

BÍLÉ VANY – KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

133BOKO – BETONOVÉ A OCELOVÉ KONSTRUKCE | 2023

ING. JOSEF NOVÁK, PH.D. | KATEDRA BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ | FAKULTA STAVEBNÍ ČVUT V PRAZE



ZÁKLADNÍ INFORMACE

- Černá vana = konstrukce, u které je vodonepropustnost zajištěna aplikací hydroizolační vrstvy z vodonepropustných materiálů (asfalt, syntetika apod.).
- Bílá vana = konstrukce, která má vedle nosné funkce i těsnící funkci vůči prosakující vodě.
- Uplatnění vhodné technologie se odvíjí od konkrétních podmínek dané stavby – důležitou roli má ochrana proti radonu

PŘEDPISY PRO KONSTRUKČNÍ NÁVRH BÍLÝCH VAN

- Technická pravidla ČBS 02 – Bílé vany - vodotěsné betonové stavby (2006): (neplatí pro sekundární ostění tunelů, vodohospodářské stavby pro sídliště se zvlášť chemickým zatížením)
- Technická pravidla ČBS 04 – Směrnice pro vodonepropustné konstrukce
- ČSN EN - 1992-3 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí: část 3: Nádrže na kapaliny a zásobníky

PROJEKTOVÁ PŘÍPRAVA

- Konstrukční návrh a provedení bílé vany vyžaduje součinnost zodpovědných osob z různých oblastí výstavby:
 - Generální projektant/ architekt - zpravidla zástupce stavebníka.
 - Technolog betonu
 - Projektant konstrukční části.
 - Zhotovitel
 - Podle potřeby: geotechnik, stavební fyzik, projektant TZB atd.

TECHNICKÁ PRAVIDLA ČBS 04

- Vychází z myšlenky, že vodonepropustnost stavebního objektu lze zajistit splněním požadavků na omezení průsaku vody:
 - Betonem (neporušeným)
 - Trhlinami
 - Pracovními a řízenými spárami, dilatačními spárami
 - Zabudovanými prvky (prostupy)

BETON

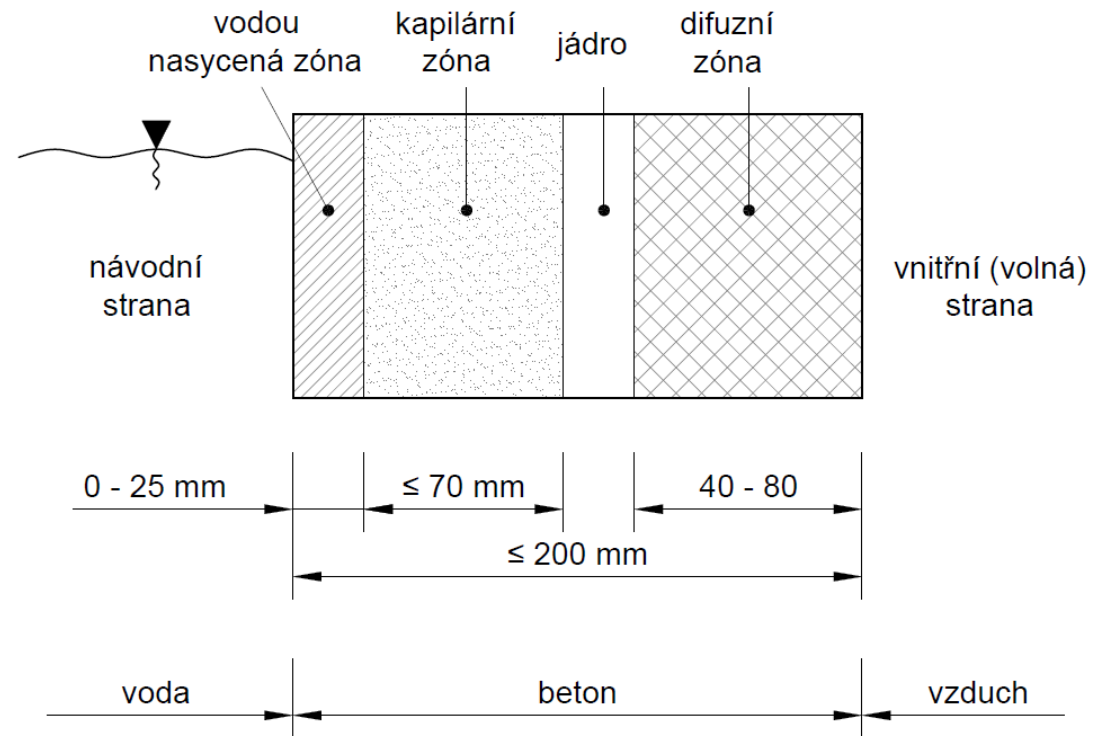
- Vedle požadavků, které jsou dány třídou vlivu prostředí, je třeba dodržet požadavky na beton s nízkým průsakem vody (vodonepropustný beton)
- Doporučení pro složení a vlastnosti betonu (pevnostní třída, vodní součinitel, obsah cementu, obsah vzduchu, jiné požadavky) v závislosti na stupni vlivu prostředí ČSN EN 206+A2 a FprEN 1992-1-1

Tab.1 FprEN 1992-1-1 Indikativní minimální pevnostní třída betonu

Koroze									Poškození betonu							
Vliv karbonatace				Působení chloridů			Působení chloridů od mořské vody		Bez rizika	Cykly zmrazování/rozmrazování			Vliv chemických látek			
XC1	XC2	XC3	XC4	XD1	XD2	XD3	XS1	XS2	XS3	X0	XF1	XF2	XF3	XA1	XA2	XA3
C20/25	C25/30	C30/37		C30/37		C35/45	C30/37	C35/45		C12/15	C30/37	C25/30	C30/37	C30/37		C35/45

BETON – PRACOVNÍ MODEL

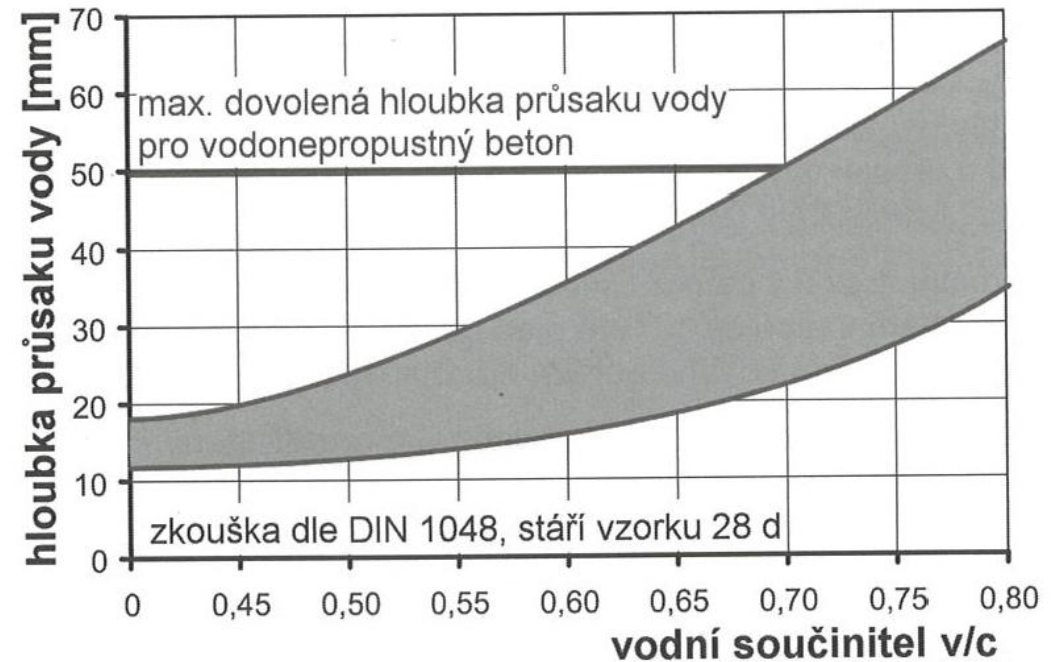
- Přenos vlhkosti betonem lze principiálně popsat čtyřmi různými procesy:
 - Permeace (volný průchod)
 - Kapilární vztlak
 - Difuze
 - Osmóza (zanedbatelná)



Obr. Pracovní model podmínek vlhkosti v průřezu betonového prvku jednostranně vystaveného tlakové vodě (vodonepropustný beton C30/37, $v/c \leq 0,55$ [2])

BETON – PRŮSAK VODY

- Hloubka průsaku betonu se stanoví podle ČSN EN 12390-8 (73 1202)
- Vodonepropustnost betonu se odvíjí od hutnosti struktury materiálu



Obr. Závislost vodou nasycené zóny na vodním součiniteli betonu [2]

BETON – TLOUŠŤKA KONSTRUKCE

- Doporučená min. tloušťka konstrukce musí být volena tak, aby byla dosažena kvalitní betonáž s ohledem na požadované krytí, vyztužení, těsnění spár a zabudované prvky

Konstrukce	Třída namáhání	Způsob provádění		
		Monolit	Filigránové stěny	Prefabrikáty
Stěny	1	240 mm	240 mm	200 mm
	2	200 mm	240 mm (200 mm)	100 mm
Základové desky	1	250 mm	-	200 mm
	2	150 mm	-	100 mm

Tab. Doporučené minimální tloušťky konstrukce [2]

BETON – TLOUŠŤKA KONSTRUKCE

- Třída namáhání definuje způsob působení vody nebo vlhkosti na stavební objekt nebo konstrukci.

Třída namáhání	
1	2
Trvalý kontakt konstrukce s vodou: - podzemí voda, záplava, dočasná tlaková voda - dočasně vzduťá prosakující voda - netlaková voda, výhradně na vodorovných a nakloněných plochách	Kontakt konstrukce s vlhkostí nebo prosakující vodou: - vlhká zemina - nevzduťá prosakující voda, jen u silně propustné zeminy nebo u trvale průtočné drenáže

Tab.2 Třídý namáhání konstrukce [2]

BETON – TLOUŠŤKA KONSTRUKCE

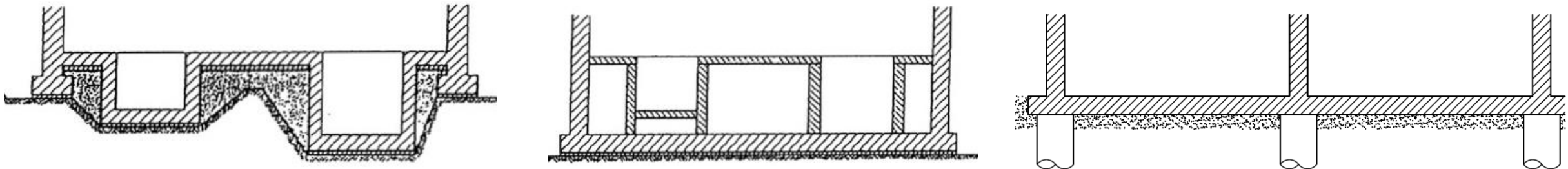
- Pro monolitické a filigránové stěny ve třídě namáhání 1 se navíc musí zohlednit světlá vzdálenost prutů výztuže $b_{w,i}$ z důvodu zaručené odborné montáže vnitřních těsnění spár
 - pro beton s max. zrnem kameniva 8 mm, $b_{w,i} \geq 120$ mm
 - pro beton s max. zrnem kameniva 16 mm, $b_{w,i} \geq 140$ mm
 - pro beton s max. zrnem kameniva 32 mm, $b_{w,i} \geq 160$ mm

BETON – OSTATNÍ ASPEKTY

- Klimatické podmínky, provádění, rovněž zohlednit jevy, které zapříčiňují vznik vynucených namáhání (teplota čerstvého betonu, vývoj hydratačního tepla, ošetřování betonu)
- Dostatečná zpracovatelnost s ohledem na tloušťku zhotovené konstrukce a exponovaných oblastí s vysokým množstvím výztuže

KONSTRUKČNÍ NÁVRH

- Hlavní podstatou konstrukčního návrhu bílé vany je vytvořit konstrukční řešení, které je jasné, jednoduché a jednoznačné z hlediska přenosu zatížení.



Obr. Konstrukční řešení základové desky bílé vany

KONSTRUKČNÍ NÁVRH - TRHLINY

- Požadavky na šířku trhlin se řídí třídou užívání konstrukce:
 - Třída A – vlhké skvrny na povrchu konstrukce nepřipustné
 - Třída B – vlhké skvrny na povrchu konstrukce přípustné
 - Zvláštní smluvní třída

		Třída užívání	
		A	B
Třída namáhání	1	<ul style="list-style-type: none">• Ověřit šířku ohybových trhlin a ověřit výšku tlačené zóny• Ověřit vznik a šířku průběžných trhlin	<ul style="list-style-type: none">• Ověřit šířku ohybových trhlin• Ověřit vznik a šířku průběžných trhlin
	2	<ul style="list-style-type: none">• Ověřit šířku ohybových trhlin• Ověřit vznik a šířku průběžných trhlin	<ul style="list-style-type: none">• Ověřit šířku ohybových trhlin• Ověřit vznik a šířku průběžných trhlin

Tab. Požadavky s ohledem na třídu užívání a namáhání [2]

POŽADAVKY NA TŘÍDU UŽÍVÁNÍ A NAMÁHÁNÍ: A1

- Výška tlačené části průřezu:
 - V případě ohybových trhlin vyvolaných vnějším zatížením nebo vynuceným přetvořením musí být splněna následující podmínka:

$$x \leq \max \{30 \text{ mm}; 1,5 * D_{max}\} \quad (D_{max} = \text{max. průměr kameniva})$$

- Alternativně může být podmínka tlačené části průřezu nahrazena omezením šířky ohybových trhlin (obvykle přísnější podmínka):

Tlakový spád h_v/h_b	Dovolená šířka trhliny (návrhová hodnota)
≤ 10	0,2 mm
> 10 až ≤ 15	0,15 mm
> 15 až ≤ 25	0,10 mm

POŽADAVKY NA TŘÍDU UŽÍVÁNÍ A NAMÁHÁNÍ: A1

- Vznik a šířka průběžných trhlin:
 - Vlivem očekávaných vynucených vnitřních účinků nemohou v žádném okamžiku v betonu vzniknout průběžné trhliny.
 - U monolitických konstrukcí a filigránových stěn s těsnými řízenými nebo dilatačními spárami a u prefabrikátů se posudek vzniku průběžných trhlin považuje za vyhovující, pokud je vzdálenost řízených spár navržena tak, že vlivem vnějších zatížení a vynucených přetvoření nemohou mezilehlých oblastech vzniknout trhliny.

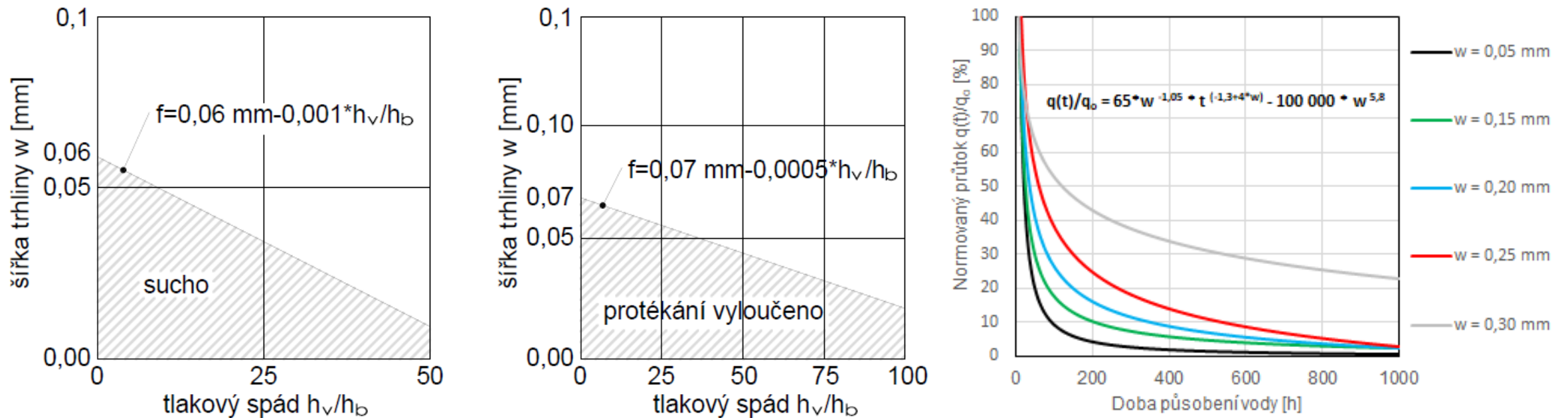
POŽADAVKY NA TŘÍDU UŽÍVÁNÍ A NAMÁHÁNÍ: A1

- Vznik a šířka průběžných trhlin:
 - Alternativně lze připustit dočasné průběžné trhliny, přičemž musí mít **samotěsnicí schopnost** a musí se uplatnit řádná klimatická (nucené větrání) a stavebně fyzikální opatření (po odeznění průsaku vody). Samotěsnicí schopnost se neuvažuje pro agresivní vodu s koncentrací > 40 mg/l CO_2 (odvápňující kyselina) a $\text{pH} < 5,5$

Tlakový spád h_v / h_b	Dovolená šířka trhliny (návrhová hodnota)
≤ 10	0,2 mm
> 10 až ≤ 15	0,15 mm
> 15 až ≤ 25	0,10 mm

SAMOTĚSNÍČÍ SCHOPNOST

- Samotěsníčí schopnost trhlin zjištěna experimentálně.



Obr. Průsak vody průběžnou trhlinou v čase a časový průběh průsaky vody [02]

POŽADAVKY NA TŘÍDU UŽÍVÁNÍ A NAMÁHÁNÍ: A1

- Samotěsnící schopnost trhlin zjištěna experimentálně.
 - Proces podmíněn působením vody s různou intenzitou.
 - Zcela suchý povrch konstrukce nelze všeobecně očekávat ani po ukončení procesu samotěsnění – nutná další opatření.
 - Proces samotěsnění má za následek větší nebo menší znečištění volného povrchu konstrukce.
 - Během životnosti konstrukce může nastat významnější zvětšení šířky trhlin, které již byly v důsledku samotěsnění stabilizovány. Tím se může opětovně spustit proces samotěsnění s jeho výše uvedenými důsledky.

POŽADAVKY NA TŘÍDU UŽÍVÁNÍ A NAMÁHÁNÍ: B1

- Šířka ohybových trhlin:
 - Ohybové trhliny vyvolené vnějším zatížením nebo vynuceným přetvořením musí respektovat předepsané omezení (tabulka níže)
- Vznik a šířka průběžných trhlin:
 - Lze připustit průběžné trhliny, přičemž musí mít samotěsnící schopnost. Samotěsnící schopnost se neuvažuje pro agresivní vodu s koncentrací $> 40 \text{ mg/l CO}_2$ (odvápňující kyselina) a $\text{pH} < 5,5$.

Tlakový spád h_v/h_b	Dovolená šířka trhliny (návrhová hodnota)
≤ 10	0,2 mm
> 10 až ≤ 15	0,15 mm
> 15 až ≤ 25	0,10 mm

POŽADAVKY NA TŘÍDU UŽÍVÁNÍ A NAMÁHÁNÍ: A2 A B2

- Šířka ohybových trhlin:
 - Ohybové trhliny vyvolené vnějším zatížením nebo vynuceným přetvořením musí být menší než 0,2 mm
- Vznik a šířka průběžných trhlin:
 - Vlivem očekávaných vynucených vnitřních účinků mohou vzniknout trhliny menší než 0,2 mm

KONSTRUKČNÍ NÁVRH – DŮLEŽITÉ ASPEKTY

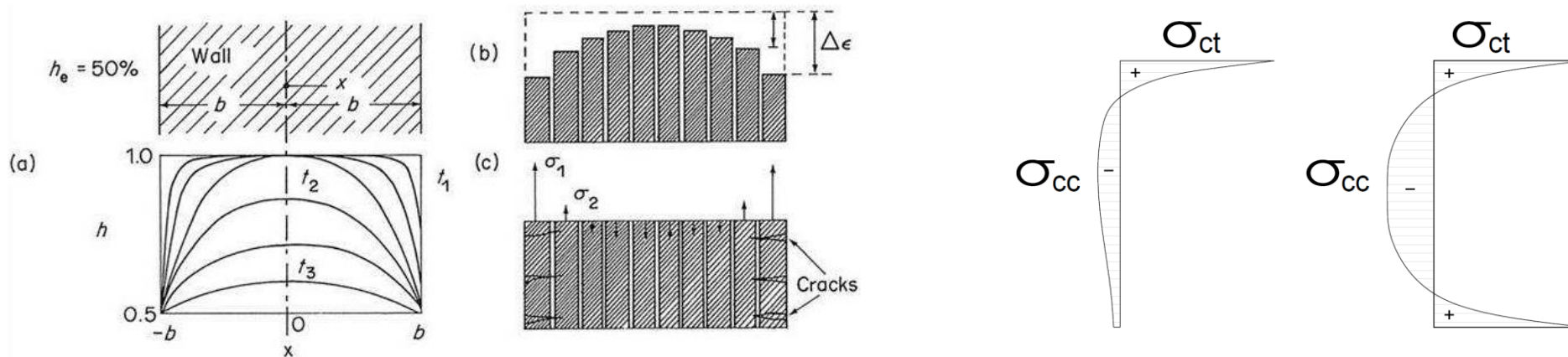
- Ověřit chování konstrukce ve všech stavech vyvolávající trhliny - fáze tuhnutí, stavební stavy a provozní podmínky.
- V konstrukčním návrhu zohlednit časově závislé vlastnosti betonu.
- U specifických konstrukcí zohlednit vliv „efektivního stáří“ betonu (např. masivní konstrukce)

KONSTRUKČNÍ NÁVRH – ZATÍŽENÍ

- Přímé silové účinky vznikají působením předpokládaného silového zatížení
 - Běžné stálé a užitné zatížení
 - Zemní tlak, voda, skladovaný materiál
- Nepřímé silové účinky vznikají v důsledku:
 - Teplotních účinků vyvolaných uvolňováním hydratačního tepla při tuhnutí betonu nebo klimatickými podmínkami (např. sluneční záření) po dobu výstavby a během užívání
 - Smršťování nebo bobtnání betonu
 - Nerovnoměrného sedání nebo zvedání podloží

KONSTRUKČNÍ NÁVRH – SMRŠŤOVÁNÍ

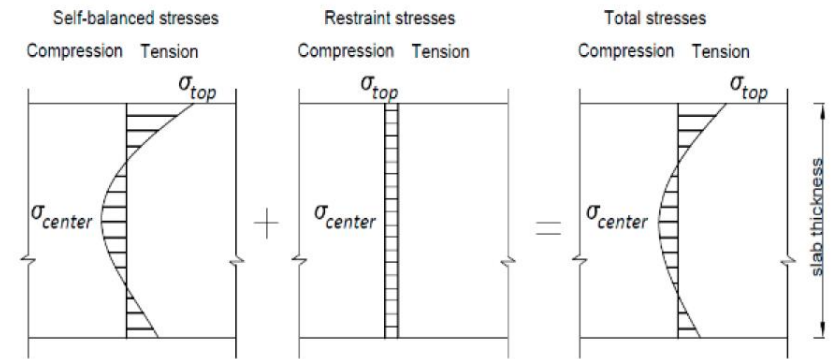
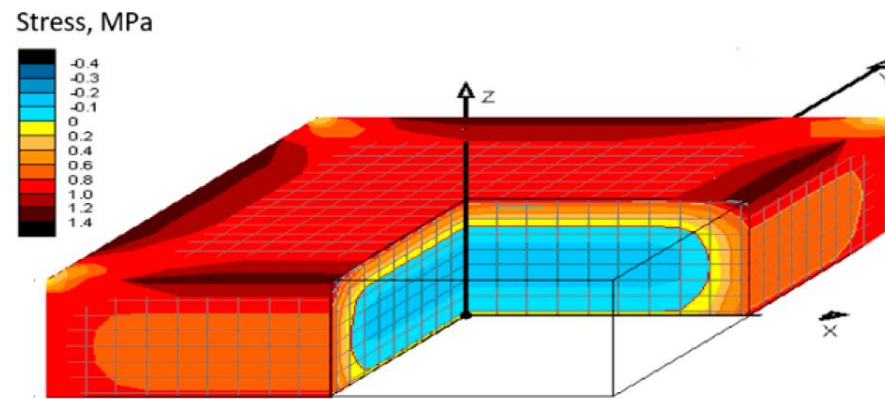
- Autogenní smršťování – vzniká v důsledku chemické reakce, která probíhá při hydrataci cementu
- Smršťování vysycháním – vzniká v důsledku vypařování volné vody do okolního prostředí



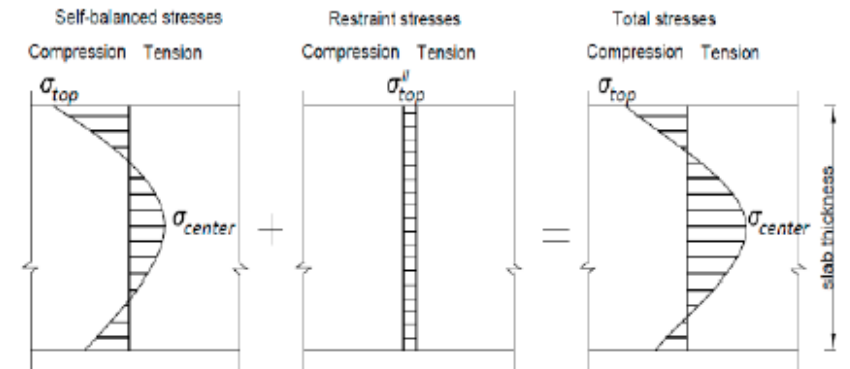
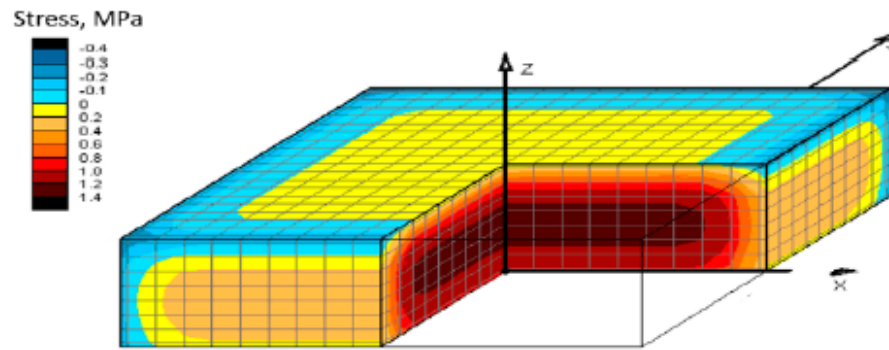
Obr. Průběh vysychání a napětí od vysychání na průřezu [07]

KONSTRUKČNÍ NÁVRH – VÝVIN HYDRATAČNÍHO TEPLA

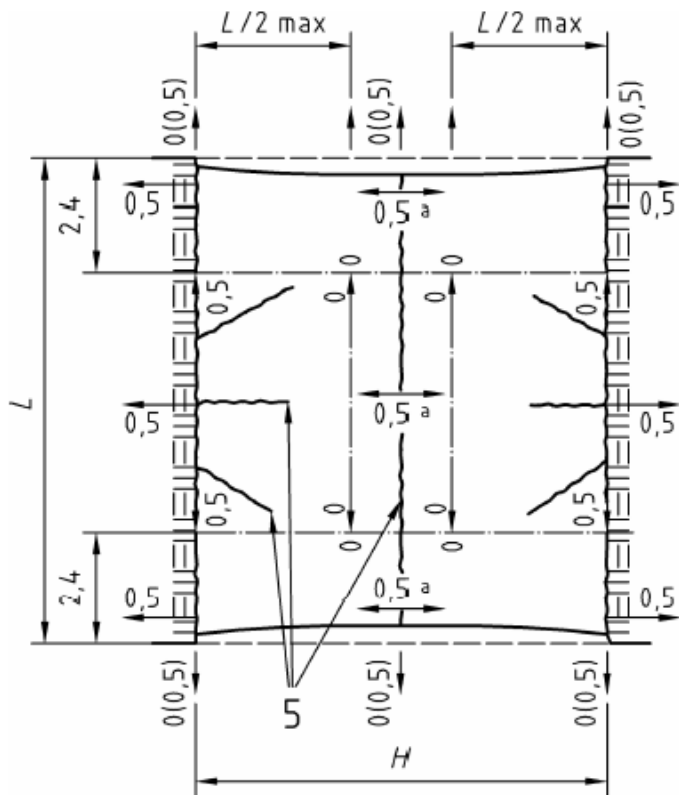
■ Ohřev [6]:



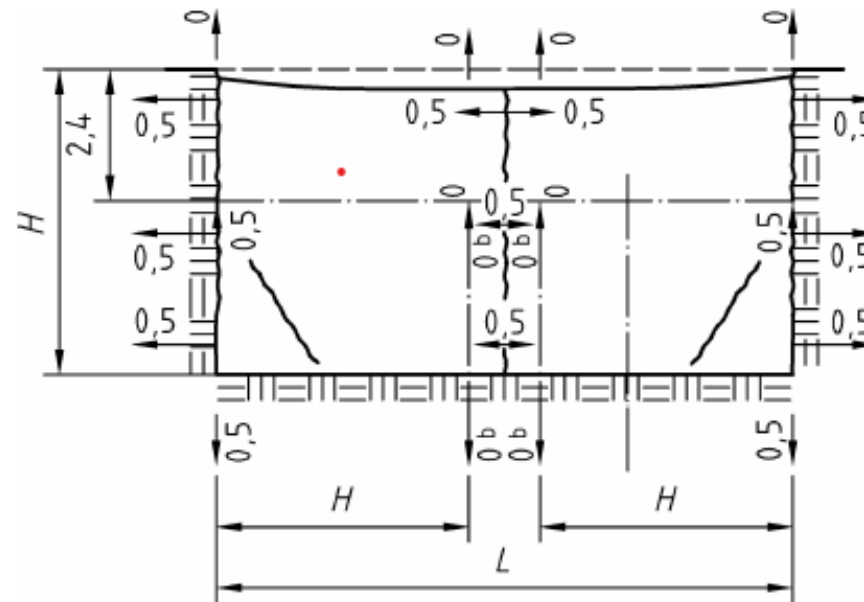
■ Ochlazení [6]:



KONSTRUKČNÍ NÁVRH – OMEZENÍ VYNUCENÝCH PŘETVOŘENÍ



Vodorovná deska mezi vetknutými konci



Pole stěnové konstrukce

Obr. Příklady omezení vynucených přetvoření [08]

KONSTRUKČNÍ NÁVRH – KONSTRUKČNÍ OPATŘENÍ

- Volný průběh deformací lze u základových desek zajistit:
 - Vyloučením nepotřebných podepření a odskoků v základové spáře (výtahové šachty, instalační jádra, základy jeřábů)
 - Vhodným rozvržením betonážních úseků a postupu betonáže.
 - Aplikací smršťovacích pruhů.
 - Uplatněním kluzné vrstvy pod základovou desku.
- Omezení deformace stěn vhodným návrhem betonážních úseků.

KONSTRUKČNÍ NÁVRH – KLUZNÉ VRSTVY

- Experimentálně zjištěno, že se součinitel tření mění v závislosti na tloušťce desky.
- Účinnost kluzné vrstvy významně ovlivněna kvalitou povrchu a rovinností podkladní vrstvy.
- Aplikace kluzných médií vložených mezi fólie s sebou nese riziko znečištění, které může snížit efektivitu opatření.

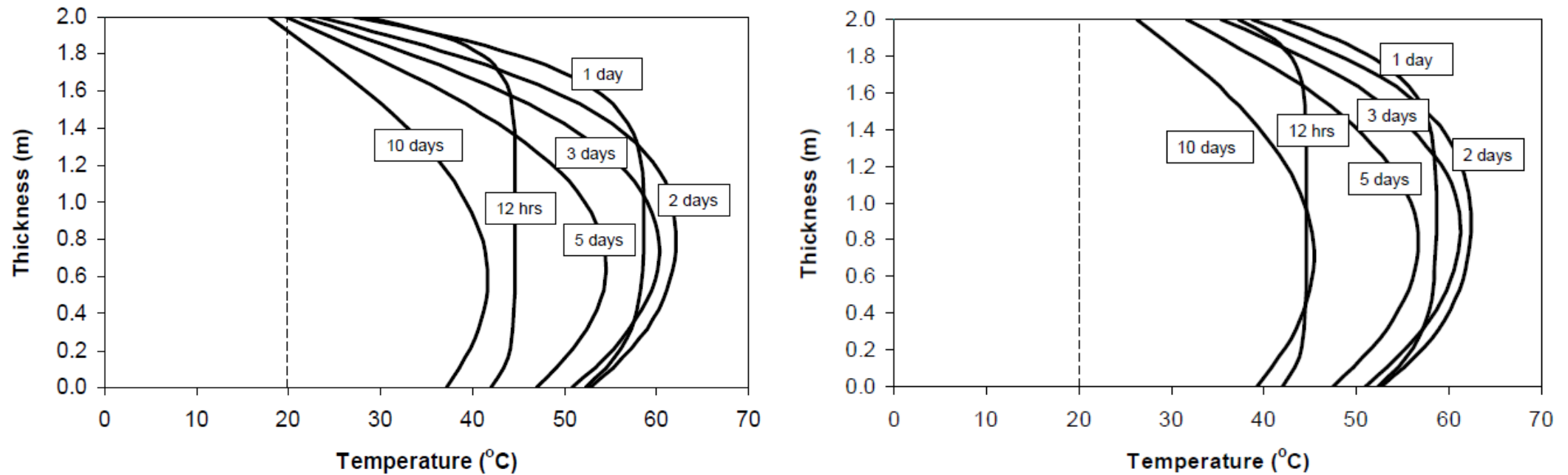
KONSTRUKČNÍ NÁVRH – KLUZNÉ VRSTVY

Kluzná vrstva	Úprava podkladní vrstvy	Tloušťka desky	Součinitel tření
Dvojvrstvá, stavební fólie (2*PE 0,2 mm) bez vloženého kluzného média	Strojně hlazený povrch betonové vrstvy	Nemá vliv	0,8
	Hrubě (běžně) hlazená betonová vrstva	300 mm	2,0
		1 500 mm	1,3
Dvojvrstvá silnější fólie se silikonovým mazivem	Strojně hlazený povrch betonové vrstvy	Zanedbatelný vliv	0,3
	Hrubě (běžně) hlazená betonová vrstva		0,8
Dva bitumenové pásy bez vloženého kluzného média	Strojně hlazený povrch betonové vrstvy	300 mm	0,45
		≥ 1 000 mm	0,20
Žádná	Upravená štěrkopísková vrstva (nesoudržná zemina – vnitřní tření 1,1-1,5)	200 mm	≥ 1,4
		800 mm	0,90
	Vrstva písku o mocnosti 60 až 100 mm a zrnitosti 0,35 mm (vnitřní tření 0,75-0,85)	Nemá vliv	0,70

KONSTRUKČNÍ NÁVRH – TECHNOLOGICKÁ A PROVÁDĚCÍ OPATŘENÍ

- Použití betonu s vhodnou recepturou, např. receptura betonu se snížením vývojem hydratačního tepla.
- Ochrana mladého betonu před vysycháním (např. silné větrů)
- Ochlazování konstrukce
- Zastínění konstrukce a její ochrana před slunečním svitem.
- Ochrana před teplotními šoky (např. ochlazení způsobené bouřkami)

KONSTRUKČNÍ NÁVRH – TECHNOLOGICKÁ A PROVÁDĚCÍ OPATŘENÍ



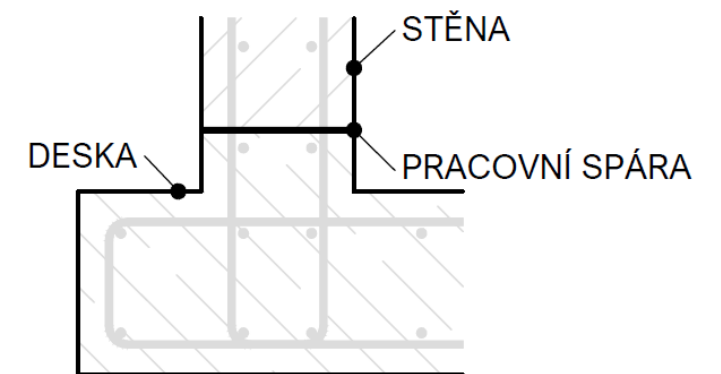
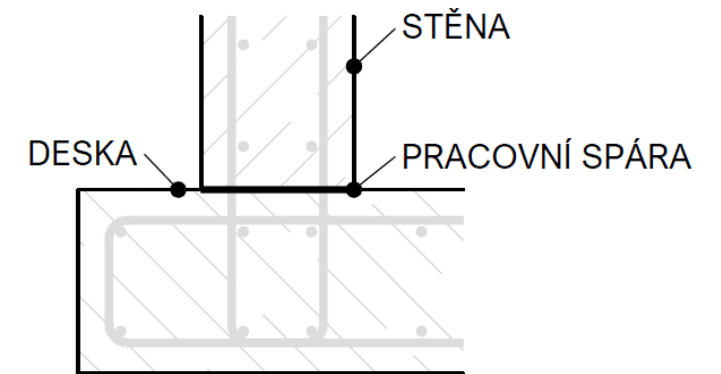
Obr. Časově závislý vývoj teploty po průřezu základové desky tloušťky 2 m během hydratace: bez zvláštních opatření (vlevo) a na horní povrch desky umístěna tepelná izolace (vpravo) [5]

TĚSNĚNÍ SPÁR

- Spára = průřez na styku dvou konstrukčních částí nebo úseků betonáže.
- Rozlišují se následující typy:
 - Dilatační spáry – spára mezi dvěma konstrukčními částmi nebo úseky umožňující jejich rozdílné deformace.
 - Pracovní spáry - spára na styku dvou úseků betonáže se soudržností. Pracovní spáry bez utěsnění se považují za průběžné trhliny.
 - Řízené spáry – spára, která vzniká v důsledku cíleného oslabení průřezu (min. 1/3 výšky průřezu)

PRACOVNÍ SPÁRY

- Typickou pracovní spárou vzniká mezi základovou deskou a stěnou.
- Pro tloušťky stěn min. 300 mm se umožňují dvě řešení pro zajištění vodonepropustnosti:
 - Aplikace těsnění (doporučeno)
 - Mechanické ošetření spáry (použití u trvale tlačených spár)

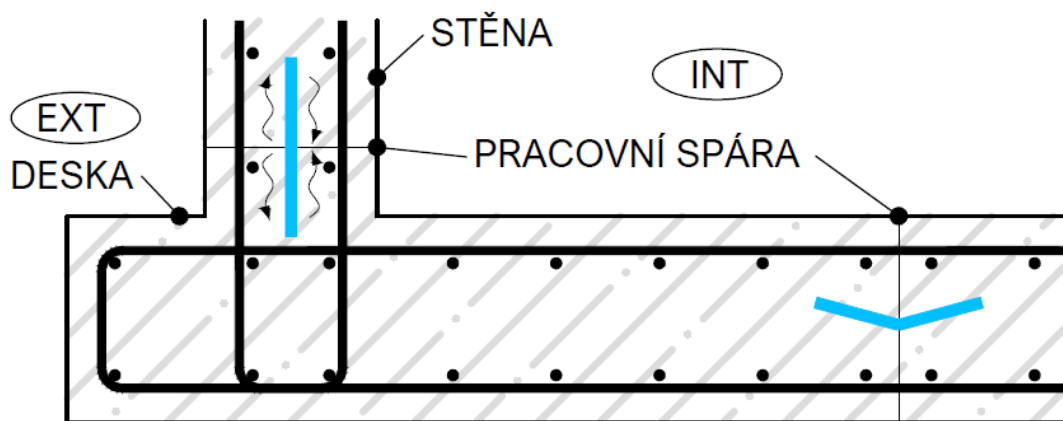


TĚSNĚNÍ PRACOVNÍCH SPÁR

- Nezbytné používat ověřené stavební výrobky s průkazem použitelnosti, který zaručuje splnění rozhodujících požadavků pro daný účel.
- Rozhodující parametry použití: způsob namáhání výška vodního sloupce, deformační schopnost, odolnost vůči kolísání hladiny vodního sloupce, životnost, podmínky správnou manipulaci a osazení (příprava podkladu, teplotní a vlhkostní omezení, atd.)
- Těsnění: těsnící plechy bez povrstvení a s povrstvením, spárové pásy, vnější pásová těsnění, těsnící trubky, injektážní hadice, kompresí těsnění, bobtnací pásy, pásy z bobtnajícího materiálu

TĚSNĚNÍ PRACOVNÍCH SPÁR – TĚSNÍCÍ PLECHY BEZ POVRSTVENÍ

- Plechy musí být v betonu zabudovány oboustranně (spára v podélné ose plechu)
- U plechů bez povrstvení může dojít k pokluzu a vznikem drobných trhlin v oblasti spáry, které mohou vést k průsaky vody (alternativa plechy s povrstvením)

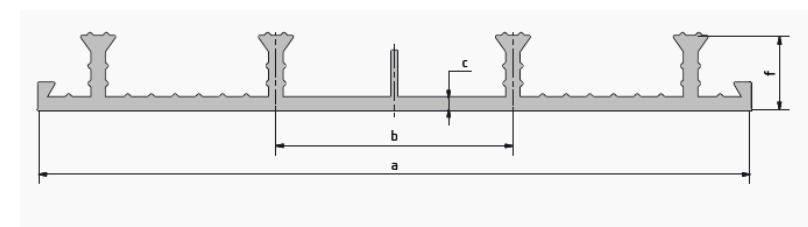


TĚSNÍCÍ PLECHY BEZ POVRSTVENÍ

		Třída namáhání 1
Třída užívání	A	<ul style="list-style-type: none">▪ Tloušťka plechu min. 1,5 mm. Použití pouze pro pracovní spáry, přičemž pro výšku vodního sloupce 3 m má být šířka plechu 250 mm, pro 3-10 m musí být šířka plechu min. 300 mm.▪ V místech styku (podélném směru) se spojuje svařováním, lepením nebo lisovaným spojem s těsnicí vložkou.
	B	<ul style="list-style-type: none">• Tloušťka plechu min. 1,5 mm. Použití pro pracovní a řízené spáry, přičemž pro výšku vodního sloupce 3 m má být šířka plechu 250 mm, pro 3-10 m musí být šířka plechu min. 300 mm.• V místech styku (podélném směru) se spojuje svařováním, lepením nebo lisovaným spojem s těsnicí vložkou. Od tloušťky stěny 500 mm a tlakovém spádu menším jak 5 [-] se může stykovat přesahem. Přesah min. 300 mm, světlá vzdálenost mezi konci plechy musí být min. trojnásobek max. velikosti zrna kameniva a zároveň alespoň 50 mm.

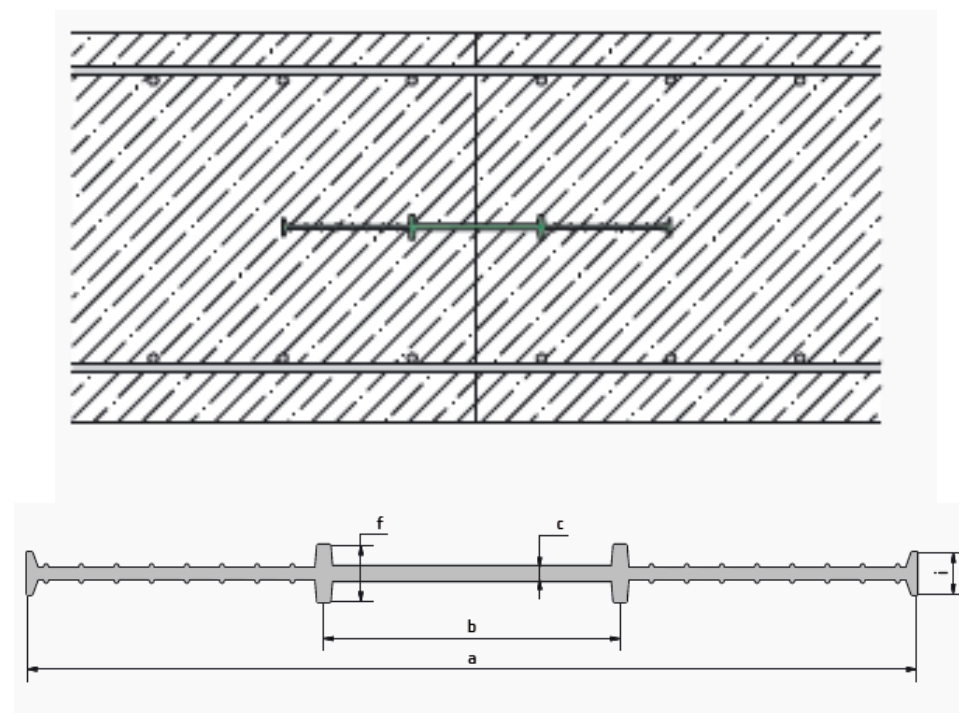
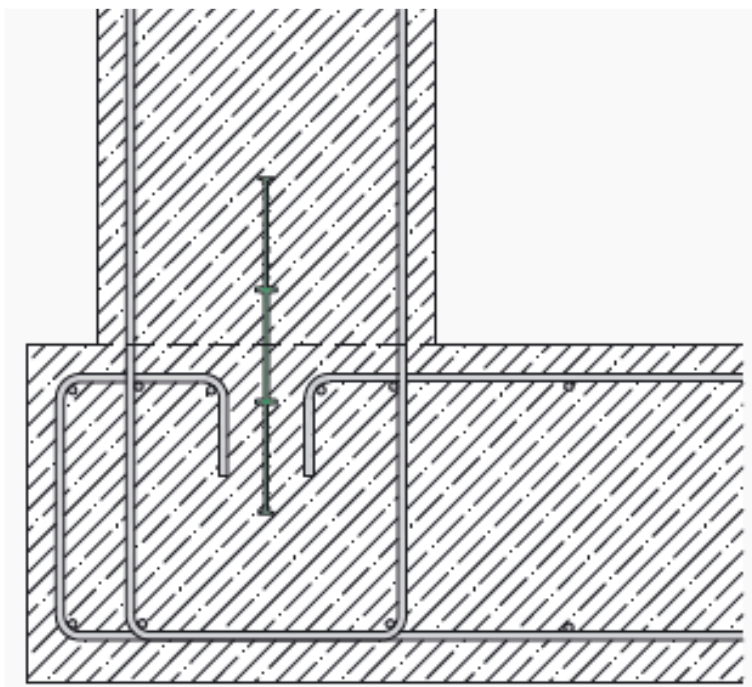
TĚSNÍCÍ PÁSY

- Vnitřní x vnější
- Široké uplatnění: dilatační spáry, řízené spáry, pracovní spáry
- Problémy s kvalitou provedení u těsnění s lamelami v kolmém směru na směr betonáž.
- Systémy, které obsahují typizované prvky pro křížení apod.



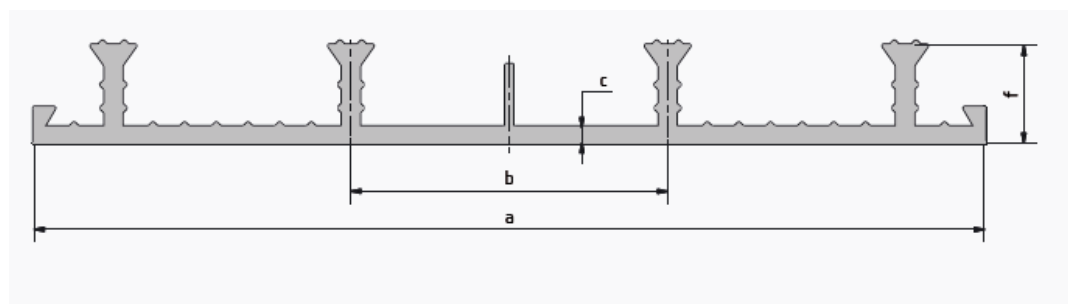
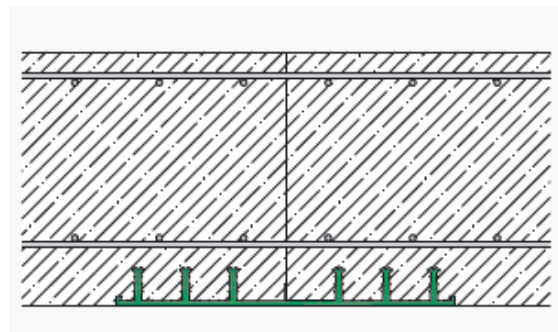
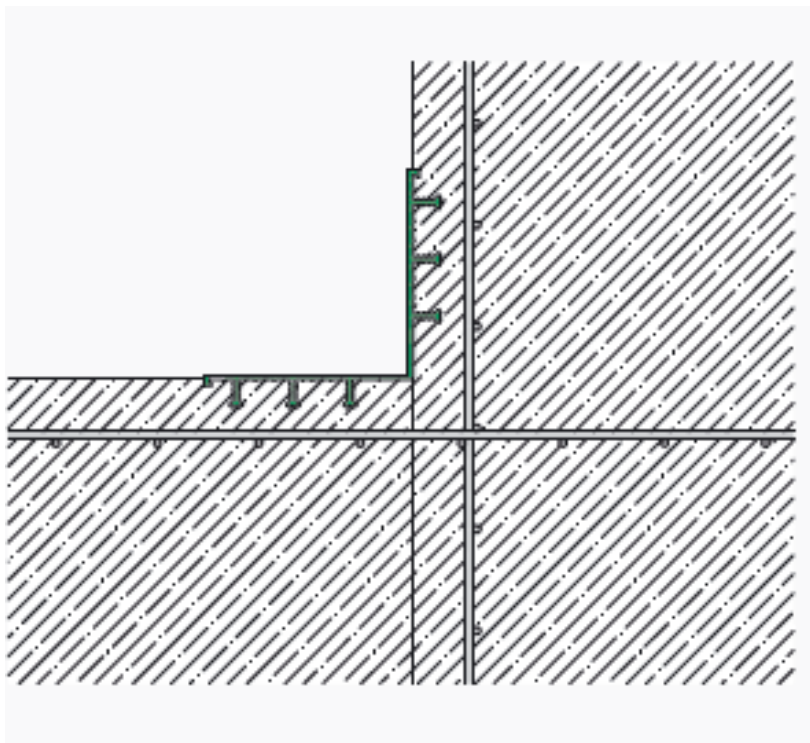
Obr. Obrázky převzaty z podkladů společnosti PohlCon (<https://pohlcon.cz/>)

VNITŘNÍ TĚSNÍCÍ PÁSY – PRACOVNÍ SPÁRY



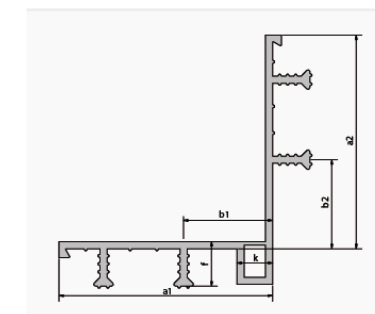
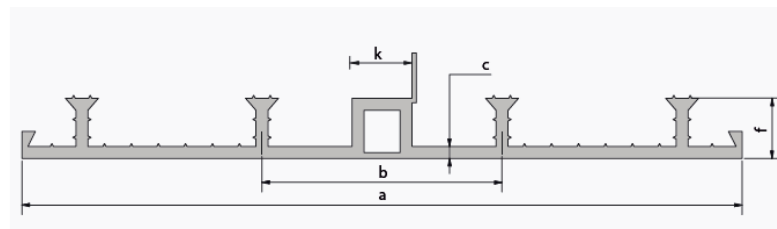
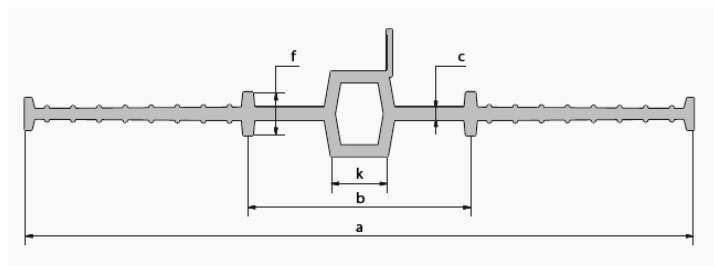
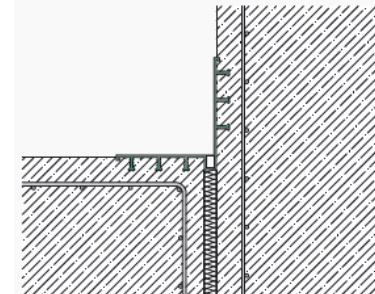
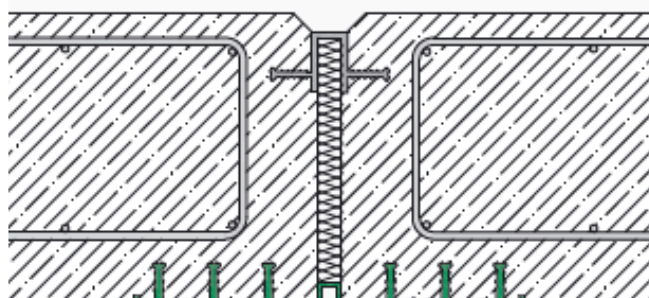
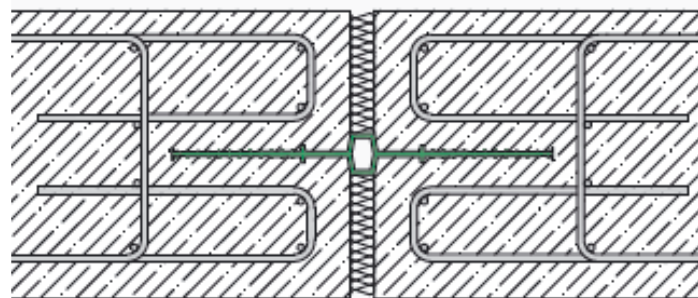
Obr. Obrázky převzaty z podkladů společnosti PohlCon (<https://pohlcon.cz/>)

VNĚJŠÍ TĚSNÍCÍ PÁSY – PRACOVNÍ SPÁRY



Obr. Obrázky převzaty z podkladů společnosti PohlCon (<https://pohlcon.cz/>)

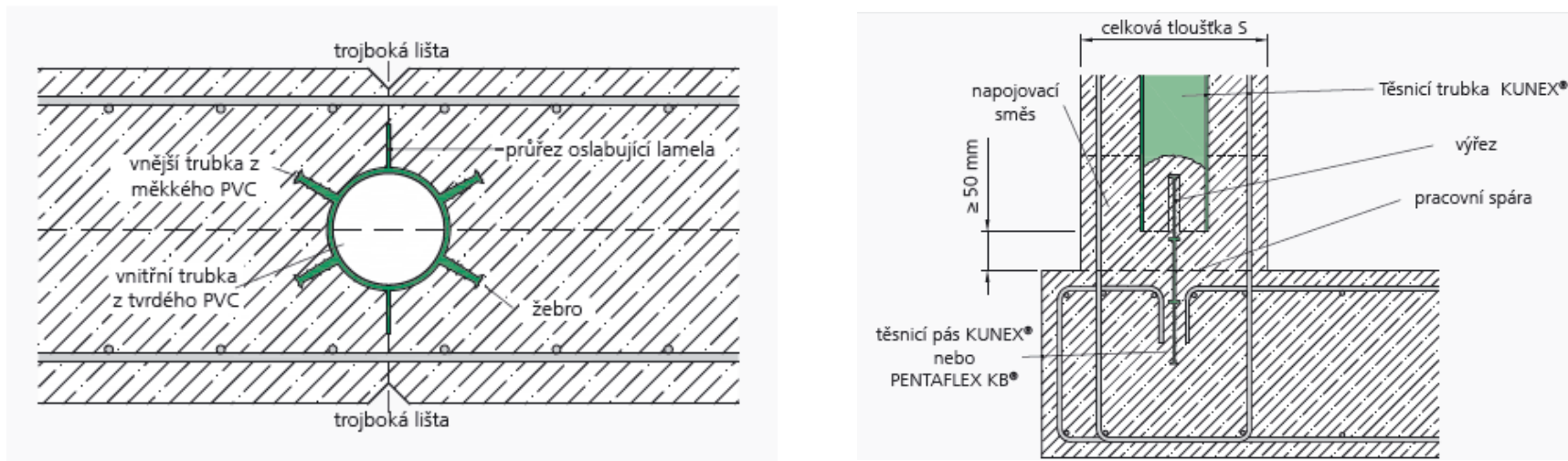
VNITŘNÍ A VNĚJŠÍ TĚSNÍCÍ PÁSY – DILATAČNÍ SPÁRY



Obr. Obrázky převzaty z podkladů společnosti PohlCon (<https://pohlcon.cz/>)

TĚSNĚNÍ – TRUBKY

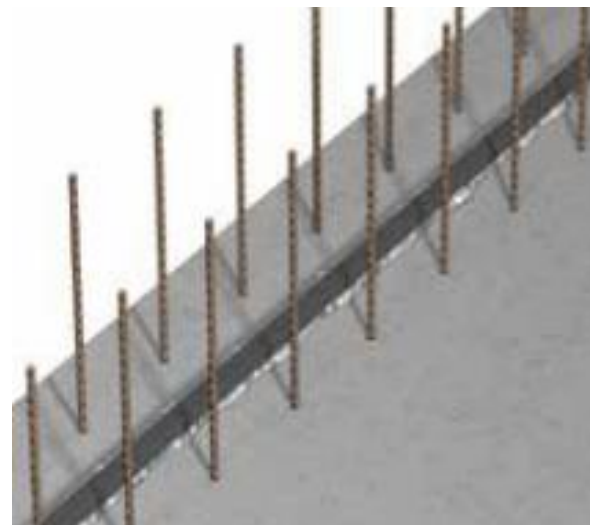
- Smršťovací, resp. těsnící trubky se mohou používat jen ve svislých řízených spárách.



Obr. Obrázky převzaty z podkladů společnosti PohlCon (<https://pohlcon.cz/>)

TĚSNĚNÍ – BOBTNAJÍCÍ PÁSKY

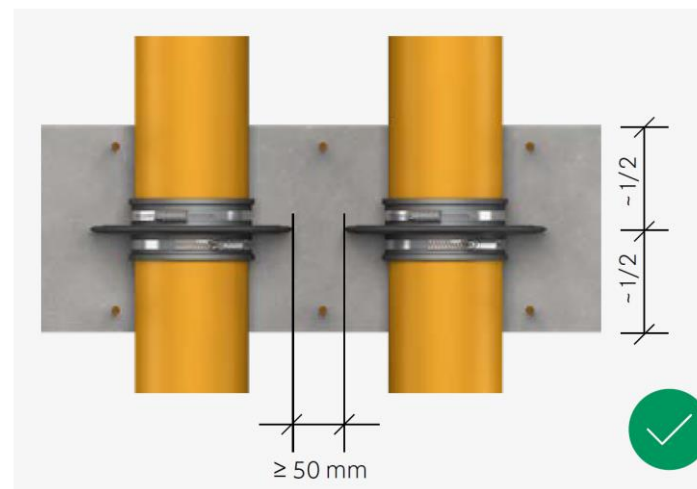
- Změny chování v závislosti na přítomnosti vody



Obr. Obrázky převzaty z podkladů společnosti PohlCon (<https://pohlcon.cz/>)

TĚSNĚNÍ – PROSTUPY

- U zabudovaných prvků je vodonepropustnost zajištěna osazením typizovaných manžet



Obr. Obrázky převzaty z podkladů společnosti PohlCon (<https://pohlcon.cz/>)



DĚKUJI ZA POZORNOST

ZDROJE

- [01] Česká betonářská a ČBS Servis. Bílé vany: vodotěsné betonové konstrukce : technická pravidla ČBS 02. 2., upr. vyd. vyd. Praha: ČBS Servis, 2007. ISBN 8087158032;9788087158036
- [02] Česká betonářská a ČBS Servis. Vodonepropustné betonové konstrukce – překlad německé směrnice a komentáře: technická pravidla ČBS 04. 1.. vyd. Praha: ČBS Servis, 2015. ISBN 97880903806-9-1;
- [03] Český normalizační. ČSN EN 1992-3 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí: část 3: Nádrže na kapaliny a zásobníky = Eurocode 2 - Design of concrete structures - Part 3: Liquid retaining and containment structures
- [04] ČSN EN 12390-8 (73 1202) Zkoušení ztvrdlého betonu – část 8: Hloubka průsaku tlakovou vodou
- [05] P.B. Bamforth. CIRIA C660 Early-age thermal crack control in concrete.
- [06] Barbara Klemczak, Aneta Zmij, Insight into Thermal Stress Distribution and Required Reinforcement Reducing Early-Age Cracking in Mass Foundation Slabs, Materials.
- [07] Marek Vinkler, Jaroslav Procházka, Návrh výztuže bílé vany s ohledem na šířku trhliny. BETON TKS, 5/2017.
- [08] ČSN EN 1992-3. Navrhování betonových konstrukcí – část 3: Nádrže na kapaliny a zásobníky