

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra betonových a zděných konstrukcí



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Návrh čistírny odpadních vod v Kamenici
(Design of sewage treatment plant in Kamenice)

Alena Malá

2020

Vedoucí práce: Ing. Martin Tipka, Ph.D.

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Malá** Jméno: **Alena** Osobní číslo: **468396**
Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra betonových a zděných konstrukcí**
Studijní program: **Stavební inženýrství**
Studijní obor: **Konstrukce pozemních staveb**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Návrh čistírny odpadních vod v Kamenici

Název bakalářské práce anglicky:

Design of sewage treatment plant in Kamenice

Pokyny pro vypracování:

Technologie čištění odpadních vod a její dopady na stavební konstrukce
Problematika těsnění podzemních železobetonových nádrží
Konstrukční návrh čistírny odpadních vod v Kamenici

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Martin Tipka, Ph.D., katedra betonových a zděných konstrukcí FSV

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **17.02.2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **24.05.2020**

Platnost zadání bakalářské práce: _____

Ing. Martin Tipka, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Jiří Máca, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Studentka bere na vědomí, že je povinna vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studentky

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma návrh čistírny odpadních vod v Kamenici zpracovala samostatně za pomoci všech uvedených zdrojů, dosud získaných znalostí a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce.

V Praze dne:

.....

Alena Malá

Poděkování

Touto cestou bych ráda poděkovala svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Martinu Tipkovi, Ph.D. za užitečné a odborné rady, ochotný přístup, trpělivost a pomoc během vypracování této bakalářské práce. Rovněž mé poděkování patří i odborným pracovníkům firmy PROVOD – inženýrská společnost, s.r.o, za poskytnuté informace a materiály, včetně prohlídky staveb.

Abstrakt

Tématem bakalářské práce je návrh čistírny odpadních vod v Kamenici. Rešeršní část je zaměřena na technologii ČOV a její dopady na konstrukce, problematiku těsnění podzemních nádrží a její návrh. V této části je návrh vodonepropustné konstrukce posouzen v rámci českých norem i technických pravidel. Druhou částí bakalářské práce je statický výpočet nádrží ČOV v Kamenici. V rámci návrhu byl zpracován předběžný a podrobný návrh nádrží. Podrobný návrh výztuže stěn a desek nádrže byl posouzen na mezní stav použitelnosti a únosnosti. V rámci výkresové dokumentace byly zpracovány výkresy tvaru a výztuže základové desky a desky nad kalojemem. Dále byl zpracován výkres výztuže stěn nádrže.

Klíčová slova

Čistírna odpadních vod, železobeton, vodonepropustný beton, bílá vana, mezní stav použitelnosti, šířka trhlin, těsnění spár.

Abstract

Topic of the bachelor thesis is the design of the waste water treatment plant in Kamenice. The research part is focused on the technology of the waste water treatment plant and its effect on construction, issues of sealing of the underground tanks and its design. In this part the design of the waterproof construction was evaluated according to Czech standards and technical regulations. The second part of the bachelor thesis is made of the static calculation of WWTP tanks in Kamenice. Preliminary and detailed designs of the tank were prepared as a part of the design. Detailed design of the wall reinforcement and the tank slabs was evaluated for the limit state of serviceability and load-bearing capacity. Drawings of the shape and reinforcement of the base plate and the plate above the sludge tank were prepared as a part of the drawing documentation. Furthermore, a drawing of the tank wall reinforcement was also prepared.

Key words

Waste water treatment plant, reinforced concrete, water-resistant concrete, white tank, limit state of serviceability, clear opening, sealing of joints.



Obsah

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	9
1 ÚVOD.....	10
2 ODPADNÍ VODY A ZPŮSOB JEJICH ČIŠTĚNÍ	11
2.1 Historie čištění odpadních vod	11
2.1.1 Ústřední čistírna odpadních vod (ÚČOV).....	13
2.1.2 Nástup komunálních ČOV v 80. a 90. letech	14
2.2 Princip vlastního čištění odpadních vod	14
2.2.1 Mechanické čištění	14
2.2.2 Biologické čištění	15
2.2.3 Dočišťování odpadních vod.....	16
2.2.4 Kalové hospodářství	16
2.3 Objekty čištění odpadních vod	17
2.3.1 Mechanické čištění	18
2.3.2 Biologické čištění	21
2.3.3 Usazovací nádrže.....	22
2.3.4 Kalové hospodářství	23
3 VODONEPROUSTNÉ ŽELEZOBETONOVÉ KONSTRUKCE	24
3.1 Zatřídění konstrukce.....	26
3.1.1 TP ČBS 02.....	26
3.1.2 TP ČBS 04.....	28
3.1.3 ČSN EN 1992-3.....	29
3.2 Dimenzování vodonepropustných konstrukcí	31
3.2.1 TP ČBS 02.....	31
3.2.2 TP ČBS 04.....	32
3.2.3 ČSN 1992-1-1.....	32
3.2.4 Vyztužení konstrukce	33
3.3 Zatížení nádrží.....	33
3.3.1 TP ČBS 02.....	34
3.3.2 TP ČBS 04.....	35
3.3.3 Dle ČSN 1992-3 a 1991-4	35
3.4 Technologie vodonepropustného betonu	36
3.4.1 Ochrana betonu.....	37



3.5	Trhliny	39
3.5.1	Omezení trhlin dle TP ČBS 02	41
3.5.2	Omezení trhlin dle TP ČBS 04	41
3.5.3	Omezení trhlin dle ČSN EN 1992-1-1	42
3.5.4	Omezení trhlin dle ČSN EN 1992-3	43
3.5.5	Tření v základové spáře	45
3.5.6	Omezené přetvoření stěny	46
3.6	Stavební spáry	46
3.6.1	Navrhování spár	49
3.6.2	Těsnící systémy	50
3.7	Prostupy	54
4	KONSTRUKČNÍ NÁVRH.....	57
5	ZÁVĚR	59
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ A LITERATURY	60
	Normy, technická pravidla	60
	Odborná literatura a články.....	60
	Webové zdroje.....	62
	SEZNAM PŘÍLOH	
	A Technická zpráva	
	B Statický výpočet	
	C Výkresová dokumentace	
	C1 Výkres tvaru	
	C2 Výkres výztuže základové desky	
	C3 Výkres výztuže stěn	
	C4 Výkres výztuže desky nad kalojemem	



Seznam použitých zkratk

ČBS	Česká betonářská společnost
ČOV	Čistírna odpadních vod
MSÚ	Mezní stav únosnosti
MSP	Mezní stav použitelnosti
TP	Technická pravidla
WWTP	Waste water treatment plant



1 Úvod

Tématem bakalářské práce je konstrukční návrh betonových nádrží čistíren odpadních vod, které jsou nedílnou součástí civilizované společnosti.

Začátek rešeršní části je zaměřen na význam pojmu odpadní voda, počátky čištění odpadních vod a na technologii čištění dnes. Druhá část rešerše je zaměřena na vodonepropustné železobetonové konstrukce. Čistírny odpadních vod se z důvodu náročnosti konstrukce navrhují jako bílé vany, proto jim je věnována největší část bakalářské práce. V této části lze nalézt rozbor norem a technických předpisů, podle kterých se v České republice navrhují bílé vany. Součástí rešeršní části je i řešení prostupů a stavebních spár či ochrana betonových konstrukcí.

Druhou částí bakalářské práce je návrh nádrží čistírny odpadních vod v Kamenici. Jedná se o praktickou ukázkou rešeršní části. Návrh byl proveden podle českých norem. Nádrže ČOV byly posouzeny na mezní stav použitelnosti a mezní stav únosnosti. Z důvodu agresivního prostředí bylo rozhodujícím kritériem omezení šířky trhlin. Výstupem praktické části jsou výkresy tvaru a výztuže nádrží.



2 Odpadní vody a způsob jejich čištění

Odpadní vody jsou vody, kterým byly změněny lidskou činností jejich vlastnosti. Odpadní vody se dělí na splaškové, průmyslové, srážkové a balastní [24].

Splaškové vody jsou ty, které lidé vypustí z bytových a rodinných domů a z občanské vybavenosti do veřejné kanalizace. Řadíme mezi ně např. vody vypuštěné z koupelen, toalet či kuchyní.

Průmyslové vody jsou vypuštěné z průmyslových a zemědělských provozů. Tyto vody jsou speciální tím, že jsou různorodé, jelikož objemy a složení závisí na odvětví a technologii [26]. Dnes má mnoho průmyslových provozů vlastní čistírnu odpadních vod [42].

Srážkové vody se nacházejí v atmosféře. Jsou to vody, v různém skupenství, které se ještě nedotkli zemského povrchu či staveb na něm. Z vod srážkových se po kontaktu se zemským povrchem stává voda povrchová [27].

Balastní vody jsou podzemní vody, které se dostanou do kanalizace vlivem netěsností. Tyto vody snižují teplotu odpadních vod v kanalizaci. Jsou nežádoucí [24].

2.1 Historie čištění odpadních vod

Již od nejstarších dob je voda důležitou součástí lidského bytí na zemi. Kvůli poznatku blahodárného účinku vody, se člověk naučil vážit si jí a udržovat ji čistou.

První pokusy o likvidaci splašků datujeme již do roku 2510 př. Kr. do Mezopotámie. Odpadní vody byly odváděny pomocí sítě stok do nejbližšího toku. První pokus o centrální čištění odpadních vod pomocí přírodních metod, zasakováním přes filtrové lože, byl zaznamenán v antice. Další pokusy o čištění odpadních vod jsou až v roce 1752. Pokus čistit vodu pomocí pískové filtrace zůstal, ale na úrovni experimentu až do počátků 19. století. V roce 1914 byl v Anglii vynalezen aktivační proces, který pomohl s rozvojem ČOV [12].

První čistírna odpadních vod v Praze – Bubenčí byla uvedena do provozu v roce 1906 a byla bez podstatné obnovy v provozu až do roku 1967. O výstavbu čistírny odpadních vod a odvodnění Prahy se zasloužil sir William H. Lindley. Proto se mu přezdívá otec pražské kanalizační sítě. Jednalo se o ČOV založenou na mechanickém čištění s možností intenzifikace jeho výkonu chemickými sráženími. Hlavní budova je symetrická se střední halou, ke které přiléhají z obou stran podélná křídla. Hala, pod kterou se nachází podzemní klenutý prostor pro lapač písku je zastřešen



2 Odpadní vody a způsob jejich čištění

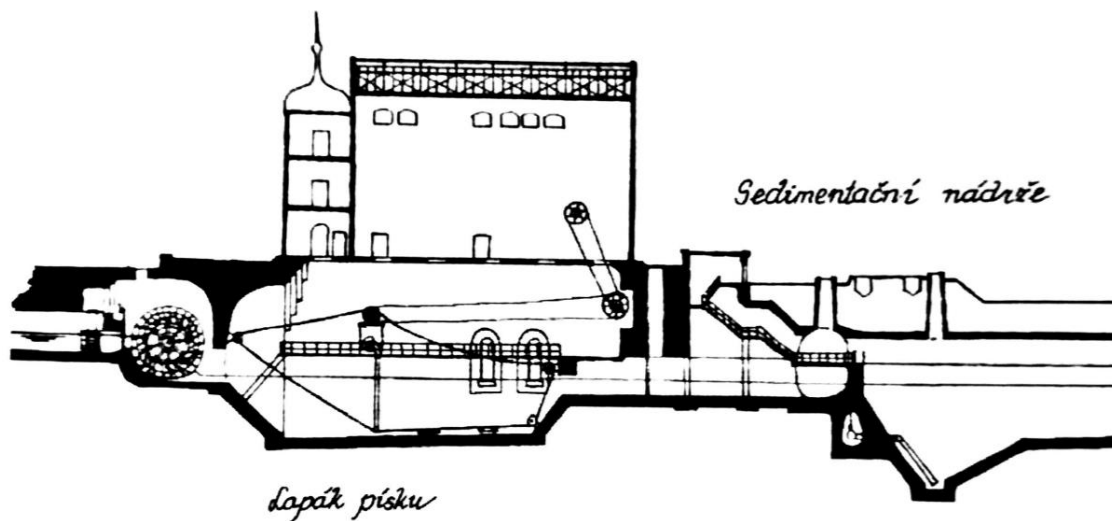
lomenicovými ocelovými vazníky. Odvětrávání a odvod spalin je zajištěn komíny se zdobenými hlavicemi. Celé podzemí je klenuté. Klenby jsou provedeny z ostře pálených režných cihel a prostupy jsou ukončeny oblými tvarovkami. Pro největší zaklenutý prostor, který se nachází u lapače písku, bylo využito zploštělé klenby o rozměrech 12 x 28 m. Prosvětlení lapače bylo zajištěno kruhovými nadsvětlíky ze sklobetonu. Čistírna dále obsahuje 10 sedimentačních nádrží, dlouhých 80 m. Sedimentační nádrže jsou také klenuté cihelnými klenbami. Nádrže jsou betonové. Vedle tohoto objektu lze najít dvojici z původních čtyř kalových studní [33].



Obr. 1: ČOV Praha-Bubeneč
pohled z exteriéru [35]



Obr. 2: ČOV Praha-Bubeneč
pohled z interiéru [34]



Obr. 3: Řez ČOV v Bubenči [24]



2.1.1 Ústřední čistírna odpadních vod (ÚČOV)

ÚČOV, která se nachází na Císařském ostrově (obr. 4), byla uvedena do provozu v roce 1966. Vystavěna byla pod dohledem prof. Maděry. V té době se řadila mezi největší v Evropě, ale brzy přestala kvantitativně i kvalitativně stačit. ČOV z těchto důvodů musela být dostavěna a první rekonstrukce proběhla již v letech 1994 až 1997. Ani tato rekonstrukce nebyla kvantitativně dostatečná, a proto byl schválen projekt celkové přestavby a rozšíření. Stavba započala roku 2015. V současné době se jedná o mechanicko-chemicko-biologickou čistírnu.

Objekt pro mechanické předčištění je samostatný. Založení objektu je provedeno jako monolitická železobetonová vana a nadzemní část je řešena jako železobetonový prefabrikovaný skelet s vyzdívkami z betonových tvárnic. V tomto objektu lze nalézt turbozahušřovač kalu. Konstrukce objektu byla provedena v pohledové kvalitě betonu, protože vady povrchu by nepříznivě ovlivnily další zpracování kalu.

Biologická vodní linka je složena ze sestavy zakrytých železobetonových nádrží. Objekt je založen na základové desce. Vertikální systém je tvořen železobetonovými stěnami a železobetonovými sloupy, které tvoří podporu horizontální desky kolektorů.

Monolitický železobetonový podzemní objekt dosazovacích nádrží je tvořen soustavou 4 x 10 podélných nádrží. Je rozdělen podélným a příčným kolektorem, který vede v osách objektu. Část stropů této konstrukce je realizována pomocí filigránů.

Třetí stupeň čištění je taktéž železobetonový monolitický. Objekt má zelenou střechu. Beton pro Parshallův žlab (obr. 5), sloužící k měření průtoku v ČOV, obsahuje polypropylenová vlákna [18].



Obr. 4: ÚČOV – pohled na novou vodní linku [29]



Obr. 5: Parshallův žlab [18]



2.1.2 Nástup komunálních ČOV v 80. a 90. letech

Jednotlivá města a obce na území bývalého Československa byla povětšinou odkanalizována nějakým systémem kanalizací, zakončení této kanalizace funkční ČOV bylo naprosto výjimečné. Průkopníkem dodávek komunálních ČOV byly státní podniky Královopolské strojírny Brno a VHS Ústí nad Labem.

2.2 Princip vlastního čištění odpadních vod

Moderní ČOV jsou navrhovány jako mechanicko-biologické s kalovým hospodářstvím. Na některých čistírnách se může nacházet dočištění odpadních vod, který je realizován převážně na základě požadavku správce vodního toku. Níže je popsán proces čištění po jednotlivých stupních.

Při návrhu ČOV se používá pojem ekvivalentní obyvatel (EO). Tímto se rozumí znečištění vyprodukované jedním průměrným obyvatelem. Hodnoty ukazatele znečištění se používají NL – nerozpuštěné látky, CHSK_{CR} – chemická spotřeba kyslíku, BSK₅ – biologická spotřeba kyslíku, N_{celk} – celkový dusík, N-NH₃ – amoniakální dusík a P_{celk} – celkový fosfor.

2.2.1 Mechanické čištění

Mechanické čištění je prvním stupněm čištění, které slouží k odstranění hrubých, makroskopických látek [24]. Pomocí mechanického čištění se snižuje organické znečištění přibližně o 30 % a chrání se další stupně čištění. Pomocí mechanického čištění se čistí odpadní voda od plovoucích nečistot, například zbytků jídel, papírů, plastů, kameny či hadrů.

Technologie mechanického čištění je založena na sedimentaci, flotaci, cezení a centrifugaci. Cezení neboli filtrace slouží k zachycování hrubých nečistot, které jsou svými rozměry větší než otvory, kterými protéká cezená voda. Na principu cezení fungují česle a síta [24]. Flotace je princip, který funguje na základě rozdílných vlastností dvou materiálů, využívá vztakovou sílu. Principu flotace využívají lapáky tuků a olejů [11]. Sedimentace neboli usazování je jedním z nejrozšířenějších separačních procesů. Sedimentace využívá gravitační síly a rozdílu hustot separovaných složek. Principu sedimentace využívají lapáky šterku a lapáky písku. Centrifugace neboli odstředování funguje na principu odstředivé síly a rozdílu hustot. Principu centrifugace využívají odstředivky k zahušťování primárního kalu. Tento způsob je velmi energeticky náročný, proto odstředivky nalezneme především ve velkých čistírnách odpadních vod [24].



2.2.2 Biologické čištění

Biologické čištění odstraňuje rozpuštěné znečištění, jako jsou uhlikaté látky, dusíkaté látky, pomocí směsi mikroorganismů, především bakterií, která se nazývá aktivovaný kal. Pro sedimentované sloučeniny fosforu je nutné použít kolagulant FeSO_3 . Aerobní biochemické procesy jsou základem biologického čištění. Využívají se bakterie, které musí přijímat organické látky k zisku uhlíku, jedná se o heterotrofní organismy. Koagulace a rozklad neusaditelných rozpuštěných látek je hlavním cílem tohoto čištění.

Při aerobním biologickém čištění se uvolňuje oxid uhličitý a voda [24].

Při anaerobním biologickém čištění se uvolňuje metan a oxid uhličitý [24].



Obr. 6: Aktivační nádrž



2 Odpadní vody a způsob jejich čištění

2.2.3 Dočišťování odpadních vod

Jedná se o terciální stupeň čištění. Na čistírnách odpadních vod se nachází obvykle pouze pokud ho požaduje vodoprávní orgán. Odstraňují se zde převážně fosfor. Terciální čištění je založeno na fyzikálně-chemických metodách čištění, jako je např. čiření, odpařování, neutralizace, spalování. Využívají se koagulanty, např. vápno či železité a hlinité soli [24].

Nádrž dočišťování odpadních vod může být vyrobena z monolitického, nebo prefabrikovaného betonu (obr. 7). Prefabrikovaný beton se využívá z důvodu rychlosti výstavby u ČOV malých velikostí.



Obr. 7: Prefabrikovaná nádrž



Obr. 8: Technologie dočišťování

2.2.4 Kalové hospodářství

Kal je odpadní látkou čistíren odpadních vod, je směsí vody a pevných látek. V průběhu celého čistícího procesu vznikají různé druhy kalů [24].



2.3 Objekty čištění odpadních vod

Celkový dojem z čistírny odpadních vod je důležitý. Pro menší ČOV je vhodnější malý stavební objekt, který splyne s okolím. Tento vzhled je nutný rozmyslet již na počátku projektu a podle toho rozmístit jednotlivé objekty ČOV. Na obr. 9 je zobrazený celkový pohled na větší čistírnu (19000 EO). Na obr. 10 lze vidět menší ČOV, která se nachází v Malečově (500 EO) a dokonale splyvá s okolním prostředím.



Obr. 9: ČOV Velké Březno



Obr. 10: ČOV v Malečově – pohled zvenku



Obr. 11: ČOV v Malečově – pohled zevnitř



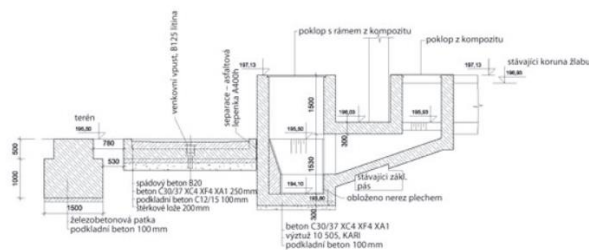
2.3.1 Mechanické čištění

Prvním objektem ČOV, který se nachází před mechanickým čištěním, je dešťová komora, která chrání čistírnu před zaplavením při přívalové dešti. Dešťová komora není nutnou součástí ČOV a obvykle se objevuje pouze u větších čistíren. Jedná se o železobetonovou nádrž, obvykle obdélníkového půdorysu, která musí být dimenzována na prázdný a plný stav naplnění.

Prvním zařízením v systému čištění je lapák štěrku (obr. 12), který se nachází u velkých čistíren na přivaděči odpadních vod jednotnou kanalizací. Slouží k zachycení těžkých nerozpuštěných látek, např. štěrku, cihly. Přispívá k ochraně technologických zařízení [24]. Z konstrukčního hlediska se jedná o železobetonovou konstrukci kruhového průřezu. Prefabrikované prstence se přes spoje na sebe osadí a obetonují se. Kruhový půdorys se ideální ze statického hlediska, jelikož bude pouze tlačeny. Obetonovávají se z důvodu spodní vody, aby vzlakem vody nedošlo k vyplavání konstrukce či nějaké její části.



Obr. 12: Lapák štěrku

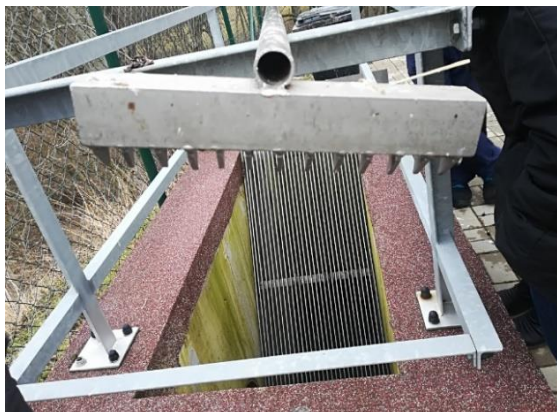


Obr. 13: Řez lapákem štěrku [40]



2 Odpadní vody a způsob jejich čištění

Česle a síta slouží k zachycení hrubých nečistot, např. hadrů, dřeva, zbytků obalů. Česlicový rám je osazen do přítokového žlabu, skloněný pod úhlem 30° až 60°. Voda protéká volným prostorem mezi česlicemi, které jsou nejčastěji obdélníkového nebo kruhového průřezu. Za česlemi je snížené dno. Na čistírnách se obvykle nachází více žlabů (obr. 15), popřípadě vždy musí být nouzový obtok s ručně shrabovanými ručními česlemi, aby každý žlab mohl být vyřazen z provozu [12]. Česle jsou usazeny v železobetonové vaně s přepážkou. Tato vana bývá hluboká přibližně 1,5 m. Přepážka musí být nadimenzována na proudění vody jedním žlabem či oběma. U této konstrukce obvykle z důvodu malé hloubky stačí konstrukční výztuž.



Obr. 14: Jenné ruční česle



Obr. 15: ŽB vana pro česle



Obr. 16: Strojní česle



Obr. 17: Zadeklované strojní česle



2 Odpadní vody a způsob jejich čištění

Lapák písku zachycuje zrna písku a štěrk. Pracuje na principu gravitační síly a hustot, tudíž dochází k usazování částic písku. Oddělený písek se musí pravidelně těžít. Jelikož dochází v tomto místě ke snížení rychlosti, tak lze současně oddělovat plovoucí nečistoty, jako jsou tuky [24]. Lapáky písku jsou důležité, jelikož písek, který se dostane dále do objektu poškozuje technologii a dochází k abrazi konstrukce. Konstruktivně je technologie lapáků písku osazena do betonových skruží a nahoře je železobetonový věnec (obr. 18). Betonové skruže jsou prefabrikované a z tohoto důvodu je nutno posoudit styky mezi jednotlivými skružemi na vztlak vody, který nastává z důvodu spodní vody. Jestliže by styky nevyhověly je nutno obetonování konstrukce.



Obr. 18: Lapák písku



Obr. 19: Řez lapákem písku [39]

Lapáky tuků slouží k zachycení tuků a olejů, aby v dalším procesu čištění nesnižovaly výkon čištění. Tuky zalepují čerpadla a potrubí a znemožňují život v biologické bláně. Lapáky tuků se osazují ke zdrojům, aby se nedostaly do stokové sítě. Zdrojovými objekty jsou např. hotely, restaurace, autoopravny, sklady. Lapák tuků se umísťuje na čistírnu, jestliže tam přitéká velké množství organicky znečištěných průmyslových vod. Lapáky bývají 4 až 7 m široké a 1,5 až 3 m hluboké. Ode dna nádrže se vhání stlačený vzduch a vrstva tuků, která se hromadí u hladiny, odtéká do sběrných nádrží [24].

Čerpadla se používají u čistíren s nedostatečným spádem [24]. Čerpadla mají na konstrukci jedině dynamické účinky, ale z důvodu masivní konstrukce a minimálních dynamických účinků se neberou v úvahu.



2 Odpadní vody a způsob jejich čištění

2.3.2 Biologické čištění

Biologické čištění aktivací probíhá v aktivačních nádržích [24].

Dmychadla (obr. 20) vhání vzduch do aktivačních nádrží. Na beton má vibrační účinky, proto musí mít samostatný základ, nebo musí být uloženy na pružných podložkách. Dmychadlo se nejčastěji nachází v samostatném stavebním objektu.

Nitrifikační a denitrifikační nádrže bývají železobetonové obdélníkové půdorysu. Kvůli probíhajícím chemickým procesům je beton vystaven agresivnímu prostředí a je nutno omezit šířku trhlin. Z tohoto důvodu je obvykle rozhodující mezní stav použitelnosti než mezní stav únosnosti.

Biologické aerobní čištění směsnou kulturou, oproti aktivaci probíhá i sorpční děj, probíhá v biofilmových reaktorech [24].



Obr. 20: Dmychadlo



2.3.3 Usazovací nádrže

Usazovací nádrže slouží ke gravitační separaci suspendovaných látek. Dělí se na primární a sekundární. Primární se nachází v rámci mechanického čištění, sekundární v rámci biologického čištění. Usazovací nádrže se skládají z vtokové, usazovací, kalové a odtokové části [24].

Odtokový objekt je tvořen přepadovou hranou, která má tvar pily (obr. 21). Hrana je čištěna kartáčem a zajišťuje odtok čisté vody. Zařízení na stírání kalu slouží k stírání kalu ze dna nádrže i plovoucích nečistot z hladiny nádrže. Nečistoty se akumulují do sběrné jímky [24].

Usazovací nádrže mívají kruhový půdorys (obr. 22), který je výhodný ze statického hlediska, nebo obdélníkový půdorys (obr. 23).



Obr. 21: Detail přepadové hrany



Obr. 22: Usazovací nádrž kruhová



Obr. 23: Usazovací nádrže podélné



2.3.4 Kalové hospodářství

Gravitační zahušťovací nádrže fungují na principu rozdílu hustoty vody a kalu. Obvykle mají kruhový tvar, kdy zahušťovaný kal je odtahován ode dna. Tyto nádrže se využívají pro primární kal, kal z chemického čištění nebo ze systémů s přisedlou kulturou.

Mezi strojní způsoby zahušťování kalu patří zahušťovací odstředivky, rotační síta a sítopásové lisy.

K anaerobní biologické stabilizaci dochází ve vyhnívacích nádržích při teplotě 27 ° až 45 °C. Obsah vyhnívacích nádrží je míchám mechanickými míchadly [12].

Aerobní biologická stabilizace probíhá v samostatných uskladňovacích nádržích.

Odvodňování kalu probíhá v kalolisu nebo centrifugách.



Obr. 24: Sítopásový lis



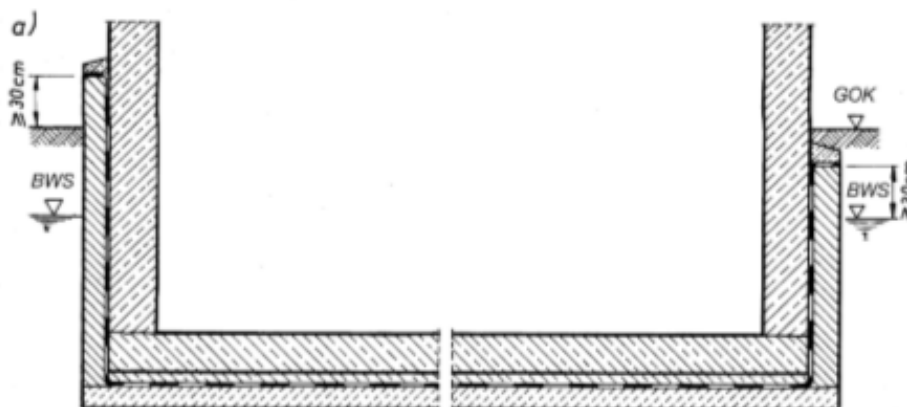
Obr. 25: Sítopásový lis s dopravníkem



3 Vodonepropustné železobetonové konstrukce

U vodonepropustného betonu je nutno věnovat zvýšenou pozornost nejen návrhu, ale i technologii betonu a vlastnímu provádění [6]. Nádrže ČOV jsou vystaveny agresivnímu vnitřnímu prostředí, proto je nutno konstrukci chránit nejen proti vodě v nádržích, ale i proti podzemní vlhkosti či proti podzemní vodě.

Jednou z možností řešení vodonepropustnosti konstrukce je tzv. „černá vana“. Toto řešení bylo hodně využíváno v minulosti. Tato technologie spočívá v nutnosti zaizolování konstrukce izolačním materiálem proti průniku vody. Izolačním materiálem mohou být asfaltové pásy, PVC folie či asfaltové nátěry (obr. 26). Nevýhodou tohoto řešení je riziko porušení izolační vrstvy a sanace těchto poruch je velmi nákladná. Z tohoto důvodu se dříve využívalo dvou hydroizolačních vrstev, což bylo také finančně nákladné.



Obr. 26: Černá vana (hydroizolace na vnějším líci) [17]

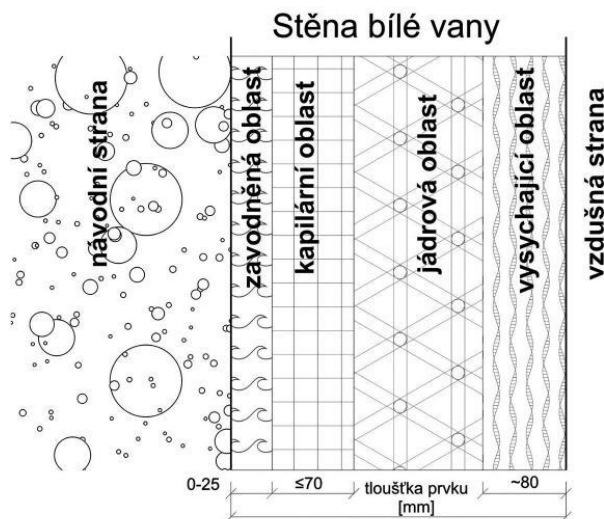
Z méně známých typů neizolovaných konstrukcí lze zmínit „hnědé vany“, u kterých je zvýšena vodonepropustnost betonu předsazenou bentonitovou rohoží, nebo deskou. U technologie „modifikovaných hnědých van“ je využito taktéž bentonitové vložky, která je doplněna tuhou fólií. „Oranžové vany“ je technologie, u které je vodonepropustnost zvýšena speciální recepturou betonu s využitím drátkobetonu, která je patentově chráněna [8].

V dnešní době nejvyužívanější technologie je označovaná „bílé vany“ a pochází z 80. let 20. století z Německa. U této technologie není využito izolačních vrstev. Bílé vany se využívají u staveb, kde je vhodné udržet vodu vně či uvnitř objektu. Beton u bílých van zajišťuje nosnou i těsnící funkci, bez použití dalších hydroizolačních vrstev.

3 Vodonepropustné železobetonové konstrukce

Sanace poruch bílých van jsou účinnější a méně finančně nákladné než sanace černých van.

U vodonepropustného betonu tlaková voda pronikne pouze do zavodnělé oblasti (obr. 27). Beton je porézní materiál, proto lze v konstrukci najít gelové a kapilární póry. Kapilární póry jsou rozměrově větší a ovlivňují transport vody. V kapilární oblasti se voda šíří formou vlhkosti. Jádrová oblast zajišťuje vodonepropustnost celé konstrukce.



Obr. 27: Schéma řezu stěnou bílé vany s vyznačenými oblastmi [44]

Vodonepropustnost konstrukce není zajištěna pouze samostatnou konstrukcí, ale musí být zajištěny i požadavky na omezení průsaku pracovními a řízenými spárami, prostupy i trhlinami, aby byla tato technologie plně funkční [23].

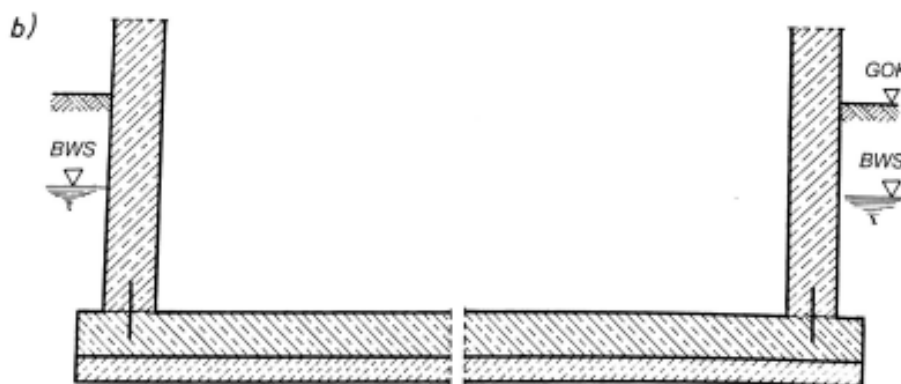
Návrh bílé vany vychází z požadavků ČSN EN 1992-1-1 a dalších technických doporučení. Česká norma pro návrh bílých van zatím neexistuje, proto je možno využít technických podmínek ČBS 02 či ČBS 04, které vycházejí z rakouských či německých směrnic pro navrhování bílých van [25].

Nádrže ČOV se navrhují z vodonepropustného betonu hlavně pro jeho těsnicí schopnosti a jednoduchost provádění [22]. Tloušťka konstrukce závisí na výšce vodního sloupce a na třídě požadavků, nebo na třídě namáhání, typu konstrukce a způsobu provedení [6].

Většina konstrukcí na ČOV je z monolitického betonu z důvodu velikosti konstrukcí. Prefabrikované konstrukce lze nalézt pouze u menších celků, jako je např. dočišťování.



Čistírny odpadních vod se navrhují na minimální životnost 50 let, ale technologie na ČOV se navrhuje pouze na 20 let.



Obr. 28: Bílá vana [17]

3.1 Zatřídění konstrukce

Zatřídění konstrukce pro účely návrhu lze provést podle jednoho z výše uvedených dokumentů TP ČBS 02, TP ČBS 04 či ČSN EN 1992-3. Požadavky na míru vodotěsnosti musí být stanoveny ve smlouvě o dílo.

3.1.1 TP ČBS 02

Jedná se o Technické podmínky ČBS 02– Bílé vany – Vodotěsné betonové konstrukce vycházející z rakouské směrnice.

Podle této směrnice by se mělo jednat o bezpečný a ekonomicky přijatelný návrh.

Konstrukční třída je stanovena dle třídy požadavků na nepropustnost konstrukce a dle třídy tlaku vody.

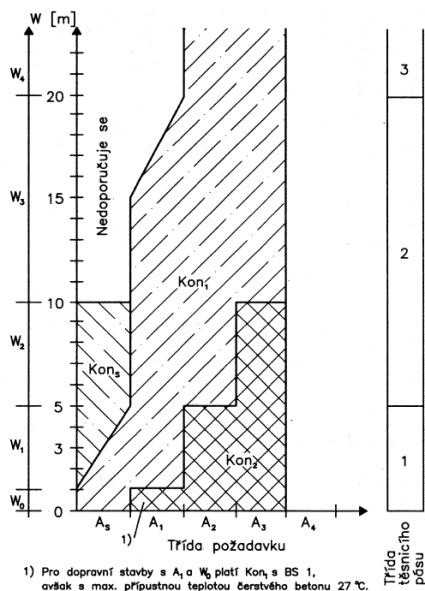
Prvním krokem návrhu je stanovení třídy požadavků na vodonepropustnost dle účelu konstrukce. Předpis TP ČBS 02 definuje celkem pět tříd požadavků na nepropustnost, A_s a A_1 až A_4 . Zvláštní třída A_s je nejpřísnější. U této třídy nejsou povolena žádná vizuálně patrná vlhká místa. Využití této třídy je např. u skladů zboží, které jsou citlivé na vlhkost. Nejméně náročná třída na vodonepropustnost je třída A_4 , u které jsou povolena jednotlivá mokvající místa. Tato třída se vztahuje pouze na vnější pláště dvouplášťových konstrukcí. Čistírny odpadních vod se obvykle řadí do třídy A_1 . Jedná se o druhou nejpřísnější kategorii z hlediska zařazení konstrukce do tříd nepropustnosti. U této třídy jsou povolena vizuálně patrná vlhká místa, které jsou povolena na 1 ‰ povrchu konstrukce. Pro každou třídu požadavků na vodonepropustnost je uvedeno v [4] posouzení vlhkých míst i dodatečná opatření.



Dalším krokem je stanovení třídy tlaku vody dle geotechnického posudku. Uvažuje se tlak vody v úrovni spodní hrany posuzované konstrukční části. U vysokých stěn je možné odstupňování tříd tlaku vody na různých částech konstrukce. Tříd tlaku vody je celkem pět. Třída tlaku vody w_0 je definovaná pro maximální tlak vody 1,0 m. Třída tlaku vody w_4 je definovaná pro tlak vody i nad 20,0 m.

Konstrukční třída se určí pomocí diagramu (obr. 29), v závislosti na třídě těsnícího pásu, třídě požadavků na nepropustnost a třídě tlaku vody. Konstrukční třídy jsou celkem tři. Každá konstrukční třída má uvedené požadavky, které se musí zohlednit při návrhu konstrukce. Mezi požadavky patří dimenzování na vynucená namáhání, omezení šířky trhlin, normalizovaný beton, vzdálenost dilatačních spár, minimální tloušťku konstrukcí. Zvláštní konstrukční třída Kon_3 má ze všech tříd největší minimální tloušťku stavebního prvku, největší požadavek na omezení šířky trhlin a jako jediná má určeno maximální vzdálenost dilatačních a pracovních spár. Většina konstrukcí, včetně ČOV, spadá pod konstrukční třídu Kon_1 . Konstrukční třída Kon_2 je nejvíce benevolentní a jako jediná má normalizovaný beton BS 2.

Normalizované betony dle [4] se v České republice nevyrábí [14].



Obr. 29: Potřebná třída konstrukce [4]



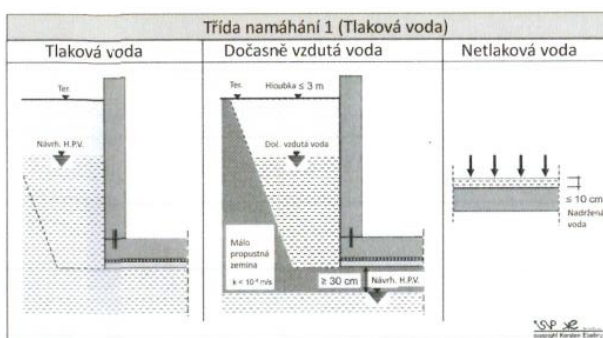
3.1.2 TP ČBS 04

Předpis TP ČBS 04 představuje českou Směrnicí pro vodonepropustné betonové konstrukce, vydanou Českou betonářskou společností, vycházející z německé směrnice.

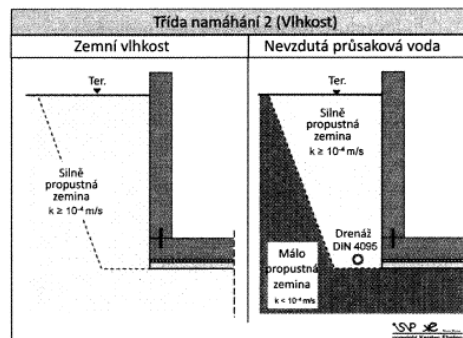
Výhodou tohoto předpisu oproti výše uvedenému, je ekonomický a komplexnější návrh, který může splňovat i požadavky investora [25].

Návrhový princip se volí dle třídy užívání a třídy namáhání. Předpis obsahuje celé podrobné schéma projektové dokumentace.

Prvním krokem návrhu je zatřídění konstrukce do tříd namáhání. Třída namáhání je způsobem působení vlhkosti nebo vody na stavební objekt či konstrukci. Stanoví se dle atributů podloží a návrhové hladiny vody. Třídy namáhání jsou dvě a hlavní rozdíl mezi nimi je, zda na konstrukci působí přímo kapalně vodní prostředí nebo pouze kapilárně vázané. Do třídy namáhání 1 patří konstrukce, které jsou v trvalém kontaktu s vodou, tlakovou, netlakovou i dočasně vzduť prosakující vodou (obr. 30). Jedná se např. o podzemní vodu, záplavy či nádrže. Třída namáhání 2 zahrnuje zemní vlhkost a nevzduť prosakující vodu u silně propustných zemin (obr. 31).



Obr. 30: Třída namáhání 1 [8]



Obr. 31: Třída namáhání 2 [8]

Druhým krokem návrhu je zatřídění konstrukce dle třídy užívání. Tato třída je definicí požadavků na klimatické podmínky vnitřního prostoru vlhkost povrchů konstrukce. Třída užívání se stanovuje v závislosti na funkci objektu a na požadavcích způsobu užívání objektu či konstrukce. Tato třída ovlivní stavební náklady. Směrnice rozděluje konstrukce do dvou tříd namáhání. Pro třídu namáhání A není přípustný žádný průsak vody betonem, ani spárami či trhlinami. V tomto případě je nutno zamezit vzniku netěsných trhlin, nebo navrhnout jejich těsnění. Do této třídy zahrnujeme konstrukce skladů s vysokými požadavky, bytové objekty či ČOV. Konstrukce s přípustným omezeným průsakem se řadí to třídy užívání 2. Je zde povolena dlouhodobá vlhká povrchová kresba trhlin či dočasně zavodněné trhliny. Z tohoto vyplývá, že u třídy



3 Vodonepropustné železobetonové konstrukce

namáhání B je požadovaná pouze částečná vodonepropustnost. Do této třídy se řadí stavby garáží, kolektorů, instalačních, zásobovacích šachet či sklady s nižšími užitnými požadavky a vnitřní stěny ČOV mezi jednotlivými nádržemi.

Konstrukční tloušťka se určí na základě konstrukční části, způsobu provádění a třídy namáhání. Minimální konstrukční tloušťka prvku je volena s ohledem na minimální požadované krytí, potřebné vrstvy výztuže, těsnění spár, zabudované prvky, tak aby beton mohl být kvalitně technologicky proveden a tím splňovat svojí těsnící i nosnou funkci. Jelikož se nádrže čistíren odpadních vod vyrábějí pouze z monolitu, je minimální tloušťka stěn 240 mm a základové desky 250 mm. U monolitických stěn musí být, z důvodu montáže vnitřního těsnění spár, spolu s minimální konstrukční tloušťkou splněna i podmínka pro světlou vzdálenost vložek výztuže v příčném směru. Tato hodnota se liší dle maximální velikosti kameniva a pohybuje se od 120 do 180 mm [5].

3.1.3 ČSN EN 1992-3

Rozhodujícím stavem, dle normy ČSN EN 1992-3, pro návrh nádrže je mezní stav použitelnosti – omezení trhlin. Zamezení vzniku trhlin je dosaženo vhodným vyztužením konstrukce [6]. Konstrukce vodonepropustných nádrží se zařídí ve vztahu ke stupni ochrany proti stanovenému průsaku. Žádný beton není 100 % nepropustný, je umožněn minimální průnik difuzí. Omezení trhlin se volí dle funkce konstrukce.

Prvním krokem je zařídění konstrukce do jedné ze čtyř tříd nepropustnosti a tím určení omezení šířky trhlin (tab. 1).

Tab. 1: Klasifikace nepropustnosti dle ČSN EN 1992-3, Eurokód 2, Část 3 [3]

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

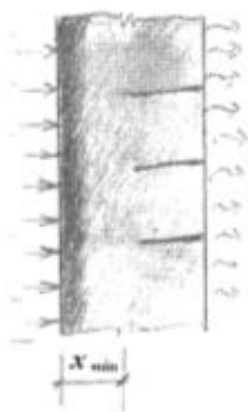
Jestliže zařídíme konstrukci do třídy nepropustnosti 0, tak lze přijmout ustanovení ČSN EN 1992-1-1. Maximální šířka trhlin neovlivňuje trvanlivost konstrukce u stupně vlivu prostředí X0 a XC1, proto nabývá hodnoty 0,4 mm, ale lze i zvětšit. Pro stupně vlivu prostředí XC2, XC3, XC4, XD1, XD2, XS1, XS2 a XS3 je maximální šířka trhliny 0,3 mm [2].

3 Vodonepropustné železobetonové konstrukce

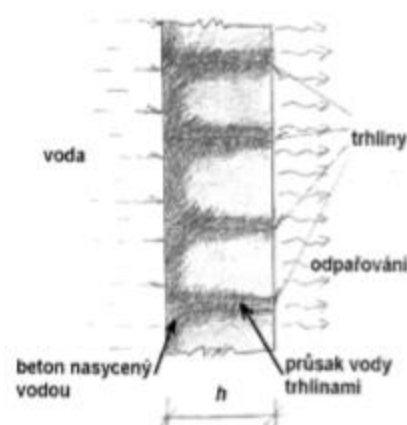
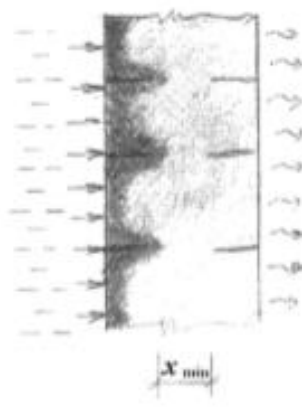
U konstrukcí spadající do třídy nepropustnosti 1 se rozlišuje, zda trhliny budou procházet přes celou tloušťku průřezu či nikoli. Jestliže trhliny budou procházet přes celou tloušťku průřezu, pak maximální doporučená šířky trhlin w_{kl} je funkcí h_D/h , kdy h_D je hydrostatický tlak a h je tloušťka stěny nádrže. Jestliže je $h_D/h \leq 5$, pak je $w_{kl}=0,2$ mm, pokud je $h_D/h \geq 35$, pak je $w_{kl}=0,05$ mm. Mezilehlé hodnoty se získají pomocí interpolace. Omezením na tyto hodnoty dochází rychle k utěsnění trhlin. Jestliže jsou očekávány neprůběžné trhliny, platí norma ČSN EN 1992-1-1 [23]. Do skupiny třídy nepropustnosti 1 se řadí i ČOV.

Trhliny, u kterých lze očekávat, že budou procházet přes celou tloušťku konstrukce (obr. 33) se u třídy nepropustnosti 2 vylučují, nebo se zajišťují pomocí vystýlek, nebo bariér proti vodě [3]. Šířka trhliny se neposuzuje. Trhliny neprocházející přes celou tloušťku průřezu musí splnit minimální výšku tlačené oblasti betonu. Výška tlačené oblasti (obr. 32) má být minimálně x_{min} , která je menší z hodnot 50 mm nebo $0,2 \cdot h$, kde h je tloušťka prvku. Toto kritérium platí i pro třídu nepropustnosti 3.

U konstrukcí spadající do třídy nepropustnosti 3 norma neuvádí hodnoty šířky trhlin. Průběžné trhliny jsou nepřijatelné. Vždy má být provedeno zvláštní opatření v podobě vystýlek, předpětí či bariér proti vodě [19].



Obr. 32: Beton s neprůběžnými trhlinami [23]

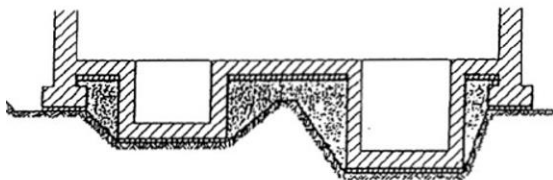


Obr. 33: Beton s průběžnými trhlinami [23]

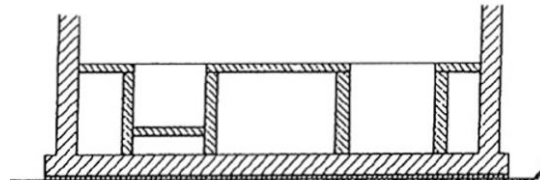


3.2 Dimenzování vodonepropustných konstrukcí

Vodonepropustná konstrukce by měla mít co nejjednodušší tvar (obr. 35), minimální členění povrchů, minimální množství prostupů, jednoznačný přenos sil, minimum míst s koncentrací napětí a minimální tření v základové spáře.



Obr. 34: Špatný návrh základové desky [46]



Obr. 35: Správný návrh základové desky [46]

3.2.1 TP ČBS 02

Vodonepropustnost konstrukce závisí na vodonepropustnosti samotného betonu a na nepřítomnosti trhlin. Směrnice [4] vychází z faktu, že nelze zaručit nepřítomnost trhlin v železobetonové konstrukci. Množství výztuže se navrhne dle tří kritérií.

Prvním z kritérií je prokázání únosnosti, u kterého se musí stanovit veškerá vynucená namáhání a vnitřní síly od zatížení. Dimenzování konstrukce se provede pro superpozici všech vnitřních sil.

Pro prokázání použitelnosti je třeba navrhnout výztuž tak, aby vzniklé trhliny byly rozmístěny rovnoměrně. Šířku jednotlivých trhlin ovlivňuje průměr výztuže, vzdálenost prutů a procento vyztužení prvku. Pro jednotlivé konstrukční třídy, které již byly určeny v zatřídění konstrukce, jsou dány mezní šířky trhlin, které se pohybují od hodnoty 0,15 mm pro zvláštní konstrukční třídu do hodnoty 0,25 mm pro Kon₂.

Druhým kritériem je prokázání použitelnosti – omezením šířky trhlin „při převažujícím vlivu zatížení.“ Omezení šířky trhlin při zatížení se provádí pro rozhodující kombinaci ohybu a normálové síly. V tomto případě se neuvažují žádná vynucená namáhání, jestliže poměrná deformace od vynuceného namáhání je menší než 8 ‰. Jestliže nastane opačný případ, pak je nutno počítat i s vnitřními silami od vynuceného namáhání.

Prokázání použitelnosti – omezením šířky trhlin „při převažujícím vynuceném namáhání“ je posledním ze tří kritérií. Návrh výztuže, která zachycuje časné trhliny, se navrhuje dle grafů uvedených v [4]. Jedná se zde o výztuž pro přenesení vynucených namáhání vyvolaných hydratačním teplem. Průměr prutu výztuže je ovlivněn krytím výztuže, plochou výztuže na 1 bm, tloušťkou konstrukčního průřezu a maximální šířkou



trhlin. Podle TP ČBS 02 vyjde menší plocha vodorovné výztuže na vynucené namáhání, které bývá rozhodující, než podle českých norem.

3.2.2 TP ČBS 04

Směrnice [5] předepisuje tři návrhové zásady a nemusí se shodovat u všech konstrukčních prvků. Tyto návrhové principy se vztahují pouze na vznik a omezení průběžných trhlin. První návrhovou zásadou je zamezení vzniku průběžných trhlin. Této zásady lze docílit pomocí vzájemné koordinace konstrukčních, technologických a prováděcích opatření. Je obtížněji zpracovatelná z důvodu nutnosti pokročilých znalostí ze všech tří fází. U prvního návrhového principu se posuzují všechny návrhové stavy, u kterých dochází ke vzniku trhlin, fáze tuhnutí, stavební stavy a provozní podmínky. Druhou zásadou je předepsání šířek průběžných trhlin, které budou splňovat třídu namáhání a samy se utěsní. U druhého návrhového principu se očekává vznik průběžných trhlin, je nutné znát jejich příčiny a čas vzniku. Posuzují se všechny návrhové stavy vyvolávající trhliny, stejně jako u první zásady. Pro každý z posuzovaných stavů je důležité správně určit, zda daná kombinace účinků způsobí vznik průběžných trhlin. Při tomto návrhovém principu dochází ke snížení nároků na výztuž a tím i ke snížení nákladů. Předepsání šířek průběžných trhlin, které se samy dočasně utěsní a splňují požadavky výpočetní šířky dle ČSN 1992-1-1 je třetí zásadou. Při tomto principu se nezohledňuje vodonepropustnost betonu a plní se pouze minimální normové požadavky. Předpokládá se dodatečné utěsnění širších trhlin [5].

Opatření, kterými lze zamezit vzniku průběžných trhlin jsou konstrukční, technologické a prováděcí. Mezi konstrukční opatření se řadí snížení nutnosti odskoků v základové desce, správné využití smršťovacích pásů, vložení kluzné vrstvy pod základovou desku, vzájemná tuhost jednotlivých konstrukčních prvků či vhodná volba betonážních úseků. Technologickým opatřením je využití betonu se sníženým vývojem tepla. Prováděcími opatřeními je betonáž vhodně rozdělených úseků či opatření následného ošetřování betonu [5].

3.2.3 ČSN 1992-1-1

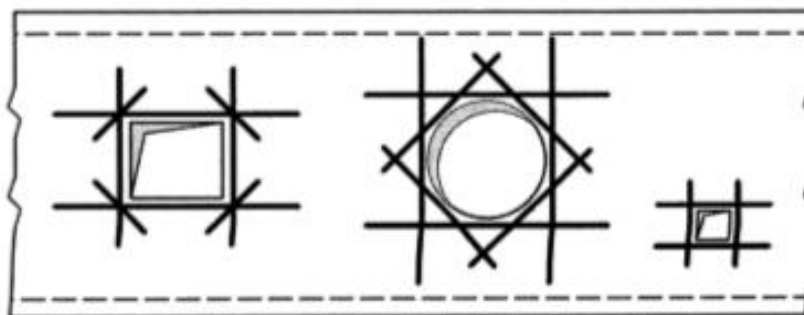
Mezní stavy únosnosti nebývají při návrhu ČOV rozhodující, ale i přesto je nutné je vždy posoudit. Nejprve se stanoví vnitřní síly od zatížení. Poté se jejich kombinace porovnají s příslušnými únosnostmi.



Mezní stavy použitelnosti dle [2] popisují mezní stav vzniku a šířky trhlin. Jedná se o trhliny v raném stáří, které vznikají od vynuceného přetvoření, a trhliny, které vznikají v pozdějším stáří betonu od zatížení [23].

3.2.4 Vyztužení konstrukce

Konstrukce vodonepropustných objektů se obvykle vyztužují pravoúhlou sítí. Stěny, které jsou betonované na starší základ je zesílit podélnou výztuž nad pracovní spárou, přibližně do výšky 2 m. Výztuž při obou lících je nutno propojit sponami, jejichž návrh vychází z konstrukčních požadavků. U vodonepropustných konstrukcí je nutno dát pozor na náhlé oslabení průřezů a na velké změny průřezů. Každý otvor u vodonepropustné konstrukce musí být olemován příložkami (obr. 36), nezávisle na jeho velikosti. Změny průřezů jsou problematické na rozvoj raných trhlin.



Obr. 36: Olemování otvorů [23]

Minimální množství výztuže se stanovuje jak konstrukčními zásadami, tak minimální množství výztuže, které zajistí požadované omezení šířky trhlin [23].

3.3 Zatížení nádrží

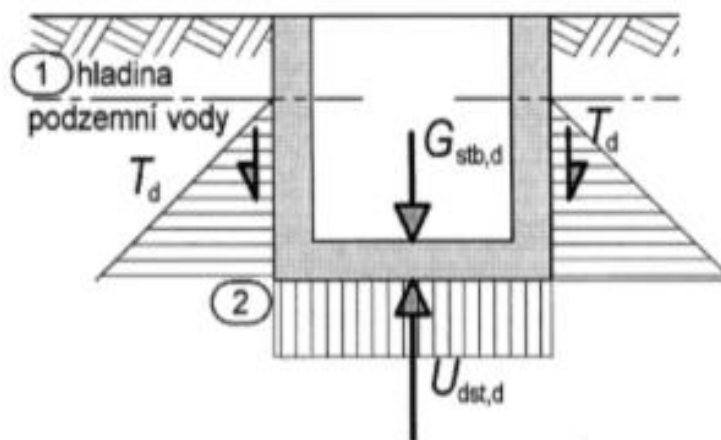
Zatížení nádrže představuje zatížení vlastní konstrukcí a kapalinou uvnitř nádrže. Na konstrukci působí vodorovný tlak zeminy a spodní vody, které působí vodorovně na stěny. Spodní voda působí také vztlakem na základovou desku. Dalšími významnými zatíženími je např. zatížení teplotou. Zatížení se dělí na přímá a nepřímá.

Přímá zatížení působí přímo na konstrukci. Mezi přímá zatížení patří vlastní tíha konstrukce, užitné zatížení, zatížení zemním tlakem a tlakem vody. Vztlak nastane (obr. 37), jestliže vztlková síla $U_{dst,d}$ bude větší než gravitační účinek vany $G_{stb,d}$ zvětšený o tření na bocích T_d . Posouzení na vyplavání konstrukce je nutno u nádrží ČOV provést pro prázdnou nádrž. Opatření na zabránění vyplavání konstrukce je zvýšení tíhy



3 Vodonepropustné železobetonové konstrukce

konstrukce, snížení vodního tlaku pod konstrukcí, nebo ukotvení konstrukce do podložných vrstev.



Obr. 37: Vztlak vody na zasypanou nádrž [23]

Nepřímá zatížení je soustavou vynucených přetvoření, které jsou vyvolané změnou teploty nebo vlhkosti, nerovnoměrným sedáním, nakloněním, smršťováním, nebo dotvarováním betonu [23].

3.3.1 TP ČBS 02

Předpis [4] uvažuje zatížení od vlastní tíhy konstrukce, přesypem, zemním tlakem, tlakem od vody a užitným zatížením. Zemní tlak se uvažuje jak aktivní, tak v klidu. Tlak vody je směrodatný z geotechnického posudku. Vodní tlak klidové podzemní vody se uvažuje jako hydrostatický a nezávislý na propustnosti zeminy.

U mezních stavů použitelnosti se počítá s dlouhodobými zatíženími dle rakouských norem.

Je třeba uvažovat i vynucená namáhání od teploty, smršťování a dotvarování stejně jako je nutno uvažovat silové účinky od sedání. Jestliže je zabráněno volné dilataci základové desky, tak je třeba počítat s vnitřními silami od vynuceného namáhání. Vynucené namáhání je jedním ze tří kritérií při návrhu výztuže, i když je obtížné ho spočítat. U vynuceného namáhání od teploty je nutno uvážit vliv kolísání teplot v těžištích, rozdílných teplot na opačných površích či s nerovnoměrným ohřátím v jednotlivých konstrukčních částech. Vynucená namáhání od dotvarování a smršťování nabývají největších hodnot v počátečním stádiu. Konečná míra smrštění, dle [4], nabývá hodnoty $15 \cdot 10^{-5}$.



3.3.2 TP ČBS 04

Nepřímé nesilové účinky vznikají dle [5] v důsledku teplotních účinků, smršťování a bobtnání betonu a nerovnoměrného sedání. Teplotní účinky jsou vyvolány buď klimatickými podmínkami při výstavbě a provozu, nebo uvolňováním hydratačního tepla při tuhnutí betonu. Hydratační teplo je rozhodující ve fázi tuhnutí. Smršťování se skládá z primárního, které je závislé na vlastnostech betonu a ze smrštění vysycháním, které závisí na vlastnostech betonu, tloušťce konstrukce a okolní vlhkosti. Směrnice uvažuje i s podmínkami uložení základových desek ve vodorovném i svislém směru a stěn a tím např. ovlivňující vznikající tření v konstrukci. Popisuje i různé stavy napjatosti v závislosti tuhosti konstrukce.

Pro zajištění vodonepropustnosti se podle směrnice uvažují časté kombinace zatížení [25].

3.3.3 Dle ČSN 1992-3 a 1991-4

Zatížení nádrží a návrh lze najít v normě ČSN 1992-3 a ČSN 1991-4.

Pro zatížení kapalin se uvažuje stanovený rozsah kapalin, geometrie nádrže a maximální možná hladina kapaliny v nádrži.

Charakteristická hodnota tlaku p je dána vzorcem: $p(z)=\gamma \cdot z$, (3.1)

kde z je výška hladiny kapaliny a γ je tíha kapaliny v nádrži.

Pro čistírny odpadních vod jsou významné návrhové situace při provozních podmínkách, zahrnující způsoby při plnění a vypouštění a návrhová situace při zkoušení nádrží na vodotěsnost. Během provozu i zkoušení vodotěsnosti je nutné uvažovat tíhu produktu od maximální návrhové výšky až do prázdného stavu.

Zatížení nádrže vlastní tíhou se musí uvažovat jako zatížení, které je vyvozené všemi částmi nádrže a všemi součástmi trvale připevněnými k nádrži [1].

Nepřímé nesilové účinky, které musíme při návrhu uvažovat, vznikají v důsledku smršťování a bobtnání betonu, nerovnoměrného sedání či teplotní účinky od klimatických změn a od uvolňovaného hydratačního tepla.

Rovnoměrné i soustředěné užité zatížení se uvažuje dle [1] nebo je stanoveno objednavatelem.

V návrhu se musí uvažovat charakteristické hodnoty zatížení.



Musíme započítat i mimořádná zatížení, mezi které patří i přeplnění nádrže. U podzemních nádrží se nemusí uvažovat kombinace současného působení užitečného zatížení a zatížení od sněhu, jelikož tato situace nenastane [3].

Při návrhu bílých van se musí omezit případné koncentrované napětí v místě změny tloušťky či výškové úrovně spodní stavby. Minimalizace napětí je možná i provedením řízených trhlin [25].

Návrh vyztužení je ovlivněn vnějším zatížením a vynuceným namáháním.

Pro zajištění vzhledu a trvanlivosti konstrukce se podle [2] uvažují kvazistálé kombinace zatížení.

3.4 Technologie vodonepropustného betonu

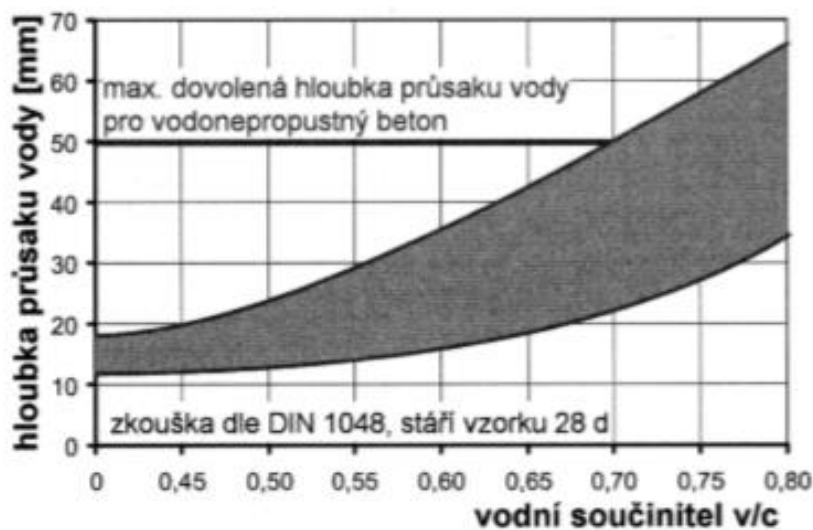
Špatná technologie provádění vodonepropustných konstrukcí způsobuje vznik vodopropustných trhlin, vodopropustnost pracovní spárou i plošný průsak betonem.

Normalizovaný stav betonu předepisují konstrukční třídy pro bedněné betonové díly. Pro normalizované betony jsou stanoveny požadavky na složení a vlastnosti. Složení betonu je navrženo převážně na minimalizaci vynucených namáhání.

Při provádění je nutno hlídat i požadovanou teplotu. Maximální teplotu ovlivňuje teplota čerstvého betonu, teplota prostředí, geometrie konstrukce a vývoj hydratačního tepla betonu. Množství a typ cementu ovlivní vývoj hydratačního tepla při hydrataci. U staveb z vodonepropustného betonu je vhodnější používat cementy s pomalým nárůstem pevností, nebo přidání latentně hydraulické příměsi. Vysoký teplotní gradient při provádění způsobí pnutí konstrukce a dochází ke vzniku povrchových trhlin, které snižují životnost konstrukce. Musí se dát pozor i na ošetření a ukládání betonu. Při výšce volného ukládání větší než 1 m je nutno využít napojovací směs, která má maximální zrna kameniva $D_{\max} = 8$ mm a aplikuje se do jednonásobku tloušťky stěny, nebo do minimální výšky 300 mm [6].

Pro realizaci bílých van se používá beton s konzistencí F3 či řidší, kvůli dostatečné zpracovatelnosti [5].

Pozornost se musí věnovat i vodnímu součiniteli (obr. 38). Pokud by beton obsahoval větší množství záměsové vody, tak by docházelo ke vzniku kapilárních pórů a tím se zvyšovala propustnost betonu. Čím je menší hodnota w/c , tím je větší pevnost a těsnost betonu [15]. Maximální vodní součinitel u ČOV betonu je 0,50, z důvodu agresivity prostředí.



Obr. 38: Závislost max. hloubky vodou nasycené zóny na vodním součiniteli betonu [21]

Objemové změny se podílí na vzniku trhlin. S nižším smršťováním se snižují vynucená namáhání a tím riziko trhlin. Pro bílé vany jsou typické především trhliny od plastického smršťování.

Pracovní spáry jsou slabým místem konstrukce, proto je důležité správné provedení. Těsnící prvky je nutno dobře obetonovat, hluboko ukotvit a správně provést napojení [6].

3.4.1 Ochrana betonu

Nádrže čistíren odpadních vod jsou navrhovány z vodonepropustného betonu (bílých van). Beton je zde vystavován mechanickým, biologickým, chemickým vlivům, fyzikálnímu působení i korozi. PH-faktor prostředí na ČOV se pohybuje i pod hodnotou pH-faktor 5, která je kritickou hranicí pro beton. Z těchto důvodů jsou na beton na čistírnách odpadních vod kladeny vyšší požadavky.

Jedním ze způsobů odolávání vlivům je použití **vysoce kvalitního betonu** s co nejmenším množstvím pórů, které jsou odolné do pH 3,5 a proti chloridům. Pro tyto betony je kritická biogenní koroze kyseliny sírové, která dosahuje i hodnot pH 1. Pro ochranu betonu lze použít speciální silikátové systémy.

Další možností je návrh normálního betonu s povrchovou ochranou s využitím **organických systémů** na bázi epoxidových a polyuretanových pryskyřic. Tyto systémy byly využívány v minulosti, ale v současnosti se již nepoužívají, protože podle posledních

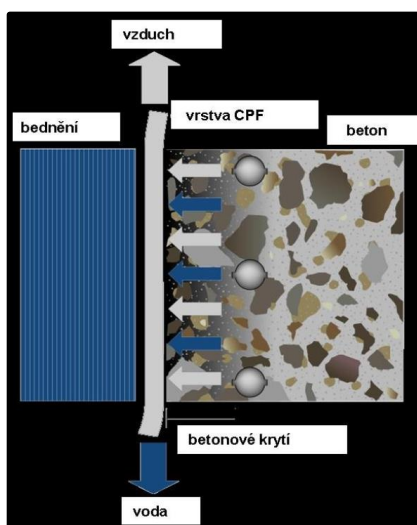


3 Vodonepropustné železobetonové konstrukce

výzkumů se ukázalo, že mají značné nevýhody jako paronepropustnost, omezenou mechanickou odolnost a ztrátu přilnavosti k podkladu [21].

Třetí možností je návrh normálního betonu s povrchovou ochranou s využitím **anorganických systémů** na bázi minerální. Tyto systémy se prokázaly výhodnější než organické systémy. Polymersilikáty, neboli alkalisilikáty, jsou vysoce odolné proti mechanickému působení, vyšším teplotám i mrazu. Polymercementová malta propouští difúzní páry a je odolná vůči kyselému prostředí. Tyto systémy mají dobrou tvarovou a objemovou stálost a jsou fyziologicky nezávadné. Mezi nevýhody těchto systémů patří celistvost. Jestliže dojde k poškození nástřiku na jednom místě, dojde ke ztrátě vlastností celé konstrukce. Voda se dostane do konstrukce, kde bude docházet ke kondenzaci. Vysoce odolný ochranný systém, který se využívá především u otevřených nádrží, je MC-RIM. Jedná se o modifikované cementové malty, které jsou odolné proti sulfátům [21]. Tento systém nelze zaměňovat za konstrukční beton, vždy při sanacích se musí poškozený beton nahradit novým a poté se nanese sekundární ochrana [20].

Další technologií ochrany betonu je drenážní potah bednění (obr. 39). Tento způsob je cenově nenáročný. Drenážní polypropylenový potah působí jako filtrační a drenážní vrstva. Přebytečná voda a vzduch je odváděn z betonové směsi přes drenážní vrstvu mimo bednění. Tím dochází k snížení množství pórů a vodního součinitele. Vzniká kvalitní povrch bez hnízd a dutinek. Beton vytvoří povrchovou nepropustnou skořápku, která je odolná vůči agresivním vodám a mechanickému působení.



Obr. 39: Princip aplikace drenážní tkaniny [36]



Tento způsob ošetření betonu byl využit na čistírně odpadních vod ve Vyškově. Byly využity drenážní bednicí fólie typu ZemDrain [9].

Poslední možností je užití **krystalizačních přísad** při výrobě čerstvého betonu. Složení krystalizačních přísad je jemně mletý portlandský cement, jemný křemičitý písek a chemické látky zajišťující vznik nových krystalů. Tyto přísady nijak nezlepšují pevnost betonu v tlaku ani nemají vliv na modul pružnosti [16]. Díky krystalizačním přísadám, které jsou obsaženy v celém betonu dochází k prorůstání kapilárního systému betonu a posílení ochrany betonu na vnějším líci. Dochází zde ke katalytickým reakcím.

Trhliny menší než 0,4 mm jsou schopny se v průběhu týdnů až měsíců samy dotěsnit. U dynamicky nebo teplotně namáhaných konstrukcí nedochází k utěsnění trhlin z důvodu trvalého namáhání.

Tyto přísady jsou na podobné bázi jako je beton, proto kapaliny, které rozpouští beton, rozpouští i tyto přísady. K úbytku betonu bude docházet pouze na povrchu konstrukce. Krystalizační přísady jsou schopny zpomalit poškození konstrukce i dvojnásobně.

Krystalizační přísady jsou hojně využívány k sanacím bílých van.

Nejnámějšími firmami na trhu zabývajícími se výrobou krystalizačních přísad do betonu jsou Xypex s.r.o. a Sika. Dodnes se krystalizační přísady u ČOV převážně využívají u rekonstrukcí. U novostaveb ČOV se moc nevyužívají z důvodu ceny.

3.5 Trhliny

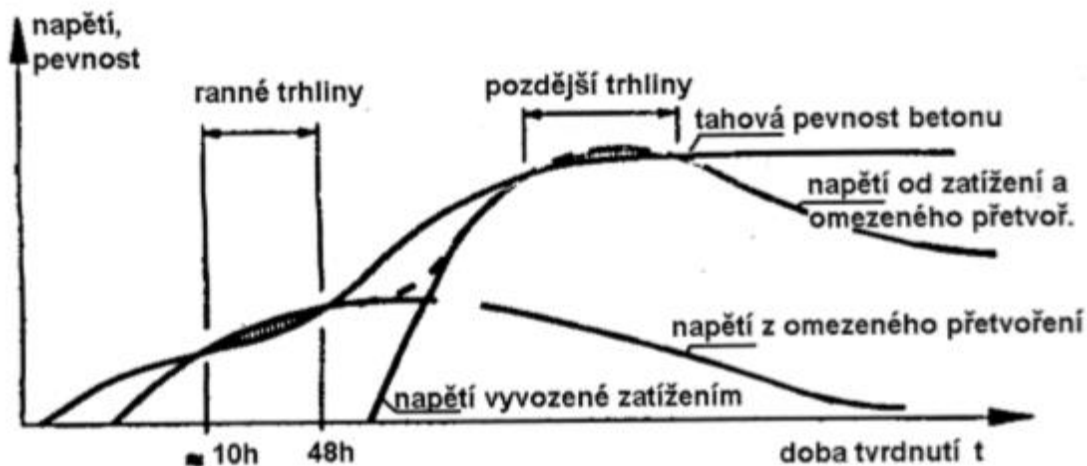
Trhlina je lokálním předělem ve struktuře betonu. Povrchové trhliny nemají vliv na vodonepropustnost konstrukce. Ohybová trhlina, narozdíl od průběžné, neprochází přes celou tloušťku konstrukce, a proto nemá takové dopady na propustnost konstrukce jako trhlina průběžná. Prosáknutí množství vody, způsobené průběžnými trhlinami, je závislé na působícím tlaku, šířce trhliny a tloušťce konstrukce [5].

Trhliny se posuzují ve dvou návrhových případech. Prvním je bezprostředně po betonáži konstrukce a druhý případ je od návrhové zatěžovací kombinace (obr. 40). Trhliny vznikající v čerstvém betonu jsou od plastického smršťování, plastického sedání, sklonu povrchu či od vyhlazování povrchů. Trhliny vznikající ve ztvrdlém betonu mohou vznikat vlivem nevhodného odbedňování a zatěžování konstrukce, nebo vlivem objemových změn, jak je smršťování betonu, dotvarování betonu, vliv teploty či vliv objemových změn. Šířku trhlin lze omezit dilatačními celky, vyztužením, pracovními



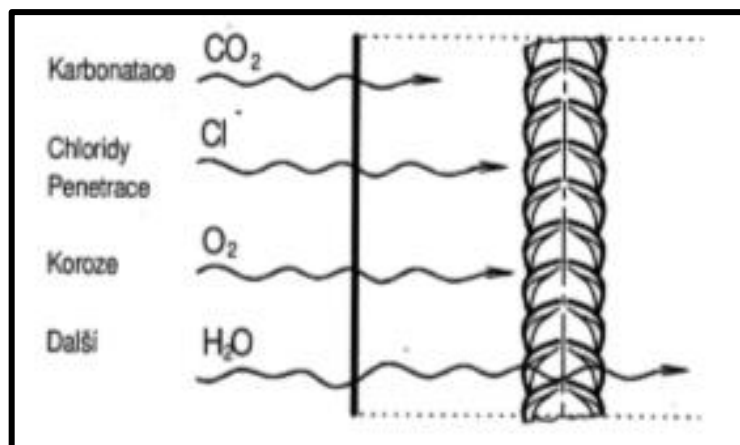
3 Vodonepropustné železobetonové konstrukce

záběry, vhodnou betonovou směsí, ošetřováním betonu, odbedňováním konstrukcí, zatěžováním konstrukcí, nebo úpravou povrchů. Těmito opatřeními lze docílit pouze omezení šířky trhliny, nikoli jejímu úplnému vyloučení [7].



Obr. 40: Trhliny v závislosti na době po betonáži [23]

Jestliže dojde ke vzniku trhliny, dostatečná krycí vrstva by měla zajistit, aby nedošlo ke korozi výztuže v trhlíně po jistou dobu, než dojde k sanaci. Ke korozi dochází za přítomnosti kyslíku (obr. 41) a při poklesu alkality prostředí, $\text{pH} < 9$. Beton díky své alkalitě chrání výztuž před korozi, ale alkalita betonu se snižuje pronikáním agresivních činitelů. Z hlediska vodonepropustnosti je důležitá tloušťka tlačeného betonu bez trhlín [23].



Obr. 41: Proces koroze výztuže [23]

U nádrží ČOV je nutno výztuž posoudit na mezní stav únosnosti i použitelnosti, z důvodu okamžiku vzniku první trhliny. Před vznikem trhlín se rovná přetvoření v betonu a ve výztuži. Šířku trhlín je nutno posoudit na mechanické zatížení a účinky

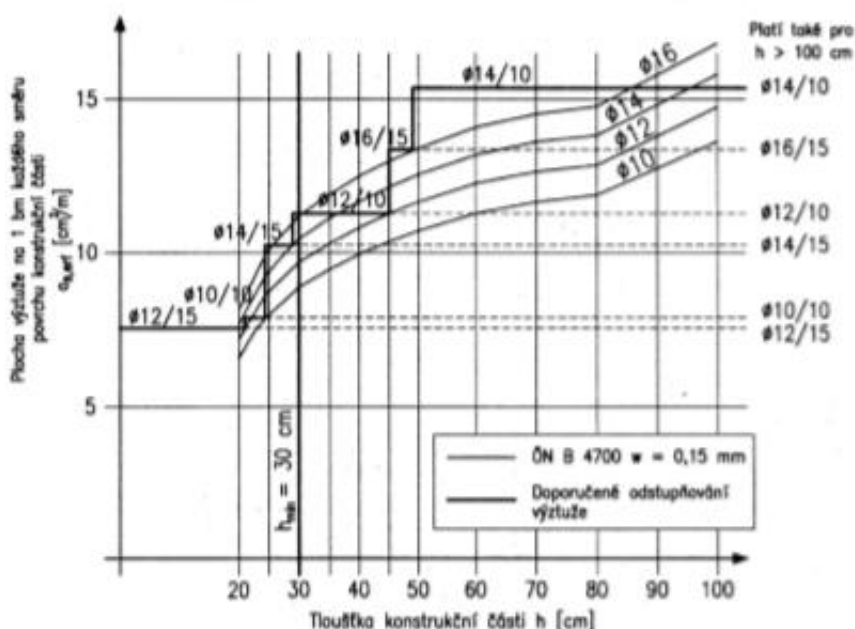


vynuceného namáhání. Výztuží se pouze omezí šířka trhlin, avšak nedojde k zamezení vzniku trhlin [25].

3.5.1 Omezení trhlin dle TP ČBS 02

Při překročení namáhání od zatížení na mezi vzniku trhlin se navrhuje výztuž pro rozhodující kombinaci normálové síly a ohybu. Není nutno uvažovat vynucená namáhání, jestliže poměrná deformace od vynuceného namáhání je menší než 0,8 ‰. Jestliže nastane opačný případ, pak je nutno počítat i s vnitřními silami od vynuceného namáhání.

Omezení šířky trhlin od vynuceného namáhání vyvolaných hydratačním teplem se provádí pomocí grafů uvedených v [4]. Příklad grafu je zobrazen na obr. 42.



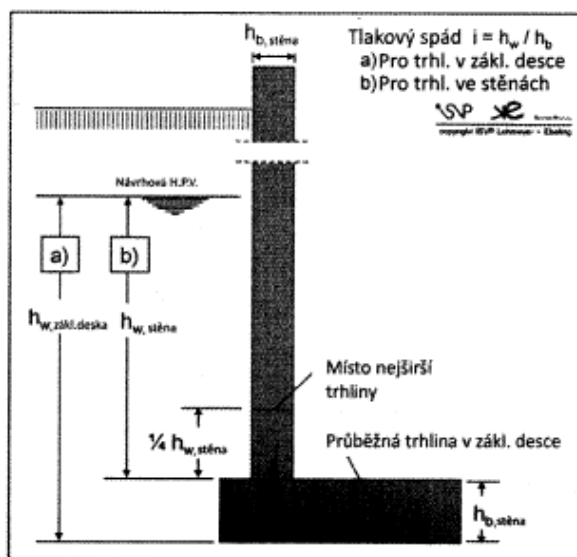
Obr. 42: Min. výztuž na centrické vynucené namáhání pro $w_k = 0,5$ mm a $c = 40$ mm [4]

Jestliže je třeba zohlednit namáhání od zatížení i od vynuceného namáhání, je nutno udělat oba průkazy. Pro vynucené namáhání větší než 0,8 ‰ se stanoví vnitřní síly od vynuceného namáhání s uvažováním snížené tuhosti průřezu kvůli vzniku trhlin. Tyto síly je třeba superponovat s vnitřními silami od zatížení. A pak se pro tyto síly provede posouzení šířky trhlin na namáhání převážně od zatížení [4].

3.5.2 Omezení trhlin dle TP ČBS 04

Výška tlačené oblasti u třídy užívání A, třídy namáhání 1 musí být větší než 30 mm a 1,5násobek maximálního průměru kameniva.

Maximální šířky průběžných trhlin při využití samotěsnící schopnosti jsou závislé na tlakovém spádu. Tlakový spád je podíl výšky vodního sloupce a tloušťky konstrukce (obr. 43). Tlakový spád dělí dovolenou šířku trhlin do tří skupin. První skupinou je dovolená šířka trhliny 0,2 mm pro tlakový spád menší než 10. Druhou skupinou je tlakový spád větší než 10 a zároveň menší nebo roven 15. Pro tuto skupinu je dovolená šířka trhliny 0,15 mm. Třetí skupinou je tlakový spád od 15 do 25, pro nějž je dovolená šířka trhliny 0,1 mm. Pro agresivní vodu s vyšší koncentrací kyseliny uhličité a pH menším než 5,5 se nesmí uvažovat samotěsnící schopnosti [5].



Obr. 43: Určení tlakového spádu [5]

3.5.3 Omezení trhlin dle ČSN EN 1992-1-1

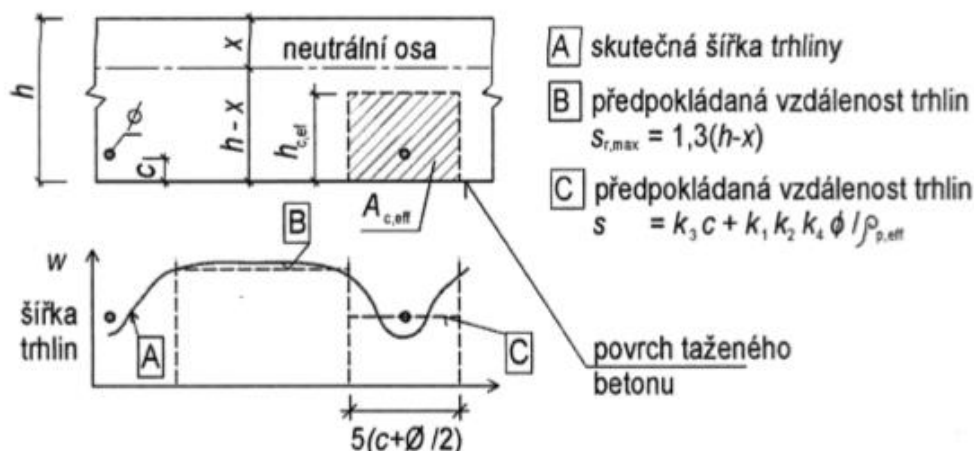
Tato norma požaduje kontrolu minimální plochy tahové výztuže v mezním stavu únosnosti i v mezním stavu použitelnosti. Minimální plocha výztuže v MSÚ má zajistit, aby konstrukce nebyla porušena křehkým lomem. Minimální množství výztuže u MSP se stanoví v oblasti, kde je očekáván tah z rovnováhy mezi tahovou silou v betonu těsně před vznikem trhliny a tahovou silou ve výztuži stanovenou při napětí ve výztuži při požadované šířce trhliny. Při vzniku raných trhlin je tahová pevnost betonu $f_{ct,eff}$ velmi obtížná určit, protože ji ovlivňuje více faktorů, např. hydratační teplo, doba odbednění, okolní teplota atd. Proto při návrhu je tato hodnota pouze odhadnuta na polovinu průměrné hodnoty pevnosti betonu v tahu [23].

Dle této normy lze přistoupit k návrhu výztuže dvěma způsoby. Prvním způsobem je zjednodušená metoda bez přímého výpočtu, která je založena na tabulkách. V těchto



3 Vodonepropustné železobetonové konstrukce

tabulkách lze nalézt maximální průměry prutů a jejich maximální vzdálenost na základě napětí ve výztuži a maximální šířce trhlin.



Obr. 44: Šířka trhlin v lici prvku podle vzdálenosti prutů [23]

Druhým způsobem je výpočet šířky trhlin. Tento vztah je:

$$w_k = s_{r,max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}), \quad (3.2)$$

kde w_k je maximální vzdálenosti trhlin a $\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}$ je rozdíl průměrných hodnot poměrného přetvoření výztuže a betonu mezi trhlami. Tento rozdíl se vypočítá ze vzorce:

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ct,eff}}{\rho_{p,eff}} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p,eff})}{E_s} \geq 0,6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}, \quad (3.3)$$

kde σ_s je tahové napětí ve výztuži, E_s je návrhová hodnota modulu pružnosti betonářské oceli, k_t je součinitel závisící na době trvání zatížení, $f_{ct,eff}$ je hodnota pevnosti betonu v tahu při první trhlíně, $\rho_{p,eff}$ je účinný stupeň vyztužení a α_e je poměr modulů pružnosti výztuže a betonu. Maximální vzdálenost trhlin se vypočítá ze vztahu:

$$s_{r,max} = k_3 \cdot c + k_4 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \phi / \rho_{eff}, \quad (3.4)$$

kde c je tloušťka krycí vrstvy výztuže, ϕ je průměr použité výztuže, ρ_{eff} je účinný stupeň vyztužení, k_1 je součinitel vystihující vlastnosti soudržné výztuže, k_2 je vystihující součinitel rozdělení poměrného přetvoření, k_3 je součinitel vyjadřující vliv poškozené soudržnosti betonu a výztuže v bezprostřední blízkosti trhliny a k_4 je součinitel vyjadřující vztah mezi soudržností a pevností betonu v tahu.

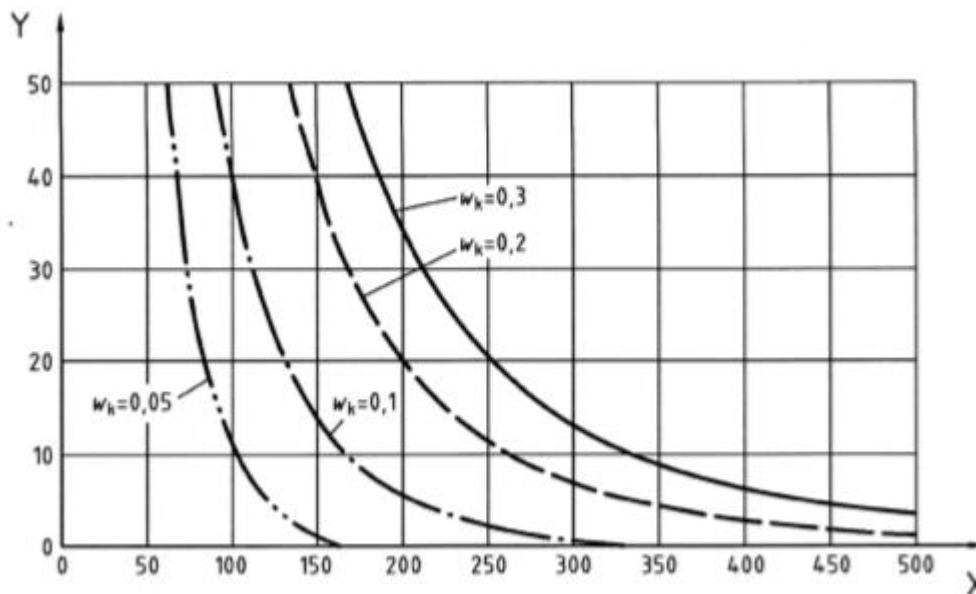
3.5.4 Omezení trhlin dle ČSN EN 1992-3

Dle této normy se stanoví maximální průměr prutů (obr. 45) a jejich vzdálenost z grafů v závislosti na napětí ve výztuži. Napětí ve výztuži má být spočteno z průřezu



3 Vодonepropustné železobetonové konstrukce

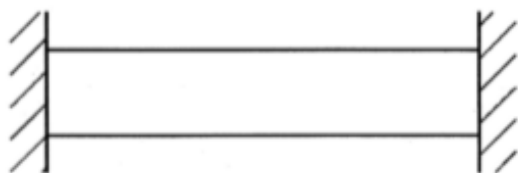
s trhlinami v dané kombinaci. Křivky zobrazené v grafech jsou pro šířky trhlin 0,05 mm, 0,1 mm, 0,2 mm a 0,3 mm. Pro mezilehlé hodnoty šířky trhlin se používá interpolace.



Obr. 45: Maximální průměry prutů pro omezení šířky trhlin u prvků namáhaných tahem [3]

Minimalizace rozvoje trhlin v důsledku vynucených přetvoření se u konstrukční třídy 1 minimalizuje pomocí výsledného tahového napětí, které nesmí být větší než tahová pevnost betonu $f_{ctk,0.05}$. U konstrukční třídy 2 a 3 je nutno zabezpečit tlakové napětí v celém průřezu. Můžeme toho dosáhnout pomocí omezení růstu teploty vyvolané hydratací cementu, odstraněním nebo zmenšením omezených přetvoření, zmenšením smršťování betonu, použitím betonu s nízkým součinitelem teplotní roztažnosti, použitím předpětí a použitím betonu se schopností přenášet velké poměrné tahové přetvoření.

Tato norma rozeznává dva případy, vetknutí prvku na jeho koncích (obr. 46) a vetknutí podél jedné hrany (obr. 47). První případ nastane, jestliže je dodatečně vybetonována stěna mezi dvě existující stěny. Druhý případ bývá častější, protože nastává v případě, že je stěna betonována na již tuhý základ. V druhém případě vznikají trhliny pouze vlivem rozdělení napětí lokálně a trhлина vzniká spíše v důsledku omezení přetvoření než kvůli překročení mezního přetvoření betonu v tahu. V obou případech se maximální šířka trhliny spočítá podle vzorce (3.2), Pouze vztah rozdílu průměrných hodnot poměrného přetvoření výztuže a betonu mezi trhlinami se mění [3].



Obr. 46: Vetknutí po obou koncích [3]



Obr. 47: Vetknutí podél jedné hrany [3]

Podle této normy s kombinací ČSN EN 1992-1-1 se navrhují ČOV.

3.5.5 Tření v základové spáře

Velikost třecí síly v základové spáře závisí na velikosti zatížení ve spáře, rovinnosti kontaktní spáry, součiniteli tření μ mezi deskou a podložím (tab. 2) a vodorovné nedeformovatelnosti horních vrstev zeminy. Jestliže je deska kluzně uložena, tak se může volně smršťovat.

U malých ČOV se nejčastějším řešením betonová vyhlazená vrstva, na kterou jsou položeny dvě PE folie, aby byl pokluz umožněn.

Tab. 2: Součinitele tření základových desek s podložím [23]

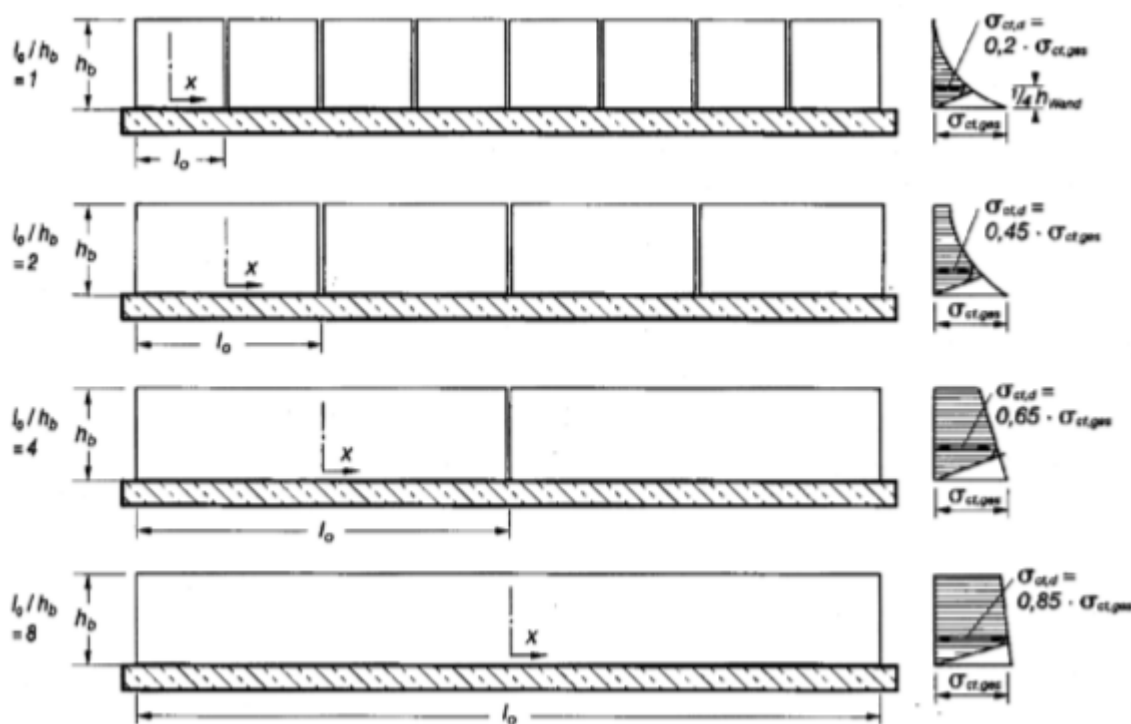
Spodní konstrukce pod základovou deskou	Oddělující prvky	Součinitel tření μ_0 (charakteristická hodnota)**)
Nesoudržné podloží	žádný	1,4 až 2,1
Štěrkové / pískové podloží	žádný	$h=0,20\text{m} \dots 1,4$ *)
		$h=0,80\text{m} \dots 0,9$ *)
Pískové podloží	Nopová fólie	0,8 až 1,0
	PE - fólie	0,5 až 0,7
Začišťovací betonová vrstva - vyhlazená	PE - fólie	0,8 až 1,4
	2x PE - fólie	0,6 až 1,0
	Hydroizolační pas (min. 5mm)	0,35 až 0,70
*) h je tloušťka základové desky		
**) návrhová hodnota součinitele tření je $\mu_d = \gamma_R \cdot \mu_0 = 1,35 \mu_0$		

Základní rastr výztuže základové desky se navrhne na větší z hodnot tahové síly v základové desce při úniku hydratačního tepla, která vzniká při jejím pokluzu na podkladu, nebo na tahovou sílu v betonu vznikající z vývoje hydratačního tepla v základové desce krátce před vznikem trhlin [23].



3.5.6 Omezené přetvoření stěny

Tahové napětí ve stěnách vniká od hydratačního tepla při omezeném přetvoření. Omezené přetvoření se nachází u stěn, protože jsou většinou betonovány na již tuhou základovou desku. Největší napětí lze očekávat přibližně v jedné čtvrtině výšky stěny (obr. 48).



Obr. 48: Omezené přetvoření stěny [23]

Návrhové tahové napětí je součinem tahového napětí betonu, které vznikne od hydratačního tepla a součinitele pro přepočítání, jehož hodnota závisí na poměru délky stěny k její výšce. Jestliže je tento poměr menší nebo roven jedné, pak součinitel omezí napětí až na jednu pětinu z původní hodnoty. Jestliže je poměr větší než 10, pak nedochází k omezení návrhového napětí [23].

3.6 Stavební spáry

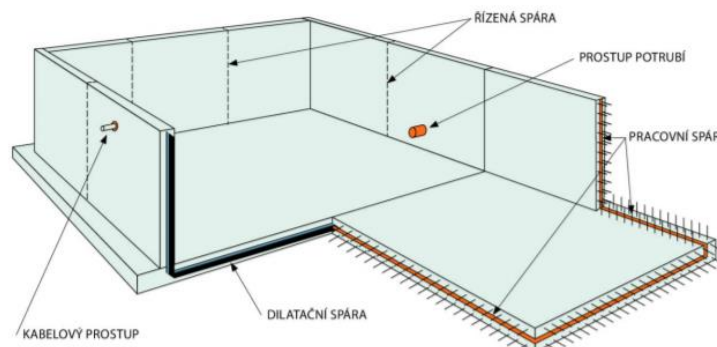
Problematické stavebních spár je nutno věnovat pozornost jak při návrhu, tak při výstavbě konstrukce [13].

Spára se definuje jako průřez na styku dvou konstrukčních částí nebo úseků betonáže [5].

Spáry (obr. 49) se dělí na pracovní, dilatační a řízené smršťovací spáry. Vodonepropustné konstrukce mají stejné požadavky na těsnění spár jako celá konstrukce,



aby nesnížili její účinnost [4]. Pokud lze betonovat v jednom záběru, nesmí být betonáž přerušena na déle než 24 hodin. Při opačné situaci by muselo dojít k osazení pásků.

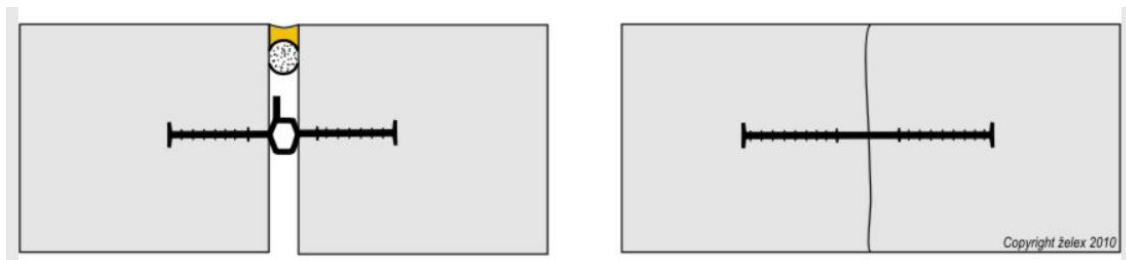


Obr. 49: Typy spár [5]

Železobetonové konstrukce je z důvodu technologie betonáže nutno rozdělit pracovními spárami na kratší úseky, které se betonují každý zvlášť. [4]. Výztuž není v tomto místě přerušena, protože se neuvažuje s pohybem konstrukce v tomto detailu. Polohu této spáry u čistíren odpadních vod určuje statik a musí být známá před začátkem výstavby [10]. Nejčastější poloha pracovní spáry u ČOV se nachází mezi spodní deskou a stěnou a další v místě nulových momentů, což je přibližně ve třetinách stěn. Poloha těsnícího pásu u pracovních spár je vnější, nebo vnitřní. Tyto spáry se obvykle těsní pomocí těsnících plechů nebo spárovými těsnícími pásy z PVC [6]. Pracovní spáru na stavbě lze poznat podle různého odstínu betonu (obr. 50).

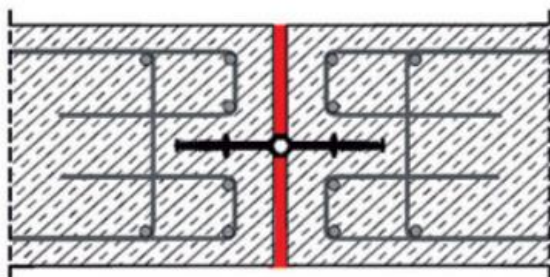


Obr. 50: Pracovní spára na stavbě

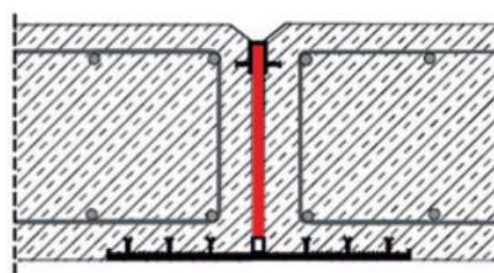


Obr. 51: Rozdíl mezi těsnícím pásem pro dilatační (vlevo) a pracovní (vpravo) spáru [31]

Dilatační spáry se umisťují do konstrukce z důvodu pohyblivosti konstrukce. U ČOV dilatační spáry mohou povolovat pouze vodorovný pohyb, ne svislý, proto se navrhují se smykovými trny. Spáry oddělují stavební díly přibližně po 15 až 60 m, ale jestliže je to možné, je lepší se jim vyhnout. Výztuž v tomto místě je přerušena, z důvodu pohybu jednotlivých částí konstrukce. Těsnící profil použitý v tomto detailu musí plnit funkci těsnící, ale zároveň musí přenést pohyb v dilatační spáře [10]. Šířka této spáry se obvykle pohybuje kolem 20 mm. Dilatační spáry by měly být v místě, kde se dají kontrolovat a opravovat z důvodu nižší životnosti těsnícího materiálu, než je navrhovaná životnost konstrukce [3]. Poloha těchto spár se dělí na vnitřní (obr. 52), vnější (obr. 53) a ukončovací. Ukončovací profil se využívá u povrchového těsnění k utěsnění lícové strany a nevyužívá se za přítomnosti vyšší tlakové vody. Tyto spáry se nejčastěji provádějí pomocí dilatačních pásů z PVC [10].

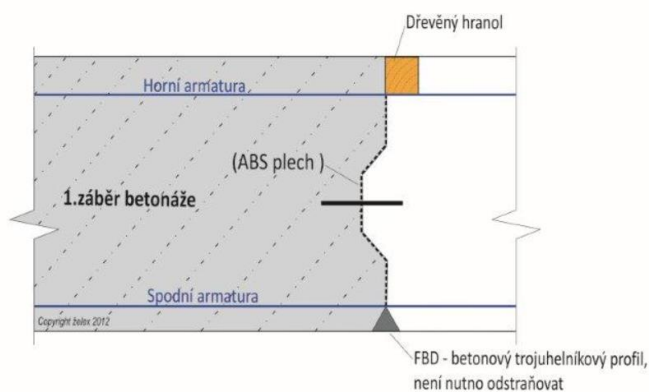


Obr. 52: Vnitřní těsnící pás [38]

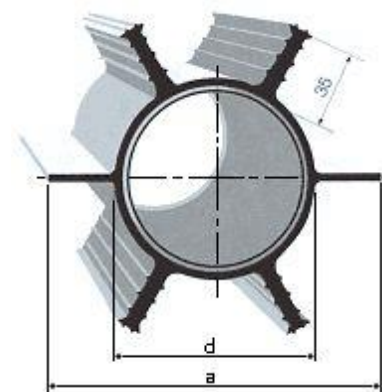


Obr. 53: Vnější těsnící pás [38]

Řízené smršťovací spáry (obr. 54), neboli nepravé spáry, se umisťují do míst, kde se vyskytuje vysoké pnutí betonu. V těchto místech dochází k řízenému vzniku trhlin. Prvek použitý na oslabení průřezu se osadí mezi výztuž a přikotví se, aby při betonáži nemohl změnit svou polohu. Pouhé zasunutí do čerstvého betonu není povoleno. Mezi pracovní spárou či okrajem a plechem musí být minimální vzdálenost 50 mm, aby byla provedena správná betonáž. Tento prvek má za úkol i utěsnit daný detail. Tyto spáry se provádějí pomocí tzv. „sluníček“ (obr. 55) či „křížového plechu“. „Sluníčka“ jsou méně oblíbená než „křížový plech“ [13].



Obr. 54: Řízená smršťovací spára [31]



Obr. 55: „Sluníčko“ [31]

3.6.1 Navrhování spár

Dle **TP ČBS 02** jsou pracovní spáry realizovány jako protismykové a přednost mají pásy umístěné do vnitřní části spáry. Pracovní spáru i těsnící prvek je nutno před začátkem provádění očistit.

Vzdálenost dilatačních spár je dána dle konstrukční třídy. Směrnice upřednostňuje pásy umístěné ve vnitřní části spáry. U těžko proveditelných spár se doporučuje injektáž oblasti kořene příčných ramen zabetonovaných těsnících pásů.

Vodonepropustnost těsnících pásů spár je založena na čtyřech principech. Prvním je labyrintový princip, který je založen na prodloužení cesty vodě a hojně změně směru. Na tomto principu pracují termoplasty, elastomery a kombinační polymerizáty. Druhým je princip ukotvení, který je založen na přilnavosti betonu a ukotvení kovového pásku. Na principu ukotvení fungují plechy bez potažení. Třetí princip, přitlačení, je založen na přitlačení bobtnajícího pásku k bokům spáry. Bobtnavé těsnící pásy pracují na principu přitlačení. Čtvrtým principem je zaplnění, který se zakládá na principu zaplnění pracovních spár, trhlin, štěrkových hnízd a dutin injektážními hadičkami a kanálky, které jsou dlouhé 8 až 10 m. Směrnice popisuje konkrétní případy použití jednotlivých principů i možnosti spojení, pro jaké spáry je princip vhodný a pro jaký materiál a případně další požadavky na spoj.

Ve směrnici lze nalézt tři třídy těsnících pásů, které se určí z třídy tlaku vody a typu spáry. Pro každou třídu těsnícího pásu lze nalézt materiál, jeho minimální tloušťku i šířku.

Řízené spáry nejsou v předpisu [4] připuštěny.

Návrh dilatačních spár se dle **TP ČBS 04** doporučuje jen v nevyhnutelném případě, kdy relativní posuny mezi sousedními částmi nelze vyřešit jiným opatřením.



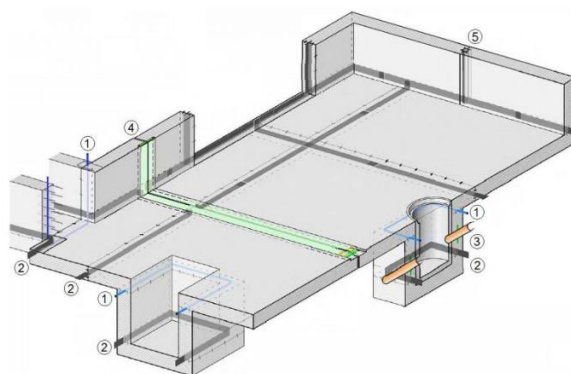
3 Vodonepropustné železobetonové konstrukce

Pracovní spára mezi pracovní deskou a stěnou se navrhuje buď v rovině desky nebo jako sokl, který musí být vybedněn a betonován spolu se základovou deskou. Druhý den po betonáži desky je nutno pracovní spáry očistit od cementového mléka pomocí proudu vody. Před betonáží stěny musí být odhalené kamenivo, čistý povrch a použita vždy napojovací směs. V této směrnici jsou povoleny řízené spáry, u kterých musí být zaručena těsnicí funkce i po vzniku trhlin. V tomto detailu je vyžadováno dostatečné oslabení betonu, minimálně o $1/3h$, kdy h je tloušťka průřezu, i výztuže. Pro třídu užívání A je nutné zabudování těsnicího prvku, pro třídu užívání B se použije těsnění spáry, nebo omezení šířky průběžných trhlin.

Těsnění spár vyžaduje průkaz použitelnosti. Těsnicí prvky vnější, umístěné na návodní straně, fungují na principu těsného spojení s povrchem betonu adhezí nebo přitlakem. Při výběru systému těsnění by měl být brán zřetel i na zkušenosti účastníků výstavby. Další pozornost musí být věnována detailům, kde se mění těsnicí materiál [5].

3.6.2 Těsnicí systémy

Systém těsnění musí být uzavřený a vzájemně propojený z kompatibilních prvků [10].



Příklad železobetonové konstrukce spodní stavby – bílá vana s těsněním pracovních spár, dilatačních spár a prostupů inženýrských sítí

Příklad bílé vany s těsněním spár a prostupů potrubí:

1. izolace pracovních spár bentonitovým bobtnavým páskem
2. izolace pracovních spár těsnícím plechem
3. izolace prostupů potrubí bentonitovým bobtnavým páskem
4. izolace dilatačních spár vnějším lepeným těsnícím pásem
5. izolace řízené trhliny smršťovacím profilem

Obr. 56: Těsnění spár [28]

Bentonitové a termoplastické bobtnavé pásky se používají jako těsnicí systém do spár. Bobtnavé pásky nasáknou vodu a tím zvětší objem o více než 500 %. Tyto pásky



3 Vodonepropustné železobetonové konstrukce

fungují na poměru tlaku. Kontaktní tlak musí být větší než hydrostatický, aby byla splněna těsnící funkce pásu. Pro správnou funkci musí být správně zabetonovány.

Bentonitové pásy se používají do pracovních spár monolitické konstrukce.

Termoplastické pásy, neboli „bobtnající guma“, se používají také do pracovních spár monolitických konstrukcí, ale i do spár prefabrikovaných konstrukcí.

Umístění bobtnavých pásků (obr. 57) je obvykle do středu konstrukce a v minimální vzdálenosti 20 mm od výztuže. Pokud jsou umístěny mimo střed průřezu konstrukce, musí být dodržena minimální vzdálenost od povrchu konstrukce 80 mm.

Fixace těchto pásků je přilepením nebo nastřelovacími hřebíky [10].

Dle TP ČBS 04 není vhodné používat tento těsnící systém pro třídu užívání A a třídu namáhání 1, pokud by hrozilo vyschnutí bobtnajícího pásu [5].

	Pracovní spára deska–stěna	Pracovní spára deska–deska nebo stěna–stěna	Řízená spára nebo stykovací spára filigránové stěny
bobtnající profil			
oblast použi- ti dle abP			

Obr. 57: Vnitřní bobtnající těsnění [5]



Obr. 58: Termoplastický bobtnavý pásek [28] Obr. 59: Bentonitový těsnící pás [32]

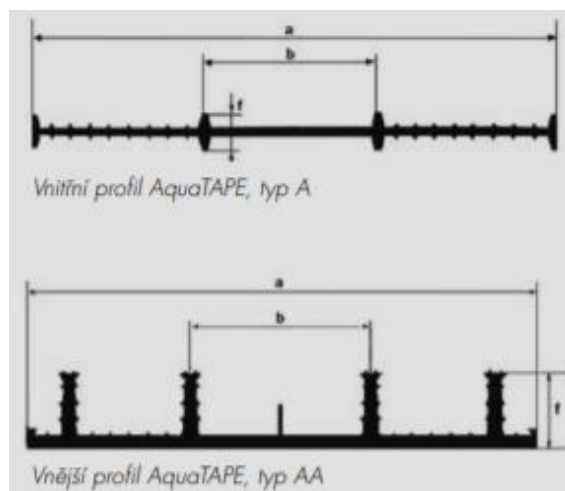
PVC těsnící pásy (obr. 60) je druhý systém používaný v těsnění. Těsnící pásy na bázi PVC-P fungují na principu tzv. labyrintového efektu. Profily se musí umístit symetricky k pracovní spáře, aby byla do obou částí zapuštěná stejná část profilu. PVC



3 Vodonepropustné železobetonové konstrukce

pásky musí být umístěny v minimální vzdálenosti od výztuže 20 mm a v mnoha případech je u těchto pásů nutná úprava výztuže. Tlak obtékající vody postupně klesá.

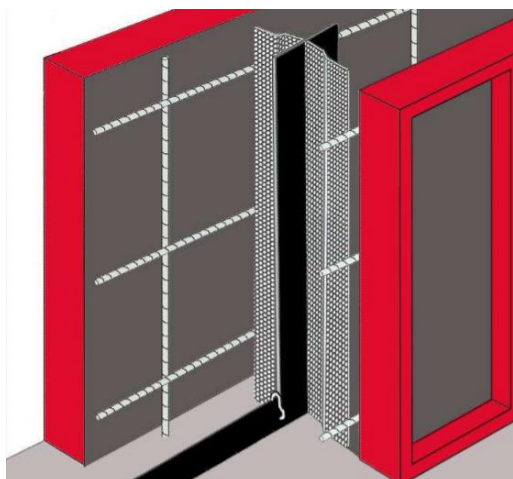
Tyto tradiční typy těsnění mohou být umístěny na vnější i vnitřní straně i ve středu konstrukce. Ideální umístění těsnícího prvku je na vnější i vnitřní líc stěny, z finančních důvodů se umísťuje pouze doprostřed. Dalším důvodem pro umístění do středu konstrukce je i možnost kombinace s ostatními těsníci systémy [10].



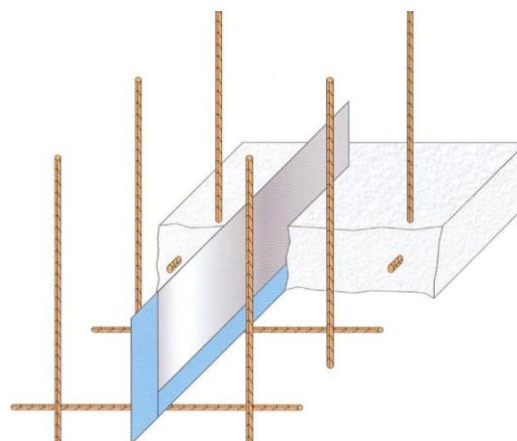
Obr. 60: Typy PVC těsnících profilů [45]

Těsnící plech je další ze systémů využívající se v těsnění. Těsnící plechy jsou opatřeny povrchovou úpravou, nebo se použijí plechy s krystalizací, u nichž je povrch opatřen povlakem z krystalické izolace. Tyto plechy se umísťují do středu průřezu konstrukce a jejich zapuštění je minimálně 30 mm. Spoje plechů se provádějí pouhým přiložením plechů k sobě s nutností dodržet předepsané přesahy od výrobců a sepnutím spoje sponou. Minimální vzdálenost těsnících plechů od výztuže musí být 20 mm, kvůli správnému probetonování. Účinnost těchto plechů je okamžitá. Výhodou je možnost využití těchto systémů bez svařovaných spojů, u nichž nedochází k oxidačním a korozním vlivům [10].

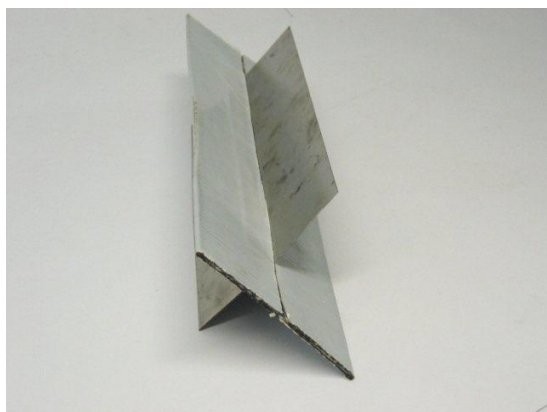
Těsnící plechy bez povrstvení, dle [5], se u třídy namáhání 1 a třídy užívání A používají pouze u pracovních spár s malými deformacemi, z důvodu uvolnění těsného spojení mezi betonem a plechem při větších deformacích.



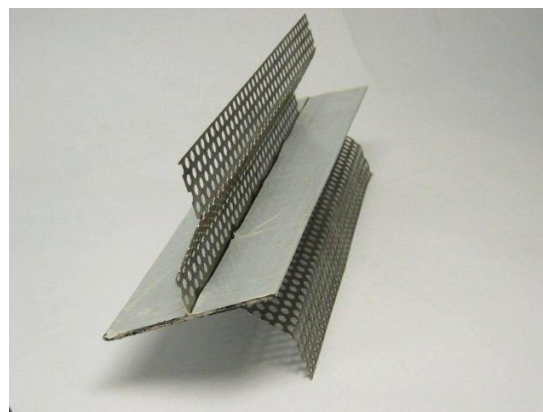
Obr. 61: Těsnící křížový plech umístěn v bedněni [37]



Obr. 62: Těsnící plech Realquell [43]

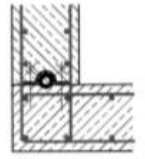



Obr. 63: ASS plech na řízené spáry [31]



Obr. 64: ABS plech na pracovní spáry [31]

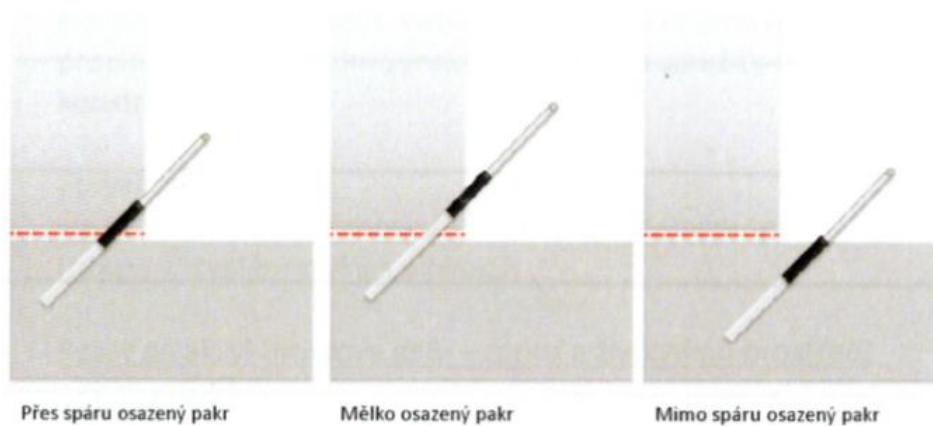
Systémy injektážních hadiček je čtvrtým způsobem těsnění spár. Plastová hadička (obr. 67) se používá na utěsnění pracovních spár pomocí injektážní směsi, např. mikrocement, pryskyřice, gely či akryláty. Tento systém se obvykle aplikuje jako pojistný k jinému těsnění. Hadička se umístí za primární těsnící systém, obvykle do středu konstrukce, dále od zdroje vody. Pokud je hadička umístěna mimo střed konstrukce, musí být zajištěna minimální vzdálenost od povrchu konstrukce 80 mm. Výhodou těchto systémů je tvarová variabilita, jednoduchost montáže a možnost okamžitého dotěsnění [10].

	Pracovní spára deska–stěna	Pracovní spára deska–deska nebo stěna–stěna
Injektáž pomocí injektážní hadičky		
oblast použití dle abP	Vyřešit zajištění potohy! Vyřešit spoje!	Vyřešit zajištění potohy! Vyřešit spoje!

Obr. 65: Injektážní těsnění [5]



Obr. 66: Injekt. hadička ukončená injekt. Pakry[28]



Obr. 67: Osazení pakrů [8]

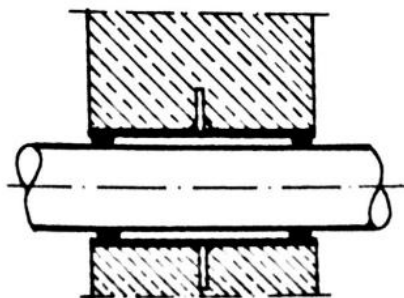
Kombinací těsnících systémů lze dosáhnout lepších vlastností těsnění. Kombinovaný systém se skládá z primárního a sekundárního těsnícího prvku. Primární prvek se umístí blíže ke zdroji vody a sekundární dále. Musí být dodrženy zásady osazení pro jednotlivé těsnící prvky a minimální vzdálenost mezi primárním a sekundárním 50 mm [10].

3.7 Prostupy

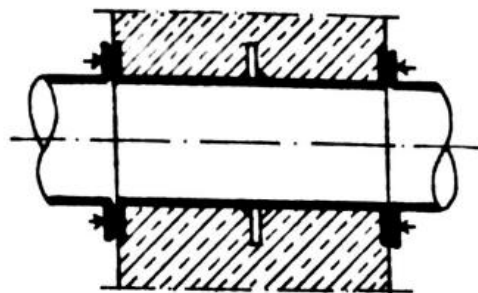
Prostupy jsou definovány jako průchody zabudovaného prvku vodonepropustnou konstrukcí. Jedná se např. o trubní vedení, odpad, kabelová vedení či spínací prostředky bednění [5].

Prostup je jedním z rizikových míst u bílých van. O konstrukci lze říct, že je vodonepropustá, jestliže budou vodonepropustné i její prostupy. Prostupy je nutno uvažovat již při návrhu a musí být jasná jejich pozice před začátkem stavby. Každý vstup nezávisle na jeho velikosti musí být statikem vyztužen příložkami. Prostup by měl konstrukcí procházet nejkratší možnou cestou, to znamená kolmo na povrch. Potrubí vedené podélně by oslabovalo průřez konstrukce až do té míry, že by tyto průřezy byly citlivé na vnik trhlin [17].

Zabudování kovové trubky jako chráničky s vnitřní manžetou a se zatěsněním vnitřního povrchu polyuretanovým tmelem je nejpoužívanějším těsnění vstupů (obr. 68). U konstrukcí s vyšším tlakem podzemní vody musí být toto řešení vstupu doplněno povrchovou manžetou se sevřeným utěsněním na vnějším líci objektu (obr. 69). Další možností těsnění vstupů je možnost využití mechanicky rozpínavých kroužků [8].

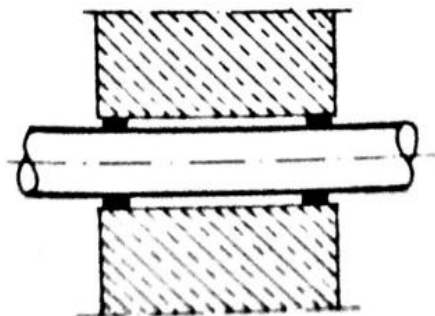


Obr. 68: Prostupu konstrukcí
se zatěsněním vnitřního povrchu [17]



Obr. 69: Prostupu konstrukcí
pro vyšší tlak vody [17]

Metoda dodatečně vyvrtaného otvoru (obr. 70) se segmentovým utěsnění kolem roury se nedoporučuje. Prvním důvodem je možnost narušení strukturálních vlastností konstrukce a její vodonepropustnosti. Druhým důvodem je absence výztuže kolem dodatečně provedeného otvoru. Třetím důvodem je nedostatečná hloubka těsnících kroužků, která by nedokázala zabránit obtoku vody při větším tlaku podzemní vody. Jestliže by přesto byl potřeba dodatečný otvor, musí být proveden jádrovým vrtem a poté musí být provedena zkouška těsnosti [17].



Obr. 70: Prostup konstrukcí
dodatečně provedený otvor [17]



Obr. 71: Utěsnění prostupu



Obr. 72: PVC pažnice [41]



*Obr. 73: Segmentový mechanicky
rozpínavý kroužek [41]*



4 Konstrukční návrh

Ve statickém výpočtu jsou podrobně navrženy nádrže čistírny odpadních vod v Kamenici (obr. 74).



Obr. 74: Stavba ČOV Kamenice

Nádrže ČOV jsou navrženy z vodonepropustného betonu (bílá vana). Čistírna se skládá z celkem 4 nádrží, zleva doprava to jsou dosazovací nádrž, nitrifikace a denitrifikace. Nádrž kalojemu se nachází z boční strany denitrifikační nádrže a tím rozšiřuje nádrž v příčném směru. Nádrž ČOV je dlouhá 14,9 m a v příčném směru má 5,0 m a 7,6 m v místě kalojemu. Jednotlivé velikosti nádrží lze nalézt v příloze C1. Stěna ST9 je součástí nádrží a zároveň provozního objektu. Provozní objekt ČOV není řešením bakalářské práce.

Podkladní beton pro základovou desku je tloušťky 100 mm a bude mít hladký povrch. Na podkladní beton budou uloženy dvě PE folie, které nebudou nijak pevně spjaty, aby byl umožněn pokluz základové desky v době smršťování betonu. A tím bude zamezeno vzniku nežádoucích trhlin v betonu. Základová deska je navržena tloušťky 400 mm. Rozhodujícím stavem pro návrh výztuže je smršťování po betonáži. Navržená výztuž v podélném směru, která je blíže k povrchu s krytím 40 mm, je $\text{Ø}12$ po 150 mm. Výztuž v příčném směru je $\text{Ø}12$ po 200 mm. Závlačová výztuž základové desky je napočítána na běžné metry a nakreslena v příloze C2. Podrobné rozkreslení výztuže základové desky, včetně řešení přesahů závlačové výztuže lze nalézt v příloze C2. V této příloze je možno také nalézt startovací výztuž do stěn, která je pro přehlednost rozkreslena i v řezech.

Mezi základovou deskou a jednotlivými stěnami je navržena pracovní spára, která bude provedena pomocí bitumenových plechů. Stěny nádrží jsou navzájem kolmé.



4 Konstrukční návrh

Otvory a výšky jednotlivých stěn lze nalézt v příloze C1. Vodorovná výztuž všech stěn je navržena blíže k povrchu s krytím 40 mm. Stěny ST1, ST2, ST3, ST5, ST6 a ST7 jsou navrženy v tloušťce 400 mm. Vodorovná výztuž těchto stěn je $\varnothing 14$ po 100 mm a svislá výztuž je navržena $\varnothing 12$ po 100 mm. Stěna ST4 má tloušťku 500 mm od výšky -5,750 m do -1,250 m. Ve výšce -1,250 m stěna usakuje na tloušťku 300 mm. Na tomto ozubu je osazen provozní objekt, který není předmětem bakalářské práce. U stěny ST4 je vodorovná výztuž navržena jako $\varnothing 14$ po 100 mm a v horní části, kde stěna je tloušťky 300 mm, $\varnothing 14$ po 90 mm. Svislá výztuž této stěny je $\varnothing 14$ po 100 mm. V místě uskočení stěny je svislá výztuž zakotvena pomocí U profilu. Touto stěnou je nakreslen pro přehlednost řez s rozkreslením výztuže, který lze najít v příloze C3. Vnitřní stěny ST8 a ST9 jsou navrženy tloušťky 300 mm. Vodorovná výztuž těchto stěn je navržena jako $\varnothing 14$ po 100 mm a svislá výztuž jako $\varnothing 16$ po 100 mm. Výztuže jednotlivých stěn, včetně příložek kolem otvorů lze nalézt nakreslenou v příloze C3. Rozhodujícím stavem pro návrh výztuže všech stěn jsou mezní stavy použitelnosti.

Deska nad kalojemem je navržena tloušťky 250 mm. Půdorysné rozměry této desky jsou 3,0 m x 4,3 m. Navržená výztuž v podélném směru, která se nachází blíže u povrchu s krytím 40 mm, je $\varnothing 12$ po 100 mm. Výztuž v příčném směru je navržena jako $\varnothing 12$ po 100 mm. Rozhodujícím stavem pro návrh výztuže desky nad kalojemem jsou mezní stavy použitelnosti.

Veškerá navržená výztuž nádrží vyhovuje požadavkům MSÚ i všem typům MSP.

Dilatační spáry nejsou vzhledem k rozměrům nádrží potřeba, a tak nejsou navrhovány.



5 Závěr

Bílé vany jsou v dnešní době jedinou technologií, která se využívá při návrhu ČOV. Vodonepropustnost konstrukce závisí na technologických kritériích realizace a na návrhových kritériích projektu, proto se jedná o složitější konstrukci. Proto je důležité nejen zvolit správný beton, ale i ho správně ošetřovat, či vhodně navrhnout výztuž a spáry.

V České republice není stanovena norma pro návrh bílých van, proto se využívá Technických pravidel ČBS 02 a Technických pravidel ČBS 04. TP ČBS 04 jsou novější a podrobnější, proto jsou v dnešní době více používané. Technická pravidla by se neměla kombinovat, aby např. nedošlo k nedostatečnému návrhu výztuže.

Konstrukci nádrží je potřeba posoudit nejen na MSÚ, ale i na MSP, které bývají u bílých van rozhodující. U ČOV je zapotřebí omezit šířku trhlin při obou površích, aby nedocházelo k průniku vody ani v jednom směru.

Správný návrh a realizace spár patří také mezi důležitý faktor vodonepropustnosti konstrukce. Spáry je potřeba před další betonáží připravit podle technologických postupů a ukotvit je.

Důležitou součástí ČOV jsou prostupy, které musí být správně utěsněny a mělo by se s nimi počítat již při návrhu konstrukce.

V konstrukční části bakalářské práce je proveden podrobný návrh konstrukce nádrží čističky odpadních vod v Kamenici. Je navržena geometrie nosných železobetonových prvků i jejich vyztužení. Návrh je posouzen na MSÚ i MSP (deformace, šířka trhlin, napětí). Vzhledem k požadavku na nepropustnost konstrukce (konstrukce koncipována jako bílá vana) byla pozornost soustředěna na účinek vynucených přetvoření a objemových změn konstrukce (hydratace, smršťování, teplotní změny).



Seznam použitých zdrojů a literatury

Normy, technická pravidla

- [1] ČSE EN 1991-4 (730035). *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 4: Zatížení zásobníků a nádrží*, březen 2008.
- [2] ČSN EN 1992-1-1 (731201). *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*, listopad 2006.
- [3] ČSN EN 1992-3 (731201). *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí – Část 3: Nádrže na kapaliny a zásobníky*, listopad 2007.
- [4] ČESKÁ BETONÁŘSKÁ SPOLEČNOST ČSSI A ČBS SERVIS. *Technická pravidla ČBS 02: Bílé vany: vodonepropustné betonové konstrukce*. 2. upravené vydání. 2007. ISBN 978-80-87158-03-6.
- [5] ČESKÁ BETONÁŘSKÁ SPOLEČNOST ČSSI. *Technická pravidla ČBS 04: Směrnice pro vodonepropustné betonové konstrukce*. 1. vydání. 2015. ISBN 978-80-903806-9-1.

Odborná literatura a články

- [6] COUFAL, Robert, VÍTEK, Jan, CHMELÍKOVÁ, Kristýna. *Technologie betonu pro vodonepropustné konstrukce – bílé vany*. Beton TKS 2/2015, str. 12-17. [cit. -2020-03-07]. ISSN 1213-3116.
- [7] ČESKÁ BETONÁŘSKÁ SPOLEČNOST ČSSI. *Manuál ke školení systému ČBS AKADEMIE – Vodonepropustné betonové konstrukce*. 1. vydání. 2016. ISBN 978-80-906097-1-6.
- [8] ČESKÁ BETONÁŘSKÁ SPOLEČNOST ČSSI. *Sborník ke školení: Bílé vany – vodonepropustné betonové konstrukce*. 1. vydání. 2007. ISBN 978-80-903807-6-9.
- [9] HÁJEK, Karel. *Intenzifikace ČOV Vyškov – vyšší kvalita povrchu betonových konstrukcí*. Beton TKS 2/2006, str. 41. [cit. -2020-03-02]. ISSN 1213-3116.
- [10] HEJTMÁNEK, Matouš. *Vodonepropustné betonové konstrukce – těsnění spár*. Beton TKS 3/2016, str. 40-45. [cit. -2020-03-07]. ISSN 1213-3116.
- [11] HLAVÍNEK, Petr, MIČÍN, Jan a Petr PRAX. *Příručka stokování a čištění*. Brno: NOEL 2000, 2001. ISBN 80-86020-30-4.



- [12] HLAVÍNEK, Petr, MIČÍN, Jan a PRAX, Petr. *Stokování a čištění odpadních vod*. Vyd. 1. Brno: CERM, 2003. 283 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-2535-0.
- [13] HOHMAN, Rainer. *Planung und Ausführung von Fugen und Fugenabdichtungssystemen für WU-Konstruktionen*. [online]. [cit. -2020-05-05]. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/best.201700076>
- [14] CHMELÍKOVÁ, Kristýna, ŽALUD, Oldřich. *Beton pro vodní stavby – bílé vany*. Beton university [online]. [cit. -2020-05-05]. Dostupné z: http://www.betonuniversity.cz/uploads/sources/publikace/d34a95e1b5c4883957bc03fd2eaf4e3e2b25bca8_uploaded_4-betony-pro-spodni-stavby-bile-vany.pdf
- [15] KAMPEN, Rolf. *Nachträglicher Einbau von Weißen Wannen in den Gebäudebestand*. [online]. [cit. -2020-03-15]. Dostupné z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/best.201400060>
- [16] KROPÁČEK, Michal, ŠAFRATA, Jiří. *Vliv sekundární krystalizace na vlastnosti betonu*. Beton TKS 2/2015, str. 52-54. [cit. -2020-03-06]. ISSN 1213-3116.
- [17] LOHMAYER, Gottfried, EBELING, Karsten. *Weißer Wannen einfach und sicher*. Vyd. 9. Düsseldorf: Verlag Bau+Technik GmbH 2009. ISBN 978-3-7640-0509-2.
- [18] MAIXNEROVÁ, Hana, KÖHLER, Ivo, PROCHÁZKOVÁ, Alena, HENDRICH, Vladimír. *Celková přestavba a rozšíření ÚČOV v Praze na Císařském ostrově*. Beton TKS 2/2018, str. 17-27. [cit. -2020-05-02]. ISSN 1213-3116.
- [19] NAVRÁTIL, Jaroslav, FOLTYN, Petr. *Posouzení trhlin u vodotěsných železobetonových konstrukcí*. Beton TKS 6/2016, str. 27-29. [cit. -2020-03-07]. ISSN 1213-3116.
- [20] PLICKA, Tomáš. *Ochrana betonu v čistírnách odpadních vod*. Beton TKS 3/2010, str. 34-36. [cit. -2020-03-01]. ISSN 1213-3116.
- [21] PLICKA, Tomáš. *Ochrana betonu v oblasti odpadní a pitné vody*. Beton TKS 5/2007, str. 30-32. [cit. -2020-03-01]. ISSN 1213-3116.
- [22] PLICHTA, Petr, RATZENBEK, Jiří. *Problematika čistíren odpadních vod*. Beton TKS 2/2008, str. 26-27. [cit. -2020-03-09]. ISSN 1213-3116.
- [23] PROCHÁZKA, Jaroslav, ŠMEJKAL, Jiří. *Betonové základové a opěrné konstrukce*. České vysoké učení technické v Praze, 2018. ISBN 978-80-01-06128-2.
-



- [24] SLAVÍČKOVÁ, Kateřina a Marek SLAVÍČEK. *Vodní hospodářství obcí 1: úprava a čištění vody*. 2. přeprac. vyd. V Praze: ČVUT, 2013. 199 s. ISBN 978-80-01-05390-4.
- [25] VINKLER, Marek, PROCHÁZKA, Jaroslav. *Návrh výztuže bílé vany s ohledem na šířku trhlin*. Beton TKS 6/2016, str. 27-29. [cit. -2020-03-08]. ISSN 1213-3116.

Webové zdroje

- [26] BINDZAR, Jan. *Průmyslové odpadní vody*. VŠCHT. [online]. [cit. -2020-03-01]. Dostupné z: https://cv.vscht.cz/files/uzel/0014041/0008~~C_APIw81DgMA.pdf?redirected
- [27] CHALOUPKA, Vladimír. *Srážková voda a zákon o vodovodech a kanalizacích*. [online]. [cit. -2020-02-28]. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-voda-kanalizace/3757-srazkove-vody-a-zakon-o-vodovodech-a-kanalizacich>
- [28] HEJTMÁNEK, Matúš. *Vodonepropustné betonové konstrukce – těsnění spár*. [online]. [cit. -2020-03-12]. Dostupné z: <http://snamijetovsuchu.cz/clanky/vodonepropustne-betonove-konstrukce-tesneni-spar/>
- [29] KÖHLER, Ivo, KOS, Miroslav. *Celková přestavba ÚČOV*. [online]. [cit. -2020-05-01]. Dostupné z: <https://konstrukce.cz/zajimavosti-z-oboru/celkova-prestavba-a-rozsireni-ucov-praha-na-cisarskem-ostrove-246>
- [30] ŠTEFAN, Radek. Výpočetní program pro návrh výztuže při předepsané šířce trhlin. 2009. [cit. -2020-04-01]. Dostupný z: <http://people.fsv.cvut.cz/~stefarad/software/trhliny/trhliny.html>
- [31] *ASS plechy na řízené praskliny*. [online]. [cit. -2020-03-10]. Dostupné z: <https://www.kotaca.cz/podrubrika.php?ID=18>
- [32] *Bentonitový těsnící pás*. [online]. [cit. -2020-03-15]. Dostupné z: <http://www.bentonit.cz/bentonitovy-tesnici-pas/>
- [33] *Čistírna odpadních vod Praha – Bubeneč*. [online]. [cit. -2020-04-24]. Dostupné z: <https://pamatkovykatalog.cz/cistirma-odpadnich-vod-12863013>



- [34] *Čistírna odpadních vod Praha – Bubeneč*. [online]. [cit. -2020-03-04].
Dostupné z: <http://www.praguecityline.cz/prazske-pamatky/stara-cistirna-odpadnich-vod>
- [35] *Čistírna odpadních vod Praha – Bubeneč*. [online]. [cit. -2020-03-04].
Dostupné z: <https://www.kamposesku.cz/clanek/25934/stara-cistirna-odpadnich-vod-praha-bubenec>
- [36] *Formtex – drenážní tkanina*. [online]. [cit. -2020-03-10].
Dostupné z: <http://www.kornbrno.cz/produkty/doplňky-pro-bedneni/formtex-drenazni-tkanina>
- [37] *Illichman*. [online]. [cit. -2020-03-15].
Dostupné z: http://www.illichman.cz/in/pdf/e-katalog_illichman.pdf
- [38] *Koncepce a technologie vodotěsných spár v bílé vaně*. [online]. [cit. -2020-03-15]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz>
- [39] *Lapák písku*. [online]. [cit. -2020-03-06].
Dostupné z: <https://www.bmto.cz/separace-a-prani-pisku/lapak-pisku/>
- [40] *Lapák štěrku*. [online]. [cit. -2020-03-06].
Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/inzenyrske-stavby/rozsireni-aoptimalizace-cistirny-odpadnich-vod-vkoline>
- [41] *Prostupy*. [online]. [cit. -2020-04-29]. Dostupné z: <http://www.prostupy.cz>
- [42] *Průmyslové odpadní vody*. [online]. [cit. -2020-02-28]. Dostupné z: <https://www.hidrostal-bohemia.com/toepassing/en/industrieel-afvalwater.php>
- [43] *Systém pro utěsňování spár*. [online]. [cit. -2020-03-15].
Dostupné z: <https://realsan.cz/System-pro-utesnovani-spar-n26089.htm>
- [44] *Technologie bílé vany*. [online]. [cit. -2020-03-12].
Dostupné z: https://www.imaterialy.cz/rubriky/clanky/technologie-bile-vany-se-systemy-sika-_101108.html
- [45] *Vnitřní profil AQUATAPE*. [online]. [cit. -2020-03-15].
Dostupné z: <https://cdn.schomburg.com/>
- [46] *Zaručí kvalitu bílé vany konstrukční návrh nebo i profesionální provedení?*. [online]. [cit. -2020-03-12].
Dostupné z: https://www.casopisstavebnictvi.cz/zaruci-kvalitu-bile-vany-konstrukcni-navrh-nebo-i-profesionalni-provedeni-_N5894
-