály firmy Frank – Těsnící systémy – Permur® Trubní prostupy, dostupné na: <https://www.psbrno.cz/cs/permur-trubni-prostupy-34>