

Analýza poruch a ochrana památek před účinky povodní

Miloš Drdácý

Povodňové škody na nemovitých objektech kulturního dědictví vykazují společné znaky, které mohou být využity při jejich třídění i návrzích na opatření, která těmto škodám předchází nebo je zmírňují. Kapitola je zaměřena na architektonické dědictví, historickou infrastrukturu zahrnující stavby, konstrukce či jiné objekty a na umělecké objekty samostatně stojící nebo tvořící integrální část staveb. Nezahrnuje historická města, archeologická naleziště, zahrady, parky, vodní díla a krajinářské památky. Podobně jsou studovány problémy materiálů a konstrukcí bez uvážení společenských dopadů a úspěchů či selhání krizového řízení, přestože tyto prvky výrazně ovlivňují povodňové škody. Je jim věnována následující kapitola.

Osobní zkušenost autora a jeho spolupracovníků, údaje z literatury a ze speciálních databází vyvinutých v ÚTAM¹ i výsledky výzkumných projektů² tvoří podklady k této kapitole a k závěrům, které přináší. Obsah databází se neustále doplňuje, a proto se mění i údaje, které jsou k dispozici pro analýzy a návrhy doporučení ochrany památek před povodněmi. Platnost zde uvedených návrhů to však nemění, jenom rozšiřuje o další poznatky.

Existují historické záznamy o poškození či haváriích zvláštních nebo významných konstrukcí. Historie poruch mostů například ukazuje, že tyto konstrukce krutě trpí během své existence z často opakovaných a nečíslných i velmi devastujících povodní (Drdácý a Slížková 2007). Řada článků uvádí historické příklady o několik století zpět (Munzar a Ondráček 2005 nebo Deutsch a Pörtge 2001). Podobně byly publikovány specifické metodiky pro hodnocení povodňových škod objektů kulturního dědictví (Kelley 1994) včetně nebezpečí po povodni, např. biologických infekcí a biodegradace (Mattsson a Oftedal 2004). Nicméně většina poznatků není publikována v široce dostupných médiích a zůstává skryta v případových studiích nebo zprávách o analýze škod, často psaných v jazycích obecně nesrozumitelných.

Můžeme říci, že systematická data o povodňových škodách na památkách i o opatřeních chránících památky proti povodním jsou řídká a téměř výjimečná. Byl to též jeden ze závěrů studie Evropského parlamentu (Drdácý et al. 2007) souhlasně s výsledkem jiných studií („Flood Policy Inventory“ nebo Colombo a Vetere Arellano 2001). Ve zprávě „Flood Police

¹ Např. systém MONDIS, viz kapitola „Systém dokumentace poruch historických konstrukcí a materiálů“.

² Např. evropský projekt CHEF Cultural Heritage Protection Against Flooding, Drdácý et al. (eds), 2011 M. Drdácý et al. (eds). *Příspěvek technických věd k záchraně a restaurování památek*. © ÚTAM AV ČR Praha, 2015.



OBRÁZEK 114: Svalená zeď zahrady Trojského zámku povodní v roce 2002 (Foto M. Drdácký)

Inventory“, kterou vydává evropská síť „Flood Awareness and Prevention Policy in border areas“ (FLAPP), sdružující 35 partnerů v 16 zemích, byla nalezena pouze jedna zmínka o odpovědnosti při plánování opatření proti povodňovým rizikům v souvislosti s památkami v Irsku. Ve zprávách NEDIES („Natural and Environmental Disaster Information Exchange Service“) není ani slovo o kulturním dědictví nebo o památkách.

Osobní zkušenosti autora a údaje z posuzování poškozených objektů při nedávných povodních představují poměrně široký vzorek typických poruch na památkách, způsobených povodněmi. Přestože je velmi obtížné zobecňovat všechny pozorované poruchy ve vztahu k památkám a přiřadit je určitým kategoriím, byl vytvořen návrh systému klasifikace typů poškození, způsobených určitým působením vody a její statické i dynamické síly (Drdácký 2010b). Některé typy poškození nejsou výlučně typické pro historické objekty a mohou být pozorovány i na jiných stavbách.

Působení povodně na památkové objekty

Vodorovný hydrostatický tlak vzduché vody

Vodorovný hydrostatický tlak vzduché vody je úměrný výšce vodního sloupce a může zejména poškodit nebo zničit lehké výplně otvorů ve stavbách, např. výplně dveří nebo zasklení oken, což může dále vyvolat další škody. Je nebezpečný zejména pro dlouhé volně stojící zdi (**obr. 114**)



OBRÁZEK 115: Utržená a odplavená střecha kuželníku – Podhoří 2002 (Foto M. Drdácíky)

a ploty, pokud působí jednostranně, tj. při jednostranném zaplavení. Destrukční účinek je obvykle ještě zesílen dynamickou složkou proudu. U podsklepených objektů zvyšuje tlak okolní zeminy na podzemní zdi a při nestejně výšce hladiny ve sklepě a v okolním terénu může dojít k prolomení stěn. Podobný efekt můžeme pozorovat i na opěrných zdech.

Svislý hydrostatický tlak

Svislý hydrostatický tlak (vztlak) způsobuje na památkách řadu rozdílných poškození. U podsklepených objektů může poškodit podlahy sklepů nadzvednutím či prolomením. Vztlakové síly mají snahu nadzvednout jakýkoliv objekt a snižují tak jeho gravitační stabilitu proti překocení. Při zaplavení celých objektů se nadzvednutí projevuje zejména u střech historických objektů u zděných staveb nebo vyzdvižením celých dřevěných staveb s případným oddělením od základových konstrukcí. Uvolněné objekty nebo části pak mohou být odplaveny proudem vody do značných vzdáleností (**obr. 115**). Movité objekty ve stavbách jsou samozřejmě nadzdvíženy také a často končí překoceny (**obr. 116**). V historických objektech patří mezi největší problémy vysazení dveřních či vratových křidel ze závěsů, neboť často bývají po povodni nakupeny v horizontální poloze, tvoří bariéry nebo blokují dveřní otvory (**obr. 117**). Vztlak je rovněž příčinou průniku vody kanalizačními, odvodňovacími nebo ventilačními systémy do míst ležících pod hladinou vody a chráněných vertikálními bariérami.

Pomalé zaplavení objektu vodou

Stavby ve větší vzdálenosti od povodňového proudu jsou zaplavovány pomalou rychlostí proudění vody a stejným způsobem voda i opadá. Škody se projevují spíše kvůli dlouhodobému působení vody, které vyvolává vymývání jemných částí zeminy z hlinitých malt i podloží. Movité plovoucí předměty (např. stoly) jsou přemisťovány pomalým prouděním vody v interiérech i mezi místnostmi. Dlouhodobá přítomnost vody způsobuje nasycením materiálů vodou řadu dalších poruch, které jsou popsány níže (objemové změny, přetížení, změny v zeminách apod.).



OBRÁZEK 116: Překocovaný a transportovaný nábytek – archiv architektury Invali-
dovna 2002 (Zdroj <http://www.ntm.cz/projekty/vysouseci-pracoviste/index.html>)



OBRÁZEK 117: Typické vysazení dveřních křídel – ba-
rokní dům Praha 2002 (Zdroj <http://www.ikaros.cz>)



OBRAZEK 118: Vodním proudem probouraná hliněná zeď – Veltrusy 2002 (Foto M. Dropka)

Dynamický účinek vodního proudu

Rychlý proud vody bez ohledu na to, jak velké množství vody přepravuje, patří mezi nejnebezpečnější a nejdestruktivnější účinky povodně. Jako příklad uvedme poruchu zdi z nepálených cihel v areálu Státního zámku Veltrusy, kdy malý proud vody stříkající do objektu otvorem v zasklení okna vytěžil v 60 cm tlusté zdi otvor o rozměrech 150 × 200 cm (**obr. 118**). Silný proud vody dokáže přemístit koryto řeky, je příčinou většiny poškození historických mostů a přehradních nebo rybníčních zemních hrází. Snadno vymývá půdu pod základy nebo maltu i cihly nebo kámen ze zdiva.

Podemílání základů mostních pilířů, založených na šterkopísku, a podemílání břehů je nejčastěji určenou příčinou velkých havárií historických mostů (**obr. 119**). Problém vzniká ve chvíli, kdy je zablokován průtok pod mostním obloukem např. naplaveným dřevem nebo ledovými krami a voda proudí pod touto bariérou velmi rychle podél dna s turbulencemi, které vymývají podloží. Mosty založené na skalním podloží nebo na pilotách jsou v tomto ohledu mnohem bezpečnější.

Na historických mostech jsou další rychlým proudem vody ohroženou konstrukcí parapetní zdi. Většinou bývaly vysoké, protože sloužily i obranným účelům. Např. na Juditině mostě v Praze byly parapetní (poprsní) zdi 2 m vysoké a 30 cm tlusté, původní Karlův most měl zdi vysoké 160 cm. Při větších povodních dosahuje úroveň vody vysoko nad úroveň mostovky a parapetní zdi nemohou takové kombinaci statického i dynamického tlaku úspěšně vzdorovat. Příkladem jsou poruchy středověkého mostu v Písku (**obr. 120**), kdy byla parapetní zeď vysokou vodou v roce 2002 smetena do řeky, odkud se po povodni podařilo většinu původních kvádrů vyzdvihnout.



OBRÁZEK 119: Havárie Karlova mostu v Praze při povodni v roce 1890 (R. Bruner-Dvořák)



OBRÁZEK 120: Povodní zničené parapetní zdi mostu v Písku v roce 2002 (Foto Michal Jánský)

Dynamický účinek povodňové vlny

Destruktivní povodňová vlna vzniká zejména v sevřených údolích vodních toků při tzv. bleskových povodních nebo protržení hrází a bariér. Na mořském pobřeží nebo na březích velkých vodních ploch mohou působit povodňové vlny i při silné bouři nebo zemětřesení (tsunami). Účinky jsou obvykle zcela destruktivní, části domů jsou odříznuty nebo celé domy přemístěny. Povodňová vlna je nebezpečná i pro historické lodě a čluny kotvící na vodě. Malé mosty na malých tocích jsou obvykle zcela zničeny.

Dynamický účinek nárazu plovoucích předmětů

Náraz plovoucích předmětů ohrožuje zejména mosty, mlýny a jiné stavby v korytech řek nebo v jejich těsné blízkosti. Voda unáší utržené lodě nebo čluny, menší dřevěné stavby (charty), klády, sudy, kontejnery, ale i celá auta (**obr. 121**).

Vytváření bariér na vodním toku

Plovoucí objekty a materiál (klády, ledové kry, moderní stavební materiál, zejména izolační desky) se mohou kupit a vytvářet bariéry na březích vodních toků, před mosty nebo na nich



OBRÁZEK 121: Bariéra vytvořená na pěší lávce v Troji v roce 2002 (Foto T. Drdáčký)



OBRÁZEK 122: Prosednutí násypu pod založením přiček ve mlýně v Soběslavi (Foto M. Drdáčký)

či na jiných překážkách ve vodním toku, dokonce i v budovách. Bariéry zvyšují hladinu vody, v objektech brání přístupu záchranných týmů při povodni i po opadnutí vody. Jak již bylo řečeno, zvyšují i riziko podemílání základů pilířů mostů a u mostů i zvětšují čelní plochu, vystavenou tlaku vody.

Vlečení ledových ker

Se zimními povodněmi a pohybem ledových ker souvisí kromě tvorby bariér i nebezpečí silových účinků na objekty (většinou již také zaplavené) v kontaktu s masou pomalu se pohybujícího ledu. V současnosti je toto nebezpečí nižší vzhledem k řadě možností, jak led uvolnit, ale je s ním třeba stále počítat.



OBRÁZEK 123: Zřícení stropních trámů kombinací biodegradace dřeva a přetížením vodou nasycených konstrukcí skladovaného materiálu na půdě totálně zatopeného domu – Troja 2002 (Foto M. Drdácěk)

Zhutnění podloží nebo násypů

Voda pronikající partikulárními látkami může vymývat a odplavovat jemné částice a způsobit velmi zřetelné zhutnění a dodatečné sedání, které může způsobit další škody na infrastruktuře, např. zlomení kanalizačních rour, poklesy dláždění, dokonce i deformace nebo zřícení příček na mělkých základech na nezhutněných násypech nebo násypech ze stavební suti, což je častým případem v historických objektech (**obr. 122**).

Změny v podzákladí

Pvodně velmi významně ovlivňují geotechnické podmínky v okolí stavby, zejména podmínky v podzákladí, což je důsledek kombinace nasycení základové půdy vodou a proudění vody v podloží. Typickým projevem je náhlá ztráta únosnosti jílu nebo vyplavení jemných písčitých částí či rekonsolidace zemin nakypřených vztlakem vody. Tyto geotechnické jevy jsou detailně popsány v článku Herle et al. (2010). Jen pro úplnost shrnujeme, že se jedná o sedání v důsledku změny efektivního napětí (časté na památkách v Benátkách), vztlak, zřícení opěrných zdí, deformace na bobtnavých nebo expanzivních zeminách, sesuvy půdy/suťové laviny v důsledku změn v podzemní vodě, eroze/podemílání, hnití dřevěných základů, deformace bortivých zemin, změny v kríčovém chování. Dodatečné sedání způsobuje vady a poruchy stavebních konstrukcí, zejména vznik trhlin.

Nasycení materiálu vodou

Nasycení materiálů vodou při jejich plném ponoření vede k řadě škod a poruch způsobených objemovými změnami, chemickými reakcemi, ztrátou pevnosti a dalšími. Kromě citlivých



OBRÁZEK 124: Boulení vodou nasycené podlahy – Troja 2002 (Foto M. Drdácký)



OBRÁZEK 125: Zřícený pohled s vodou a bahnem nasycenou tepelně izolační rohoží (Foto M. Drdácký)



OBRÁZEK 126: Příklad odpadávání povrchové vrstvy nepálených cihel po odstranění omítky, což je nevhodné u tohoto typu zdiva. V daném případě však je zdivo velmi heterogenní a nebylo jednoduché odhalit místa s nepálenými cihlami (Foto M. Drdácký)

zemín, popsaných výše, se mohou další materiály zhroutit při nasycení vodou – nepálená hlína, vepřovice, degradované dřevo. Nicméně i pálené cihly ztrácí svoji pevnost a únosnost poddimenzovaného zdiva a jeho tuhost (Sandu 2008) se významně snižují, což může vést až k celkovému zřícení konstrukce nebo stavby. Nasycené staré a ztrouchnivělé dřevo se také snadno poruší (**obr. 123**). Zdravé dřevěné prvky bobtnají a expandují bez porušení, a pokud je těmto deformacím bráněno, mohou vyvozovat na okolní konstrukce síly, obdobné lisům. To iniciuje trhliny ve zdivu, posunutí zdiva, boulení stropních trámů s pevně zazděnými konci, boulení podlahových polštářů s typickou kopulovitou deformací (**obr. 124**). Vodou nasáklé stropní násypy a tepelně izolační vrstvy zvyšují svoji hmotnost, což ještě může být zhoršeno vrstvami bahna a jiných plovoucích nečistot a končit zhroucením stropů nebo stropních podhledů (**obr. 125**). Kamenné zdivo na vápennou maltu je celkem stabilní, zdivo z nepálených cihel může trpět odlupováním a odpadáváním povrchových vrstev cihel během sušení,



OBRAZEK 127: Příklad znečištění domu, který byl celý pod hladinou vody (Foto M. Drdácý)

stejně jako některé slínové horniny (**obr. 126**). Rozpustné materiály mohou být vyplavovány z cenných památkových vrstev, např. pigmenty z nástěnných maleb. Materiály pojené kličem se obvykle rozpadnou.

Snížení pevnosti u hornin také závisí na jejich stupni nasycení (Peschel 1977, Kocher 2004). Siedel (2010) publikoval velmi detailní přehled změn pevností i dilatačních charakteristik různých typů kamene vlivem vlhkosti.

Kontaminace materiálů chemickým a biologickým znečištěním

Velká voda obvykle přepravuje různé chemické látky a mikroorganismy, které mohou u památek vyvolat chemickou degradaci nebo biologickou infekci. Změna pH ovlivňuje rozpustnost rozmanitých materiálů, zejména uhličitánů v kyselém nebo křemičitanů v alkalickém prostředí. Organické sloučeniny ve freskách jsou velmi citlivé na úroveň pH a mohou se snadno rozpouštět v alkalickém prostředí. Sířany (sádrové architektonické detaily) jsou také značně citlivé. Železité materiály mohou být napadány chloridy, což je nebezpečné pro výztuž ve starých betonových konstrukcích. Kontaminace rozpustnými solemi s následnou tvorbou výkvětů zvyšuje riziko znečištění povrchu. Vlhké materiály jsou snadněji kolonizovány biologickými vetřelci a toto nebezpečí je zintenzivněno kontaminovanou vodou. Může restartovat růst „dřímajících“ (latentních) činitelů.

Znečištění památkových objektů

Během povodní je vodou unášeno bahno a drobné nečistoty a úlomky, které se ukládají do historických objektů a na jeho povrchy (**obr. 127**).

Poruchy po povodni

Období po opadnutí vody je pro památky téměř stejně nebezpečné jako povodeň samotná a může v něm vzniknout nebo se projevit řada poruch. Příklady zahrnují trhliny z rozdílného sedání, objemové změny při vysoušení, solné výkvěty při vysoušení, biologické napadení a růst organismů, nevhodné opravné zásahy, zejména rychlé čerpání vody ze sklepů a podzákladí, ztráta soudržnosti některých materiálů při rychlém vysoušení (nepálené cihly), změny vnitřního prostředí a klimatu (vysoká vlhkost) apod.

Kategorizace sil a zatížení působících na památky během povodní pomáhá navrhnout a realizovat dočasné nebo stabilní opatření chránící objekty kulturního dědictví před poškozením nebo zničením. Preventivní opatření představují neefektivnější nástroje pro zmírnění dopadů jakékoliv přírodní katastrofy. Povodně tuto úlohu usnadňují, neboť jsou dobře lokalizované a relativně dobře předvídatelné na základě povětrnostní situace.

Prevence povodňových poruch na památkových objektech

Opatření pro prevenci povodňových poruch na památkových objektech se obvykle dělí na dva typy: technické a organizační/operativní (Drdáček et al. 2007). Technická opatření je někdy obtížné na památkách realizovat, protože jsou většinou viditelná a rušící a navíc často nejsou ani hospodárná. Aplikace norem pro ochranu kulturního dědictví před účinky povodní vede k problému řešení otázek zachování originality, autenticity a estetických kvalit a hodnot památek. Ve skutečnosti není k dispozici potřebná evropská norma, přestože by standardizace některých preventivních procesů byla užitečná, např. dokumentace a monitoring.

Generalizovat úspěšné příklady praxe v dostatečně informativní podobě je obtížné. Nicméně z některých základních principů, které se ukázaly být efektivní, se můžeme poučit v literatuře (Drdáček et al. 2011). S využitím výše zmíněné kategorizace vad a poruch autor navrhl třídít památkové objekty podle úrovně jejich zranitelnosti do pěti kategorií: (0) objekty odolné proti povodním a působení vody, (1) objekty z materiálů silně reagujících na vlhkost změnou objemu, (2) objekty z materiálů ztrácejících pevnost v důsledku vlhkosti, (3) objekty náchylné k částečnému poškození povodňovým zatížením a (4) objekty a prvky náchylné ke zhroucení nebo odplavení. Dělení bylo převzato i do nové Metodiky MK ČR (Nedvěďová et al. 2014) a v následující části bude využito pro popis vybraných opatření.

Doporučení a pokyny, jak se chovat při povodních, mají dlouhou historii a většinou se týkaly organizačních nebo operačních opatření. V českých zemích byl takový návod vydán již v roce 1538 a týkal se ochrany rybníků a nádrží. Další vládní nařízení z roku 1542 nařizovalo otevření jezových propustí během povodní (Munzar a Ondráček 2005). Dlouhodobě trvá snaha pečlivě analyzovat povodňové případy a poučit se z nich pro zlepšení řízení krizové situace, návrh preventivních opatření i chování po opadnutí vody. Takové příklady např. uvádí Thieken et al. (2005) nebo Messner a Meyer (2005). Návod k hodnocení povodňových škod na kulturním dědictví, založený na zkušenostech z povodně na řece Mississippi v roce 1993, navrhl Kelley (1994). Jak již bylo zmíněno, povodňové dopady na norské památky analyzovali Mattsson a Oftedal (2004).

Evropská komise věnovala v posledních letech nemalé prostředky na výzkum řízení povodňových rizik, např. podporou velmi detailního projektu FLOODsite, vždy však bez uvážení specifik záchrany a ochrany kulturního dědictví. Systémy a metody pro hodnocení škod

neberou v úvahu ztráty na kulturních a přírodních hodnotách. Nicméně navrhovaná obecná opatření většinou přispívají i k ochraně památek. Jediným evropským projektem zaměřeným výhradně na zachování kulturního a přírodního dědictví byl již zmíněný projekt CHEF (Cultural Heritage Protection Against Flooding – CHEF 2011).

Strategie a opatření k ochraně památek

Před uvedením příkladů konkrétních konstrukčních opatření uvedme několik poznámek týkajících se nestrukturálních nástrojů zvýšení prevence škod na památkách z přírodních hrozeb. Podrobnější informace přináší Nedvědová et al. (2014).

Pravidelné prohlídky zdravotního stavu památek

Pravidelné prohlídky zdravotního stavu památek se týkají všech kategorií objektů kulturního dědictví, které jsou obecně ohroženy některým přírodním rizikem, neboť i proti povodním odolné objekty mohou rychle tuto odolnost ztratit při nedostatečné údržbě. Zvláštní pozornost je třeba věnovat konstrukční celistvosti a případným vadám hrází a přehrad, zejména ve vztahu k historickým vodním stavbám (rybníkům a kanálům), dále pak mostům, zvláště pokud jsou malé a provedené z materiálů citlivých na vodu.

Vady a nedostatky zjištěné při pravidelných prohlídkách musí pak být opraveny co nejdříve, aby objekty zůstaly v dobře udržovaném stavu a zdravé. V řadě případů může údržba vyžadovat provedení restaurátorských zásahů včetně konsolidace nebo zesílení materiálů či konstrukcí. Takové práce musí být provedeny tak, aby se vyloučily případné negativní jevy při přírodní katastrofě.

Krizové plány a návody

Povodňové krizové plány a návody, jak se chovat při krizové situaci, patří mezi nedůležitější preventivní opatření výrazně omezující poškození a ztráty na kulturním dědictví. Musí vzít v úvahu nemovité i movité kulturní dědictví včetně přírodního dědictví. Škody na movitém kulturním dědictví jsou podle nedávných zkušeností mnohem větší než na stavbách a konstrukcích a obvykle jsou důsledkem nevhodných či nedostatečných evakuačních plánů a řízení krizové situace – tedy problémy v oblasti organizačních a operačních opatření.

Většina návodů a doporučení pro oblast nemovitého kulturního dědictví je založena na úvaze, že absolutní ochrana před povodní je vzhledem k vysokým nákladům a značné nejistotě úspěšnosti většinou nedosažitelná i nevhodná. Opatření tak směřují ke kombinaci řízení rizik na jedné straně a snížení zranitelnosti na straně druhé (např. Hooijer et al. 2002).

Velmi instruktivní návod „Preparing for Floods“ vydala ve Velké Británii kancelář místopředsedy vlády v roce 2003. Ukazuje způsoby, jak zlepšit odolnost proti povodním u obytných domů a je využitelný i pro památky. Podobně užitečná je pro ochranu památek publikace „Before and After Disasters“ (FEMA 2005). Specificky zaměřené průvodce na oblast kulturního dědictví v situacích hrozby přírodní katastrofy opakovaně vydává i ICCROM.

Je třeba zdůraznit, že všechny krizové plány musí obsahovat mapy s vyznačením umístění kulturního dědictví v záplavové oblasti s jasně kategorizovanou zranitelností a potřebou nouzového opatření. Musí být dále zajištěny přístupové cesty, dopravní prostředky pro evakuaci movitého kulturního dědictví a skladovací prostory pro evakuovaný materiál.

Systémy včasného varování a sdílení informací

Včasné varování a sdílení objektivních a co nejpřesnějších informací sehrává zásadní roli při zmírňování povodňových škod a dopadá na všechny výše zmíněné kategorie objektů. Při selhání těchto nástrojů dochází k prudkému nárůstu škod včetně totálních ztrát na kulturním dědictví, jak ukázala zkušenost z ničivé povodně ve střední Evropě v roce 2002.

Připravené technické protipovodňové prostředky

Technické prostředky proti zaplavení památkových budov nebo jejich okolí jsou většinou součástí integrálních ochranných opatření větších území, zejména sídel. Typicky zahrnují stabilní stěny a hráze s uzavíratelnými branami nebo dočasné bariéry, které mohou být snadno instalovány na předem připravené kotevní podpory. Do této kategorie zahrnujeme i dočasné zábrany pro těsné uzavření a ochranu okenních a dveřních otvorů, větracích a podobných kanálů, např. speciálními okenicemi, automatickými uzávěry nebo třeba jen pytli s pískem. Technické prostředky jsou použitelné pro všechny kategorie objektů, nicméně, vždy je třeba jejich instalaci řešit podle konkrétní situace a s ohledem na památkové požadavky.

Dočasné zesílení či podepření

Dočasné zesílení nebo podepření potřebují volně stojící sochy ohrožené proudem vody nebo zdi s předpokládaným jednostranným zatížením vysokou vodou. U takových zdí je však vhodné umožnit zaplavení symetrické, tedy z obou stran, např. zřízením dočasných otvorů ve zdi, umožňujících vniknutí vody za zeď i její odtok po povodni. Přídavné podpory nesmí vést ke vzniku přehrazení toku zachytáváním plovoucích předmětů. Zesilování je nutné pro zvýšení odolnosti existujících dveří, zasklení nebo lehkých stěn.

Doporučuje se i podepření dřevěných stropních konstrukcí, kde může dojít k nadměrným deformacím kvůli přetížení vodou nasycených násypů, izolací i dřeva.

Mezi tato opatření můžeme zahrnout i dočasnou povrchovou ochranu materiálů náchylných k rozplavení a vymývání, např. stěn z nepálených cihel, násypů, zemních hrází, stejně tak jako fresek a podobných památkově hodnotných povrchů. Týká se i kamenného zdiva na hliněnou maltu, zejména u opěrných zdí, kde je navíc většinou třeba přidat i dočasné podepření.

Snížení zatížení

O snižování zatížení tlakem vody při povodni se snažíme zejména u výše zmíněných volných zdí, mostů a podlah podzemních prostor. Na mostech se při nebezpečí velmi vysoké vody dosahující nad mostovku doporučuje snést parapetní zdi nebo zábradlí, případně i sochy (které však pro jejich ochranu většinou stačí jen přídatně ukotvit), pro snížení plochy vystavené proudu vody. Toto opatření pomáhá nejen k záchraně původního materiálu parapetních zdí u historických mostů a soch, ale také k záchraně mostu samotného. Volné stěny se nejlépe chrání zaplavením prostoru za zdí. Stejný princip je úspěšný i při ochraně podzemních stěn a podlah ve sklepech, kde zaplavení vyrovnává tlak i vztlak a zabraňuje poškození.

Významné síly vyvolávají objemové změny vodou nasáklých prvků, zejména dřevěných, pokud nemohou volně dilatovat. Poruchám lze zabránit vytvořením dostatečně velkých dilatačních spár, které umožní dřevěným stropním trámům nebo podlahovým polštářům prodloužení bez porušení okolních konstrukcí.

Do této kategorie patří i odstranění všech silně nasákových nebo bahno zadržujících materiálů, např. vysokých vrstev sena, izolačních rohoží apod. z půdních prostor, neboť mohou vést k přetížení stropních konstrukcí po opadnutí povodňové vlny.

Ukotvení odplavitelných součástí staveb i celých objektů

Lehké mosty, lávky, dřevěné střechy, dřevěné konstrukce a objekty, i lodě a čluny by měly být ukotveny k podporujícím konstrukcím a zajištěny proti utržení a odplavení.

Odstranění vodou unášených objektů

Vodou unášené objekty jsou velmi nebezpečné pro mosty i stavby v zaplaveném území a musí být zachyceny a zajištěny tak, aby nárazem neohrozily výše uvedené stavby. U mostů, pokud nejsou zaplaveny, se většinou používá pojízdného jeřábu, kterým se loví plovoucí objekty a zabraňuje vytvoření bariéry.

Řízení činností po opadnutí vody

Období po povodni je rovněž velmi kritické pro všechny kategorie objektů kulturního dědictví. Proto jsou vydávány pokyny a příručky pro činnosti po opadnutí vody. Radí, jak předejít škodám z rychlého sedání, jak včas opravit potenciálně nebezpečnou vadu nebo poruchu, jak optimalizovat proces vysoušení, aby se vyloučil rozpad materiálu nebo biodegradace, jak omezit krystalizace a provádět odsolování, jak zabránit korozi ze znečištěné vody a škodám z klimatických jevů atd.

Trvalá a dočasná protipovodňová opatření na památkách

Objekty a konstrukce odolné proti povodním a působení vody (kategorie 1)

I památky odolné proti povodním vyžadují provedení preventivních nebo dočasných opatření. Pokud jsou situovány v územích s vysokou pravděpodobností inundace, dá se předpokládat, že přežily řadu historických povodní a nejlepší ochranou je udržovat je ve stavu, který se osvědčil. To se týká především velmi vysoké vody.

Nicméně i takové objekty mohou být ponořeny do mělké vody během povodně a jejich vnější i vnitřní konstrukce, materiály a výzdoba jsou ohroženy zavodněním. Je vhodné interiéry chránit utěsněním všech vstupních otvorů dočasnými nebo permanentně osazenými uzávěry oken a dveří. Nezřídka je třeba provést zesílení zasklení a přidat bariéry z pytlů s pískem. Podlahy přízemí je užitečné dočasně vyztužit a zatížit (např. sudy nebo nádržemi napuštěnými vodou) nebo podepřít proti vztlaku.

Je absolutně nutné snížit na minimum možnost znečištění povodňovou vodou. To vyžaduje uzavřít a utěsnit všechny kanalizační zaústění, kterými by mohla pronikat znečištěná voda do objektu. Ideální je osadit na všechny hlavní svody automatické uzávěry proti vzduťové vodě.

Historické budovy mohou nést významné památkové detaily nebo informace, které mohou být povodní vážně poškozeny nebo zničeny. Umělecké detaily, dřevěné podlahy, nátěry nebo nástěnné malby stejně jako rezné kamenné povrchy mohou trpět fyzikálním, chemickým nebo biologickým napadením během povodně či po opadnutí vody. Pokud je to z památkového hlediska přijatelné, mohou být povrchy citlivých objektů předem ošetřeny hydrofobními nátěry nebo krátkodobě chráněny dobře utěsněnými ochrannými plastickými fóliemi.

V případě plného zaplavení se doporučuje otevřít, vysadit a uskladnit dveřní křídla nejlépe mimo dosah vody.

Během povodně musí být objekty chráněny i proti vniknutí z plavidel a zabezpečeny proti vandalismu a zlodějství. Zvýšená hladina vody může otevřít přístupové cesty ve vyšších podlažích, která jsou jinak nedostupná.

Evakuace nábytku a dalších movitostí, např. knih, ze suterénů a přízemí do vyšších podlaží musí být plánována a řízena tak, aby se zamezilo možnému přetížení stropních konstrukcí a schodišť nepatřičným zvýšením užitého zatížení ve vyšších patrech budovy.

Objekty z materiálů silně reagujících na vlhkost změnou objemu (kategorie 1)

Masivní dřevěné prvky, např. stropní trámy nebo klády, se při nasycení vodou roztahují – bobtnají rozdílně v různých směrech. Pokud jsou tyto prvky volně uloženy, je tato deformace více-méně reversibilní a po vysušení zaujmou masivní prvky téměř stejný tvar jako před namočením. Na druhé straně deskové dřevěné prvky se nejen roztahují, ale také bortí a krotí a nikdy se po prostém vysušení nevrátí do původního tvaru. Proto je třeba tyto prvky a konstrukce evakuovat z ohrožené budovy, pokud je to možné. Speciálním případem jsou podlahy, které v historických objektech bývají obvykle složeny z dřevěných prvků spojených často do několika vrstev s mnohsměrnou orientací vláken dřeva, což pomáhá bránit výraznému kroucení. Podlahy mají tendenci boulet kvůli zamezení jejich roztažení při zvlhčení. Tento jev se vyloučí vytvořením dostatečně široké dilatační spáry po obvodě místnosti mezi podlahou a stěnami.

Zvláštní problém nastává u kombinovaných konstrukcí, kde se v jednom celku vyskytují materiály s rozdílnou vlhkoštní expanzí. Typickým příkladem je výše uvedená dřevěná podlahová konstrukce nebo stropní konstrukce vložená mezi zděné stěny. Pokud není v takovém případě dřevěné konstrukci umožněna patřičná volnost pohybu, může dřevo při expanzi poškodit zděnou konstrukci vznikem trhlin, případně i posunutím celé stěny. Vznikající síly jsou velmi vysoké.

Expanzivní zeminy patří do této kategorie problémů, např. jíly. Tyto materiály obvykle reagují na změnu vlhkosti pomalu a poškození se objevují se zpožděním. Chování zeminy lze řídit drenážemi a čerpáním vody.

Objekty z materiálů ztrácejících pevnost v důsledku vlhkosti (kategorie 2)

Nasycení vodou má zdrcující vliv na mechanické vlastnosti nepálených cihel, takže hliněné zdivo se může zhroutit velmi rychle, zejména v situacích, kde je zaplavení ještě spojeno s vymýváním proudem vody. Zkušenosti z povodní ukazují, že zdivo z nepálených cihel opatřené oboustrannou vodě odolnou, např. vápennou omítkou přežívá povodně bez poškození. Proto lze doporučit chránit hliněné zdivo dočasným oboustranným opláštěním a ochranou povrchu hliněných cihel před přímým kontaktem s vodou. Nedávná studie o konsolidaci hliněného zdiva ukázala pozitivní účinek povrchové úpravy nátěrem želatiny a ethylsilikátu proti vlivu střídání zaplavení a vysoušení (Ferron 2007).

Cihelné nebo kamenné zdivo na hliněnou maltu nebo hliněnou maltu s nízkým obsahem vápna či cementu je také velmi zranitelné při povodni. Zejména nepravidelné plášťové zdivo může při povodni rychle ztratit únosnost. Preventivní opatření jsou stejná jako u hliněného zdiva, tj. zamezení přímého kontaktu malty s vodou a případně vyztužení oboustranným obedněním.

Vlhkost však také snižuje únosnost zdiva, které je provedeno z cihelného nebo kamenného zdiva na kvalitní maltu. Pevnosti vodou nasycených cihel nebo některých hornin mohou klesnout až na 50 % jejich pevnosti v suchém stavu (Siedel 2010). Proto by měly být všechny zděné budovy v záplavových územích zkoumány z hlediska jejich možného snížení bezpečnosti při zaplavení vodou. Zejména je třeba posoudit únosnost mokrých zděných pilířů a kleneb a v případě nedostatečné bezpečnosti je třeba navrhnout jejich zesílení nebo předepsat podepření při krizových situacích. Podobné požadavky musí být vyznačeny do záplavových map a zahrnuty do krizových plánů.

Ztrouchnivělé dřevo – ať již z jakéhokoliv důvodu, např. působením dřevokazných hub nebo hmyzu, má typicky nižší hustotu a pojme více vody, což zvyšuje zatížení vlastní tíhou. Pevnost i nového dřeva se po nasycení vodou snižuje, u biodegradovaného dřeva je snížení ještě výraznější a masivní historické trámy se nezřídka zlomí. Tento efekt se násobí všude, kde dochází k lokálnímu oslabení průřezů, tedy především ve spojích. Také dřevěné konstrukce mohou vyžadovat při krizových situacích dočasná podepření, zejména ohýbané prvky, což nejen brání jejich porušení, ale také omezuje vznik nadměrných průhybů.

Násypy a podloží s jemnými částicemi

Nestability podloží a základů patří mezi významné hrozby památkám při povodních. Zeminy s jemnými částicemi nebo násypy jsou většinou ohroženy vyplavováním těchto částic a dodatečným sedáním. K vyplavování může docházet proudící vodou, často při opadávání vody po povodni, ale také příliš rychlým čerpáním vody ze zatopených sklepů. Prevencí tedy je řízení rychlosti čerpání vody (Drdáček 2010b). Mělké základy pod příčkami na násypech mohou být zesíleny podepřením nebo injektážemi násypu.

Objekty náchylné k částečnému poškození povodňovým zatížením (kategorie 3)

Dřevěné střechy, dřevěné sochy, venkovní schodiště, verandy a podobné objekty mohou být nadzvednuty a odplaveny. Je třeba provést inspekci kvality jejich ukotvení a při nedostatecích zajistit nápravu. Základem prevence je pravidelná údržba, někdy je třeba provést i dodatečné zesílení proti účinku povodně.

Zranitelné jsou zejména objekty se sníženou konstrukční robustností. Příkladem takových objektů jsou zděné budovy bez ztužujících věnců. Robustnost může být zlepšena vložením systému vertikálních a horizontálních táhel, zvýšením pevnosti a odolnosti klíčových konstrukčních prvků, tj. prvků, jejichž porucha vede k celkovému zřícení nebo zřícení části budovy, sekundární ochranou klíčových prvků a robustními detaily.

Do této kategorie patří i velké mosty, které většinou vzdorují povodním bez větších poruch. Nicméně vznik částečného poškození je u nich aktuální, zejména poruchy parapetních zdí a základů, jak jsme ukázali výše. Kritickou poruchou je podemletí základů, neboť může způsobit i velké havárie. Podemletí je nebezpečné na štěrkopískových podložích a pro jeho prevenci se historicky používala ochrana dřevěnými rošty nesoucimi malé bariérové ostrůvky kolem mostních pilířů, dlážděné kamennými deskami (**obr. 128**). Podloží je možno zlepšovat injektážemi a základ je možno chránit také paženými stěnami. Lehké řetězové nebo visuté mosty mohou být ohroženy proudem vody a vytvářením bariér a zde pomáhá dočasné odstranění zábradlí, jak bylo popsáno výše.



OBRÁZEK 128: Příklad ochrany základů mostních pilířů proti podemletí malými dlážděnými ostrůvky

Lokální poruchy uličního dláždění nebo opevnění břehů zahrnují povrchovou erozi, zhutnění násypů a jemných zemin, sufozi nebo vnitřní erozi, obvykle v nedostatečně zhutněných zásypech výkopů apod. Pro prevenci se používají většinou injektáže, často polyuretanovými pryskyřicemi.

Objekty a prvky náchylné ke zhroucení nebo odplavení (kategorie 4)

Malé mostky a lávky pro pěší mohou být preventivně chráněny stejným způsobem jako velké mosty, tj. snížení zatížení dočasným odstraněním zábradlí. Nicméně tyto objekty jsou většinou při větších povodních zničeny, a tak se doporučuje před povodní sejmout všechny cenné výzdoby, sochy apod. a umístit je do dočasných skladů.

Volně stojící zdi mohou být chráněny podepřením, což je pro dlouhé zdi nákladné a většinou málo efektivní, nebo levnějším a efektivnějším způsobem vytvořením symetrického zatížení zaplavením zdi z obou stran. Krátké zdi a zejména zdi v nižších podlažích budov mohou být účinně chráněny vyztužením. Stěny stojící kolmo ke směru proudění vody musí být kromě přenesení dynamického účinku vody navrženy také na vyšší hydrostatický tlak, než je tlak z prosté hloubky vody vlivem tzv. zpětné vody, což je třeba uvážit při návrhu vyztužení sklepů a přízemí. Několikrát zmiňované snesení parapetních zdí mostů vyžaduje provedení detailní dokumentace a očíslování jednotlivých kamenů pro snadnější rekonstrukci.

Lehké nedostatečně kotvené objekty jako altánky a chaty, ale i těžší dřevěné roubenky jsou snadno odplavitelné. Pro prevenci jejich škod je třeba zlepšit ukotvení a doporučuje se evakuovat všechny movité umělecké předměty i sejmutebné architektonické detaily pro případ havárie.

Poděkování

Kapitola využívá výsledků výzkumu podporovaného v rámci projektu 6. RP EK „CHEF“ a projektu GAČR P105/12/G059 „Kumulativní časově závislé procesy ve stavebních materiálech a konstrukcích“.

Použitá literatura

- Colombo, A. a A. L. Vetere Arellano (eds.). *Lessons learnt from floods*. NEDIES Report, EUR 20261 EN. Ispra: Institute for the Protection and Security of the Citizen, 2002.
- Deutsch, M. a K.-H. Pörtge. Historische Hochwasserinformationen – Möglichkeiten und Grenzen ihrer Auswertungen. In: *Hochwasser – Niedrigwasser – Risiken*. München, Hirthammer, 2001, 23-38.
- Drdácký, M. (a). Impact of floods on heritage structures. *Journal of Performance of Constructed Facilities*. 2010, 24(5), 430-431.
[http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0000152](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000152)
- Drdácký, M. (b). Flood damage to historic buildings and structures. *Journal of Performance of Constructed Facilities*. 2010, 24(5), 439-445.
[http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0000065](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000065)
- Drdácký, M., L. Binda, I. C. Hennen, C. Köpp, L. G. Lanza a R. Helmerich (eds.). *CHEF - Cultural heritage protection against flooding*. Prague: ITAM, 2011. ISBN 978-80-86246-37-6.
- Drdácký, M., L. Binda, I. Herle, L. G. Lanza, I. Maxwell a S. Pospíšil. *Protecting the cultural heritage from natural disasters*. Study of the European Parliament. IP/B/CULT/IC/2006_163, PE 369.029. Brussels: European Parliament, 2007.
- Drdácký, M., I. Herle, S. Pospíšil a Z. Slížková. Protecting cultural heritage against natural hazards. In: *Seismic Protection of Cultural Heritage. WCCE-Ecce-TCCE Joint Conference 2*. Ankara: Turkish Chamber of Civil Engineers, 2011, 103-122. ISBN 978-605-01-0188-1.
- Drdácký, M. F. a Z. Slížková. Flood and post-flood performance of historic stone arch bridges. In: Laurenço, P. B., D. V. Oliveira a A. Portela (eds.). *Arch '07: 5th International Conference on Arch Bridges*. Guimarães: University of Minho, 2007, 163-170. ISBN 978-972-8692-31-5.
- Federal Emergency Management Agency, *Before and After Disasters*. FEMA 533, 2005. www.heritageemergency.org
- Ferron, A. *The consolidation of earthen surface finishes: A study of disaggregating plasters at Mesa Verde National Park*. MSc Thesis. Philadelphia: University of Pennsylvania, 2007. Flood Policy Inventory. <http://www.flapp.org>
- Herle, I., V. Herbstová, M. Kupka, a D. Kolymbas. Geotechnical problems of cultural heritage due to floods. *Journal of Performance of Constructed Facilities*. 2010, 24(5), 446-451.
[http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0000058](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000058)
- Hooijer, A., F. Klijn, J. Kwadijk a B. Pedroli (eds.). *Towards sustainable flood risk management in the Rhine and Meuse river basins*, NCR-publication 17-2002. Delft: NCR, 2002. ISSN 1568-234X.
- Kelley, S. J. a J. Wiss. *Curriculum on flood damage assessment of cultural heritage properties: relative to the Mississippi River floods of 1993*. Washington: National Trust for Historic Preservation, 1994.

- Kocher M. *Quelldruckmessungen und thermische Druckmessungen an ausgewählten Sandsteinen*. PhD thesis. Munich: Ludwig-Maximilians-Universität, 2005.
- Mattsson, J. a T. Oftedal. Research on biodeterioration of cultural heritage in Norway. In: Slížková, Z., J. Válek a M. Drdácý (eds.). *Historic Materials and their Diagnostics in the Czech Republic: a State-of-the-Art Review, Vol. 2*. Prague: ITAM, 2004, 477-480. ISBN 80-86246-24-8.
- Messner, F. a V. Meyer. Flood damage, vulnerability and risk perception – challenges for flood damage research. In: *UFZ Discussion papers*. 13/2005. Leipzig: Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung - UFZ, 2005. ISSN 1436-140X.
- Munzar, J. a S. Ondráček. Velké povodně na území České republiky – ztráta historické paměti. *Historická geografie*, 2005, 33, 97-118. ISBN 80-7286-080-1.
- Nedvěďová, K., J. Frankl, L. Balík, O. Šimůnek, V. Herbstová, I. Kopecká, R. Pergl a T. Drdácý. *Posouzení zranitelnosti a prevence poškození kulturního dědictví povodněmi*. Certifikovaná metodika, Ministerstvo kultury ČR, Osvědčení č. 20, 2014.
- Peschel, A. *Natursteine*. Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1977.
- Preparing for Floods*, Office of the Deputy Prime Minister, 2003. www.odpm.gov.uk
- Sandu I. et al. In situ monitoring of the frescoes restoration behaviour for Proboata Monastery. In: *Proceedings First World Conference on Global Climate Change and its Impact on Structures of Cultural Heritage*. Macao, 2008, 83-89.
- Siedel, H. Historic building stones and flooding. Changes of physical properties due to water saturation. *Journal of Performance of Constructed Facilities*. 2010, 24 (5), 452-461. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0000066](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000066)
- Thicken, A. H., J.-M. Brito, J.-M. Blanchais, K. Morris, M. Vlahov a W. B. M. Brinke. Flood Mission Bulgaria, 25.-29. July, 2005. In: *Final Report*, EU Member States Experts - GFZ Potsdam (Germany), Centre national des Ponts de Secours (France), BCEOM (France/Bulgaria), Environment Agency (UK), Ministry of Transport, Public Works and Water Management (The Netherlands), 2005.