



Akademie věd
České republiky

Strategie AV21

Špičkový výzkum ve veřejném zájmu



Radek Mikuláš

Povodňové usazeniny. Z čeho jsou složeny a co s nimi



VÝZKUMNÝ PROGRAM

PŘÍRODNÍ HROZBY

Obsah

1	Úvod	2
2	Základní prvky krajiny v okolí řek a Hjulströmův diagram	5
3	Holocenní usazeniny českých a moravských řek	10
3.1	Hrubé štěrky	15
3.2	Písky	21
3.3	Prachovité usazeniny (kaly) a jíly	29
3.4	Plovoucí předměty	33
4	Co s povodňovými usazeninami?	35
5	Několik příkladů krajin s povodňovými usazeninami	40
6	Dokumentujme povodňové usazeniny	49
7	Závěr	50
	Poděkování	53
	Literatura a materiál k dalšímu čtení	53
	O autorovi	54

1 Úvod

Čím se v této brožuře budeme zabývat? Zkraje naznačme, čím se zabývat nebudeme, protože literatury na dané téma už je dostatek. Máme na mysli literaturu o povodních jako takových a o erozních procesech. Na území České republiky jsou prostředím, ve kterém vznikají povodňové situace, nejčastěji vodní toky a jejich nivy; v jiných zemích to mohou být například i bezodtoké pánve nebo přímořské plošiny zaplavované při větru vanoucím od moře, při extrémně nízkém atmosférickém tlaku a vysokém přílivu. Mnohonásobná zvýšení průtoků řek a objemů hmot unášených vodou jsou u nás samozřejmou součástí každé povodňové události. Zbývá nám úkol zabývat se říčními usazeninami, jejich složením, typickým místem usazení, vnitřní strukturou a architekturou usazených těles. V druhé části se soustředíme na možný přístup ke vzniku nových říčních usazenin, jejich využitím, eventuálně odstraněním.

Nedávno vyšla například knížka Václava Cílka a kolektivu *Voda a krajina* (Dokořán 2017), ve které je inspirativní materiál o erozi a opatřeních, která ji mohou zastavovat nebo alespoň mírnit. Kupodivu se nejen v této knížce, ale i v řadě obdobných titulů poměrně málo píše o jevu, který k povodním patří – a nejen k povodním, nýbrž i k normální funkci každé říčky a řeky –, to jest o vzniku usazenin. S říčními usazeninami se setkáváme denně, ale nevěnujeme jim pozornost – nevšímáme, že například na mnoha místech Prahy a vůbec většiny velkých měst Česka chodíme po rovinách, tzv. říčních terasách, které jsou složeny z říčních usazenin, nejčastěji štěrků, písků a jílu. Ale jsme-li v městském prostředí, už uvažujeme o řece, která je hluboce poznamenaná lidskou činností. V učebnicích fyzické geologie a geografie řeky vypadají jinak, než jak je známe (**obr. 1**). Je to proto, že v zalidněných, úrodných krajinách mírného pásma byly řeky vždycky místem, které lidi přitahovalo, a proto ho osídlovali a měnili, aby jim ještě lépe sloužilo; nejprve hlavně jako zdroj vody nebo zdroj obživy v případě rybolovu, případně jako obranný prvek raně středověkých blatných hradišť, později vodních hradů a tvrzí. Během středověku a novověku došlo na českých řekách a všeobecně na evropských řekách k typické sérii změn: v určitých vzdálenostech od sebe, tak jak to každý tok umožňoval, se zakládaly mlýny. Kromě řek byly zakládány i na malých potůčcích. V takovém případě mlýn mohl pracovat třeba jen hodinu denně, přesto se vyplatilo i takhle malý zdroj síly využít. Na řekách střední a větší velikosti, jako je Sázava, Berounka, Vltava, obě Blanice, Lužnice atd., byly mlýny umístěny obvykle po několika kilometrech. Téměř každý mlýn potřeboval k vytvoření rozdílu hladin (potřebnému k pohonu vodního kola) jez a kratší či delší náhon, u malých toků i rybník. Vybudováním tohoto zázemí mlýnů (eventuálně také pil, hamrů či jiných předchůdců průmyslové výroby) došlo k přetvoření do té doby běžné krajiny okolo řek, jak ji dnes známe jen z několika málo zachovalých úseků západoevropských toků, jako je francouzská řeka Allier, některé úseky Loiry

a u nás krátké úseky Moravy v CHKO Litovelské Pomoraví a mezi Veselím nad Moravou a Hodonínem.

Výše zmíněnými středověkými a raně novověkými úpravami pro účely pohonu mlýnů vlastně regulace mnoha menších řek skončila. Spontánní vývoj však pokračoval dál, i když v jiných mezích. Když byly řece postaveny do cesty jezy, začaly se zanášet jak prostory nad, tak i prostory pod nimi (hrubým štěrkem) a řeka se snažila vytvořit si novou spádovou křivku, vedenou ale výše než předtím, po přelivných hranách jezů. Velké toky, jakými jsou v ČR dolní Vltava a Labe, však největší změna teprve čekala; osud jejich přírodní podoby se naplnil tím, že byly s obrovskými náklady splavňovány pro rozměrnější nákladní plavidla, později s parním pohonem. Původní říční krajina se v takovýchto případech zachovala skutečně jen ve zbytcích. Obvykle můžeme jejich polohu odhadnout na mapách podle toho, že jsou tyto zbytky vyhlášeny jako chráněná území. Dalším zbytkem někdejšího stavu je morfologie půdního pokryvu a struktura půd, viditelná na leteckých snímcích (**obr. 2 a 3**). Na nich často vidíme v polích několik desítek metrů široké a až několik kilometrů dlouhé oblouky, které kopírují někdejší ohyby řeky a zaznamenávají přirozené přemísťování říčního koryta. Střídají se světlejší – písčité a tmavší – jílovité a prachovité usazeniny. Tyto složité a často podivuhodné struktury jsou nejtrvanlivějším pozůstatkem původní říční krajiny, i když



Obr. 2 Opuštěná koryta a oblouky někdejších nánosových břehů (jesepů) Labe a Jizery východně od Káraného [foto Seznam.cz; letecký snímek pořízen společností TopGis, s. r. o.]

dnešní splavněné řeky tečou jinudy a zpravidla přímější cestou. V případě Labe mezi Mělníkem a Přeloučí došlo ke zkrácení toku zhruba na jednu třetinu.

I když se tato publikace soustřeďuje hlavně na geologickou činnost vodních toků, tedy erozi, transport a sedimentaci, je nezbytné alespoň stručně rozebrat velmi rozmanité příčiny povodňových situací. Povodně se dají rozdělit na několik typů, odlišujících se zřetelně svými charakteristikami. Jedno možné rozdělení je na povodně na větších vodních tocích a lokální povodně na malých tocích, které typicky vznikají pouze v teplé polovině roku v důsledku přívalových srážek. K lokálnímu nebo plošnému smyvu ornice při nich dochází i v místech mimo stálé vodní toky, takže taková lokální povodeň umí překvapit i na místech, kde by ji nikdo nečekal.

Na řekách je potom hlavní rozdělení na povodně zimní, související často s ledochodem, a na povodně letní. Letní povodně mohou mít velmi rozdílný průběh v čase – buď bývají způsobeny velkoplošnými přívalovými srážkami obvykle jen na části povodí a mají rychlý nástup, nebo jsou způsobeny dlouhodobými vydatnými srážkami na celém povodí, a potom je jejich nástup pozvolný. V rámci zimních povodní spojených s ledochodem jsou nejnebezpečnější povodně typu *rain-on-snow*, kdy se prudce oteplí a začne pršet na sněhovou pokrývku. Led na řekách nestačí odtávat a dojde k masivním ledovým zácpám. Naopak pokud chybí celoplošná sněhová pokrývka a oteplení není spojeno s vydatnými srážkami, proběhne odchod ledů zcela beze škod.



Obr. 3 Oblouky někdejších nánosových břehů (jesepů) Labe u Hradištko I severozápadně od Kolína [foto Seznam.cz; letecký snímek pořízen společností TopGis, s. r. o.]

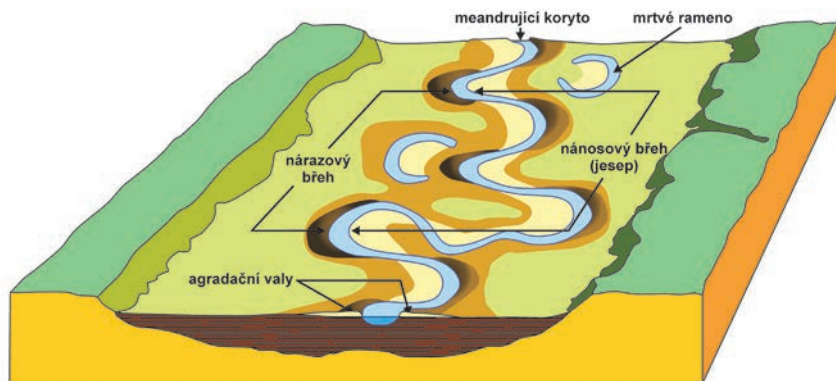
Specifickým typem povodní jsou takzvané kalné proudy, typické pro horské oblasti s velkým převýšením. Dochází k nim nejčastěji, když prudké přívalové srážky uvolní bahno a často i sníh ze sněžníků (firnových polí). V takovém kalném proudě potom mohou „plavat“ i velké skalní bloky částečně ve vznosu. Zdálo by se, že u nás tento typ povodní nehrozí, ale opak je pravda. V Obřím dole pod Sněžkou v červenci roku 1897 povodeň tohoto typu a masivní pohyb sutí zničily řadu staveb a zabíjely.

V této publikaci se ale zaměříme na běžnou povodňovou činnost řek ve vrchovině nebo nížinném reliéfu, který v rámci České republiky převažuje.

2 Základní prvky krajiny v okolí řek a Hjulströmův diagram

Vraťme se k ideální nezměněné řece a ke kapitolám z učebnic fyzické geografie. Typická středo- a západoevropská řeka má určité parametry. Představme si řeku o průtoku zhruba mezi 20 až 500 m³ za sekundu; do tohoto rozmezí se vejde většina řek, nížin a pahorkatin evropského mírného pásu. Řeky tekoucí pouštěmi (např. Nil) nebo v prostředí deštného pralesa (Amazonka a její přítoky) mají velmi odlišné parametry, dané jiným režimem teplot, srážek a charakteristikami terénu v povodí, jako je jeho souvislé zalesnění, zpevňování, nebo naopak snadné rozvolňování povrchu. Běžná evropská řeka velikosti Vltavy či Berounky teče údolím, které zpravidla bývá široké několik set metrů až deset, výjimečně více než dvacet kilometrů, a teče na dně údolí po rovinatém terénu, který má v angličtině velice výstižný název *floodplain*. U nás v češtině se pro tuto část krajiny vžilo označení *niva*, což je termín poněkud nešťastný, protože jako nivy jsou v češtině rovněž označovány horské louky a lučiny vůbec. Nikoho při pohledu na sýr Niva nenapadne připodobňovat jeho vznik k povodněmi ohrožené rovině, k prostoru, který řeka zaplaví při každé větší povodni. V dalším textu budeme plošinu při řece označovat jako *říční nivu* s tím, že ve své původní podobě byla téměř souvisle porostlá lužními lesy s ostrůvky písčin, mokřadů a slepých ramen, a nemá tedy nic společného s loukou. O říční nivě platí i dnes to, co bylo výše řečeno: při velké povodni bývá kompletně zaplavená. Bez ohledu na to, že do protipovodňové ochrany bylo investováno ohromné množství prostředků, povodně i nadále způsobují obrovské hmotné škody, výjimečně i ztráty na životech. Pokud jde o největší povodně od roku 1997 dosud, zkušenost je taková, že jejich rozsah je stejný jako v geologické minulosti; ukazuje se, že i regulované řeky fungují do jisté míry stále stejně, jako fungovaly před svou středověkou a novověkou proměnou.

V údolí s říční nivou, tj. v prostoru mezi svahy, teče neregulovaná řeka většinou meandrovitě, nikoliv však přesnou sinusovou křivkou (**obr. 1**); ta může vyjít jenom při matematických výpočtech. Hadovitý, případně „hadicovitý“ tvar řečiště je však téměř



Obr. 1 Schematické znázornění přirozeně se vyvíjející řeky na dolním toku s výraznou říční nivou. Podle různých autorů

pravidlem. Koryto řeky se někdy svahů, které fungují při povodních jako břehy, dotýká, a někdy se od nich naopak poměrně vzdaluje. Možná překvapivá je okolnost, že většina řek teče vlastně „na kopci“: kolem řeky jsou vyvýšené břehy, tzv. agradacní valy. Nejedná se o lidmi vybudované ochranné valy, břehy jsou vyvýšené přirozeným způsobem. Podél okrajů říční nivy pak zpravidla tečou málo vodné, pomalé potůčky. Z českých řek je tento krajinný prvek dobře zachován například na Jizeře; několik úseků odpovídajících výše uvedenému popisu je mezi Bakovem nad Jizerou a Káraným. Vyvýšení břehů vzniká tak, že při povodni teče řeka nejrychleji ve svém původním korytě. Z něj jsou vyhrnovány – ale současně zpomalovány – především písčité sedimenty, které vytvářejí březní valy (v české odborné literatuře *agradacní valy*, v anglické terminologii *natural levees*). Za pokles rychlosti proudění mimo aktivní koryto mohou turbulence při březích (**obr. 5**) a často také břehové porosty (vrbičky aj.), které zpomalí proudění.

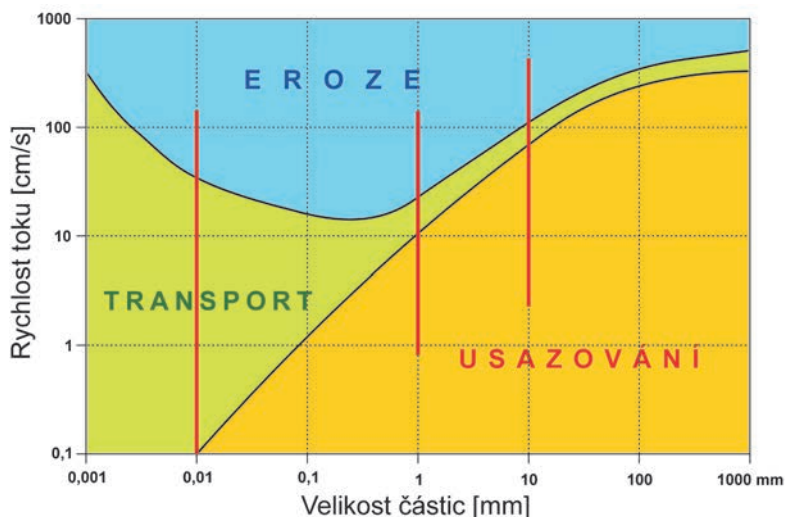
Blížíme se k nejpodstatnější teoretické rovině vzniku říčních usazenin. Uvažujeme-li, že i velmi odlišné řeky na dolním toku prakticky vždy tečou v meandrech a téměř vždy mají podél zákrutů vyvýšené břehy, pak musí existovat silná teorie, která chování řek a usazenin v ní vysvětluje. A v případě řek je teorie shrnuta takzvaným Hjulströmovým diagramem (**obr. 4**). Námi použitá varianta zobrazuje na svislé ose (v logaritmické škále) rychlost toku v centimetrech za sekundu a na vodorovné ose znázorňuje v milimetrech velikost částic, které mohou přijít s vodou do kontaktu (rovněž v logaritmické škále). Uvnitř diagramu jsou tři barevně odlišné a ostře oddělené plochy různé barvy. Představme si, že voda se pohybuje a že jsou v ní „rozmíchány“ různě velké částice minerálů nebo hornin. Hjulströmův diagram nám pomůže zjistit,

jaké teoretické rozmezí velikosti částic ve vodě, jejíž rychlost máme změřenou, najdeme. Pokud by ve vodě byly příliš velké částice (jsou ve srovnání se svým povrchem poměrně těžké), usadí se na dno.

V reálném světě je situace poněkud komplikovanější: řeka unáší materiál několika způsoby: 1. valením, sunutím či poskakováním po dně, 2. ve vznosu, fyzikálně řečeno v suspenzi, a 3. materiál lehčí než voda plovoucí na hladině. Úzce oborové vodohospodářské termíny pro tyto případy jsou (1) *splaveniny*, (2) *plaveniny* a (3) *splávní*. Hjulströmův diagram se týká jen částic těžších než voda; v zásadě jde hlavně o křemen, živec, úlomky silikátových hornin a minerály. Zvláštní postavení mají mimořádně hmotné minerály, zejména rutil (oxid titaničitý) a ryzí zlato, které se koncentrují v přirozených prohlubních dna nebo v rýžovacích miskách.

Další použití Hjulströmova diagramu je následující: představme si řeku, na jejímž dně budou ležet různě velké částice od nejjemnějších jílu po velké kamenné bloky. Známe-li rychlost toku, můžeme zjistit, jak velké částice budou tekoucí vodou strženy a odnášeny níže po proudu, a které naopak zůstanou na svém místě.

Blíží prohlídkou Hjulströmova diagramu zjistíme, že vztahy mezi velikostí částic unášených vodou a rychlostí toku vůbec nejsou přímočaré. Zjednodušeně řečeno však platí, že nejsnáze se dostane do vznosu v tekoucí vodě jemný písek, zatímco hrubý písek a šterk zůstanou na místě stejně jako jíl. Z denní zkušenosti víme, že jílová hmota je



Obr. 4 Hjulströmův diagram. Podle S. Earleho (2014), upraveno

vazká, a k jejímu narušení vodou je proto potřeba větší rychlost než u písku. Při rychlostech vyšších než 1 metr za sekundu (což je přibližně rychlost chůze) se začíná dávat do pohybu jak drobný štěrk, tak i poměrně jemný, vazký jíl. Při rychlosti 10 metrů za sekundu (rychlost jízdy automobilu ve městě) se voda stává všeničícím živlem.

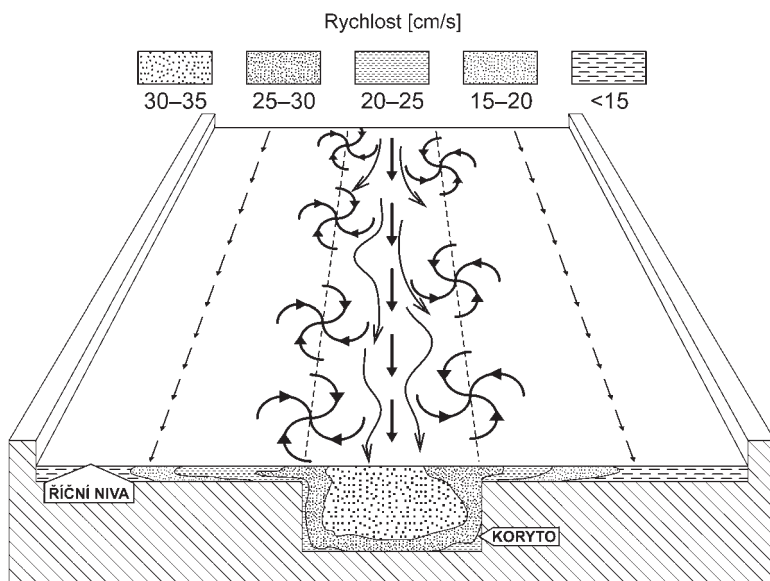
Nestejný je však vztah mezi velikostí částic a jejich usazením na dno. Nejjemnější jíl, pokud je dokonale rozmíchán ve vodě, se usazuje i ve stojaté vodě celé měsíce (což znají turisté využívající jako rekreační vodní plochy bývalé kaolinové lomy; tam je však jíl též druhotně vířen lidmi a rybami), průměrný písek se usazuje na dno už při rychlosti 1 m/s. Velké bloky velikosti menších staveb se usazují už při rychlostech kolem 50 metrů za sekundu (rychlost auta na dálnici). Obecně se však bloky velké nad cca 20 centimetrů téměř vždy pohybují valením, sunutím nebo *saltací* po dně. Ve sloupci se udrží jen v kalných proudech, které mají velkou hustotu. Na našem území jsou tyto kalné proudy naštěstí ojedinělé (lokálně se vyskytují v Krkonoších jako tzv. *mury*), hojnější jsou v sopečných oblastech (na webu lze například najít videa tzv. *laharů* – mokřých pyroklastických proudů o vysoké rychlosti a hustotě).

Pokud bychom to přiblížili názorněji: typický tok nížinné řeky má rychlost menší než deset centimetrů za vteřinu (představme si Vltavu v Praze nebo některou z výše uvedených českých řek). V podstatě to znamená, že za nízkého nebo průměrného průtoku řeka vůbec neeroduje. Pohybuje se voda a s ní eventuálně ty částice, které již ve vznosu jsou a udrží se v něm. V případě dešťových srážek v povodí se samozřejmě částice ve vodě objeví a jsou unášeny do velkých vzdáleností právě proto, že jíl je unášen i velmi pomalu tekoucí vodou. Písek se dává do pohybu při rychlosti kolem deseti centimetrů za vteřinu a při rychlosti kolem dvou tří metrů za vteřinu se začínají pohybovat i velké oblázky. Nakonec by se měly dostat do vznosu teoreticky i mnohametrové bloky, k tomu ale ani při povodních zpravidla nedochází (výjimkou jsou výše zmíněné případy hustých proudů). Když najdeme na dolním toku řeky metrové i větší balvany (jeden takový, asi 2 metry velký kámen se vyskytuje ve Vltavě poblíž ostrova Štvanice), nemůžeme očekávat, že ho na místo donesla extrémně rychle tekoucí voda. Existují i jiné principy pohybu materiálu v řekách, především zaklínění v ledových krách; takže ten kámen nejspíš v některé z ledových dob spadl na led někdejší Sá-zavy a doplaval na někdejší peřeje („praha“, odtud snad pochází jméno města) poblíž dnešní Štvanice. V případě usazených jílu musíme uvažovat o zcela klidné vodě, jílly sedimentují „neochotně“. Nejmenší frakci částic, která snadno propadá ke dnu, je *silt* (čes. *prach*), ve vodních prostředích výstižněji *kal*, laicky nejspíše „bahno“: tato frakce se usazuje ještě při rychlosti 1 centimetr za deset sekund, což je typické pro povodňové laguny částečně odříznuté od rozvodněného toku.

Opakovaně se vracíme ke čtveřici jílu, prachová/kalová frakce, písek a štěrk. Rozpoznat štěrk a normální písek je jednoduché. Jíl poznáme podle toho, že při tření na kůži nedrhně, naopak „maže“. Kaly či kalovce (v geologii častěji *prach* a *prachovce*) jsou o něco jemnější než písčky. Celkem intuitivně odhadneme, že tam, kde vidíme

jednotlivá zrna, máme co do činění s pískem; vidíme-li šedou jednolitou masu, bude se pravděpodobně jednat o kal. Čtvrtý pojem, šterk, je široký. Bývá představován zrny velikosti od dvou milimetrů k deseti až patnácti milimetrům jako šterčík; větší kameny se nazývají valouny a balvany. Největší jsou bloky, se kterými se ovšem na dolních tocích řek běžně nepotkáváme.

Kromě teoretických fyzikálních základů vyjádřených Hjulströmovým diagramem existuje dlouhá řada dalších fyzikálních předpokladů pro vznik meandrujících řek usazujících zrna hornin nebo erodujících svoje podloží. Nejvýznamnější z nich je znázorněn na **obr. 5** a ukazuje, že voda je při toku brzděna třením o pevná tělesa; protože tok řeky je relativně rychlý, částice vody (a samozřejmě i unášená zrna hornin) se nepohybují po přímce, ale po nepravidelných a ne zcela předvídatelných křivkách; takovému proudění říkáme turbulentní proudění. Po téměř konstantních vzdálenostech se pak na okraji koryta tvoří víry. Typická vzdálenost mezi víry bývá u menších řek někdy respektována při samovolném vzniku a následné údržbě či spontánním vývoji březního porostu; rozestup stromů vyčnívajících do řečiště může odpovídat rozestupu vírů. V takto vymezeném prostoru pak vznikají jednotlivé tůně.



Obr. 5 Model rychlosti vody a distribuce vírů v geometricky přesně definovaném korytě a záplavové plošině (říční nivě). Upraveno podle J. S. Bridge (2003)

3 Holocenní usazeniny českých a moravských řek

Jak jsme ukázali v předchozí kapitole, v současném geologickém období dochází v různých nivách při dolních tocích českých (a většiny evropských) řek k hromadění usazenin. Odpověď na otázku, proč převládá usazování nad odnosem, je velmi složitá; zjednodušená odpověď zní, že řeky se nejvýrazněji zahlubovaly koncem ledových dob vzhledem k silicímu úhrnu vodních srážek, k neschopnosti holé krajiny udržet vodu, k tání ledovců a také kvůli tomu, že mořská tzv. *erozní báze* (tedy hladina moře) byla níž než nyní (v oceánech bylo méně vody, protože byla vázána v pevninských ledovcích).¹ Naproti tomu usazovací schopnost našich větších řek převládala ve všech meziledových dobách čtvrtohor a právě v takovém období se nyní nacházíme. Řeky za nízkého a průměrného průtoku vody téměř neerodují a při povodních bývá na dolních tocích řádově větší objem sedimentů (které byly připlaveny z horních toků, do nichž se dostaly mj. dešťovým ronem z polí) než hmot odnesených. A pokud každá povodeň zanechá v průměru několik centimetrů až několik decimetrů usazeniny, pak logicky terén niv stoupá. V krajině v okolí dolního toku Moravy, ve známých staroslověnských sídlech Mikulčice a Pohansko se od doby misie Cyrila a Metoděje zvedl terén přibližně o více než jeden metr; někdejší nízká návrší chráněná před vysokou vodou jsou proto dnes součástí roviny a bez detailního geoarcheologického výzkumu bychom nechápali motivaci stavět právě na určitých (tehdy vyvýšených) místech.²

Ačkoliv jsme v úvodu předeslali, že se nebudeme detailně zabývat erozí, zde uděláme krátkou výjimku – získáme tím částečnou odpověď na zdroj větších a přitom

¹ Terasy se v tradiční geologii 19. a počátku 20. století považovaly za produkt ledových dob, za následek divočících řek překládajících svá koryta. Počítalo se s tím, že pro ledové doby byly typické šterkové pokryvy, jak je známe z podhůří velehor; pro holocén (tedy období po poslední ledové době) se pokládalo za typické, že šterky sedimentují zejména v korytu a akumulace v nivě se týká hlavně písku a částic prachové zrnitosti. Realita je ještě mnohem složitější; fáze eroze a akumulace se střídají. Závisí přitom velmi na charakteru povodí, rozložení srážek během roku atd. Glaciály se skládaly z řady teplejších a chladnějších fází, a tak se přechody od eroze k akumulaci děly i opakovaně. Bez ohledu na toto všechno existuje jen několik málo období velmi rychlé akumulace, kdy akumulovaly terasy o mocnosti i více než 15 metrů. Na Berounce a Vltavě leží takto vzniklé terasy ve výšce přibližně 20 metrů nad dnešní hladinou.

² V současných řekách by bez prohrábek (těžby písku a šterku) stoupal nejen terén nivy, ale stoupalo by i dno, a tedy také hladina. Všechny naše řeky mají kaskády jezů a řeka se snaží najít si novou spádovou křivku vedenou o 1–2 m výše než původně; nová křivka vede po přelivných hranách jezů. Kdyby se nedělaly prohrábký koryta, tekly by dnes některé středočeské řeky o metr výš než ve středověku. S tím souvisí i to, že se při povodni 2002 leckde dostaly šterkovité sedimenty na povrch nivních hlín v místech, kde se tak po předchozích několika staletích nestalo. Řešením jsou snad sklápěcí jezy, ovšem jak si dlouhodobě poradí s velkým transportem materiálu pod sebe, není ještě vyzkoušeno.

neopracovaných kamenů v povodňových sedimentech našich středně velkých a větších řek. Existuje u nás řada toků, které právě v současné době svoje koryta vyklízejí. Je obecně známo, že u řek rozlišujeme nejvyšší horní tok, kde se předpokládá převažující eroze (případně s dopomocí pohybu a tání ledovce; záleží na tom, v jakých typech vrchovin řeky pramení), a pod ním úsek typický pro úpatí velehor, nazývaný *divočící řeka*. Zde řeky často mění svůj tok a neustále překládají koryto rozvětvené do řady ramen. Tyto řeky zpravidla tečou po náplavových kuzelech tvořených velmi hrubými úlomky hornin (nejčastěji balvany a valouny). Dolní toky řek pak obvykle meandrují a posléze se vlévají některým z charakteristických způsobů (delt, estuárie) do moří, výjimečně jezer nebo zanikají v bezodtokých pánvích. V Českém masivu se však toto rozdělení jeví jako málo užitečné a ukazuje, jak složité mohou být zdánlivě snadno popsatelné geologické děje. Velká část českých, moravských a slezských řek spadá alespoň na některém svém úseku mezi tzv. *epigenetické řeky*. Principem epigenese je, že řeky tekly po rovinatém terénu na nezpevněných nebo slabě zpevněných sedimentech. V určité fázi svého zahlubování pak dosáhly tvrdých hornin, například žul, bulžníků či drob. Směr jejich koryt tedy vznikl v době, kdy geologická stavba na povrchu byla úplně jiná. V Českém masivu napomohla změnám povrchové geologické stavby zejména okolnost, že jeho střední část (kupříkladu střední Povltaví s kótou Javorová skála; 723 m. n. m.) se v horizontu milionů let poměrně rychle vyklenuje a pohraniční pohorí (Novohradské hory, Šumava, Český les, Krušné hory, Labské pískovce, Lužické hory, Jizerské hory, Krkonoše, Orlické hory, Králický Sněžník) jsou vyzdvihována podle starých zlomových linií. Kupříkladu Vltava byla nucena vymlít kaňonovitě údolí žulovými tělesy v širokém okolí Zvíkova, Orlíka a Kamýku nad Vltavou, starohorními drobami u Štěchovic a dále ku Praze. Samozřejmě může podobný geologický děj vést i k obrácení směru toku nebo vytvoření jezera a z něj vytékající zcela nové řeky. To se však v Čechách v časových měřítkách, o kterých uvažujeme, nestalo.

Velký počet epigenetických toků v Českém masivu má za následek existenci četných velmi krátkých potoků, které tečou s velkým spádem blízko skalnímu podkladu, a to nejen v hornatinách, ale i v mírných pahorkatinách. A u takovýchto potoků došlo k zásadní, dosud však málo reflektované změně doslova v posledních letech.

K zahloubení řek do skalního podloží a vzniku skalnatých kaňonů došlo geologicky nedávno, před méně než jedním milionem let. Postranní toky s menší vydatností, a tím i erozní silou proto dosud nedokázaly vytvořit pozvolnou spádovou křivku; v údolí větších řek zpravidla nalézáme skalnaté rokle, které se většinou během několika prvních kilometrů dostávají na úroveň třetihorních plošin a jejich spádová křivka je nevyrovnaná.

Když dnes přijde přívalový déšť, jsou kameny příkrých a sevřených bočních roklí intenzivně odnášeny do nivy, která je však široká a má menší unášecí schopnost, takže se zaplňuje především hrubozrnným materiálem svých přítoků a mnohem méně štěrky přinášenými z horních částí svého toku.

Většina těchto krátkých, slabých toků měla podobně jako řeky po celou nejmladší geologickou epochu (od poslední ledové doby) tendenci usazovat špatně vytríděný štěrka a písek. Písek se často s úspěchem rýžoval s cílem získat zlato. Nyní se tyto toky, jak pozoruji zejména na Podblanicku, ale příležitostně i jinde, svých sedimentů zbavují. Ty se následně usazují v řekách. Malé potůčky v českých pahorkatinách měly po staletí tůňky se pstruhy a střevlemi; jde o stav, na který se zcela přesně pamatuji z dětství, tj. z 60. a 70. let 20. století. Dnes, když se jdu podívat na místa, kde bývaly tůně, nacházím kupodivu holou skálu (na Podblanicku nejčastěji ruly). Konstatujeme, že přicházíme o cenné přírodní prostředí těchto malých toků, přišli jsme o vodu dříve vázanou v tůňkách, a tedy za sucha podstatně pomaleji odtékající. V mnoha případech je nesporné, že lidé se dříve o tyto malé potůčky starali. Pokud nebyly dost silné k pohonu mlýnů, šlo o cenný zdroj pitné či přinejhorším užitkové vody. A představuji si, že třeba děti, které chodily od vesnice podél těchto potůčků, měly za úkol tu a tam přihodit kámen na hrázku, aby se tam zadržovala a čistila voda.³

Ale v současné době se změnil režim srážek: přibýly přívalové srážky. Ty jsou schopné dodat do nevelkého povodí malého potůčku v krátké době tolik vody, že proud dosahuje běžné rychlosti několika metrů za sekundu. To v souhlase s Hjulströmovým diagramem znamená, že voda odnese prakticky všechno a téměř nic se už znovu neusadí. Příval skončí a pstruzi a kameny odešli spolu po proudu a z řetězce tůňek se stala kamenná brázda na dně údolíčka, která vodu absolutně nezadrží ani ji se zpožděním během sucha nevypouští, což bychom obojí potřebovali. Je zřejmé, že i o tyto velmi drobné toky by bylo zapotřebí se intenzivně starat, ale to je téma jiných knížek, které už byly napsány (viz Cílek a kol., 2017). Vyplývá to i z úhrnné délky menších toků, která dosahuje několika desítek tisíc kilometrů.

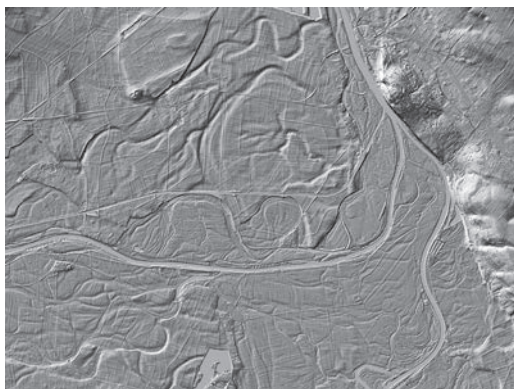
Ačkoliv povodňová usazenina se může vytvořit po přívalovém dešti i mimo jakýkoliv vodní tok, neobjemnější tělesa vznikajících sedimentů lze přičíst na vrub řek v měřítku Českého masivu středně velkých a velkých. Není třeba je vyjmenovávat; údaje jsou dostupné např. na webu <http://eagri.cz/public/web/mze/voda/aplikace/cevt.html>. Z toho povodí Vltavy, Labe, Ohře, Odry a Moravy obhospodařují samostatné státní podniky, takže z hlediska geografického i územně správního jde o pěti nejvýznamnějších toků v ČR. O všech těchto větších řekách platí, že na téměř celém toku vlastně tečou na svých vlastních usazeninách; jen výjimečně je dnem hlavního koryta

³ Rovněž podle K. Žáka se v posledních desetiletích eroze a obnažování skalních stupňů zrychlovaly (Žák, 2005). Tento autor však uvádí (osobní sdělení), že předtím sice převládala i na malých tocích akumulace, ale největší erozní události, které vytvořily v celé krajině síť roklí se strmými stěnami a ostrými, velmi mladými hranami, spadají zřejmě hlavně někam k přelomu letopočtu. Tedy není to tak, že by se nyní dělo něco, co se předtím nedělo. Erozní a depoziční režim malých toků se prostě podstatně měnil i v průběhu holocénu, nejen v posledních desítkách let, které pamatujeme.

skalní podloží. Vzhledem k historickým úpravám řek (viz výše) se málokde dochovaly výrazné agradační valy; často jsou v jejich prostoru vybudovány protipovodňové hráze, takže na lidarových snímcích (**obr. 6**) splývají přírodní a lidmi vytvořené valy v jedno těleso. Na druhé straně bychom však velmi obtížně hledali řeku, kde by fenomén agradačních valů nebyl vůbec patrný (samozřejmě s výjimkou horských bystřin typu Mumlavy, Bílého Labe apod.). Agradační valy (**obr. 7**) jsou nejčastěji tvořeny pískem a po výkladu Hjulströмова diagramu je zřejmé proč. Výstupem vody z koryta po překročení jeho kapacity dochází k rozlivu na velké ploše, a tím k rychlému zpomalení, které je doprovázeno vypadáváním částic určité velikosti ze suspenze. Málokdy to bývá štěrky, který může být vlečen nebo kutálen po dně, ale obtížně se udrží ve vznosu; sedimentace proto začne vypadáváním písku. Například na dolním toku řeky Moravy mezi Bzencem a Hodonínem jsou dlouhé úseky písčitých břehů. Historie jednotlivých písčivých zrn může být dlouhá a pestrá: z písčín neregulovaných řek bývala písčivá zrna unášena větrem a vznikaly duny navátých písků, ze kterých se písek mohl eventuálně „recyklovat“ zpět do koryta. Váté písky byly jako prvek přírodního prostředí na území ČR prakticky zlikvidovány; bývaly odtěženy nebo se jejich povrch konsolidoval výsadbou lesa, převážně borového. Dnes je několik málo písčín (pod Řípem, u Poděbrad, u Veselí nad Lužnicí, v okolí Bzence) vyhlášeno jako chráněná území. Jsou uměle udržovány bez souvislého porostu z důvodu udržení vzácného rostlinstva i živočišstva (hlavně hmyzu). S pásy dun dnes pokrytými lesem se můžeme setkat na Labi pod Pardubicemi.

Vidíme tedy, že i geometricky přesná, přímá koryta řek a potoků (jaká bývala v minulosti bohužel opakovaně uměle vytvářena, často s opevněnými břehy) nezabrání vzniku povodňových usazenin mimo vlastní koryto a mnohdy i v něm. Navíc v nich voda, díky většímu podélnému spádu, může dosáhnout daleko větších rychlostí proudění než v přirozených, zvlněných nebo meandrujících korytech. Pro vznik přímého

Obr. 6 Lidarový snímek území jihozápadně od Mělníka s patrnými opuštěnými koryty a s umělými i přirozenými (agradacími) valy; http://archeoconsult.org/fortress-terezin-as-you-never-see-it-before/lidar_02/





Obr. 7 Agradační val (vyznačený červenou čarou) vzniklý na Vlašimské Blanici mezi lety 1960–2018, GPS: N 49°45.644', E 14°54.770' [foto R. Mikuláš, 2018]

koryta v přírodě musí existovat geologická „předloha“ (např. zlom, strukturní hřbet, systém puklin apod.). V geologicky stejnorodém prostředí má však vodní tok tendenci meandrovat. Matematicko-fyzikální modely (**obr. 5**) ukazují, že i v přímém korytě stabilního profilu voda vytváří víry, a to v konstantních vzdálenostech, střídavě při jednom a druhém břehu. Víření vody má vliv na erozi břehů a usazování unášených částic minerálů a hornin, původně přímá trasa koryta se začne klikatit a výsledným stavem jsou obecně známé meandry (**obr. 1**). Zákruty meandrů vytvářejí v řece dílčí subprostředí, zejména nárazový břeh, nánosový břeh (jesep), tůň, mělčiny na přechodu jednoho meandru do opačného (inflexe), dále tzv. slepá a mrtvá říční ramena. Meandrující řeka však obvykle pokrývá jen několik procent plochy říční nivy. V jejím korytě se mohou při běžných nebo mírně zvýšených vodních stavech usazovat písky, za vyšších vodních stavů i šterky. Nelze však opomenout, že hlavním dějem probíhajícím v řece se zvýšeným průtokem není sedimentace, ale transport. Pokud povodeň trvá několik dní, profilem toku projde valením a saltací po dně mnohem více šterků, než kolik se v něm nakonec usadí. Když je koryto v rovnovážném stavu,

sedimentace může být minimální, ale transport velký. Usazování písků je zvláště rychlé při nánosovém břehu (jesepu, v angličtině *point bar*), zatímco na protilehlém břehu dochází k erozi starších a spolu s nimi i relativně velmi mladých usazenin téže řeky.

Na říční nivě mimo řečiště a mrtvá ramena se málokdy usazuje něco jiného než částice prachové (u některých autorů kalové) frakce (tedy zrna menší než písek a větší než jíl), zatímco jíl může zůstat v mrtvých ramenech nebo je odnášen dál až do moří, jezer či velkých přehradních nádrží. Existují i postupné přechody mezi jílem a prachem, mezi prachem a pískem, pokud mluvíme ne o jednotlivých částicích, ale o vytvořeném sedimentu; v podmínkách středoevropských řek jsou však vyjmenované velikostní frakce usazenin zpravidla vcelku jasně odlišeny. Další zatím jen letmo zmíněnou složkou povodňového procesu a transportu jsou předměty, které plavou na hladině. Nejčastější součástí těchto akumulací je dřevo od větvíček až po kmeny stromů, v oblastech jehličnatých lesů jehličí a v oblastech lidského osídlení bohužel také polyetylenové láhve a sáčky i větší předměty. Část těchto předmětů se zachytí na stromech a v křovinách, což komplikuje jejich odstraňování, pokud vůbec k likvidaci dojde. Velká část plastů rozpadlých na malé kousky putuje až do moře, kde vytváří specifické znečištění.

3.1 Hrubé šterky

V některých drobných nížinných tocích se hrubé šterky vůbec nevyskytují, např. v rovinných říčkách typu Černavka u Mělníka, a vyjmenovali bychom asi řadu řek a říčků, které ani při nejvyšších vodních stavech netečou takovou rychlostí, aby unášely šterk. Chybějí také v potocích a říčkách v krajinách tvořených jemnozrnnými pískovci (dlouhé úseky Pšovky, Strenický potok, Žehrovka aj.). Ale ve větších řekách se i na dolních tocích setkáváme běžně se šterky, jak dokumentují desítky těžeben šterkopísků zejména v Polabí a Pomoraví. Jsou založeny ve šterkovém základu nivy, méně často i ve starších terasách. Šterk získávají plovoucí bagry na řekách; zde se těží již jen z důvodu prohrábky, ne aby se získal šterk (při současném znečištění struskou, plasty apod. už tento šterk nebývá vhodný jako přísada do betonu). Navzdory časté převaze šterků v těženém materiálu se těžebnám obecně říká „pískovny“. Až současná generace ochránců přírody docenuje jejich hodnotu; kromě rekreační hodnoty jsou to náhradní stanoviště celé řady rostlinných a živočišných druhů, dříve běžně žijících na písčinatech nánosových břehů a agradačních valů. Těžbou tak vzniká cenná krajina, kterou nemá smysl důsledně „rekultivovat“, protože právě volný písek je tou hodnotou, která jinak z krajiny téměř vymizela. Šterkové usazeniny v říční nivě mívají zpravidla tvar různé se křížujícími, větvičnými a překládajícími se těles. Jedná se nejčastěji o výplně koryta řeky (angl. *river channel*). V souladu s tím obvykle najdeme šterkové usazeniny na dně říčního koryta (ať už současného, nebo minulého). Je to proto, že při povodních

teče voda zpravidla nejrychleji ve stávajícím aktivním korytě; v kritických hodinách povodně bývá ze šterku, který tvoří dna našich řek, často vyplaven písek a jíl, takže zůstane šterková „dlažba“ či „mozaika“; i šterk se zpravidla přemísť. V říční nivě vyvíjející se statisíce nebo miliony let (což je případ Labe, Vltavy i Moravy) se často pod sebou i vedle sebe střídají polohy šterku a písku. Některé z těch šterkových poloh ukazují, že jsou výsledkem daleko větší povodně, než byla povodeň, která zasáhla zejména Prahu a dolní Polabí v roce 2002. Také v roce 2002 však vznikla velká šterková tělesa deskovitého tvaru mimo říční koryta. I šterk se může dostat mimo říční koryto, ale záleží na rychlosti toku, jak vysvětluje Hjulströmov diagram, a na výšce břehu, který musí šterk překonat, neboli zda stupeň je dost nízký na to, aby turbulence v místě změny směru proudění vyházela materiál přes okraj aktivního koryta do nivy. Souvisí to tedy i se zanášením aktivních koryt řek, jak bylo již komentováno výše. Pokud jde o samotnou rychlost vody, ta závisí často na zdánlivých maličkostech.

Na řekách velikosti Jizery nebo Vlašimské Blanice někdy stačí jeden vývrat, který vytvoří bariéru, podél níž pak voda teče směrem do říční nivy vysokou rychlostí. Dojde k „rozebrání“ agračního valu a vznikne jev zvaný průrva, přesněji průrva agračního valu, a za ní vějíř postupně se zjemňujících usazenin, tzv. vějíř průrvy



Obr. 8 Přibližný směr nivní průrvy Vltavy přes laguny a protipovodňové valy na severním okraji Prahy-Zbraslav [mapový podklad Seznam.cz]

(v angličtině *crevasse splay*). Voda proudící průřvou může mít takovou rychlost, že v souhlase s Hjulströmovým diagramem unáší štěrk či valouny. Nivní průřvy vznikají zpravidla na přechodu nárazových břehů do rovných úseků toku (inflexí). Při velké povodni se může popsáním mechanismem usadit (nebo znovuusadit) štěrk z mnoha kilometrů říčního dna nad místem průřvy.

Dalším faktorem dávajícím do pohybu štěrk je eroze nárazových břehů. K posunutí nárazových břehů dochází téměř výhradně za vysokých průtoků. Příslloví „tichá voda břehy mele“ není úplně pravdivé. Nicméně i krátká, několikahodinová povodeň, způsobená lokálním přívalovým deštěm, může znamenat odnos části nárazového břehu. V řekách, které prošly lidskými zásahy a úpravami, bývají nárazové břehy chráněny vegetací (u extrémních úprav i hrubým kamenným zdivem, betonem apod.). Jakmile však dojde k odnosu vegetace velkou povodní, eroze tzv. neví, kde přestat. Je kupodivu málo známo, že majitel pozemku ležícího při vodním toku je povinen změnu březní linie přijmout jako fakt a případná další protierozní opatření uskutečnit na své náklady. Nemůže po nikom chtít „údržbu“. Nad řekou Ohří leží vesnice Kystra, s níž sousedí obrovský nárazový břeh Ohře tvořený asi 20 metrů mocným souvrstvím jílovců a slínovců křídového stáří (asi 100 milionů let). V posledních letech se linie



Obr. 9 Hřbítek tvořený usazeným štěrkem (a následně zčásti pokrytý pískem) v deskovitě tělese štěrkové vrstvy. Severní okraj městské části Praha-Zbraslav [foto V. Čílek, 2002]

břehu posunula o několik metrů směrem k pozemkům náležejícím k penzionu. Jedná se o typický příklad situace, kde by účinné protierozní opatření bylo velmi nákladné a jediným rozumným řešením situace je daný stav akceptovat, tj. postupně posouvat oplocení dál a dál od řeky.

Shrňme, že štěrk se dostane na rovinu říční nivy nejspíše korytem či rampou na místech odpovídajících definici nivní průrvy. Je přemísťován válením, sunutím nebo saltací, málokdy ve vznosu podle vztahů zřejmých z Hjulströмова diagramu. Příkladem průrvy s usazením štěrku je Vltava u Zbraslavi, kde v roce 2002 došlo k protržení protipovodňových hrází u lagun mezi řekou Vltavou a strakonickou silnicí (**obr. 8**). Laguny ponechané při splavnování Vltavy jsou v mírné pravotočivé zatáčce toku poblíž soutoku s levobřežním přítokem Berounkou; právě přes laguny se začal štěrk valit ven a vznikla u nás neobvyklá krajina (**obr. 9–12**). V pásu dlouhém několik set metrů zůstaly na svých místech pouze některé starší stromy.

Štěrk usazené Vltavou pod Zbraslaví byly vesměs tmavošedé až nazelenalé barvy, protože pocházejí z hornin (slabě metamorfovaných usazenin a vyvřelin) mladších starohor tzv. jílovského pásma. Ty se typicky vyvinuly v údolí Vltavy mezi Slapy a Zbraslaví a tvoří tam četné skalní útvary se stěnami vysokými zpravidla několik



Obr. 10 Ostré ukončení štěrkové lavice. Severní okraj městské části Praha-Zbraslav [foto V. Cílek, 2002]



Obr. 11 Štěrková vrstva bez vegetace – u nás málokdy vidaný přírodní fenomén. Severní okraj městské části Praha-Zbraslav [foto V. Cílek, 2002]

desítek metrů. Složení štěrků v řece je do značné míry podmíněno průměrnou „dobou života“ valounů v českých řekách. Ve velikostní frakci valounů jen velmi malý podíl materiálu přežije transport delší než několik desítek kilometrů (viz studii K. Žáka).

Štěrk je v nivě uložen v tělesech připomínajících terasy, zpravidla několik metrů širokých a až desítky metrů dlouhých. Jsou přítomny jak útvary jazykovitého tvaru (s osami rovnoběžnými se směrem toku; **obr. 12**), tak tvary lavicovité, s delší stranou ke směru proudu kolmou (**obr. 10**). Ve většině případů souvisí sedimentace s překážkami v linii toku (již desítky metrů daleko od říčního koryta), což nejčastěji jsou buď živé, nebo vyvrácené a zakleslé stromy. Valouny jsou vesměs částečně až zcela zaoblené a dosahují nejčastěji velikosti 3–10 centimetrů.

Spontánní oživení rostlinným pokryvem následovalo poměrně rychle. Zdálo by se, že krajina je „na dlouhou dobu zničená“, ale již na časové sérii leteckých snímků obecně přístupných na serveru mapy.cz je vidět, že příroda naopak dostala mimořádnou šanci rozvinout tzv. pionýrská stadia rostlinstva a živočišstva a postupným vývojem (sukcesí) se dopracovat k rozvinutějším a druhově bohatším stadiím, v horizontu staletí (během kterých by přišly nové, ale pravděpodobně slabší povodně) zřejmě k lužnímu lesu.



Obr. 12 Hřbítky štěrku rovnoběžné s hlavní proudnicí rozvodněné Vltavy. Severní okraj městské části Praha-Zbraslav [foto V. Cílek, 2002]

Za překážkami v toku (zejména vývraty stromů) se po usazení štěrku při ústupu vody ještě nějakou dobu usazovaly i písky. Jsou dobře vytríděné a stávají se součástí mozaiky poměrně rozmanitých prostředí, důležitých pro bohatou živou přírodu.

3.2 Písky

Při výkladu o vzniku usazenin písku už nelze příliš „strašit“ Hjulströmovým diagramem. Rychlosti toku vody, při kterých se písek pohybuje (je vodou unášen nebo valen), jsou poměrně běžné a pro dospělého člověka nepředstavují fyzické ohrožení. Jedná se o rozpětí rychlostí mezi jedním decimetrem a metrem za sekundu. Běžná rychlost chůze plně postačuje k pohybu písku a k přemodelování dna, případně břehů. Řada našich řek má dno střídavě štěrkové a střídavě písčité, například Sázava, Jizera, Ohře. Tento stav je během povodně vychýlený ve prospěch štěrků; při vodní turistice apod. však vidíme stav vytvořený během odeznívání povodně. Nad jezy a v údolních nádržích se usazuje také jílová frakce s velkým podílem dosud nezetlelých organických látek. To představuje určitý problém, protože z bahna údolních nádrží se pak uvolňuje



Obr. 13 Nepravidelné čeřiny na povrchu mohutného pískového usazeného tělesa jazykovitého tvaru. Císařský ostrov v Praze [foto V. Cílek, 2002]

metan, což je mimořádně účinný skleníkový plyn. Navíc na organickou hmotu bohaté jílové usazeniny obsahují i velké množství dalších znečišťujících příměsí anorganické i organické povahy.

U rychleji tekoucích řek a potoků může proud modelovat písčité dno, případně břehy i za normálních vodních stavů. Může tedy vyplňovat stará (opuštěná) říční koryta, i když obvyklejší jsou koryta vyplněná střídavě pískem a štěrkem. Písek se obvykle neukládá v podobě jednoduchých desek usazeniny, jako je tomu u kalu (viz další kapitola). Většinou jsou povrchy desek zvlněné – tyto „vlnky“ označujeme jako čeřiny (**obr. 13**). Vznik čeřin si nejspíše představíme jako obdobu vzniku dun na písčinych pouštích: písek je hnán po návětrné straně na hřbet duny, odkud přepadává do závětrí. Jejich pravidelnost je odvozena od vířivého pohybu vody, eventuálně vzduchu na styku s překážkou. Čeřin existuje řada druhů. Všechny mají společné šikmé zvrstvení, které však může mít různou míru geometrické složitosti. Kupříkladu korytovité šikmé zvrstvení je však málokdy viditelné přímo při pohledu na povrch říční nivy po povodni – ale i to se může stát (**obr. 14**).

Písek je typickou usazeninou agradačních valů, jak už bylo vícekrát zmíněno (Stromovka, Císařský ostrov, Blanice). Mnohem více to však platilo pro řeky předstředověké. Technologický a společenský vývoj přinesl již před průmyslovou revolucí několik možných náhrad za lidskou sílu, zejména vylepšené využití tažné síly zvířat



Obr. 14 Korytovité šikmé zvrstvení zanechané v trojrozměrné podobě v místě drobné říční průrvy při náhlém poklesu hladiny rozvodněné Vlašimské Blanice.

GPS: N 49°45.644', E 14°54.770' [foto R. Mikuláš, 2005]

a sílu větru, ale v podmínkách zemí Koruny české vítězně vycházela téměř vždy voda. O praktickém použití vodního pohonu u složitých soustrojí se dnes můžeme přesvědčit např. v obnovených náhonech a drtárnách rud kolem Zlatých hor v Hrubém Jeseníku nebo v turisticky zpřístupněných vodních mlýnech (Choteč, Hoslovice aj.). Za agradačním valem často tečou drobné pomalé potůčky obklopené mokřady. Níže po proudu, tam kde se objeví nějaká překážka (kupříkladu aluviální, též tzv. dejekční kužel vznikající při ústí krátkých vedlejších toků do hlavního údolí), potůček s mokřady se napojí do původního toku nebo (častěji) prosakuje usazeninami. Zde je vhodná příležitost zamyslet se nad tím, kolik vody se vlastně v řece pohybuje mimo koryto prolínáním usazeninami. Lze předpokládat, že protáhlá tělesa štěrků, třeba již dávno pokrytá nivními hlínami, jsou vydatnými trasami proudění podzemní vody. Rovněž písky jsou dobře propustné. Vyplnění štěrkových a pískových těles říční nivy vodou se v tomto kontextu jeví jako vítané zpomalení povodňové vlny. Nemá smysl se tomu nechtěně bránit třeba uzavíráním koryt do nepropustných, betonem opevněných koryt, nebo dokonce potrubí.

Kromě vějířů průrev a agradačních valů se písky typicky usazují na nánosových (jesepových) stranách meandrů. Dlouhodobou kvazistabilitou říčního průtoku se



Obr. 15 Písčité sedimentace v sousedství lavic štěrků. Severní okraj městské části Praha-Zbraslav [foto V. Cílek, 2002]

takto mohou akumulovat rozsáhlá ložiska písků jen s podřízeným podílem šterkové frakce. Písky také uzavírají sedimentaci šterkových lavic, jak jsme mohli pozorovat v roce 2002 u Prahy-Zbraslav (**obr. 15, 16**). Usadily se v situaci, kdy průtok řeky dosahoval už jen zlomek (odhadem 1–5 %) maximálního povodňového stavu. Písková tělesa měla nejčastěji charakter závějí za překážkami.



Obr. 16 Píky plošně, ale nesouvisle pokrývají šterkovou lavici. Severní okraj městské části Praha-Zbraslav [foto V. Cílek, 2002]

Lapidárně řečeno, pokud se zásadně nemění klima nebo lidský management, co si říční koryto „ukousne“ na jedné straně, tak zase vrátí pevninskému světu na straně druhé. Nabízí se představa, že tok se může posouvat někam dál a dál bez omezení. Ve skutečnosti se však řeka pohybuje pouze v rámci své říční nivy. Důvod, proč a jak byly nivy přírodními pochody „vytyčeny“, je řeka od řeky jiný.⁴ Častým důvodem ohraničení nivy je tektonická linie, tedy sousedství zdvihajícího se segmentu zemského povrchu s poklesajícím. Jindy jsou jako omezení nivy významnější tzv. strukturní hřbety.

⁴ Poznámka interního recenzenta dr. Karla Žáka: Geometrie celých říčních údolí je problematika na další knihu, včetně otázky asymetrického příčného průřezu, šířky versus hloubky údolí v závislosti na geologické stavbě a podélném spádu atd.



Obr. 17 Písčítá usazenina s velkým podílem lasturek mlže hrachovky (*Pisidium*). Ve spodní části jsou vrstvy uložené vodorovně, výše šikmo. Císařský ostrov v Praze [foto V. Cílek, 2002]

Jejich typickým představitelem v české krajině jsou Brdské hřebeny. Brání dolnímu toku řeky Berounky v posunutí dále na jihozápad. Berounka v tomto úseku (od Řevnic po Kazín) teče na jílových břidlicích a napravo má hradbu, ve které je podstatnou složkou křemenec (v 19. století oblíbený dlažební kámen v Praze, tzv. kočičí hlavy medové barvy). Většinou je však v Českém masivu důvod skrytější a souvisí s výše diskutovaným problémem epigeneticky založených řek. Dna údolí těchto řek byla na konci poslední ledové doby *vyklizena*, ovšem mnohde ne v celé šíři údolního dna; i Vltava, podobně jako ještě nedávno krásné potůčky pro pstruhy a raky, tekla po kamenech, na toku byly co chvíli peřeje a vodáci by Vltavu nepochybně klasifikovali jako tzv. *divokou vodu*. Rychlost toku v souhlase s Hjulströmovým diagramem odpovídala čistě skalnímu korytu. Ne všude se však Vltava ke svým starým usazeninám dostala, takže zbytky starých (a za staletí geologických výzkumů velmi přesně popsanych a datovaných) usazenin představují staré říční terasy, pojmenované podle typických míst, jako například suchdolská, vinohradská, letenská či maninská terasa. Místa, na nichž dnes



Obr. 18 Zčištěná geologická sonda na středním toku Nilu, Súdán. Nápadné jsou různé formy šikmého a čeřinového zvrstvení písku. Jako měřítko mohou posloužit ojedinělé kořínky travin [foto V. Cílek, 2010]

stojí mimo jiné velká část Starého Města, Malé Strany a Karlína, jsou taková, která byla po poslední době ledové vymleta až na skalní podklad. Vidíme tedy, že řeka, která už je poměrně silně zahloubená do krajiny, si může vytvořit svoji nivu znovu a znovu, ale bude ji vytvářet čím dál užší; bude mít čím dál méně místa na přesouvání koryta a klikacení. Budou tedy vznikat stále menší ložiska písků a štěrkopísků.

Písek usazený řekou bývá šikmo zvrstvený. Na **obrázku 17** vidíme, že v dolní části pískového tělesa jsou horizontální pískové laminy a nad nimi je šikmé zvrstvení. Tuto okolnost je bez předchozího upozornění obtížné zpozorovat. Opatrně vedené výkopy předběžně orientované buď ve směru toku, nebo kolmo k němu jsou však pro geologa velmi informativní (**obr. 18**). Jen ojediněle voda ustoupí tak náhle, že se zachová původní architektura písčitého dna (**obr. 14, 19**). V některých případech málo upravených nebo vůbec neregulovaných řek však představují nárazové břehy mnoho kilometrů dlouhé široké geologické profily (kupř. Nil na území Súdánu), doslova učebnice sedimentologie.

Z hlediska sedimentologie velmi instruktivní tvary vznikly při nedávných velkých povodních na Vltavě na severním břehu Císařského ostrova. Písčité sedimenty byly prokládány drobnými schránkami vodních mlžů; ukázal se tedy málo známý fakt, že vltavské dno v Praze je obýváno milionovými populacemi drobných mlžů



Obr. 19 Písečné „jazyky“ (analogie sněhových jazyků) vzniklé za překážkami, zpomalujícími tok Vltavy při povodni v roce 2002 na Císařském ostrově v Praze [foto V. Cílek]

rodu *Pisidium* (hrachovka). Tyto schránky, zpravidla 8–10 milimetrů velké, oblé, ve tvaru hluboké mističky, jsou podle velikosti součástí štěrkové frakce. Jejich tvar je však natolik vzdálen aerodynamickému optimu, že jsou transportovány vodou ještě snáze než 1 milimetr velká písková zrna. Protože hrachovky žijí v povrchové vrstvě bahna, k jejich přimísení do vodou neseného materiálu je nutný silný proud, ale pak už stačí mnohem pomalejší tok k tomu, aby se udržely ve vznosu. Na Císařském ostrově a v roce 2002 i v parku Stromovka se místy vytvářely náplavy o výšce až 1,8 metru, závěje nebo „šmouhy“ tvořené téměř stoprocentně lasturami hrachovek (**obr. 20**). Častěji vytvářely lasturky laminy v pískových tělesech. Na jiných řekách vznikaly podobné akumulace převážně ze schránek vodních plžů, třeba na Berounce z ulit bahenky živorodé, spolu s většími měkkýši (zejména velevrub malířský).

V pískách českých řek téměř všude převládá křemen. To není samozřejmost, existují přírodní písky, ve kterých převládá např. olivín. Dříve se místní říční písek obecně používal jako součást malty; ještě kolem roku 1970 pamatují „soukromou těžbu“ písku s pomocí prkenné skluzavky, vrátku, neckovité nádoby a naběračky na násadě v potoce Chotýšanka těsně před jeho ústím do Blanice. Rodiče a prarodiče vlastnící poblíž domek se sadem tento písek kupovali. Zejména v první polovině 20. století byla na řadě našich



Obr. 20 Lasturky mlže hrachovky (*Pisidium* sp.) usazené v jazykovitém tělese s podřízným množstvím písku. Císařský ostrov v Praze [foto V. Cílek, 2002]

řek rozšířena těžba říčního štěrkopísku pro stavební účely plovoucími bagry. Později se od toho ustoupilo, jednak z důvodu ochrany říčního bentosu, a také kvůli narůstajícímu podílu antropogenních materiálů (cihly, strusky a podobně). Písek s lasturkami by byl velmi vhodný k vápnění pozemku a odlehčení jílovité půdy (**obr. 21**). Právě drobné lastury jsou důvodem, proč je mnoho nivních sedimentů slabě vápnitých.



Obr. 21 Lasturky mlže hrachovky (*Pisidium* sp.) s trochou písku a odleželé organické hmoty použité k vápnění a odlehčení jílovité půdy. Lasturky byly k tomuto účelu získány v Praze 7 po povodni v roce 2013 [foto R. Mikuláš]

3.3 Prachovité usazeniny (kaly) a jíly

Pamětníci povodní v roce 2002 i 2013 v Praze si jistě rozpomenou na několik centimetrů až jeden decimetr silnou vrstvičku kalu, která zůstala téměř na všech površích zaplavených pomalu tekoucí vodou příležitostných lagun. V Praze byla tato vrstva čerstvého sedimentu v nivě nejsilnější v okolí Libeňského přístavu a v Karlíně. Dále po proudu bylo kalem pokryto široké okolí soutoku Labe s Vltavou, rovina v okolí Terezína aj. Prachovec (srozumitelněji, ale méně často i v odborných textech

označovaný jako kal, respektive kalovec) je nejtypičtější usazeninou říčních niv a jeho usazování je vlastně hlavním důvodem, proč můžeme o dolních, meandrujících tocích řek mluvit jako o oblastech s převládající akumulací hmot. Protože je po usazení poměrně rychle smíšen s podloží hlínou (proces bioturbace – viz níže), mají nejběžnější profily nivami za posledních 12 000 let podobu nevrstevnatých, zpravidla hnědě zbarvených tzv. povodňových hlín. Kal se přinejmenším od raného starověku do nedávné doby usazoval každoročně na dolním toku Nilu a je všeobecně známo, že na tomto kalu a na vodě, která ho přinesla, závisela ve starověkém Egyptě roční úroda. Nílské bahno bylo jako přírodní hnojivo namícháno ze zvětralých sopečných hornin Modrého Nilu a organických zbytků z močálů Sudd na Bílém Nilu. U nás bohužel povodně tak blahodárný efekt nemají už jen z toho důvodu, že se neopakují každoročně a mohou se objevit v různých ročních obdobích. Jinak je i prachovitý a jílovitý nivní sediment současných povodní českých řek extrémně úživný. Proto také byly v posledních desetiletích původní pobřežní porosty travin (kupř. chrastnice) nahrazeny kopřivami a hojně i zavlečenou netýkavkou žláznatou.

Vrátíme-li se k Hjulströmovu diagramu (**obr. 4**), vyplývá z něj, že i poměrně pomalu proudící voda suspenzi části prachové a jílové velikosti unáší; voda musí být téměř stojatá, aby tyto částice klesly ke dnu. Tohoto stadia dosáhne velká povodeň



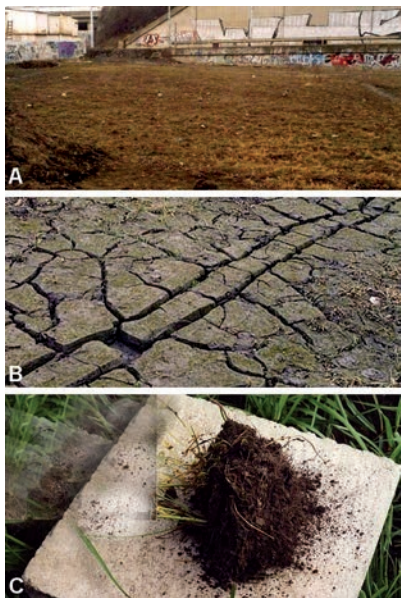
Obr. 22 Vltava v Praze pod Vyšehradem dne 14. srpna 2002 [foto V. Cílek]

v nivě mimo aktivní koryto v podstatě velmi brzy, voda přichází do ulic tiše. Není to žádná bouřící masa, jak jsem podvědomě očekával, když jsem se po noci, během které bylo zatopeno mj. pražské metro, šel podívat na vrch Vítkov a čekal jsem, že uvidím bouřlivou zmršť unášených předmětů v divoké vodě. Takováto scenerie se pochopitelně ani Praze nevyhnula (**obr. 22**), ale voda v ulicích Karlína téměř stála a nepochybně se už od první minuty zbavovala kalových částic. Mocnost kalové povodňové vrstvy při konstantním obsahu kalu ve vodě záleží na třech okolnostech: 1. jak dlouho bylo určité místo zaplaveno, 2. jak silná byla vrstva této vody a kolik obsahovala primárně suspenze a 3. jak rychle se pohybovala. U prvních dvou kritérií platí víceméně přímá úměrnost, ale vzít v úvahu rychlost vody je složitější. Odhaduji, že optimální pro usazování kalu v lagunách typu Karlína či Stromovky je rychlost kolem 1 centimetru za sekundu; to znamená, že kal se neudrží ve vznosu a klesá ke dnu, na druhou stranu je však neustále přinášén nový kal. Například v libeňském přístavu v Praze na tenisových kurtech ležících asi 1,5 metru nad běžnou hladinou Vltavy bylo usazeno kolem 10 centimetrů kalu (**obr. 23**). Pochopitelně i u velmi jemných částic dochází k velikostnímu třídění: kde je rychlost proudění vyšší, sedimentuje kal, jinde převážně částice jílové velikosti s velkým podílem organických částic.



Obr. 23 Areál tenisových kurtů na Libeňském ostrově v Praze na jaře 2003, několik měsíců po ničivé povodni [foto V. Cílek]

Řada kratších a slabších povodní, než byly např. povodně na Vltavě v roce 2002 a 2013, zanechá jen několik milimetrů kalu v podobě povlaků, „špíny“ na listech bylin apod., které odplaví nejbližší silnější déšť ke kořenům vegetace, do příkopů či kanalizace. Vrstva silnější než cca 1–2 centimetry však způsobí přerušení vegetace na loukách, v parcích, lesním podrostu aj.; na místech s odstraněnou vegetací (asfalt, beton, šterk, antuka, vnitřek staveb) uloží vrstvu, která po prvním vyschnutí získá značnou odolnost a je schopná ležet v jen pomalu se měnícím stavu několik let. Právě Praha po roce 2002 poskytla řadu příkladů, protože nebylo v silách pražských komunálních služeb a desetitisíců soukromých vlastníků uklidit každé místo. V zimě 2001–2002 jsem shodou okolností pořídil fotografie trávníků poblíž Trojského mostu, které byly o několik měsíců později zatopeny, a bylo zde uloženo téměř 10 centimetrů kalu (**obr. 24A a B**). Trávník se postupně obnovil během léta a podzimu 2003; zpočátku vyrašila tráva (z podstatné části rychle se šířící lipnice roční – *Poa annua*) v bahenních prasklinách mezi „kostkami“ velkými v průměru 10 × 20 × 25 cm (viz malý obrázek na obálce). Koncem vegetační sezony už byla plocha plošně pokrytá trávou, ale ve svislém řezu byla deseticentimetrová vrstva kalu stále patrná, s nápadnými jednotlivými chodbičkami žížal (**obr. 24C**). V další sezoně již půdní profil začínal nevrstvenou hnědou hlínou s drobnými artefakty (plasty, plíšky). Lze tedy uzavřít, že během dvou let se málo změněné společenstvo posunulo zhruba o 10 centimetrů výše. To při odhadu jedné srovnatelné povodně za století (1890–2002) znamená vzestup nivy o 1 metr usazenin



Obr. 24 Obnova rostlinného pokryvu u Vltavy v Praze (GPS: N 50°6.669', E 14°26.164'). Bližší vysvětlení je v textu. Dnes již je lokalita zcela změněna výstavbou Trojského mostu [foto R. Mikuláš, 2001, 2002 a 2003]

charakteru nevrstevnatých hlín za jeden tisíc let (což je poněkud méně než historicky doložená existence Prahy jako města).⁵

Na místech chráněných zdola před efektem bioturbace (míšení substrátů činností živých organismů), jako jsou antuková hřiště atd. (viz výše), byly „cihličky“ kalů usazených povodní odklizeny (jedna po druhé byla sebrána rukama nebo lopatou) někdy až po dvou nebo třech letech od usazení (**obr. 25**). V případě ochrany kalové usazeniny před deštěm shora jsou tyto usazeniny dochovány v málo dotčené podobě dodnes (zastřešené chátrající budovy, železniční propustky neprotékané vodou z přívalových srážek, v Českém krasu i hluboké skalní převisy a jeskyně).

Shrňme, že kalové sedimenty povodní mají v typickém případě tvar desek a často zaujímají velké části nivy. Při velkých povodních mají mocnost několik centimetrů; pokud je jejich mocnost v milimetrech, bývají prakticky odstraněny běžnými dešťovými srážkami. Jestliže spočívají na půdním pokryvu, spontánně se zapracují do profilu říční nivy nanejvýš během dvou let. Na jiných, neoživených typech povrchu (antuka, asfalt apod.) mají několikanásobnou trvanlivost.



Obr. 25 Antukové hřiště na Libeňském ostrově během úklidu vrstvy kalu, léto 2003 [foto R. Mikuláš]

3.4 Plovoucí předměty

Předměty plovoucí po hladině rozvodněného toku, ve vodohospodářské praxi označované jako splávy, jsou v našich podmínkách především dřevo, jehličí, listí a bohužel také lidmi produkované materiály, zejména plasty, kusy řeziva a nejrůznější předměty od částí nábytku po zařízení typu ledniček a uzavřených kovových nádrží, které lidé hromadí kolem svých obydlí a chat v nivě (**obr. 26a, 26b**). Za extrémních povodní

⁵ Poznámka Václava Cíłka: Odpovídá to i bilanci středočeských toků za celý holocén. Ten trvá skoro 12 tisíc let a například v ústí Tichého údolí do Vltavy u Roztok dosahuje holocenní výplň kolem deseti metrů. Většinou to je však méně, kolem 4–7 metrů, protože čas od času musíme počítat s erozí způsobenou tisíciety mi vodami.

vidíme někdy plavat i celé menší dřevěné stavby. Tyto předměty se při povodni druhotně hromadí v lesních úsecích nivy podél toků, v korunách solitérních stromů, v budovách nebo ve zříceninách budov. Specifickou roli má několik decimetrů široká zóna podél linie břehu při maximálním rozlivu. Bývá tvořena listím, jehličím, semeny stromů aj. s příměsí peří apod. Samozřejmě v případech předmětů lehčích než voda neplatí Hjulströmův diagram; tak se mohou ocitnout kupříkladu vývraty starých stromů daleko od říčního koryta. Z přírodovědeckého hlediska mají význam splavené ulity suchozemských plžů; ačkoliv představují vytříděný, a tedy selektivní záznam o výskytu organismů, získáme alespoň znalost o jejich výskytu v daném povodí. Často totiž nejsme schopni tyto organismy zastihnout na původních lokalitách.

Karel Žák (ústní sdělení, 2018) upozorňuje, že splávi při povodních s extrémními průtoky má rozhodující význam pro destrukci menších mostních staveb. Pokud mostovka zasahuje do vzdutí vody, splávi se hromadí na její návodní straně, postupně vytváří hráz a narůstající boční tlak nakonec strhne mostovku z pilířů. Tímto mechanismem byla zničena většina menších, nízko nad hladinou se nacházejících mostních staveb při povodni roku 2002. Samotný boční tlak vody by vydržely, ale tlak způsobený akumulací splávi už ne. Je proto důležité budovat mostní stavby tak, aby byl



Obr. 26a Písečný val (v popředí) a připlavená tělesa (dřevo, z menší části plasty) zachycená v přeživších topolech. Císařský ostrov v Praze [foto V. Cílek, 2002]

spodní okraj mostovky alespoň 2 metry nad úrovní očekávané maximální kulminační hladiny, aby mohly i velké plovoucí předměty pod mostovkou procházet. U menších mostních staveb jsou vhodným řešením zdvihací mostovky, které v případě povodně hydraulika nebo jiné mechanické zařízení zvednou do bezpečné výše.



Obr. 26b Rytina z 18. století zobrazuje dramatickou povodňovou událost v Německu. Plovoucí předměty (spolu s lidmi i zvířaty) jsou zde dobře patrné [archiv V. Cílka]

4 Co s povodňovými usazeninami?

Na tuto otázku neexistuje jednoduchá a „jedině správná“ odpověď, protože 1. povodňové usazeniny vznikají na místech, která si lidé přivlastnili jako svůj majetek a majitelé mají se svými pozemky/objekty nejrůznější úmysly; 2. jak jsme komentovali výše, existuje několik základních typů a široká plejáda subtypů usazenin. V našich podmínkách při povodni, na rozdíl od nivy dolního toku Nilu ve starověku, jde jen výjimečně o vítané zavlažení a přihnojení. Usazeniny je obvykle zapotřebí odstranit nebo zkulturnovat. Problémem může být i znečištění říčních sedimentů některými

anorganickými či organickými kontaminanty. Naštěstí při velkých povodních je míra ředění kontaminace přírodním materiálem poměrně velká.

V úsecích nivy, které fungují jako rekreační zóny, má majitel/správce pozemků z hlediska krajinného plánování a ochrany přírody poměrně značnou volnost. I ekonomické hledisko může přispět k rozhodnutí zásahy minimalizovat. Usazeniny mohou představovat zpestření geodiverzity, na kterou v horizontu prvních desetiletí naváže pestrost vegetace. Příkladem je Vltava na pravém břehu mezi Zbraslaví a Modřanským jezem, to znamená v blízkosti soutoku Vltavy s jejím nejvýznamnějším levostranným přítokem, Berounekou. Jedná se o chráněné území – přírodní památku Komořanské a modřanské tůně. Mimo vodní prostředí lagun jsou chráněny i zbytky, resp. „novotvary“ lužního lesa a plošiny s bylinným porostem. Zbytky písčitých usazenin bývají vyznačeny shluky či pruhy žlutého štírovníku růžkatého. Z hlediska rekreačního i přírodovědného je velmi vhodné ponechána částečně samovolnému vývoji také severovýchodní výspa Císařského ostrova na Vltavě v Praze-Troji (blíže v následující kapitole).

V rekreačních zónách je však nutné zprůjezdnit, vyčistit a opravit komunikace. Často jsou podél řek vedeny asfaltové stezky uzpůsobené pro cyklisty a in-line bruslení. Povrchy těchto stezek by neměly být při odklízecích pracích poškozeny.

Majitel pozemku se stává majitelem povodňových usazenin uložených na pozemku. To však málokdy představuje ekonomický přínos. Většinou platí, že odstranění sedimentů (které je často jedinou cestou, jak pozemek vrátit původnímu účelu) nelze provést svépomocí, a je nutné ho svěřit firmám, které nabízejí odstraňování suti a v podstatě jakýchkoliv materiálů. Velké firmy mají větší šanci, že se jim odebraný materiál ještě podaří prodat – například štěrk mohou odvézt na deponii a čekat, že

v budoucnu po něm bude někde blízko poptávka. Štěrk je využitelný při stavbě silnic a valů, třeba protipovodňových.

V malém množství lze využít štěrk nebo ještě větší kameny k vybudování okrajů záhonů či substrátu pro skalničky. Štěrkové mělčiny, které se nově objeví uvnitř koryta, by podle názorů některých biologů měly být pokud možno uchovány: štěrkové lavice na úrovni hladiny a těsně pod hladinou jsou základem biodiverzity řeky (**obr. 27**). Mezi valouny štěrku žije velké množství drobných organismů, které jsou jednou z úrovní potravní pyramidy říčního společenstva. Ostatně, z řek i nepříliš čistých a nezarybněných potůčků známe, že pod



Obr. 27 Léto roku 2016 na Berounce pod Tetínem. Panuje sucho a odkryla se velká část štěrkového dna Berounky, která za normálních vodních stavů hostí četné společenstvo bezobratlých [foto V. Cilek]

jakýmkoliv kamenem jsou drobné organismy, kupříkladu blešivci, nebo larvy hmyzu, např. jepic, které se na rozdíl od dospělců dožívají věku několika let.

S písky usazenými řekou je možné nakládat jako s každým jiným pískem, tedy pokud nejsou zásadně znečištěné (říční písek má často příliš mnoho organické hmoty v prostoru, mezi zrna a pro použití do betonu či malty se většinou musí proprat). V původní formě se hodí spíše jen na různé podsypy a podřadné stavby. Majitelé větších pozemků mívají (nebo si při povodni mohou udělat) zásobárnu písku na drobné zednické práce, zimní protiskluzový posyp na své zahradě atd. (**obr. 28**). Ještě před několika desetiletími měla téměř každá vesnice svoji pískovnu, založenou v někdejšímu agradačním valu nebo v bývalém dávno opuštěném a vyplněném korytě řeky či říčky, často na některé z vyšších teras, pokud byly vyvinuty. Jinak je samozřejmě možné písek svěřit firmám, které nabízejí odklizení jakýchkoliv materiálů. Zde pak rozhodnou, jestli lze materiál ještě zpeněžit, anebo zdali ho uloží na některou z obrovských skládek, kde se mísí a vrství komunální odpad s minerálními substancemi.

Nejproblematičtější bude v mnoha případech rozhodnutí, co s usazeným kalem, který se po vyschnutí prakticky zpevňuje v horninu blízkou prachovci. Usadí-li se na zemědělsky využívané půdě nebo v lese, obvykle nemá smysl tuto vrstvu odstraňovat.



Obr. 28 Omítka kameno-betonových základů stavby provedená pískem z těles vyobrazených na obr. 14 [foto R. Mikuláš, 2012]

Příroda ji nanejvýš během několika let zapracuje do půdního profilu. Velký podíl na přimíšení kalu do půdy má půdní fauna, tedy bezobratlí živočichové, kteří jsou v různé míře a různým způsobem během svého života vázáni na půdní prostředí. Spolu s půdními mikroorganismy (bakterie, mikroskopické houby a řasy) tvoří živou složku všech půd, tzv. edafon. Základní význam pro míšení půd mají žížaly, v Evropě zejména druhy z čeledi žížalovitých (*Lumbricinae*). V Česku je hojná zejména žížala obecná a žížala hnojní. Svoji činností vytvářejí v půdě kanálky, které ji provzdušňují. Ve střevě žížal žije obrovské množství mikroorganismů.

Kal uložený např. na antuce (**obr. 25**) není propojen s edafonem a pouhé meteorologické vlivy rozkládají kal rozpukaný vysycháním na mnohoúhelníky, kostičky či „cihličky“ (viz obr. na obálce, **obr. 24B, 26a**) jen pomalu. Textura s bahenními prasklinami byla vidět ještě tři roky po povodni v roce 2002. Posléze byla i tato místa uklizena – přibližně v téže době se na vrstvách kalu začaly objevovat mechy a traviny (lipnice roční) a neurčitelné, vesměs rychle hynoucí semenáčky rostoucí ze dna bahenních prasklin.



Obr. 29 Halda dřevěných materiálů na okraji veltruského zámeckého areálu, patrně ponechaná k zetlení [foto R. Mikuláš, 2018]

V případě ponechání kalu na plochách izolovaných od života v půdě by se mohla příležitosti chopit také nová divočina.⁶ Spíše než vlhkomilné rostliny typu křídlatky nebo netýkavky žláznaté by mohly přežívat drobné formy břízy bělokoré, topolů a mimořádně odolné trávy třtiny křovištní: taková společenstva známe například z extrémně zaprášených střech a říms v prostoru bývalé hutě Koněv v Kladně. Desky suchého kalu se nejsnáze ručně, nanejvýš s pomocí lopaty sesbírají a jejich definitivní umístění je třeba svěřit profesionální firmě. Tím se zajistí, že materiál se dostane na vhodné místo v legální, systematicky vedené skládce.⁷ Usuzujeme, že povodňový kal případně může sloužit jako náhražka ornice, z níž největší část kalů pochází.

Poslední kategorií povodňových usazenin jsou předměty, které připlavaly po hladině. Zmiňovali jsme se o nich jako zdroji drobných a často jinde obtížně nalezitelných ulitek suchozemských nebo i vodních plžů, to ale není rozhodující podíl usazeniny. Tím je dřevo, ovšem v problematické typové skladbě. Bývají zastoupeny velké kusy stromů včetně kořenových systémů a dále směs stavebního dřeva, částečně pocházejícího z pobořených lehkých staveb v nivě. Dřevo může být nepříjemně znečištěné jilem a pískem, případně pokud se jedná o stavební dřevo, může být impregnováno nejružnějšími chemickými prostředky, vyjetým olejem, kyselinou karbolovou apod.



Obr. 30 Doupný strom ponechaný na louce v nivě Jizery pod Otradovicemi [foto R. Mikuláš, 2016]

⁶ Mikuláš, R., Šturma, J. A. *Divoká příroda Prahy a blízkého okolí*. Academia: Praha, 2017.

⁷ Karel Žák upozorňuje, že to už brzy nepůjde; skládkování bude alespoň pro komunální odpad zakázáno, takže budou snad skládky jen na sutiny, výkopovou zeminu a podobně, kam by tento materiál patřil. Lepší je s ním například pohnojit nějaký lesní pozemek.

Přesto je nutné dřevo roztrždit na kusy vhodné k rozřezání a spálení a na zbytek, který bude nutné odvézt do sběrného dvora jako tzv. objemový odpad. Při spalování dřeva na otevřeném ohni je nutné dbát místních vyhlášek o znečištění ovzduší a protipožárních opatřeních. Je rovněž možné nechat dřevo na hromadách k zetlení (**obr. 29**), ale pokud je přimíšeno i konzervované stavební dříví, může tlení trvat několik desetiletí. Pokud jsou při povodni podemlety (nebo jsou připlaveny) kmeny starých a mohutných stromů, stojí za úvahu možnost nechat kmeny zbavené tenkých větví ležet na místě, protože slouží jako doupné stromy pro ptáky a zejména pro brouky. Takto byly ponechány např. dva kmeny na obhospodařované louce u Jizery poblíž Otradovic (N 50°11.866', E 14°44.768' a N 50°12.257', E 14°45.174'). Návštěvníci se mohou přesvědčit, kolik různých typů doupat hmyzu a jeho larev díky tomuto opatření přežívá (**obr. 30**). Cenou za tuto službu biodiverzité je však ztráta výnosu z orné půdy.

5 Několik příkladů krajín s povodňovými usazeninami

V předchozím textu jsme se pokusili čtenáři přiblížit, na základě kterých fyzikálních zákonitostí vznikají říční usazeniny, a tím obecně vyznačili také území, na kterém můžeme vznik povodňových sedimentů určitého druhu očekávat. Zmínili jsme se i o konkrétních místech v české krajině, která byla v nedávné době povodňovými usazeninami zasažena. V této kapitole se pokusíme popsat několik příkladů od počáteční fáze (povodňové ohrožení) až po fázi současnou (odklizení, nebo naopak ponechání povodňových usazenin na místě).

Velké množství sedimentů vzniklo při povodni v roce 2002 v prostoru soutoku Vltavy s Berounkou na území pražských čtvrtí Zbraslav, Komořany, Modřany a Lahovice. Celý přibližný trojúhelník vyznačený soutokem řek byl zaplněn vodou. V klidnějších částech laguny (prostorově odpovídajících přibližně plánovaným rekreačním a protipovodňovým tzv. radotínským lagunám, vyznačeným na mapy.cz) se usadilo nevelké množství kalu. Intenzivní a méně obvyklá však byla šterková sedimentace přibližně mezi souřadnicemi N 49°58.885', E 14°23.791' a N 49°59.033', E 14°23.852'. Toto území bylo ponecháno samovolné sukcesi (**obr. 31 a 32**). Přeživší stromy (především vrby a olše) během několika let dorostly do obvyklých tvarů a přidal se bylinný podrost, částečně ruderalní (zlatobýl), později bohatší (ostružiníky, šípkové růže). Ponechaná část povodňových sedimentů – šterkové lavice – dnes hostí biologicky poměrně rozmanitou lesostep. Na jemnějších usazeninách místy hromadně rostla rajčata, jednalo se o zbytky lidských exkrementů obsahujících rajčatová semínka. Ta si s sebou přinesla „hnojivo“.

Na pravém břehu řeky, katastrálně na území Praha-Komořany a Praha-Modřany, je přibližně 2 kilometry dlouhý, rekreačně využitý pás, členěný nejvýrazněji deseti



Obr. 31, 32 Ani v nejpoškozenějších lokalitách nebyly při povodni v srpnu 2002 vyvráceny všechny stromy. Především vrby a topoly se mnohde udržely jen s mírným poškozením a napomohly rychlému návratu živé přírody na místa zcela překrytá sedimenty. Severní okraj městské části Praha–Zbraslav [foto V. Cílek, 2002]

lagunami (podle místně používaného názvu „protipovodňovými“, podle Karla Žáka však tato opatření měla přednostně sloužit plavbě, aby se aktivní koryto zúžilo a mělo tak dostatečnou hloubku pro lodě; před vybudováním modřanského jezu výletní lodě v tomto úseku často drhly o dno). Zbytek je víceméně plochý břeh řeky, t. č. poměrně nepřehledně členěný na jezírka, lesíky, remízky a palouky místy s cennou mokřadní či vodní vegetací (například šmel okoličnatý). Rozšíření jednotlivých typů vegetace můžeme označit jako mozaikovitě, zřejmě určené právě podle podkladu, jaký zůstal po povodních a částečném odklizení písku a naplaveného dříví. Evidentně je území částečně ponecháno přirozené sukcesi, což ovšem znamená šíření prvků „nové divočiny“, tedy invazivních druhů bylin (zlatobýl, třtina křovištní), lián (plamének plotní, chmel) i stromů (akát). Lze konstatovat, že oblast Zbraslavi, Komořan, Modřan a Lahoviček se z následků povodně v roce 2002 (i menší následné povodně v roce 2013) dobře zotavila (**obr. 33**). Zástavba Lahoviček zůstává a zřejmě navždy zůstane oblastí nechráněnou (přesněji řečeno neochranitelnou) před velkými povodněmi. Tento efekt však může podstatně zmírnit projekt tzv. radotínských lagun, který by při budoucí povodni mohl svést hlavní proud povodňové vlny mimo zástavbu a určité množství vod i akumulovat.

Dalším územím, kde zůstaly po povodni kromě škod i určité pozitivní hodnoty, je Císařský ostrov, katastrálně náležející Praze-Bubenči, ale obvykle navštěvovaný z Prahy-Troje. Při jeho severovýchodním okraji byl zachován pás charakteru savany v průměru 20–40 metrů široký a téměř 1 kilometr dlouhý. V těchto místech zanechala Vltava při povodni v roce 2013 především duny a závěje jemnozrnného písku (**obr. 34**) a dále akumulace schránek mlže hrachovky (viz výše; rod *Pisidium*). Tyto akumulace byly při úklidu částečně smíchány a položeny jedna na druhou, čímž vznikly kopečky s písčitým a vápnitým substrátem a v nedaleké budoucnosti se zřejmě objeví i píscomilná flóra. Naproti tomu na plochách připomínajících přirozený břeh řeky roste



Obr. 33 Letecký snímek z roku 2017 ukazuje oba břehy Vltavy nad soutokem s Berounkou jako příjemnou, vyváženou krajinu s bylinným porostem a remízky stromů [foto Seznam.cz; snímek pořízen společností TopGis, s. r. o.]

např. kostival lékařský, který je obecně vázán na vlhčí stanoviště, jako jsou břehy řek a potoků.

Navíc představuje bubenečsko-trojské koryto Vltavy cenný úsek šterkového dna, který při povodni v roce 2013 (a již několikrát v minulosti) přispěl k tomu, že vznikla šterková lavice vyčnívající z vody, tedy nestabilizovaný ostrůvek. Podle názoru několika konceptuálních umělců tak vznikl ostrov, který bude třeba „kolonizovat“ (mezitím byl ostrov odtěžen). Striktně podle zákona je takovýto ostrov „povodňovou škodou“, protože usazeniny uvnitř koryta je majitel či správce povinen odstraňovat. To je zdnalivě paradoxně opačný přístup než u usazenin mimo koryto – s těmi si majitel pozemku v podstatě může dělat, co uzná za vhodné. V případě usazenin uvnitř koryta je nutné respektovat, že koryto má profil schopný odvést bez rozlivu určité množství vody za jednotku času, a pokud již žijeme v intenzivně obhospodařované krajině, musíme koryto udržovat, jinak se bude stěhovat nivou tak, jak bylo výše popsáno, což zase nechceme. „Divokých“ krajin v mírném klimatickém pásu mnoho nezůstalo; řeky, které přirozeně geologicky „fungují“ tak jako před rozparcelováním krajiny mezi vlastníky a správce, bychom našli zřejmě až na Dálném východě, kupříkladu v povodí Amuru.

Jižně od Císařského ostrova se na katastrálním území Praha-Bubeneč rozkládá park Stromovka, který byl rovněž zaplaven při povodni v létě roku 2002. Park byl po



Obr. 34 Rombické čeřiny s lasturkami mlžů vytvořené v písku při ustupující povodni. Stopy ptáků dokumentují, že pro řadu organismů (především predátorů a mrchožroutů) je povodňová událost vítanou příležitostí k obohacení jídelníčku [foto V. Cílek]

povodni nákladně obnovován a jeho plánovaná podoba byla prakticky dokončena až v roce 2017. Ve Stromovce byly povodňové sedimenty (písek a kal) kompletně odklizeny; stalo se tak zcela po právu, protože park má svoji specifickou historickou a estetickou hodnotu, která si zaslouží udržovat, obnovovat a zdůrazňovat, nikoliv jej ponechat ruderalizující „nové divočině“. Nebudeme-li brát v úvahu mimořádný objem financí, které bylo do obnovy třeba vložit, pak musíme konstatovat, že povodeň Stromovce prospěla, protože se díky ní začalo něco zásadnějšího dít; před povodněmi asi nebyla odvaha říci si o peníze na úpravu parku ani nebyla odvaha prolomit tabu starého, historicky nesmírně bohatého parku, který však od poloviny 20. století chátral. Nový systém vodotečí a rybníků je nádherný. To by, troufáme si říct, bez povodní zřejmě nebylo.

Příkladem, který zase stojí za pozornost i do budoucna, je veltruský zámecký park. Veltruský park byl, jak je asi všeobecně známo, zatopen za povodně v roce 2002 téměř kompletně; zámecké budovy byly zaplaveny do výšky přibližně jednoho metru. V parku došlo k vymílání i k usazování (to v podstatně větší míře). Povodeň odnesla zeminu z mnoha desítek hektarů na severozápadním okraji parku.

Na řadě míst, v podstatě v celém parku došlo k vývrátům (celkem 3500 stromů). V některých částech⁸ byl lužní les prakticky zcela zničen a zhruba o deset let později znovu vysázen (**obr. 35**). Zámecký park je částečně podmáčen trvale; tzv. Mlýnský potok je někdejšími ramenem Vltavy a lužní charakter lesů podél něj v podstatě navazuje na stav před krajinářskými zásahy v parku. Pro úvahy o současné koncepci zámku a parku je zapotřebí připomínat, že přílehlý statek nikdy neměl ambici vydělat si na svůj provoz (a k tomu navíc na provoz zámku); měl být a byl hezký, se zdravými spokojenými domácími zvířaty a úrodou krásného ovoce. Takto byl uložen majetek rodu Chotků; vyzvednout by ho bylo možné jedině prodejem celého panství – což, jak víme, se v případě Chotků nestalo. Představa provozovat takovýto areál „ekonomicky“ není reálná. V tomto směru je nutné chápat také současnou vlnu obnovy zámeckého areálu, která – podobně jako v případě Stromovky – byla povodněmi prakticky nadiktovaná.



Obr. 35 Veltruský zámecký park – nově vysazené listnaté stromy v místě poblíž Červeného Mlýna. Někdejší les byl zcela zničen v roce 2002 [foto R. Mikuláš, 2018]

⁸ Kettnerová, O. Veltruský zámecký park – historie a pět let po povodni. *Zprávy památkové péče* 2008, 68(1), s. 17–18.

V korytě Mlýnského potoka a kolem vývratů byla uložena hlavně písčité frakce; západně od hájovny na severním konci areálu došlo k usazení hrubých šterků; pozůstatek šterkové lavice lze dosud dobře pozorovat (**obr. 36**). Stalo se to proto, že asi 1,5 kilometru severovýchodně od zámku zafungovala mírná zákruta Vltavy vlevo jako nárazový břeh; voda plnou silou zaútočila na park zatáčkou a to, co se tam odehrálo, lze geologicky v každém případě označit jako nivní průrvu. V místech východně od zcela zničeného protipovodňového valu vznikla navíc laguna, kterou bylo třeba zasypat a pokrýt orníci. Odklízecí práce prováděli na několik etap příslušníci Armády ČR. Lze říci, že veškeré usazeniny (kromě těch, které stačily vyplnit o několik dní starší erozí vyprázdňené prostory) byly z parku odklizeny, což stálo zaměstnance, dobrovolníky i příslušníky AČR obrovské úsilí. Povodeň však zanechala v parku i pozitivní stopu. Mlýnský potok, v mých dávných vzpomínkách pomalu se vlekoucí strouha špinavé vody, byl čištěním značně prohlouben a rozšířen (**obr. 37**); rovněž porosty kolem se zředily a upravily. To znamená návrat k době rozkvětu využívání zámku rodinou Chotků, kdy byly potok i strouha procházející Egyptským pavilonem splavné na pramici.



Obr. 36 Pozůstatek šterkové lavice z r. 2002 poblíž veltruské hájovny. Charakteristické je i poškození kmene stromu [foto R. Mikuláš, 2018]

Výsledek povodně v roce 2002 (i mnohem menší, ale přesto ničivé povodně v roce 2013, které ve veltruském parku padlo za obětí asi 100 stromů) je tohoto času smutný; zámek se jen postupně a po malých částech otevírá veřejnosti a nejatraktivnější část se teprve opravuje. Nicméně se zdá, že se ve Veltrusech začalo pracovat koncepčněji, areál se zkrášluje, blíží se víc svému původnímu účelu. Zámek má v současné době bohatou kulturní činnost založenou na úsilí dobrovolníků.

Okolnost, že na pole náležející k veltruskému statku byla znovu navezena ornice, není samozřejmá a je dána cenností veltruské komponované krajiny jako celku. Naproti tomu v říční nivě pod Tetínem, kde byly před povodní v roce 2002 hospodářsky využívané louky, došlo k odstranění ornice a v místech největší eroze zůstaly laguny. Na rozdíl od Veltrus tyto laguny byly ještě prohloubeny, tvarově upraveny a ponechány jako (dnes hojně budované) nádrže pro rozmnožování obojživelníků. Takové nádrže vznikají v řadě chráněných krajinných oblastí, například na Kokořínsku jsou jich desítky jen v nivě Pšovky. Je to zřejmě dobrá cesta, jak pomoci obojživelníkům, ale i vodě udržet se v krajině.

Shrňme, že ve Veltrusech bylo jen minimum povodňových jevů akceptováno jako zlepšení (opět připomínáme kontrast rozvodnění Nilu během starověku jako podmínku k obživě obyvatelstva). Jediné přijaté změny se týkají potoků a kanálů, které jsou nyní dimenzovány na mnohem větší průtok. Veltruská povodeň je poučná i z hlediska sedimentární geologie. Protipovodňové hráze nejsou při extrémních povodních schopny zabránit nivním průrvám; paradoxně je naopak nutné připočítat materiál odnesený při jejich destrukci k povodňovým škodám. Přírozenější pochody při povodních je možno sledovat na menších tocích, u kterých nebyly vybudovány protipovodňové hráze. Takovým tokem je Blanice (tj. Vlašimská Blanice), kterou jsem pozoroval během povodní v letech 2002, 2003, 2005 a 2013. Na tomto toku počínaje druhou polovinou 20. století nastal útlum v péči o březní porosty a o pozemky blízko řeky. Vrby a olše dosáhly takových rozměrů, že jejich případné vyvrácení značně pozmění průtok vody korytem či vně koryta. V detailu pak nelze předvídat, který strom případně padne a kudy ho bude obtékat voda. Střídání vzrostlých stromů zasahujících svým kmenem a částí obnaženého kořenového systému do nivy způsobuje nicméně střídání tůní (s charakteristickým protiproudem, jak je modelován i na počítačových simulacích, **obr. 5**) a užších proudných úseků.

Blanice má jen místy vyvinuté agradační valy (**obr. 7**) a lze předpokládat, že vznikly až po roce 1950. Do té doby byly písky usazené při povodních podél břehů odebírány a lučiny založené na nivě se tak udržovaly jako horizontální. Odstraněné nebo slabě vyvinuté agradační valy značně omezují vznik nivních průřev a s nimi sdružených nivních vějířů. Blanice je řekou spíše malou (průměrný průtok před ústím do Sázavy je $2,25 \text{ m}^3/\text{s}$), ale s poměrně velkým povodím ($543,7 \text{ km}^2$). Tektonicky je řeka predisponovaná tzv. blanickou brázdou, což je obrovský zlomový systém, který není v současné době příliš aktivní. Založení řeky je nicméně převážně epigenetické. Takzvané



Obr. 37 Veltruský zámecký park. Kanál spojující Egyptský pavilon s Mlýnským potokem byl po povodních místy zcela zaplněný pískem; postupně byl vyčištěn a rozšířen [foto R. Mikuláš, 2018]

jihocheské pánve, *českokobudějovická* a *třeboňská*, jsou částečně napojeny i na blanickou brázdu, která tak spojuje dvě jinak odlehlé části Českého masivu. Blanice má většinou poměrně výraznou nivu, která se jen na některých místech vytrácí. Považujeme ji za typový příklad řeky upravené v průběhu středověku mlynáři, takže niva je často zarovnaná, případně oproti stavu před středověkou kolonizací vyvýšená. Asi 300 metrů pod Libzí, od soutoku Blanice s říčkou Chotýšankou až k ostrému zákrutu pod lesem „Půlčertem“ je od poloviny 20. století úsek používaný lidmi jen sporadicky. Původně se jednalo o louku, která však již od 60. let 20. století zarůstala ruderalní vegetací, což tehdy byla především kopřiva dvoudomá a různé pcháče (nyní i netýkavka žláznatá). Jednou došlo v 70. letech k pokusu louku rozorát a vysázet zde brambory; bohužel právě v tomto roce došlo k přívalovým srážkám a na potůčku přitékajícím roklí od Vysoké Lhoty se vytvořil do té doby prakticky nezpozorovatelný aluviální/dejekční kužel (viz výše), který část brambořiště překryl až 2 metry mocnou vrstvou hlíny a kamení (lokální pararuly). Od té doby již nikdy nebyla plocha využita ani jako louka nebo pastvina.

V horizontu 60–70 let se v tomto úseku vytvořil (zejména na levém břehu Blanice) zřetelný agradační val (**obr. 38**), při jarním tání v roce 2005 narušený drobnou průrvou, predisponovanou vyvrácenými a proudem přinesenými stromy (**obr. 14**). V roce 2005 byla v těsné blízkosti bodu N 49°45.62485', E 14°54.77537' ověřována skutečnost, zda je půda oživená edafonem odolnější, nebo naopak mnohem méně odolná vůči vodnímu proudu. Pokud jde o náchylnost k erozi, je zřejmě oživená půda poněkud citlivější než podmáčená, případně upěchovaná půda; naproti tomu oživená půda po povodni daleko rychleji zaschne, nevytváří tedy okrsky mazlavého bláta. Ve výše zmíněném bodě nedošlo při sledované povodni ani k erozi, ani k sedimentaci, travnatý povrch zafungoval jako *firmground* (v češtině překládáno jako *povrch nesedimentace*).

Do budoucna je možné tento úsek Vlašimské Blanice navrhnout jako exkurzní a monitorovací lokalitu. Je možnou typovou lokalitou povodňové revitalizace, která zadarmo vytváří přirozené toky, jež si mimo zastavěná území můžeme dovolit ponechat spontánnímu vývoji.



Obr. 38 Vlašimská Blanice asi 200 metrů po proudu od soutoku s potokem Chotýšankou. Modrou čarou je naznačen příležitostný tok; v angličtině bývá označován jako *yazoo tributary* [foto R. Mikuláš, 2018]

6 Dokumentujeme povodňové usazeniny

Na závěr se zkusíme zamyslet nad dokumentací budoucích (a v jisté míře i těch minulých) velkých povodní. Nemělo by se zapomenout na odběr reprezentativních vzorků usazenin. Samozřejmě by se povodňové sedimenty měly dokumentovat dříve, než vyjedou bagry, buldozery a nákladní automobily. Fotografování dějů v okolí je pro řadu lidí dnes již samozřejmé (mobilní telefony s obstojnou fotooptikou napojené na sociální sítě); v době velkých českých a moravských povodní v letech 1997 a 2002 tomu tak ještě nebylo, přesto je existující fotografická dokumentace víc než bohatá. Již po roce 2002 se však ukázala jako základní problém dostupnost vzorků usazenin. Žádná organizace nemá totiž povinnost uchovávat povodňové vzorky. Podle mého názoru by tato povinnost měla být uložena některé geologické instituci, pravděpodobně České geologické službě; věřím, že tato publikace odstartuje užitečnou diskusi na toto téma.

Vzorky někdejších povodní mohou mít cenu např. při zjišťování chemického znečištění a jeho způsobu šíření od místa úniku jedovaté látky až po uložení ve stabilizovaném sedimentu. K detailní geochemické analýze byly koneckonců využity i moje v podstatě soukromé odběry z několika míst na Vltavě, Labi, Sázavě a Vlašimské Blanici. Tyto vzorky jsou toho času k dispozici jednak v rozpracované osobní kolekci v České geologické službě v Praze 1 (Klárov 3), zčásti na pracovišti Geologického ústavu



Obr. 39 Propustek pod železnicí a silnicí ústící do starého přístavu v Praze-Libni (GPS: N 50°6.808', E 14°27.496'). Propustek neplní svoji funkci, je dlouhodobě suchý, a proto jsou v něm dosud uloženy povodňové kaly z roku 2002 a 2013 [foto R. Mikuláš, 2018]

AV ČR (Rozvojová 269, Praha 6). Jedná se především o vzorky prachové frakce. Písčité a štěrkové usazeniny lze obvykle ve zbytcích dosud najít na místě usazení; měly by však rovněž být adekvátně odebírány. Každá vrstva by eventuálně mohla mít svůj název, jak je běžné v geologické praxi. Kromě letopočtu a souřadnice odběru se mohou ujmout i názvy jako „libeňský prachovec“ pro horizont z roku 2002, který je dosud místně zachován například v propustkách železnice (**obr. 39**).

7 Závěr

Při veškerých pracích v místech zasažených povodňovou sedimentací je nutné vymezit podíl odstraněných povodňových hmot a ponechaných usazenin. Na výše popsaných příkladech jsme viděli, že jednoduché doporučení neexistuje, protože každý případ je svébytný (jak ostatně ukazují i **obr. 40 až 43**). Velmi často je postižena obytná zóna a v tom případě je jedinou rozumnou možností odstranit pokud možno veškeré povodňové usazeniny. Někdy je při této příležitosti nutné odstranit i samotné pozůstatky budov, které mohou být následně nahrazeny stavbami voděodolnými,



Obr. 40a, 40b Zemědělsky kompletně využitá říční niva Nilu jihovýchodně od Káhiry. Po vybudování Asuánské přehrady ustaly každoroční povodně, a proto je půda zavlažována důmyslným systémem vodních příkopů a stružek [foto R. Mikuláš]



Obr. 41 Iniciální stadium nápěchu ker v nivě Berounky u obce Karlštejn. Koryto zůstalo naštěstí částečně průtočné, takže voda stoupla jen asi 2 metry nad normální stav [foto J. Brožek, únor 2003]

s obytnými prostory nad předpokládanou hladinou povodňového maxima. Obecněji vzato by diskuse neměla být o tom, zda použít ekologická či technická řešení, ale kde je použít – ve městě se bez opevněných koryt místy neobejdeme, v přírodě je lacinější a vhodnější volit přírodní řešení zvyšující retenci a zpomalující nástup povodňové vlny.

Odborná diskuse by měla být vedena v případě mokřadů, postindustriální a post-agrární divočiny a rekreačního zázemí. Zde se jeví jako vhodné využít zkušenosti s rekultivací výsypek hnědouhelných povrchových dolů. V současnosti se tu už standardně vyčleňuje část ponechaná přirozené sukcesi. A je dost pravděpodobné, že u řek by se takto ponechaná příroda velmi dobře doplňovala s uměle rekultivovanými plochami a objekty. V současné době je trendem revitalizace toků, tj. uvedení koryt do přírodě blízkého stavu. Příkladem v Praze je Rokytka. U Hrdlořež byly vyhloubeny umělé meandry na úseku mezi body GPS N 50°5.834', E 14°30.8340' a N 50°5.949', E 14°31.259'. Obdobně se postupuje na řadě dalších řek. Povodňové procesy by někdy



Obr. 42 Transport štěrku probíhající za poměrně nízkého stavu vody tím, že se ode dna odtrhnou chuchvalce vnitrovodního ledu (nápadně hnědě zbarvené) s vrostlým štěrkem říčního dna. Blanice asi 10 kilometrů pod Vlašimí, únor 2012 [foto R. Mikuláš]



Obr. 43 Neregulovaná řeka. Pohled na nivu řeky Senguerr v Argentíně přes údolíčko vymleté občasným přívalem vody a bláta [foto R. Mikuláš]

mohly posloužit jako rámec, jak postupovat, abychom svými úpravami nešli proti přírodě, ale naopak ji využili ke svému ekonomickému, estetickému i krajinně ekologickému prospěchu.

Poděkování

Ačkoliv tato brožura je rozsahem nevelká, seznam těch, kteří mi nabídli pomoc nebo neodřekli prosbu o radu, je poměrně dlouhý. Z nich na prvním místě Václav Cílek mi nabídl k volnému použití svůj fotografický materiál, který je – zejména pokud se týká povodně v roce 2002 – mnohem kompletnější a zdařilejší než můj vlastní. Dále přečetl a okomentoval první verzi rukopisu. Karlu Žákovi jsem zavázán za četné připomínky a poznámky, kterými korigoval moje omyly či nepřesnosti. Jednotlivými připomínkami a odpověďmi na dotazy přispělo tolik kolegů (zejména z Geologického ústavu AV ČR, v. v. i.), že se vzdávám snahy je vyjmenovat. Vendula Škvorová mi laskavě poskytla rešerši k problematice zámku a parku ve Veltrusech. Tomáš Zákravský se propůjčil k úloze posluchače mého vyprávění, které posléze přepsal, čímž vznikla první pracovní verze rukopisu. Za technickou pomoc s přípravou ilustrací děkuji Martinu Mazuchovi. Redakci nakladatelství Academia děkuji za pečlivost a vstřícnost. Práce je součástí široce pojatého projektu AV ČR Strategie AV21 – výzkumný program Přírodní hrozby, koordinátor RNDr. Josef Stemberk, CSc. Rovněž je součástí výzkumného zámeru Geologického ústavu AV ČR, kód RVO 67985831.

Literatura a materiál k dalšímu čtení

- Andreska, J. Rybářství a jeho tradice. Praha: SZN, 1987.
- Cílek, V., Čížek, J. a kol. *Pod vodou. Zpráva o velké povodni na Frýdlantsku, klimatické proměně světa a pocitu duše po katastrofě*. Liberec: Krásný les, 2011.
- Cílek, V., Just, T., Sůvová, Z. a kol. *Voda a krajina*. Praha: Dokořán, 2017.
- Čihař, J. *Ryby sladkých vod*. Praha: Aventinum, 1993.
- Holý, M. *Eroze a životní prostředí*. Praha: ČVÚT, 1994.
- Just, T. a kol. *Vodohospodářské revitalizace a jejich uplatnění v ochraně před povodněmi*. Hořovice: AOPK ČR. 2005.
- Kleczek, J. (ed.) *Voda ve vesmíru, na zemi, v životě a v kultuře*. Praha: Radioservis, 2011.
- Kolektiv autorů. *Die Elbe, ein Lebenslauf. Labe, život řeky*. Katalog výstavy. Berlin: Deutsches historisches Museum, 1992.
- Kolektiv autorů. *Stavby a jejich odolnost proti povodním*. Písek: Sekurton, 2003.
- Kovář, M. *Ochrana před povodněmi*. Praha: Triton, 2004.
- Králová, H. *Řeky pro život. Revitalizace řek a péče o nivní biotopy*. Brno: ZO ČSOP Veronica, 2001.

- Machar, I. *Lužní lesy. Dynamická stabilita geobiocenóz*. ČSOP Pomoraví, 2007.
- Novotná, D., Vopálka, J. Škodí povodně vždy a všude? *Ochrana přírody* 2003, 58(4), s. 119–122.
- Řehounek, J., Řehouňková, K., Tropek, R., Prach, K. (eds.) *Ekologická obnova území narušených těžbou nerostných surovin a průmyslovými deponiemi*. České Budějovice: Calla, 2015, open source.
- Sádlo, J., Storch, D. *Biologie krajiny – biotopy ČR*. Praha: Vesmír, 2000.
- Simon, M. a kol. *Labe a jeho povodí. Geografický, hydrologický a vodohospodářský přehled*. Magdeburg: Internationale Kommission zum Schutz der Elbe, 2005.
- Štěrba, O. a kol. *Říční krajina a její ekosystémy*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2008.
- Vaishar, A. (ed.) *Krajina, lidé a povodně v povodí řeky Moravy*. Brno: Ústav geoniky AV ČR, 2002.
- Žák, K. Zrychlené přetváření údolních niv malých toků ve středočeské oblasti v posledních deseti letech. *Ochrana přírody* 2005, 60(9), s. 273–275.
- <https://www.slideserve.com/teal/geologick-innost-tekouc-vody>
- <https://www.natur.cuni.cz/geografie/vyzkumny-zamer-geograficke-sekce/publikace/udolni-niva-jako-prostor-ovlivnujici-prubeh-a-nasledky-povodni>
- http://uprav.ff.cuni.cz/?q=system/files/EA_3_sedimentologie_geomorfologie.pdf

Autor



RNDr. Radek Mikuláš, CSC. & DSc., vystudoval geologii na Přírodovědecké fakultě UK v Praze. V Geologickém ústavu AV ČR se zabývá studiem biogenního přepracování hornin, paleobiologií a geomorfologií. K jeho zájmům dále patří spontánně se vyvíjející živá příroda v městském prostředí, nedávné a současné změny české přírody a krajiny a problematika přírodního ledu. Jeho zahraniční práce se týkají například břehů severozápadní Anglie, druhohorního fosilního záznamu Patagonie, prvohor Grónska, starověku Egypta, prvohor baltské oblasti a Sibiřského štítu. Nejdéle, kromě Prahy, pobyl v Liverpoolu – celých 12 měsíců.

Nová strategie Akademie věd České republiky

motto: „Špičkový výzkum ve veřejném zájmu“

Uplynulých dvacet let prokázalo, že Akademie věd je významnou a nenahraditelnou součástí systému výzkumu, vývoje a inovací České republiky. Nadále musí zůstat garantem kvality, avšak pro její další rozvoj je nezbytné, aby byla schopna identifikovat důležité vědecké a společenské otázky, fundovaným způsobem definovat problematiku a vypracovat návrhy řešení z hlediska současné úrovně dosaženého poznání. Akademie věd má již ve své dnešní podobě dobré základy pro to, aby v blízké budoucnosti mohla působit nejen jako součást špičkové světové vědy a centrum národní kultury, ale i jako stále důležitější hospodářský činitel.

Témata, jako jakou například energetická budoucnost České republiky, zdraví obyvatel nebo kvalita veřejných politik, představují složité okruhy problémů, jejichž řešení vyžaduje široce založený interdisciplinární výzkum. Akademie věd proto připravila Strategii AV21, jejímž základem je soubor koordinovaných výzkumných programů využívající mezioborových a meziinstitucionálních synergií s cílem identifikovat problémy a výzvy dnešní doby a koordinovat výzkumné úsilí pracovišť Akademie věd směrem k jejich řešení. Základní rámec Strategie schválil Akademický sněm v prosinci 2014 s tím, že relevantní programy bude možné navrhovat i v dalším období. Výzkumné programy Akademie věd jsou od počátku otevřeny partnerům z vysokých škol, podnikatelské sféry a institucím státní i regionální správy stejně jako zahraničním výzkumným skupinám a organizacím. Nezbytnou podmínkou pro uskutečňování Strategie AV21 je dlouhodobá stabilita systému výzkumu, vývoje a inovací v České republice.

Základním nástrojem pro realizaci Strategie AV21 je soubor již osmnácti koordinovaných výzkumných programů pracovišť Akademie věd:

- Naděje a rizika digitálního věku
- Systémy pro jadernou energetiku
- Účinná přeměna a skladování energie
- Přírodní hrozby
- Nové materiály na bázi kovů, keramik a kompozitů
- Diagnosticke metody a techniky
- Kvalitní život ve zdraví i nemoci
- Potraviny pro budoucnost
- Rozmanitost života a zdraví ekosystémů
- Molekuly a materiály pro život
- Evropa a stát: mezi barbarstvím a civilizací
- Paměť v digitálním věku
- Efektivní veřejné politiky a současná společnost
- Formy a funkce komunikace
- Globální konflikty a lokální souvislosti: kulturní a společenské výzvy
- Vesmír pro lidstvo
- Světlo ve službách společnosti
- Preklinické testování potenciálních léčiv

Koordinátory výzkumných programů jsou ředitelé zapojených pracovišť nebo pověřeni vědečtí pracovníci, kteří zajišťují vyhledávání nových, společensky relevantních témat výzkumu, provádějí syntézu dostupných informací a výsledků výzkumu a koordinují vypracování návrhu výzkumného programu.

Výzkumné programy schvaluje Akademická rada v součinnosti s Vědeckou radou.

Povrch Země je místem neustálého působení přírodních procesů vyvolávaných endogenními a exogenními silami. Jejich dynamika a interakce jsou zdrojem nebezpečných přírodních jevů, které v různém měřítku ohrožují lidskou společnost, případně mohou vést k její degradaci až zániku. Některé z těchto jevů (zemětřesení, sesuvy, povodně, geomagnetické bouře) budí značnou mediální pozornost. Vedle nich však existuje řada dalších procesů a jevů, kterým není věnována taková publicita, nicméně ve svém důsledku mohou způsobit vážné problémy celé civilizaci nebo její podstatné části. Mezi tyto jevy patří například projevy sucha, degradace a eroze půdy nebo znečišťování vod a ovzduší.

V České republice, která patří mezi země s nižším výskytem přírodních katastrof, přesáhly přímé škody na majetku způsobené deseti nejničivějšími přírodními katastrofami za posledních 20 let hranici 113 miliard korun. Zároveň při nich zahynulo 509 obyvatel a v různé míře bylo postiženo 1 620 000 lidí.

Poznatky získané postupně v jednotlivých vědních oblastech přitom naznačují, že studium řady těchto procesů a jevů přesahuje rámec ustálených vědních disciplín, a vyvolává nutnost užšího propojení a spolupráce mezi jednotlivými vědními oblastmi od studia procesů v nitru Země přes výzkum utváření jejího povrchu až po studium vesmírných vlivů. „Cesta k ochraně před přírodními hrozbami vede jen přes jejich hluboké pochopení, kterého nelze dosáhnout bez moderního multidisciplinárního výzkumu,“ vysvětluje RNDr. Josef Stemberk, CSc., koordinátor výzkumného programu **Přírodní hrozby**. Cílem programu je tak prostřednictvím hlubšího a komplexního výzkumu porozumět procesům vedoucím k rizikovým přírodním jevům a hledat možnost jejich předpovědi, které by umožnily výrazně omezit jejich negativní vliv na vývoj společnosti.

Výzkumný program Přírodní hrozby SAV21 zahrnuje devět témat, jež koordinují odborníci ze zapojených ústavů:

Témata / Řešitelé

Zemětřesení a seismické ohrožení
RNDr. Jan Šílený, CSc. (GFÚ)

Voda a ovzduší
Ing. Miroslav Tesař, CSc. (ÚH)

Sucho
prof. Ing. Zdeněk Žalud, Ph.D.

Klimatické změny a vývoj krajiny
Mgr. Michal Filippi, Ph.D. (GLÚ)

Člověk a proměny krajiny
doc. RNDr. Karel Kirchner, CSc. (ÚGN)

Kosmické počasí
Ing. Dalía Obrazová, CSc. (ÚFA)

Odhad rizika a následků srážky meziplanetárních těles se Zemí
RNDr. Jiří Borovička, CSc. (ASÚ)

Péče o krajinu v prevenci nebezpečných přírodních jevů: historické, právní a společenské dimenze
JUDr. Hana Müllerová, Ph.D. (ÚSP)

Co s povodňovými usazeninami? Právě na tuto otázku se pokouší dát odpověď aktuální brožura vycházející v programu Strategie AV21. Autor, geolog Radek Mikuláš v ní vysvětluje, že na tuto otázku navíc neexistuje jednoduchá a „jedině správná“ odpověď, protože povodňové usazeniny dnes vznikají v místech, která si lidé přivlastnili jako svůj majetek a kde majitelé mají se svými pozemky nejrůznější úmysly. Navíc existuje několik základních typů usazenin. V našich podmínkách při povodni – na rozdíl od nivy dolního toku Nilu ve starověku – jde jen výjimečně o vítané zavlažení a přihnojení. Usazeniny je obvykle zapotřebí odstranit nebo zkulturnovat. Problémem může být i znečištění říčních usazenin některými anorganickými či organickými kontaminanty; našťastí při velkých povodních je míra ředění chemicky či biologicky nebezpečných látek přírodním materiálem poměrně velká.

V občas zaplavovaných úsecích, které fungují jako rekreační zóny, má majitel či správce pozemků při rozhodování poměrně značnou volnost. I ekonomické hledisko může přispět k rozhodnutí zásahy omezit na nejnutnější minimum, což znamená vyčištění a opravu cest. Většinou však platí, že odstranění sedimentů je jedinou cestou, jak pozemek vrátit původnímu účelu. Mnohdy to nelze provést svépomocí a odklizení je nutné svěřit firmám, které nabízejí odstraňování suti a dalších materiálů. Situace, kdy majitel sám najde využití pro povodňové usazeniny, jsou spíše výjimečné.

Usazeniny však mohou také představovat oživení krajiny, na které po deseti či dvaceti letech naváže pestrost vegetace. Příkladem je Vltava na pravém břehu mezi Zbraslaví a Modřanským jezem, tj. v blízkosti soutoku Vltavy s jejím nejvýznamnějším levostranným přítokem Berounkou. Jde o chráněné území – přírodní památku Komořanské a modřanské tůně. Z hlediska rekreačního i přírodovědného je velmi vhodně ponechána částečně samovolnému vývoji také severovýchodní výspa Císařského ostrova na Vltavě v Praze-Troji.



Edice Strategie AV21 | Přírodní hrozby

Radek Mikuláš | **Povodňové usazeniny. Z čeho jsou složeny a co s nimi**

Vydalo Středisko společných činností AV ČR, v. v. i., pro Kancelář Akademie věd ČR, Národní 3, 117 20 Praha 1. Grafická úprava Robin Brichta.

Fotografie na obálce Václav Cílek a archiv.

Technická redaktorka Ivana Říhová. Obrazová redaktorka Lucie Veselá.

Odpovědná redaktorka Dana Packová.

Vydání 1., 2018. Ediční číslo 12411. Sazba a tisk **SERIFA®**, s. r. o., Jinonická 80, 158 00 Praha 5.

<http://av21.avcr.cz>

ISBN 978-80-200-2892-1



9 788020 028921