

ÚKOL: „Činnosti k podpoře výkonu státní správy v problematice SUCHO v roce 2016“, úkolový list 31

Dílčí úkol 5

Řešení problematiky úkolu E/7 prostřednictvím návrhů modernizace čistírenské infrastruktury ve vybraných, suchem postihovaných povodích, z důvodu zvýšených požadavků na jakost vypouštěné odpadní vody v období sucha.

Dopady odpadních vod na jakost povrchových vod v době sucha

Zpracoval: RNDr. Josef K. Fuksa, CSc.

Spolupráce: Ing. Václav Šťastný (kap. 4)

VÚV T.G.M., v.v.i., odbor 240

Zpráva je zpracována jako příspěvek k podpoře Usnesení vlády České republiky ze dne 29. července 2015 č. 620 k přípravě realizace opatření pro zmírnění negativních dopadů sucha a nedostatku vody, Úkol E/7:

Předložit návrhy projektů umožňující modernizace čistírenské infrastruktury ve vybraných, suchem postihovaných povodích, z důvodu zvýšených požadavků na jakost vypouštěné odpadní vody v období sucha (např. prostřednictvím dalšího stupně čištění pod stávajícími ČOV nebo terciárního stupně čištění).

Obsah

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 1 | Úvod | 1 |
| 2 | Potřeba řešení | 2 |
| 3 | Vliv sucha na vodní toky | 3 |
| 3.1 | Vliv sucha na vodní toky jako ekosystémy – mechanismy a dopady | 3 |
| 3.1.1 | Co je „sucho“ | 3 |
| 3.1.2 | Co se děje s vodním tokem za sucha | 4 |
| 3.1.3 | Vliv odpadních vod | 5 |
| 3.1.4 | Podíl odpadních vod ve vodních tocích | 6 |
| 3.1.5 | Souhrnný vliv hydrologického sucha na vodní toky | 8 |
| 3.2. | Vliv sucha na vodní toky jako ekosystémy - současné přístupy a způsoby řešení u nás a ve světě | 12 |
| 3.2.1 | Rámcová směrnice | 12 |
| 3.2.2 | Ekologické přístupy | 14 |
| 3.2.3 | Ekosystémové služby | 15 |
| 3.3 | Dopady odpadních vod na jakost povrchových vod v době sucha | 16 |
| 3.3.1 | Vliv klasického znečištění na jakost vody v tocích za sucha | 16 |
| 3.3.2 | Specifické organické polutanty | 17 |
| 3.3.3 | Návrh aktivit ke sledování dopadu polutantů a změn v tocích | 19 |
| 4. | Vliv bodových zdrojů znečištění na vodní toky za sucha | 22 |
| 4.1 | Mechanismy působení různých typů bodových zdrojů | 22 |
| 4.2 | Funkce (a specifické změny) komunálních zdrojů za sucha. | 23 |
| 4.3 | Technologické možnosti různých typů ČOV (a kanalizací) ke snížení vypouštění. | 24 |
| 4.4 | Nové technologie | 25 |
| 4.5 | Možnosti „intenzifikace“ a zavádění „nových technologií“ na stávajících ČOV v ČR | 30 |
| 4.6 | Požadavky na měření účinnosti a vypouštění (standardně a za sucha) | 32 |
| 4.7 | Ekonomické možnosti | 33 |
| 5 | Závěry | 35 |
| 6 | Literatura | 38 |

1. Úvod

V obdobích sucha obecně roste podíl odpadních vod vypouštěných z bodových zdrojů do toku v celkovém aktuálním průtoku. Pro úsek toku pod vypouštěním v podstatě není podstatné, kde byla příslušná voda pro použití (a navazující znečištění) odebrána, tj. jestli ve stejném povodí někde proti proudu, nebo v jiném povodí, z podzemních zdrojů atd. Podstatné je, že vypouštěné odpadní vody jsou reálnou součástí průtoku v toku a z hlediska kvantitativního lze tvrdit, že za sucha nadlepšují průtoky. Odpadní vody nelze odvést jinam než do příslušného toku a řešení jejich vlivu na tok je dáno konstrukcí a účinností systému „kanalizace + ČOV“. Obecně jiný případ jsou nebodové zdroje. Je to dáno tím, že nebodové zdroje znečištění jsou závislé na klimatické situaci, takže za sucha je jejich příspěvek ke znečištění nízký, snad s výjimkou přísunu specifických podzemních vod do toku. Bodové zdroje znečištění, zejména komunální, produkují odpadní vody stále, ve stejném množství a kvalitě, odpovídající přísunu pitné vody, standardu jejího využití a pak sběru a čištění odpadní vody. Tato situace vede k úvahám, jak se tyto bodové zdroje projeví na situaci v konkrétním toku v úseku zasaženém suchem a nakolik lze tuto situaci ovlivnit resp. zmírňovat její dopady. Dosavadní kontrolní mechanismy, technické i legislativní, se sice stále vyvíjejí, a i když mají daleko k dokonalosti, zatím prostě předpokládaly průtoky v tocích kolísající v rámci běžného sezónního cyklu, případně povodňový režim. V případě dlouhodobého sucha, které je ve vodohospodářském uvažování v ČR poměrně nové, už ale tyto mechanismy nemusí být dostatečné ani pro současný přístup ke kontrole znečištění apod.

Úkol byl řešen ve dvou etapách:

1. Zhodnocení dosavadních přístupů při řešení této problematiky (v ČR i ve světě) a specifiky přísunu znečištění do vodních toků za dlouhodobého sucha. Zpracování této etapy v dílčí zprávě bylo akceptováno na Kontrolním dnu úkolu č. 2, dne 28. 6. 2016. Zpráva řešila problematiku ve dvou aspektech:

- Zhodnocení dosavadních přístupů při řešení problematiky v ČR i ve světě.
- Specifika přísunu znečištění z bodových zdrojů znečištění (nutrienty, farmaka aj.) do vodních toků za dlouhodobého sucha – dopady na jakost vody a na říční ekosystémy v situaci nízkých průtoků.

Text dílčí zprávy byl upraven podle technických požadavků zástupce zadavatele, navržených na kontrolním dni č. 2, a je obsahem kapitoly 3 této zprávy.

2. Možnosti technických řešení na ČOV – etapa byla řešena v období červenec-srpen 2016 a výsledky jsou zpracovány v této zprávě jako kapitola 4 + jejich zhodnocení v závěrech.

2. Potřeba řešení

Hydrologické sucho se projevuje významným a dlouhodobým snížením průtoku vody korytem, případně až vysycháním. Zde uvažujeme hydrologické sucho, aniž bychom je blíže charakterizovali co do úrovně a doby trvání.

Vedle obecného nedostatku vody k užívání dochází k významnému ovlivnění vodních toků jako ekosystémů, jako součásti krajiny, jako prvků řídicích transport látek povodími a do značné míry také ovlivňujících mikroklima. Zvláštní složkou je pak ochrana akvatických a příbřežních ekosystémů v rámci obecné ochrany přírody a plnění cílů Rámcové směrnice pro vodní politiku EU (2000/60/EC), dále WFD. Nad těmito legislativně podchycenými přístupy je ještě obecně přijatý koncept ekosystémových služeb řek [1,2].

Vysychání u nás zatím postihuje jen drobné vodní toky [3], data týmu VÚV T.G.M. ale poskytují základ metodiky pro jeho hodnocení z hlediska dopadu i na další říční ekosystémy.

Tato zpráva se v kapitole 3 zabývá posuzováním vlivu sucha na vodní toky z pohledu vlivu na ekosystémy a ekosystémové služby a snaží se jej rozložit na jednotlivé složky tak, aby je bylo možné kvantifikovat a řešit ve vzájemných souvislostech. V kapitole 4 jsou obecněji zpracovány dopady vypouštění odpadních vod a technologické možnosti jejich snižování:

- obecné možnosti v rámci rozvoje čistírenských technologií a ochrany toků/recipientů a
- speciální opatření, která lze zavést v obdobích „sucha“, tedy relativně krátkodobá intenzifikace či snížení vypouštění, bez ohledu na náklady provozu ČOV.

3. Vliv sucha na vodní toky a na užívání vody

Tato kapitola je obecnou úvahou o vlivu sucha na vodní toky – jako krajinné prvky a jako ekosystémy. Vztahuje se na toky v geografických podmínkách České republiky, kde je „sucho“ neobvyklým jevem, ne na toky v tradičně aridních oblastech apod.

3.1 Vliv sucha na vodní toky jako ekosystémy

3.1.1 Co je „sucho“:

První problém - technický, ale zásadní – je v tom, že na rozdíl od povodně sucho nezačíná definovaným nástupem, nepřichází z horních úseků toku (+ ze srážek), a není pro jednotlivé úseky toků či profily nijak závazně definováno. Poslední problém je pro zahájení jakýchkoliv zásadních opatření zásadní, i když technická opatření na straně správců toků apod. existují a fungují. Vodní zákon (254/2001 Sb. v platném znění) v par. 36 (1) obsahuje institut Minimálního zůstatkového průtoku (MZP): *Minimálním zůstatkovým průtokem je průtok povrchových vod, který ještě umožňuje obecné nakládání s povrchovými vodami a ekologické funkce vodního toku.* I když je zaveden pro regulaci nakládání s vodami, lze jej použít i pro úvahy o suchu. Nicméně metodika jeho stanovení má být (odst. 3) vyhlášena nařízením vlády, což se od přijetí zákona ještě nestalo. Jediným platným podkladem je stále Metodický pokyn Ministerstva životního prostředí č. 9/1988 [4], který vychází z průtoku Q_{355d} v příslušném úseku toku a podle něj stanovuje MZP, také s dalším zohledněním ředění odpadních vod apod. Návrhy stanovení minimálního zůstatkového průtoku pro účely Vodního zákona jsou stále diskutovány a zřejmě se již do dnes platného vodního zákona nedostanou. V roce 2015 navíc Evropská komise (CIS Guidance No.31, EC Technical Report 215-086) zavedla pojem „ekologický průtok (ecological flow)“, definovaný jako hydrologický režim podporující dosažení environmentálních cílů podle čl. 4(1) Rámcové směrnice (2000/60/EC) pro přirozené vodní útvary [5,6]. Jeho technické zpracování vychází z požadavku Zprávy EK [6], ale detailní, přímo použitelný výsledek ve zprávě [5] také není součástí dokumentu, stejně jako v případě MZP. To by byl ovšem byl pro rozsah specifických podmínek jednotlivých členských zemí větší problém a navíc by to neodpovídalo zásadě delegování vymáhání konkrétních opatření na členské státy. Ekologický průtok má ale také zohledňovat základní užívání vody atd., protože je především orientován na plnění cílů Rámcové směrnice – dosažení dobrého ekologického stavu jednotlivých vodních útvarů. Pro ten je udržení průtoku zásadní podmínkou a jeho změny jsou součástí driftu referenčních podmínek, který prostě neumožňuje dokonalou restauraci systémů na stav před průmyslovou revolucí, masovými antropogenními změnami atd. Rozdíl mezi MZP a ekologickým průtokem tedy zřejmě není příliš veliký, i když MZP byl definován pro koryta ovlivněná vodními stavbami a ekologický průtok pracuje s průtokem v korytě na obecnější úrovni.

Obecně můžeme „laicky“ uvažovat, že sucho se začíná na tocích projevovat při průtoku pod 25% průměrného Q_d , který trvá déle než dva týdny. V literatuře se běžně objevuje pojem „nadsezónní sucho“. Stále ovšem zůstáváme v oblasti sucha hydrologického.

3.1.2 Co se děje s vodním tokem za sucha:

Snížení průtoku vede v korytě obecně ke zmenšení hloubky vody, zúžení zavodněné plochy koryta, k tendenci vytvořit systém tůní propojených mělkými pomalu tekoucími spoji, ke zvýšení vlivu drsnosti dna, ke zvýšení podílu podpovrchového toku potamofreatálem atd. Důsledky pro jednotlivé charakteristiky akvatických habitatů jsou především:

Snížení tepelné stability: Teplota vody bude kolísat s teplotou vzduchu i na dolních úsecích toků. Řídícími faktory bude vedle hloubky atd. tvar koryta, zastínění, mikroklima atd. Pařil a kol. [7] to předvedli na malých zemědělských tocích, které ovšem ještě nebyly blízké vyschnutí.

Kyslíkový režim: V poledních hodinách bude teplota vody stoupat tak, že významně klesne rozpustnost kyslíku, přičemž bude i zvýšená spotřeba respirací atd. (viz dále). To bude mít výrazné dopady na přežívání vodních organismů. V nočních hodinách lze očekávat významné anoxické stavy, protože kyslík vytvořený fotosyntézou nad 100% nasycení rychle vyprchá do atmosféry a respirace ve vodě a biofilmu bude vysoká celých 24 hodin (včetně respirace biomasy vytvořené fotosyntézou).

Fotosyntéza: Díky malé hloubce, zpomalenému proudění a vyššímu přístupu světla až na dno významně stoupne primární produkce – fytoplanktonu, vláknitých řas i vyšších rostlin. To povede ke zvýšení spotřeby kyslíku respirací v noci a k celkovému zvýšení spotřeby kyslíku pro rozklad vytvořené organické hmoty. Vlhká mělká koryta rychle zarostou makrovegetací a situace se ještě prohloubí. Primární produkce bude v tomto systému vysoká i při nulovém přísunu odpadních vod (eutrofizaci).

Ztráta původních habitatů a úkrytů – některé organismy se ukryjí v hyporheálu, pro větší organismy bude platit, že ztratí své úkryty, včetně hloubky vody, a stanou se snadnou kořistí predátorů – ptáků i suchozemských živočichů (vč. člověka).

V tocích s upraveným korytem se tyto vlivy projeví jinak – tůně s posledními úkryty se vytvoří jen u starých a zanesených úprav, hyporheál bude nedostupný atd. To neplatí beze zbytku, musíme ale počítat s významným rozdílem proti neupraveným korytům a tratím toků.

Tyto změny nejsou shodné se situací např. v úsecích pod špičujícími elektrárnami, protože tam je střídání fází krátkodobé a organismy mohou využít různá refugia a migrovat podle stavu vody atd.

V různých podnebních pásmech ve světě, ale také v různých nadmořských výškách se uvedené změny projevují různě intenzívně. V případě sucha v zimním období připadá v úvahu promrznutí dna a postupně i zachovaných tůní, takže tlak na říční ekosystém může být významnější než pro „klasické“ sucho ve vegetační sezóně.

3.1.3 Vliv odpadních vod:

Odpadní vody (komunální odpadní vody po standardním čištění, zahrnujícím i odstranění podstatného podílu fosforu a dusíku) vypouštěné do toku obsahují zbytkové koncentrace nescifických organických látek (indikovaných jako $CHSK_{Cr}$, TOC, BSK_5), biogenní prvky (fosfor a dusík – dnes převážně jako dusičnan) a nekonečnou řadu specifických organických polutantů, označovaných např. jako PPCP (Pharmaceuticals and Personal Care Products), POP (Persistent Organic Pollutants) nebo jen EP (Emerging Pollutants).

Pokud ČOV fungují, vypouštěný organický uhlík nezvyšuje při průměrném průtoku v recipientu měřené parametry v toku jako ($CHSK_{Cr}$, TOC, BSK_5) nad úroveň dané povoleními k vypouštění apod. Zejména na dolních tocích je jako zdroj snadno odbouratelného organického uhlíku ve vegetační sezóně podstatnější primární produkce v toku podporovaná eutrofizací, tj. vypouštěním fosforu a dusíku. Při snížených průtocích se ale vliv eutrofizace významně zvyšuje, mj. také zpomalením postupu vody korytem po proudu což stimuluje růst fytoplanktonu, ale také zarůstání koryta makrovegetací.

Významným hydromorfologickým faktorem je postupující fragmentace toku při sníženém průtoku za sucha (viz výše), která omezuje promíchávání resp. podélnou i příčnou disperzi vypouštěné odpadní vody do vodního sloupce v recipientu. Za dlouhodobého sucha proto hrozí vytvoření úseků významně ovlivněných vypouštěním, známým z dob před 25 lety, s významnými estetickými ale i hygienickými dopady.

Specifické organické polutanty v tocích pocházejí prakticky výhradně z komunálních zdrojů. Případné průmyslové zdroje lze totiž obecně kontrolovat a regulovat, zatímco používání nejrůznějších farmak a přípravků v domácnostech regulovat nelze. Odvedením kanalizací se tyto látky dostávají po použití do ČOV a dále do toků. Důsledkem jsou jejich relativně vysoké koncentrace v tocích. Řada z nich, nejen farmaka, jsou biologicky aktivní látky, které mohou mít za nízkých průtoků velmi významný vliv na biologickou složku ekosystémů, ale ovlivňují také možnosti dalšího užívání vody – kumulací v nádržích, infiltrací do podzemních vod v nivě atd. Nálezy specifických organických polutantů v řekách, včetně ČR, rostou [13] jak co do počtu ovlivněných lokalit, tak co do počtu nalezených látek – to je dáno rozvojem analytických metod, ale také tím, že řada těchto látek se prokazatelně používá teprve v posledních letech.

Poměrně přehlíženým faktorem je zvyšování koncentrace rozpustných solí v tocích – se šetřením vodou, recyklováním v průmyslu a pod se ve vodě zvyšuje koncentrace siranu, chloridu a základních kationtů, které zvyšují solnost v tocích. Recyklace průmyslových vod je sice přijímána jako „ekologické opatření“, ale je omezená, protože v jistém stadiu zasolenosti již tyto vody nemohou být použity v technologii a musí být vypuštěny – celkově vypuštěná dávka zůstává, jen stoupá koncentrace ve vypouštěné vodě.

3.1.4 Podíl odpadních vod ve vodních tocích:

Odpadní vody z bodových zdrojů, vypouštěné po vyčištění do toku (recipientu), představují v daném profilu celkem konstantní látkový přísun (voda + složky znečištění), jehož podíl v toku se mění především s průtokem v toku. S průtokem se také mění rychlost transportu dále po proudu. Druhý faktor je teplota vody – s ní se mění rychlost odbourávání znečišťujících látek v toku (jeho součástí je spotřeba kyslíku), vliv vypouštění na biologické procesy v toku, rozpustnost některých významných látek apod. Základem vlivu na tok je ale stálé množství a „jakost“ vypouštěné odpadní vody.

U průmyslových zdrojů znečištění se produkce odpadních vod mění podle momentálního výkonu, podle změn ve výrobě a v technologiích a obecně je lze regulovat. Komunální odpadní vody jsou produkovány v podstatně konstantně, v závislosti na spotřebě pitné vody. Kolísání je v podstatě omezeno jen na denní nebo týdenní cyklus. Spotřeba vody je dnes (při 93,5% obyvatel napojených na veřejné vodovody v roce 2013) pro sumu spotřeby v domácnostech a další na úrovni 120-130 l/člověk/den. Celkové vypouštění odpadních vod v ČR (2013) je 1846 mil. m³, čili cca 12% učebnicového ročního povrchového odtoku z území ČR (15 mld. m³), z toho tvoří asi polovinu položka „Zásobování pitnou vodou, odpadní vody, sanace“, reportované vypouštění z ČOV je podstatně nižší (viz tab. 1). Zdrojem dat jsou Statistické ročenky [8,9]. Uvedená data ovšem platí pro roční sumy a i při běžném sezónním kolísání průtoku dochází k významným odchylkám, resp. k nárůstu podílu odpadních vod v aktuálních průtocích v tocích.

| | Odtok řekami z ČR [m ³ /rok] | Odtok komunální odpadní vody přes ČOV [m ³ /rok] | % komunální odpadní vody v celkovém odtoku |
|--------|---|---|--|
| Qa | 15 257 000 000 | 382 976 000 | 2,50 |
| 50% Qa | 7 628 500 000 | 382 976 000 | 5,02 |
| 30% Qa | 4 577 000 000 | 382 976 000 | 8,37 |

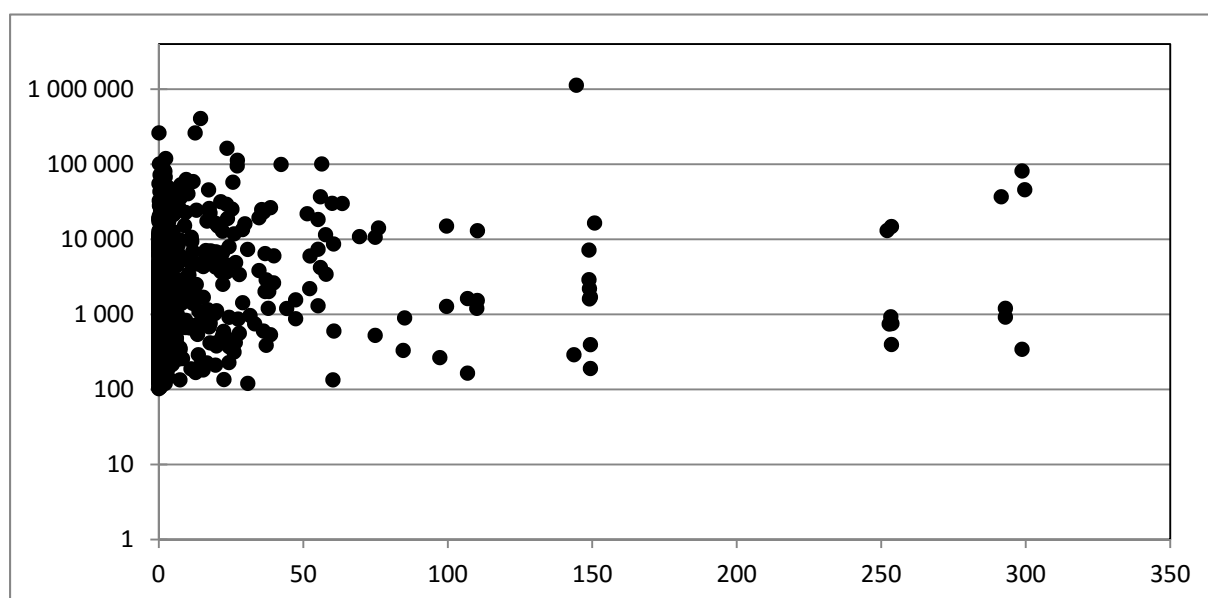
Tabulka 1: Procento čištěné komunální odpadní vody v průtoku za různých průtokových situací. Sumární data pro ČR podle Ročenek 2013 [8,9].

Podílem vyčištěných odpadních vod v tocích za různého průtokového režimu se zabýváme od roku 2014, kdy jsme podle dostupných dat o vypouštění provedli bilanci čistíren odpadních vod v ČR pro 1350 komunálních ČOV s více než 100 připojenými obyvateli v dlouhodobém průměrném průtoku (Q_a) v profilech vypouštění. Představuje to vypouštění od 98% obyvatel připojených na ČOV. Výsledky byly publikovány např. jako [10]. Bilance podílu (procenta) vypouštěného objemu v průtoku v recipientu byla provedena podle teoretické hodnoty (sumy) vypouštění, vypočtené z počtu obyvatel připojených na kanalizaci (se spotřebou 120/litrů/den). Takto odhadnuté „teoretické“ vypouštění (rovné spotřebě pitné vody u spotřebitelů) tedy nezahrnuje průmyslové a balastní vody atd., jen základní sumu spotřeby vody nutnou pro standardní chování obyvatelstva a pro dlouhodobý průměrný průtok v profilu vypouštění. Výsledkem je vyjádření procenta vypouštění v průtoku v recipientu, pro průměrný průtok a dále pro nižší hodnoty průtoku – 50%, 30% a 20% Q_a . Jak vyplývá z předchozích odstavců, situace pro 20% Q_a je už zřejmě v oblasti, kdy předpokládáme konstatování stavu „hydrologického sucha“. V publikaci [10] se výpočet zastavil u 30% průměrného průtoku, čili se situaci „sucha“ jen přiblížil.

Paušální situaci pro ČR jako celek, tj. roční sumy odtoku z ČR a reportovaného vypouštění odpadních vod z ČOV udává Tabulka 1. Je patrné, že při běžné letní situaci (30% dlouhodobého průměrného průtoku) už podíl vyčištěné odpadní vody sumárně tvoří 8,4% vody v tocích pod vypouštěním. Toto je ovšem naprosto teoretická situace, protože průměrné vypouštění do průměrného toku s průměrným průtokem neexistuje – taková paušální argumentace je spíše zavádějící až nebezpečná. Rozpracování pro jednotlivé ČOV, řazené do velikostních kategorií podle počtu připojených osob a pro odvozené průtoky v profilu vypouštění, ukazuje významně jinou situaci, zpracovanou graficky na obr. 1. Zjevně neplatí zcela obecný předpoklad, že velké obce s velkými ČOV vypouštějí do velkých toků, viz oblast ČOV nad 100 000 připojených obyvatel. Neplatí to ani po eliminaci případů, kdy velká ČOV vypouští do malého toku, který se po krátké trati vlévá do větší řeky (např. Ostrava do Černé strouhy, nebo situace na Velké Strouze u Pardubic). Ovlivnění toků vypouštěním odpadních vod je pro hodnoty dlouhodobého průměrného průtoku zpracováno na obr. 2. Je patrné, že i pro tyto průměrné průtoky najdeme v ČR stovky ČOV, které vypouštějí více než 10% Q_a v řece/recipientu a při situaci odpovídající 30% Q_a (to ještě obecně neznamená „sucho“) najdeme cca stovku ČOV vypouštějících více než 50% dlouhodobého průměrného průtoku. Nemá smysl uvádět tyto počty přesněji, protože podkladové databáze nedávají absolutní data a jsou stále zpřesňovány.

Z přehledu vyplývá, že podíl čištěných komunálních odpadních vod v tocích ČR je již dnes významný nejen jako „znečištění“, ale za nízkých průtoků také jako součást průtoku. Obecně

je to dáno velikostí sídla a velikostí (vodností) recipientu, do kterého příslušná ČOV vypouští. S rostoucím rizikem hydrologického sucha (nižším průtokem) tento podíl ještě poroste, protože přísun pitné vody nelze významně snížit bez narušení životních a hygienických standardů v obcích. To se může stát až bude „sucho“ uznáno za významné a bude možné objektivně vyhlásit „sucho“ a příslušné krizové stavy podle zákona 240/2000Sb. a 241/2000 Sb. a souvisejících předpisů. Protože vyčištěná odpadní voda před vypuštěním do toku není zřejmě majetkem státu (prostřednictvím správy toků státními podniky Povodí), může být možná odvedena i jinam než do řeky, což by mohlo průtoky v tocích ještě dále ohrozit. Povinnost vypouštět do řeky není přímo dána Vodním zákonem ani povoleními k vypouštění, takže by tato možnost ztráty průtoku v řekách měla být uvažována při plánování akcí pro případy sucha, včetně profesionálního studia resp. úprav legislativy.



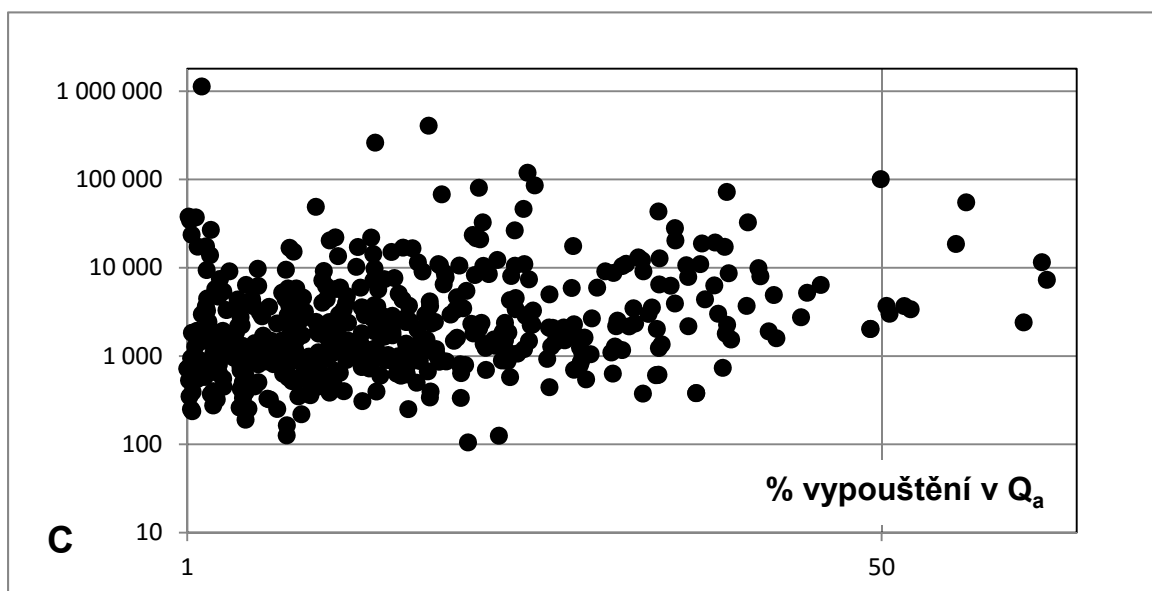
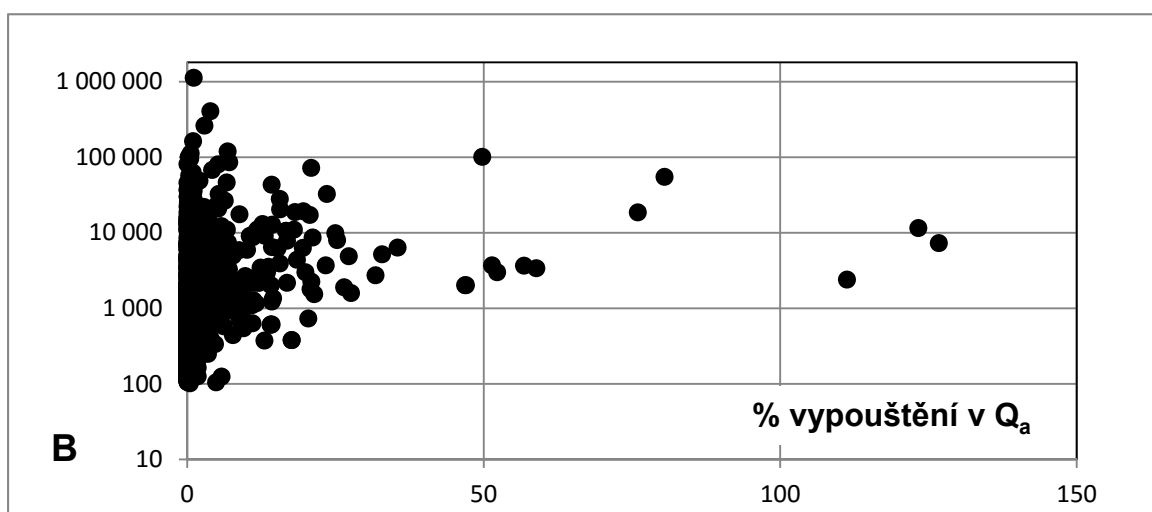
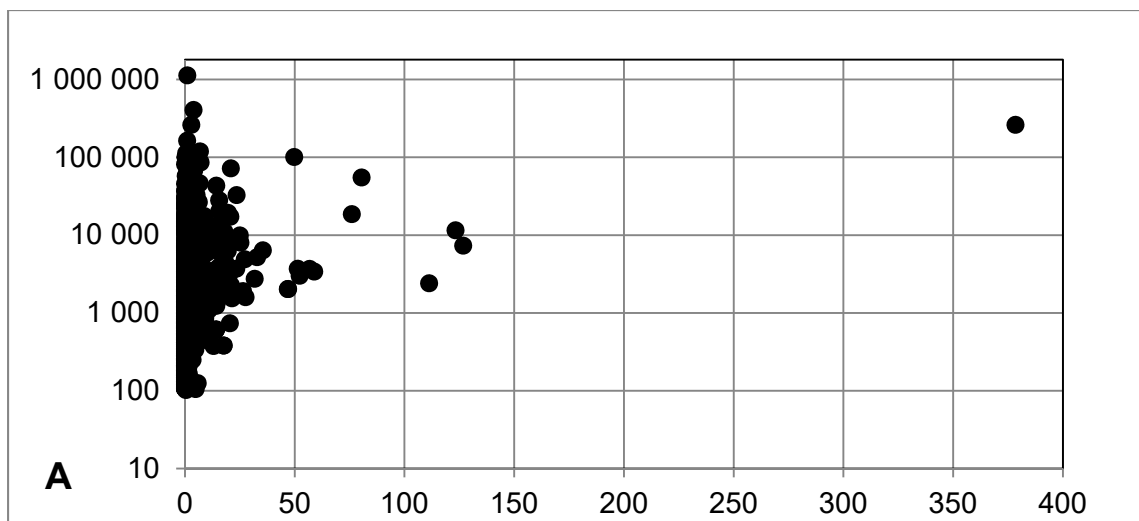
Obr 1: Lokalizace ČOV podle velikosti (osa y – počet připojených obyvatel) na profilech (tocích) podle dlouhodobého průměrného průtoku v profilu vypouštění (Q_a m³/s, osa x). Body v oblasti 150 m³/s odpovídají Vltavě a Labi před soutokem.

3.1.5 Souhrnný vliv hydrologického sucha na vodní toky:

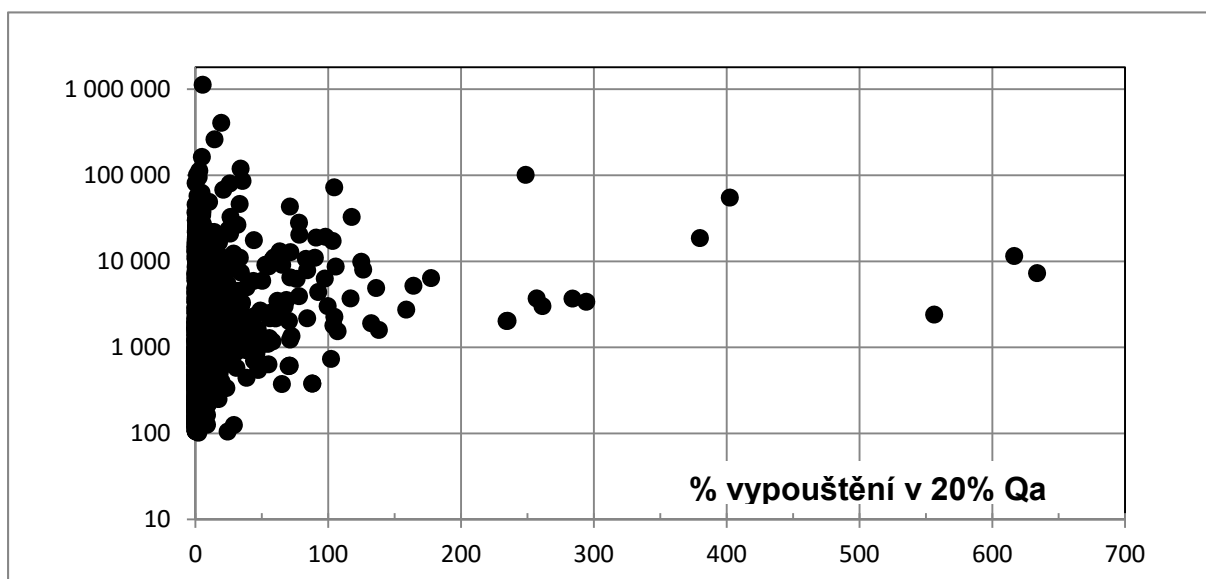
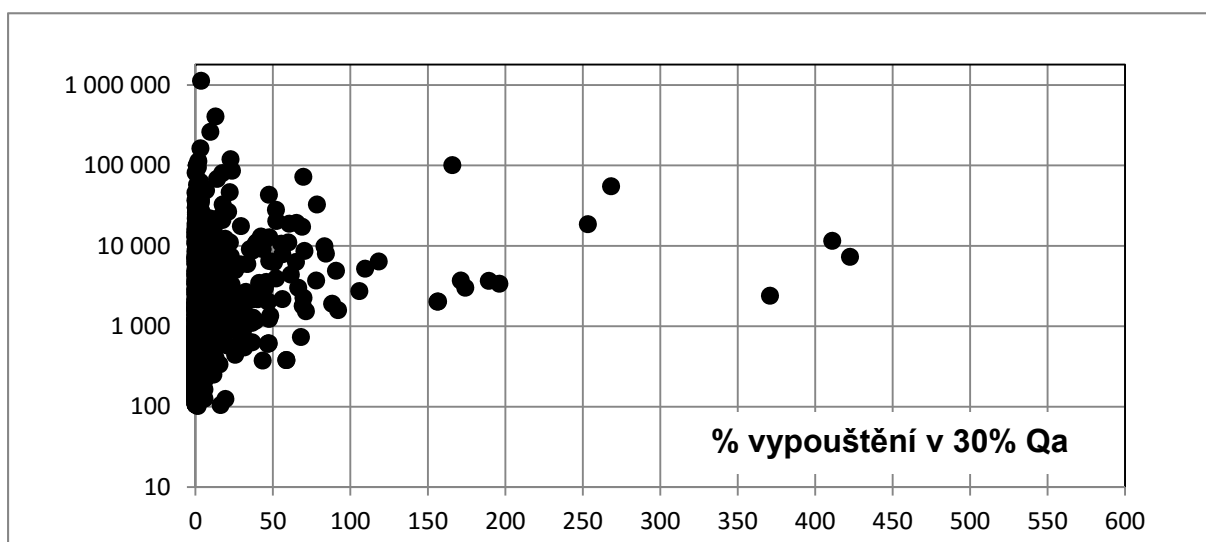
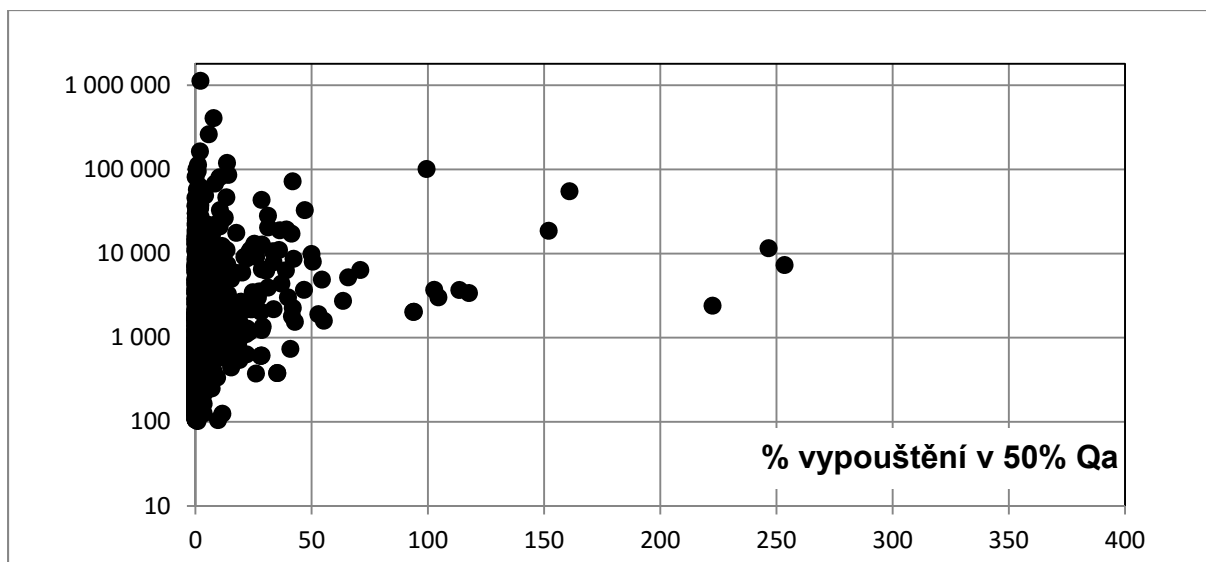
Vliv sucha na vodní toky v hustě obydlené a civilizované krajině jako je ČR lze shrnout do několika aspektů:

1. S obecným poklesem průtoku se sníží postupová rychlost vody po proudu, sníží se výška vodního sloupce, tok bude směřovat k fragmentaci, k soustavě oddělených tůní.
2. Obnažené úseky dna rychle zarostou makrovegetací.

3. Změní se teplotní režim a denní oscilace v minimalizovaném korytě – v zimě může vymrznout atd., v létě mohou teplotní maxima vést k zničení všech organismů – přímo nebo přes nedostatek kyslíku. Teplotní režim může být ovlivněn relativně zvýšeným přísunem podzemní vody do koryta, zastíněním apod.
4. Vodní organismy (pokud přežijí) budou snadnou kořistí predátorů, i suchozemských.
5. Významně vzroste podíl vody, která prošla „užíváním“, zejména vody znečištěné. Ve významném procentu profilů vypouštění může podíl vody vypuštěné z ČOV činit desítky procent vody protékající korytem.
6. Vyšší podíl vyčištěné odpadní vody výrazně podpoří negativní stránku procesů řízených změnou hydromorfologických charakteristik (viz řádky 1-3). Týká se to „klasických“ složek znečištění (organický uhlík, dusík, fosfor) a zejména specifických organických polutantů.
7. Takto vyvolané změny ve znečištění vody v korytě významně sníží možnosti dalšího užívání vody a v některých úsecích toků vyvolají nežádoucí estetické a hygienické stavy a ovlivní jakost a využitelnost vody v říční nivě.



Obr. 2: A: Procento vypouštěného objemu čištěných odpadních vod v dlouhodobém průměrném průtoku v profilu vypouštění (osa x). Na ose y velikost ČOV podle počtu připojených obyvatel. Bod pro ČOV Ostrava a vypouštění do Černé strouhy je vpravo, mimo pole hodnot. (Na Obr. 3 je již mimo rozsah grafů.) B: detaily rozložení bodů – pro hodnoty Q_a do 150 m^3 a C: v logaritmické stupnici.



Obr. 3: Procento vypouštěného objemu čistěných odpadních vod v průtoku v profilu vypouštění (osa x) pro situace 50%, 30% a 20% průměrného průtoku. Na ose y velikost ČOV podle počtu připojených obyvatel.

3.2 Vliv sucha na vodní ekosystémy

- současné přístupy a způsoby řešení u nás a ve světě

Jakkoliv se zdá, že problém sucha je v některých státech trvale řešen, resp. vyřešen, možnosti přenosu specifických přístupů do systému ČR, kde je fenomén rozsáhlého dlouhotrvajícího sucha celkem nový, jsou velmi omezené. Především proto, že se jedná o dva problémy – nedostatek vody (water scarcity – **WS**) a vlastní Sucho (drought – **D**). Infrastruktura industrializovaných zemí a aglomerací trpících trvalým nedostatkem vody, např. v Jižní Evropě nebo v Austrálii je této situaci trvale přizpůsobena, včetně rozvoje zemědělství, průmyslu i výstavby sídel. V ČR musíme na současnou situaci, resp. historii relativního dostatku vody po celý rok, reagovat novými opatřeními, od změny legislativy ke změně návyků obyvatelstva a k revizi a úvahám o změně funkce různých vodohospodářských zařízení. Je nutné uvědomit si, že většina obyvatel ČR, včetně reprezentantů a sdělovacích prostředků, zatím tyto dva pojmy příliš nerozlišuje a uvažuje v kategorii „nedostatek vody k užívání“, případně k rekreaci atd. Platí to pro úroveň hydrologického sucha.

Uvádíme tři skupiny přístupů, přičemž přístup Rámcové směrnice v současné době funguje, zatímco druhé dva nejsou na implementaci a plnění cílů WFD závislé absolutně, ale nabývají významu postupně. Detailní výstupy u z nich budou uvedeny v kapitole 5.

3.2.1 Rámcová směrnice

Kromě dokumentů vypracovaných v roce 2015 a 2016 v ČR jako podklad pro řešení situace očekávaného sucha a klimatické změny [11,12] je základním dokumentem Rámcová směrnice pro vodní politiku EU (2000/60/EC, sále WFD) a na ni navázané dokumenty [5,6 a další]. V současné době byl ukončen první cyklus Plánů povodí (RBMP) podle článku 13 a byl zahájen druhý cyklus. O „splnění“ cílů prvních plánů povodí zatím není k dispozici přehledná souhrnná zpráva, o zavedení agenty „sucho a nedostatek vody“ v Plánech povodí členských států, ale referuje zpráva Evropské komise z roku 2012 [6]. Nedostatek vody nepovažuje za důležitý 41% Plánů povodí a 40% Plánů povodí nepovažuje sucho za relevantní problém. Zpráva také konstatuje, že řada Plánů povodí dostatečně nerozlišuje kategorie „Nedostatek vody“ a „Sucho“. 45% Plánů obsahuje v rámci opatření cílů WFD zlepšení odolnosti vodních ekosystémů (proti suchu) a jen u několika povodí s klasickým nedostatkem vody se jako priorita uvádí omezování nových projektů s vysokou spotřebou vody. Plány povodí nedodaly Řecko, Portugalsko, Belgie a část Španělska, čili podíl tradičně

„suchých“ států je spíše oslaben. V ČR jsme v situaci, kdy „projekty s vysokou spotřebou vody“ tradičně fungují a perspektivou „sucha“ je jejich funkce potenciálně ohrožena.

Kapitolu 3 Zprávy „Nedostatky současné politiky pro řešení problému nedostatku vody a sucha“ je nejlépe citovat doslovně:

- *Koncepční nedostatky: nadále chybí porozumění kauzálním vztahům mezi příčinami, zátěží, stavy a dopady, které by pomohlo určit nákladově nejefektivnější opatření pro řešení problému nedostatku vody a sucha. Pojmy nedostatku vody a sucha jsou často zaměňovány a neexistuje dostatečné množství indikátorů ke znázornění těchto dvou jevů. Nově dohodnuté indikátory se musí vypočítat ve vhodném zeměpisném a časovém měřítku pro celou EU, což vyžaduje vytvoření uceleného souboru údajů na úrovni EU.*
- *Nedostatečné informace: plány povodí obsahují pouze omezené údaje o současné a budoucí poptávce po vodě a její dostupnosti, jakož i o opatřeních pro řešení problému nedostatku vody a sucha, dostupnosti finančních prostředků a očekávaných dopadech na nedostatek vody a sucho. Chybějící solidní informace jsou překážkou pro řádné posouzení efektivity a socioekonomických dopadů opatření.*
- *Nedostatky v oblasti politiky, řízení a provádění: většina podpůrných akcí a opatření navrhovaných členskými státy pro řešení problému nedostatku vody a sucha je celkově zaměřena na zátěž, stavy a dopady a slouží především ke zlepšení zásobování vodou. Opatření zacílená na hlavní příčiny nedostatku vody a sucha nebo na provádění doprovodných opatření, mezi něž patří například měření spotřeby vody, tvorba cen/dotace a omezování spotřeby vody, jsou navrhována jen v několika plánech povodí. Zůstává rovněž nejasné, kdo za navrhovaná opatření a jejich financování nese odpovědnost. Neuspokojivá je koordinace s jinými postupy plánování a dostupnost finančních zdrojů. Málo doložené jsou taktéž souvislosti mezi nedostatkem vody a ekologickými průtoky.*

Poznámka: Český překlad Zprávy [6] používá termín Environmentální stav místo Ekologický stav, takže lze očekávat nepřesnosti v termínech i na jiných místech textu.

Ekologickým průtokům se věnuje ještě kapitola 4.1, která je definuje jako požadavek, dále zpracovaný ve zprávě [5]. Srovnání s konceptem minimálního zůstatkového průtoku podle Vodního zákona je uvedeno v kapitole 3.1 této zprávy.

Závěry Zprávy Evropské komise konstatují, že cílů politiky odvrácení sucha a nedostatku vody zatím nebylo dosaženo. Evropské státy většinou oddělují problém sucha + nedostatku vody od „dostupnosti“ vody v duchu uvažování Rámcové směrnice. Většina opatření prováděných členskými státy je zaměřena na zátěž, stav a dopady a jen velmi malý počet opatření je zacílen na hlavní příčiny problému. Jedním ze základních mechanismů řešení by měla být aplikace článku 9 WFD „Návratnost nákladů za vodní (vodohospodářské) služby“.

Rámcová směrnice je zaměřena na udržitelné hospodaření s řekami atd. jako s dlouhodobými zdroji a na určení a eliminaci závažných antropogenních vlivů, které tuto udržitelnost významně snižují. Sucho obecně nespadá oblastí takto popjatých antropogenních tlaků, takže s ním WFD nemůže účinně pracovat a odvolává se na politiku v oblasti klimatické změny atd. Významný problém pro plnění cílů WFD může být posun

referenčních podmínek daných vývojem klimatu atd., který by komplikoval ověření dosažení dobrého ekologického stavu vodních útvarů povrchových vod – driftem faktorů prostředí pro biologické složky ekologického stavu (teplotní režim, predace, zvýšení potravní nabídky zvýšenou primární produkcí, zvýšení koncentrace solí aj.) a pro některé hydromorfologické charakteristiky (dynamika průtoků apod.).

3.2.2 Ekologické přístupy

Ekologické přístupy mají velmi dlouhou tradici a obecně vycházejí z toho, že vodní toky musí být chráněny před nadměrným využíváním, před jakýmkoliv zásahy do stavu koryta a celého údolí atd. Zároveň samozřejmě uznávají, že úpravy řek jsou součástí lidské kultury. Jakkoliv je známým teoretickým základem uvažování o řece jako celku Koncept říčního kontinua [14], který popisuje vývoj vodního toku (jako ekosystému) od pramene k moři bez interakce s nivou a bez času a ročních cyklů, realistické přístupy do systému zahrnují celkovou interakci v nivě. Klasický text se jmenuje „Řeka a její údolí“ [15]. Literatura o vlivu sucha na říční ekosystémy i na hydrologický režim je nekonečná. Prakticky je rozumné neprobírat příliš publikace o tradičně aridních oblastech (Jižní Evropa, Austrálie) a věnovat se literatuře z klimatických podmínek srovnatelných se střední Evropou.

Přehledné zpracování vztahů vlivu sucha na jakost vody podávají např. Whitehead et al. (2009) a Nilsson a Renofalt (2008) [16,17]. Tyto a podobné publikace zahrnují jak konstatování příčin a mechanismů vlivu hydrologického sucha na říční ekosystémy, tak i různé „politické“ přístupy, vedoucí k rozumnému přístupu k užívání a ochraně řek (celkem nezávisle na politice dané WFD). Zdůrazňují také význam hospodaření na půdě (land use) včetně ovlivňování myšlení managementů a politiků – jak v přítomnosti, tak ve směru plánování poptávky po vodě a její spotřeby. Obecné principy těchto interakcí jsou shrnuty v kapitole 3 této zprávy a budou zahrnuty do návrhů opatření v kapitole 5.

Očekávané změny teplotního režimu zahrnují také změny teplotního optima pro různé organismy významné hygienicky, přežívání patogenních mikroorganismů apod. Vedle prokázaných organismů patogenních pro hospodářsky významné ryby [18] to lze logicky vztáhnout i na další problémy až po problémy klasické hygieny.

Zvláštní kapitolou jsou vysychavé toky [3], tj. toky u kterých dnes považujeme občasné nebo periodické vysychání za celkem běžný jev. U nás se to týká jen malých toků, lze však odhadovat, že se jejich počet nebo souhrnná délka bude zvyšovat. Není zatím úplně jednoznačné, nakolik budou zde získané biologické poznatky o složení biocenózy a jejich změnách aplikovatelné na větší toky (5. řád a vyšší) postižené hydrologickým suchem.

3.2.3 Ekosystémové služby

Ekosystémové služby (ESS) je koncept hodnocení významu a ceny přírodních funkcí zemského ekosystému v ekonomice, vyjádřené v „cenách“ [1]. V počátcích jeho formulování stála úvaha, založená na kalkulaci, že ESS tvoří 180% kontrolovaného výkonu světové ekonomiky [19], kalkulace ale už nabyla nikdy opakována resp. zveřejněna. Vodní politika v konceptu má důležité místo a může stále být vodítkem pro činnosti po „přezkoumání WFD podle článku 19(2), nebo po ukončení třetího cyklu Plánů povodí. Výpis a hierarchizace ekosystémových služeb je uveden v tabulce 2.

| Skupina služeb/funkcí: | Ekosystémová služba: |
|------------------------|--|
| 1. Podpůrné | Základní funkce zemského ekosystému, nezbytné pro funkci ostatních skupin: |
| | Tvorba půdy. |
| | Koloběh živin. |
| | Primární produkce. |
| | Opylování a transport semen. |
| | Existence a udržování habitatů. |
| | Hydrologický cyklus. |
| 2. Regulační | Udržování a kontrola základních procesů v „rozumných mezích“: |
| | Regulace plynů – atmosféry. |
| | Regulace klimatu. |
| | Regulace oscilací v prostředí. |
| | Biologická regulace – interakce druhů včetně kontroly nemocí a „škůdců“. |
| | Regulace vodního cyklu. |
| | Regulace odpadů mimo přirozené cykly. |
| | Regulace toků živin – retence apod. |
| 3. Produkční | Poskytování přírodních zdrojů a surovin: |
| | Voda – přísun a „retence“ v řekách, jezerech, podzemních kolektorech. |
| | Potraviny – přírodní a udržování podmínek pro zemědělství. |
| | Suroviny – vlákna, konstrukční dříví, palivové dříví apod. |
| | Genetické zdroje – pro šlechtění, pro boj se „škůdci“ apod. |
| | Medicínální zdroje – léčivé rostliny a přírodní látky apod. |
| | Ornamentální zdroje – dekorační materiály apod. |
| 4. Kulturní | Podpora výchovných, emočních, poznávacích a psychologických procesů a pohody: |
| | Rekreace (jakožto odpočinek). |
| | Estetika (jako potěšení z fungující přírodní krásy). |
| | Výchova (vedoucí k chápání ekosystému a místa člověka v něm) a věda. |
| | Duchovní a historické povědomí (od historického významu po pocit příslušnosti k určitému místu / krajině). |

Tabulka 2: Ekosystémové služby – překlad a redakce podle [20].

Pokud pomineme Skupinu 1 (Podpůrné služby) jako „globální úroveň“, již ve skupině 2 vidíme standardní nezastupitelné funkce vodních toků, ať je pojmáme samostatně nebo jako nedílnou součást krajiny (viz kap. 4.2.). Funkce toku jsou zatím v legislativě pojímány méně obecně, spíše na úrovni skupiny 3, uvažující vodu jako komoditu. V systému zdánlivě chybí přímý vliv užívání vody na lidské zdraví (potrava, hygiena) a na rozvoj lidské společnosti. Nezanedbatelnou částí je kapitola 4, služby „kulturní“. Sem patří přinejmenším vzhled toků, jejich údolí a vody v nich, určující chuť někde žít a tím určující další sociální aspekty chování lidské společnosti. Zdravotní pohoda může být zahrnuta i do této skupiny služeb, mimo ekonomickou skupinu 3, řešící primárně spíše nedostatek vody, než vlastní sucho.

3.3 Dopady odpadních vod na jakost povrchových vod v době sucha

Dopady na jakost povrchových vod v době sucha jsme v kapitole 3 rozdělili na změny fyzikální resp. hydromorfologické (3.2) a na vliv vypouštění odpadních vod z bodových zdrojů (3.3), s tím, že oba vlivy působí synergisticky - jak na vodní tok jako ekosystém, tak na parametry jakosti a využitelnosti vody (3.4). Tyto vlivy považujeme jednoznačně za negativní. V dalším uvedeme hlavní položky těchto mechanismů, které lze sledovat, kontrolovat a případně různými nástroji zmírňovat. Pokud jsou zmiňovány mechanismy v legislativní sféře, jsou míněny jen jako doporučení pro odborníky. Pro nebodové zdroje předpokládáme, že v době sucha nejsou aktivní (snad s výjimkou sedimentace prachu na vodní hladiny apod.), ale mohou ovlivnit transport komunálních odpadních vod kanalizací do ČOV a mohou působit problémy v období konce sucha, tj. za významných srážek po delší době sucha.

3.3.1 Vliv klasického znečištění na jakost vody v tocích za sucha

Klasickým znečištěním se míní přísun organického uhlíku (jako CHSK-Cr, BSK-5) rozpuštěných a nerozpuštěných látek (TDS, TS), rozpuštěných anorganických solí (RAS) a sloučenin fosforu (P-celk, P-PO₄) a dusíku (N-org, N-NH₄, N-NO₂, N-NO₃). Většina ČOV v ČR dnes zásadně snižuje hodnoty CHSK a BSK v odpadní vodě a jejich vypouštění neovlivňuje jakost vody v recipientu nijak zásadně. Platí to především pro ČOV se stálým provozem a obsluhou, a platí to samozřejmě za běžného rozpětí průtoků v recipientu. Za sucha může být tento vliv zásadní, i při splnění náležitostí vydaných povolení k vypouštění atd. Nerozpuštěné a rozpuštěné látky se chovají v toku různě, rozpuštěné látky (jako TDS nebo RAS) jednoznačně zvyšují obsah solí a elektrickou konduktivitu v toku, za sucha bezpochyby významně. Fosfor v odpadní vodě je významným faktorem eutrofizace, tedy

zvyšování primární produkce v toku – jako makrovegetace nebo fytoplanktonu na dolních tocích a v nádržích. Dnes se obecně přijímá názor, že většina celkového fosforu v tocích pochází z bodových zdrojů, takže jeho přísun do toků za sucha může být i proti dnes neuspokojivé situaci extrémní -zejména v kombinaci s hydromorfologickými změnami (3.3).

Dusík je dnes v ČOV zčásti denitrifikován a vypouští se s odpadní vodou jako dusičnan (N-NO₃) – z velkých a dobrých ČOV, u řady malých ČOV se objevují významná kolísání atd. Vypouštění amoniakálního dusíku vede obecně k otravám ryb apod., takže by za sucha mělo být zvláště kontrolováno a trestáno. Dnes se obecně přijímá názor, že jen cca 20% N-NO₃ v tocích ČR pochází z bodových zdrojů, ostatní přísun je „z krajiny“ [21]. Dusičnan je, na rozdíl od amoniakálního dusíku, relativně velmi stabilní a prakticky jediným procesem, který vede k jeho odstranění ze systému, je denitrifikace – mikrobiální redukce na dusitan a pak na plynné produkty, tj. plynný dusík a současně zčásti také na oxid dusný (skleníkový plyn!). V tocích s dostatkem rozpuštěného kyslíku (s nízkým BSK-5 atd.) je dusičnan celkem beze změn transportován až do moře, protože se v nich netvoří anoxické podmínky podporující denitrifikaci v řece [21]. Za sucha ovšem může dusičnanový dusík z bodových zdrojů významně podpořit primární produkci a navíc bude s velkou pravděpodobností docházet i k denitrifikaci, protože kyslíkové podmínky budou narušeny rozkladem organické hmoty vytvořené v korytě primární produkcí (rozklad makrovegetace a fytoplanktonu). Navíc lze očekávat, že se mezi primárními producenty prosadí sinice (cyanobaktérie), které jsou schopny fixovat dusík ze vzduchu, a jeho přísun do systému se zvýší.

I dnešní „kontrolované“ vypouštění klasických složek znečištění tedy bude mít s velkou pravděpodobností významný negativní vliv na úseky toků pod čistírnami odpadních vod.

Zvýšené teploty a zvýšené koncentrace odbouratelného organického uhlíku bezpochyby vytvoří příznivé podmínky pro rozvoj některých patogenních organismů (eukaryot i bakterií), které v současném systému odvádění a čištění odpadních vod nebyly nebezpečné.

3.3.2 Specifické organické polutanty

Specifické organické polutanty se dom komunálních odpadních vod dostávají po použití – jako léčiva, masti, kosmetické prostředky, prostředky pro hygienu a údržbu domácností atd. Výskyt některých se během ročního cyklu mění (opalovací krémy, repelenty, antidepresiva, antirevmatika), obecně je však jejich přísun do kanalizace a dále do ČOV stálý. Základní problém je zde

- velký počet látek, které připadají v úvahu a
- náročnost a cena jejich stanovení, a také

- problémy s interpretací jejich výskytu, významností a hodnocení působení na systém.

Řada těchto látek se v ČOV nebo v řece degraduje na další meziprodukty, které mají odlišné vlastnosti (fyzikální, chemické i biologické) a často vyžadují i odlišné metody detekce. Metodiky stanovení se rychle vyvíjejí a někdy zpětně dokazují, že některé hromadně používané (a rezistentní a vypouštěné) látky byly přehlíženy, jako triclocarban vedle triclosanu, běžné desinfekční přísady saponátů [22]. Jedním z problémů přístupů k těmto látkám je historie přístupu ke znečištění – ukazatele znečištění uvedené v kapitole 5.1 považujeme za standardní, zatímco u „nových“ polutantů se očekává, že jejich „nebezpečnost“ bude prokázána. U látek s vysokou biologickou aktivitou jako farmaka je obyvatelstva obava před kontaminací vody, zejména zprostředkovaně vody pitné, primární, u dalších látek je už tento vztah méně vyhraněný. Problém je jednak v tom, že farmaka apod. jednoznačně přispívají ke zdraví (a nelze je proto omezovat) a další látky přispívají ke komfortu atd., jednak v tom, že případné metody hodnocení jejich vlivu na ekosystémy jsou založeny stále ještě na stanoveních typu toxicity, která z principu nedávají použitelné výsledky. Významným endokrinním disruptorem je přitom např. Bisfenol A, případně další bisfenoly, přítomný v podstatné části obalů potravin a nápojů, ze kterých se běžně uvolňuje do obsahu.

Některá farmaka se v ČOV i v řece celkem běžně odbourávají (není ale většinou jisto na jaké meziprodukty), ale při jejich masové spotřebě jsou jejich koncentrace v řekách stále významné (ibuprofen – spotřeba v ČR > 150 tun/rok, koncentrace ve Vltavě a Labi ve stovkách ng/l). Některá farmaka jsou prakticky zcela rezistentní (karbamazepin), u jiných jsou názory rozporné. Diklofenak je řadou autorů tradičně považován za velmi rezistentní (odbouratelnost v ČOV max. do 20%), objevují se ale i data o jeho slušné degradabilitě. Je ovšem fotosenzibilní, takže se v řece postupně degraduje. Tyto rozpory mohou být způsobeny i stálým zlepšováním a zpřesňováním analytických metod.

Situace za sucha mohou vést ke zvýšení rychlosti a efektivnosti degradace specifických organických polutantů, zejména:

- projeví se vyšší obsah běžného organického uhlíku (vypouštění, primární produkce) pro kometabolizmus specifických organických látek (kometabolizmus je degradace „neobvyklých“ substrátů podmíněná současnou degradací standardních energetických substrátů),
- budou se střídát teploty a aerobní a anaerobní podmínky,
- poroste doba zdržení kontaminované vody v profilu pod vypouštěním,
- v systému se udrží „nové“ mikroorganismy atd.

Tyto efekty budou velmi rozdílné za různých ročních období. Na druhé straně budou při stálém vypouštění koncentrace specifických polutantů v toku za nízkých průtoků obecně vyšší, s vyššími účinky na biologickou složku ekosystému, a s vyššími účinky při užívání vody – při odběru k různým účelům, při infiltraci do podzemních vod pro získání pitné vody, nebo při dotaci vodárenských i dalších nádrží [23, 24, 25, 26]. Není totiž pochyb o tom, že zdrojem specifických polutantů jsou (s výjimkou agrochemikálií a občasných havárií) řeky, do kterých se vypouští z komunálních ČOV. Současné praktické metodiky úpravy vody na pitnou nejsou zaměřeny na účinnou eliminaci farmak a dalších specifických polutantů [27], takže riziko pro populaci může být závažné – přinejmenším v oblasti podvědomé jistoty obyvatelstva, že používá „zdravou“ pitnou vodu. Soustředění „ochrany“ na vodárenské technologie by ale vedlo k oslabení „ochrany“ zdrojů na řekách apod. není to tedy řešení.

3.3.3 Návrh aktivit ke sledování dopadu polutantů a změn v tocích

Jak vyplývá z předchozích kapitol, nelze při sledování vlivu polutantů na tok za sucha rozdělit vliv vlastního vypouštění resp. působení jednotlivých polutantů na ekosystém a jakost vody a vliv hydromorfologických změn vyvolaných v toku vlastním suchem. Dále je třeba uvažovat o (hydrologickém) suchu, které postihuje řeky jako systémy a nezaměřovat je s nedostatkem vody, který se běžně řeší „technicky“ (transport vody, úspory, cenová a legislativní politika). Sucho může přijít i v zimním období, je tedy nutné sledovat (a modelovat) situace v celém sezónním cyklu.

Data: K získání základny pro hodnocení působení sucha na vodní toky je především třeba mít k dispozici data. V současné době jsou k dispozici pouze systematicky sbírané údaje o jakosti vody v tocích, které ovšem od roku 2008 nejsou veřejně přístupné (databáze AROW ČHMÚ). Rovněž údaje o vypouštění z ČOV jsou veřejně dostupné jen zčásti, na rozdíl od měsíčních hodnot dat o jakosti vody jsou reportovány jen roční sumy. Lze ovšem předpokládat, že vypouštění je během roku rovnoměrné. Rovněž nejsou veřejně k dispozici podrobnější data o průtocích v zájmových profilech. Pro sledování změn jakosti vody za sucha je tedy třeba získat přístup k těmto třem skupinám již existujících dat. Pro posouzení závažnosti vypouštění odpadních vod v jednotlivých profilech říční sítě ČR je třeba znát kromě vlastního vypouštění také chod průtoků v profilech vypouštění – ta lze odvodit analogií podle měřených profilů, což již bylo experimentálně využito pro orientační bilanci [10].

Limity sucha: Pro stanovení vlivů hydromorfologických změn i vlivu znečištění je třeba mít alespoň pracovní představu, jak bude stanovena úroveň „sucha“ pro jednotlivé zájmové profily nebo úseky toků. V době zpracování návrhu činností ke sledování sucha není třeba pracovat s legislativně platným „číslem“, stačí odborně navržená pracovní hodnota. Podle

toho se bude řídit rozsah modelovaných podmínek apod. Samozřejmě z toho také vyplývají další socioekonomické předpoklady, na základě kterých budou státní orgány postupovat v boji proti vlastnímu suchu a ke zmírnění jeho dopadů.

Tři základní směry/pohledy na řešení problému:

1. Jak se budou během „sucha“ měnit průtokové poměry a s nimi hydromorfologické charakteristiky na jednotlivých zájmových úsecích toků. Takových „úseků pod vypouštěním“ je v ČR více než 1000 a se suchem vynikne i problém jejich délky. Navíc tento problém platí i pro úseky přímo nezasažené vypouštěním.
2. Jak budou během sucha pracovat nebodové zdroje – jak bude fungovat „vyplachování“ z nebodových zdrojů.
3. Jak budou během sucha pracovat bodové zdroje (včetně kanalizace !) a jak bude během sucha fungovat „ředění“ výtoků z bodových zdrojů.

Základní požadavky na směry sledování:

- Jak bude v podmínkách sucha postupovat fragmentace toku a jak bude fungovat podélný transport v korytě, zejména v souvislosti se znečištěním. Jak se to bude projevovat v řekách, ve zdržích a nádržích a v intravilánech obcí.
- Jak budou významné denní změny teploty vody působit na standardní charakteristiky jakosti vody a na vodní ekosystémy.
- Jaký bude vliv zvýšené eutrofizace toku ovlivněného suchem – s vyšším přísunem živin a s posunem hydromorfologických podmínek k systému podporujícího primární produkci v toku a ve vysychajícím korytě. Problém se zatím týká hlavně údolních nádrží, se suchem přejde i na další úseky toků.
- Specifikace změn faktorů podporujících samočištění v toku v podmínkách hydrologického sucha a posouzení rizika vzniku silně zatížených úseků pod výpustěmi čištěných odpadních vod.
- Zjištění možností snižování dopadu hydrologického sucha na toky (nadlepšování průtoků, snížení přísunu znečištění) a limity obnovy ekosystémů po obdobích sucha

Možná opatření v užívání vody:

Bilanční úvaha o spotřebě pitné vody pro jiné účely než přímo pitné. Tato voda by nemusela být odebrána ze zdrojů a zůstala by v přírodním oběhu a vracela by se do toku až po „několikerém použití“. Věc má dva směry:

Eliminace používání pitné vody v průmyslu (ne přímo ve styku s potravinami), její recyklace, používání k čištění komunikací atd. Je nutno uvážit, že vodu v průmyslových zařízeních nelze recyklovat neomezeně, protože se v ní bude zvyšovat obsah solí apod., a nakonec

musí být vypuštěna jako významněji znečištěná, než při jednorázovém použití. Sem patří také úsporný režim zavlažování městských parků apod.

Podpora recyklace vody v domácnostech v jednotlivých sídlech a „ostrovech“, tj. akumulace a zasakování dešťové vody ze střech, možnosti jejího využití, dále využití šedé vody apod. Jakkoliv je tato činnost velmi populární, nese s sebou značná hygienická rizika a vyžaduje odborně provedené instalace a také hygienickou osvětu. Rozšíření na větší systémy než omezené „ostrovy“, nebo dokonce napojení na standardní vodovodní síť je vysoce rizikové.

Se suchem vzniká ještě jedna možnost či riziko – vyčištěné odpadní vody nebudou vypuštěny do toku, ale odvedeny jinam, např. na závlahy. Tento přístup se praktikuje v řadě zemí a oblastí, zejména aridních. Ovšem, pokud by obce poskytly nebo prodaly své vyčištěné odpadní vody třetí straně, místo dosavadního vypouštění do toků, mohlo by to dále významně snížit průtoky v korytech. Tím vzniká nová otázka nakolik je tato možnost za sucha „žádoucí“ a v případě závěru, že není, tak by bylo rozumné vypracování koncepce jak to omezit nebo kontrolovat na úrovni hospodaření s vodou, případně i řešení dopadů do dotační politiky.

4. Vliv bodových zdrojů znečištění na vodní toky za sucha

4.1. Mechanizmy působení různých typů bodových zdrojů

Bodové zdroje znečištění je obecně možné rozlišit do dvou základních skupin:

- Komunální zdroje znečištění - zde je ovšem třeba další rozlišení podle druhu kanalizace, tedy na zdroje s jednotnou nebo oddílnou kanalizací. Komunální zdroje odpadních vod (a to především ty největší a nejvýznamnější) obvykle obsahují vedle odpadních vod od obyvatel, vod z odtékajících z veřejných institucí (školy, úřady, nemocnice atp.) a vod ze služeb pro obyvatele, které se charakterem příliš od odpadních vod obyvatel příliš neliší (ubytování, stravování, malé prádelny a čistírny, popř. výroby potravin a vývařovny), také odpadní vody z průmyslových podniků v aglomeraci.
- Průmyslové odpadní vody, tzn. případy, kdy je zvláštní kanalizace z velkého průmyslového závodu zaústěna (po vyčištění) do recipientu. Může jít i o společný odtok a čištění s odpadními vodami městskými pokud převážná část vod je z průmyslu. U průmyslových odpadních vod je současný (a velmi správný trend) směřován k omezení množství vypouštěných odpadních vod (recyklace vod) a zlepšení kvality (samostatné čištění před vypouštěním do veřejné kanalizace). To se týká jak průmyslových odpadních vod čištěných samostatně, tak i těch, které jsou čištěny společně s městskými odpadními vodami (obvykle menší zdroje průmyslových odpadních vod). Je třeba zdůraznit, že efekt recyklace odpadních vod v průmyslových závodech nevede jednoznačně ke snížení zatížení životního prostředí (recipientu) znečištěním. Během recyklů dochází ke koncentraci znečišťujících látek v provozní vodě, která postupně přestane být použitelnou pro provoz a je ji třeba vypustit. Koncentráty vzniklé při úpravě vody k jejímu znovupoužití obsahují znečištění ve vysokých koncentracích a to především rozpuštěných látek – snižuje se tedy objem vypouštěných vod, ale roste „koncentrace“ a celková dávka vypuštěného znečištění obecně zůstává stejná. V případě vypouštění přes komunální ČOV to může vést i k dalším problémům, v období sucha především.

Postupy čištění odpadních vod z jednotlivých průmyslových výrob jsou pestré a je mimo rozsah této zprávy se jimi zabývat systematicky. Je třeba zdůraznit nutnost přísného postupu při požadavcích na kvalitu a množství vypouštěné odpadní vody z průmyslu v období sucha a to včetně případného přerušování výroby popř. vypouštění odpadních vod (tzn. jejich dlouhodobé akumulaci). Tato opatření není možné aplikovat u komunálních odpadních vod, a proto je nutné hledat technologická řešení, která mohou zlepšit funkci ČOV v době nízkého průtoku v recipientu. Samozřejmý je předpoklad, že ČOV za normálního stavu (dodržování předpisů za běžného rozsahu průtoků v recipientu atd.) splňuje požadavky povolení

k vypouštění odpadních vod. Kvalitu vody v toku ovlivňuje bodový zdroj komunálních odpadních vod (s vysokou účinností na odstranění ChSK, BSK atd.) zejména eutrofizací čili zatížením toku nutrienty (dusík, fosfor), a dále pak anorganickým znečištěním (především kovy, ale i solemi rozpuštěných látek). Další významný faktor je znečištění specifickými organickými polutanty (rezidua léčiv, drog, insekticidů a pesticidů, kosmetických a pracích přípravků, souhrnně nazývaných PPCP), které se *po použití* dostávají z domácností do komunálních odpadních vod. Jde vesměs o látky, které nelze odstranit používanými (byť i špičkově navrženými a provozovanými) postupy dnešního standardu mechanicko-biologické technologie čištění odpadních vod.

Technologické postupy, použité ke zlepšení stavu odtoku, by měly být provozuschopné sezónně a s rychlým startem provozu, čímž je možné dosáhnout udržení současného stavu v době mimo režim sucha a zároveň být připraven dlouhodobě na situaci, kdy bude nutné doplňující technologie uvést do provozu.

Tato technologická opatření se týkají dvou hlavních skupin čistíren odpadních vod. Velkých a středních ČOV vypouštějících do toků, ve kterých je v době sucha průtok srovnatelný s množstvím odtékajících odpadních vod. A také malých a nejmenších ČOV, vypouštějících odpadní vody do malých toků, často s přísnými požadavky na ochranu vzhledem k místním podmínkám, požadavkům na ochranu přírody, z hygienického hlediska, s rizikem vysychání apod. Obecná analýza „příspěvků“ vypouštění z komunálních ČOV k průtoku v tocích ČR je uvedena v kapitole 3. Pro první skupinu ČOV jde vesměs o zařízení technologicky složitá s vysokými provozními a (obvykle) i investičními náklady, přičemž je nutné požadovat po provozovateli nejméně jednou ročně ověření funkce těchto technologických opatření za úplného provozu.

U druhé skupiny jsou možná i velmi primitivní řešení, obvykle související s tzv. alternativními způsoby čištění, takže pokud nedojde k výraznému nárůstu **provozních** nákladů, je možné ČOV provozovat setrvale po úpravě s lepším efektem (tedy i mimo suchá období), ovšem v režimu s menším dohledem.

4.2. Funkce (specifické změny funkce) komunálních zdrojů za sucha

Přítok vody do ČOV sestává ze dvou složek – odpadní vody vznikající použitím (znečištěním) pitné vody (v zásadě konstantní po celý rok) a další vody – balastní, dešťové atd. Většina kanalizačních systémů (postavených po roce 1990) je oddílná, nicméně stále existuje množství aglomerací se společnou kanalizací (tj. včetně dešťové).

Dá se očekávat, že v době sucha poklesne množství přitékajících odpadních vod na jednotné i oddílné kanalizaci – vedle nedostatku vod dešťových půjde i o důsledek

předpokládaných úsporných opatření ve spotřebě pitné vody. V oddílné kanalizaci v období sucha dojde i ke snížení objemu tzv. balastních vod (vlivem poklesu hladiny podzemní vody a také snížení průtoků vody pitné a tím i snížení jejich ztrát). Je ovšem možné, že naopak dojde k úniku vod z kanalizace do podzemních vod (a nelze úplně vyloučit ani průnik do vodovodů) v místech současného průsaku balastních vod a vod pitných do kanalizace.

Kromě omezení, dosaženého v rámci regulace provozu průmyslových zdrojů vypouštějících odpadní vody do veřejné kanalizace, tedy nedojde ke snížení celkového množství znečištění od obyvatelstva, dá se ale očekávat zvýšení přitékající koncentrace odpadních vod. Na tomto místě je třeba zdůraznit jediný rozdíl mezi kanalizací oddílnou a jednotnou. Pokud je aglomerace odkanalizována jednotně, je třeba v rámci řešení problematiky sucha (v dlouhodobém bezdeštném období) zvážit i nutnost proplachu kanalizace dimenzované na větší objemy odpadních vod. Jde o to, že spád společné kanalizace není dostatečný k tomu, aby docházelo k dokonalému proplachování kanalizace v bezdeštném období (maximální průtoky nejsou dost veliké). Navíc v období sucha dojde vzhledem k šetření užitkovou vodou u obyvatelstva ještě ke snížení průtoků a obecně ke zvýšení koncentrace sedimentovatelných látek v odpadní vodě. K proplachování kanalizace je možné použít vyčištěnou odpadní vodu a je tedy třeba uvažovat i možnosti její akumulace k tomuto účelu. Další využití odpadních vod v suchém období jako vod užitkových (hasební použití, závlahy) je třeba konzultovat s hygieniky a z hlediska ochrany životního prostředí takovéto využití spíše omezit (nebo rovnou nepovolovat). V tomto případě totiž dojde ke snížení odtoku do recipientu a tím i k omezení kladného vlivu množství vypouštěných vyčištěných odpadních vod na množství vod ve vodních tocích.

Významným faktorem při řešení situace během sucha bude i financování provozu ČOV a kanalizací. Protože dojde k poklesu spotřeby vody, dojde i k poklesu objemu peněz financí vybraných v rámci stočného, přičemž provozní náklady na ČOV vzrostou nezanedbatelným způsobem. Je třeba se na tuto situaci připravit patrně i legislativně. Zvýšené náklady na čištění odpadních vod v období sucha by však měly být vyrovnávány z jiných fondů než z provozu vodovodů a kanalizací.

4.3. Technologické možnosti různých typů ČOV (a kanalizací) ke snížení vypouštěného znečištění

Je třeba vzít na vědomí, že v mnoha případech byly v devadesátých letech minulého století rekonstruované ČOV navrhovány na větší průtok a i větší látkové znečištění než je současný stav. Bylo to proto, že v době, kdy byly rekonstrukce navrhovány, byl očekáván vyšší demografický rozvoj, nepočítalo se s útlumem průmyslové výroby (a ani s rekonstrukcí

průmyslových výrob spojenou s úsporou spotřeby vody) a také s výrazným poklesem spotřeby vod obyvateli způsobeným důsledným měření spotřeby a zdražením ceny vody. Proto jsou velké ČOV mnohdy provozovány s omezením plánovaného výkonu, v některých (nijak vzácných) případech existuje rezervní technologické zařízení (popř. celá část technologické linky), která je trvale mimo provoz. Možností využití těchto rezerv se budeme zabývat v další kapitole.

Existuje několik možností doplnění technologie biologického čištění odpadních vod s cílem zlepšit kvalitu vyčištěné vody. Neuvádíme zde postupy intenzifikace mechanicko-biologického čištění úpravami vlastní linky, protože jde obvykle o procesy, které nelze provozovat sezónně a pokud to stav recipientu a kvalita odtoku z ČOV vyžaduje (tedy tam kde ČOV nesplňuje požadavky pro ochranu kvality povrchových vod již za normálního stavu průtoku v recipientu), bude nutné je nainstalovat při celkové rekonstrukci ČOV.

Postupy využitelné sezónně ke snížení vypouštěného znečištění:

- Obecně filtrační postupy
- Chemické srážení
- Sorpce na aktivním materiálu (aktivní uhlí, CINIS, BIOCHAR)
- Fyzikální metody (reversní osmóza, dezinfekce vody atp.)
- Kombinované chemicko-fyzikální postupy (fotokatalytická oxidace, oxidace peroxidem vodíku a ozonem)
- Alternativní biologické terciální čištění (včetně retence odpadních vod)

Ve většině případů jde o postupy použitelné pouze na velkých mechanicko-biologických ČOV. Přírodě blízké alternativní technologie jsou naopak (vzhledem k velkým vyžadovaným objemům pro realizaci) vhodné spíše pro malé zdroje odpadních vod.

4.4. Nové technologie

Zde uvádíme technologie, které by bylo nutné nově instalovat na ČOV jako terciální stupeň čištění. Jde tedy o zařízení, které vyžaduje např. výstavbu nových nádrží. Zároveň uvádíme stručný popis technologie, který se týká i další kapitoly, pokud je technologické řešení použitelné i při intenzifikaci ČOV bez výrazných stavebních úprav.

Filtrace: Mezi nejpoužívanější filtrační technologie při dočišťování odpadních vod lze zařadit filtraci na pískových a směsných (mixed media) filtrech, filtraci na mikrosítech a mikro až ultrafiltraci na membránách. Všechny uvedené technologie slouží k odstranění zbytkových koncentrací nerozpuštěných látek v odtoku zachycením na filtračním médiu. Snížením koncentrace nerozpuštěných látek dojde zároveň i k jistému zlepšení odtokových

koncentrací dalších ukazatelů znečištění (celkový dusík, celkový fosfor, CHSK). Na ČOV je třeba vybudovat na odtoku filtrační objekt s dalším vybavením podle druhu zvolené filtrace - v případě použití mikrosít a nebo membrán je nezbytná retenční nádrž na jejich osazení.

Pískové a směsné filtry jsou provozovány obdobně jako filtry vodárenské. Při filtraci dochází k zachycení nerozpuštěných látek na vrstvě zrnitého materiálu. Jako náplň se u pískových filtrů používá jemný štěrk a říční písek (často jejich kombinace – spodní vrstvu tvoří štěrk, vrchní, mocnější, vrstvu písek), u směsných filtrů se používá buď granulovaný plast, nebo speciální druhy písků. Technicky lze rozlišit tři typy filtrace: pomalá filtrace, rychlofiltrace, tlaková filtrace. Pomalá filtrace patří k nejstarším typům filtrace vůbec. Kromě odstranění nerozpuštěných látek dochází i k snížení počtu bakterií ve vodě. Jako náplň těchto filtrů se používá buď pouze jemný štěrk, nebo kombinace štěrku a písku. Technologicky nejúčinnější je horní vrstva filtru o mocnosti 1 – 2 cm, kde se při procesu čištění vytváří tzv. filtrační biologická blána. Regenerace těchto filtrů se provádí sejmutím vrchní vrstvy materiálu a nahrazením novým nebo vyčištěným. Rychlofiltrace je charakteristická cyklickým průběhem. Jako filtrační cyklus je označována doba, během které proběhne filtrační a prací fáze cyklu. Při filtrační fázi se na filtrační vrstvě zachycují znečišťující látky, během pracího cyklu se zachycené nerozpuštěné látky v krátkém čase odstraní protiproudem prací vody. Jako náplň se u pískových filtrů používá kombinace štěrku a písku, u směsných filtrů pak kombinace říčního písku, speciálních druhů písků a granulovaného plastu. Tlakové filtry se v zásadě podobají otevřeným filtrům, nádrž se zrnitým ložem je však nahoře uzavřená. To umožňuje provozovat filtraci s vyšším vstupním tlakem než u otevřených filtrů.

Další často využívanou technologií terciární filtrace odtoku je použití bubnových mikrosít. Principem fungování těchto zařízení je filtrace přes plachetku. Stejně jako u pískových filtrů se čištění filtračního zařízení provádí zpětným proplachem prací vodou. Slouží především zachycení nerozpuštěných látek při případném úniku aktivovaného kalu.

Ultrafiltrace: Používá se jako doplnění technologické linky o filtrační zařízení osazené do nové nádrže za nádrží dosazovací. Řešení může být určeno i jen pro část odtoku (míchání s vodou vyčištěnou jen s pomocí původní technologie). Výhodou tohoto systému je garance vysoké kvality vyčištěné vody, nevýhodou vysoké náklady a také neúčinnost při likvidaci biologicky neobdouratelných látek (mikropolutanty) v odtoku. V každém případě je třeba postavit další speciální nádrž k instalaci filtru (popř. využít nepoužívané – „rezervní“ nádrže aktivační či dosazovací). Výhodou je možnost trvalého osazení (do nádrže se bude čerpat odtok dosazovací nádrže jen v době sucha).

Dodatečné chemické srážení s filtrací (pískové filtry nebo ultrafiltry): Odstraňování fosforu z odpadních vod je dnes v naprosté většině zajišťováno chemickým srážením, a to

dávkováním solí železa a hliníku do aktivační směsi (simultánní srážení). Pokud bude chemické srážení aplikováno následně (do odtoku ČOV) má to několik výhod, ale i nevýhodu vyšších investičních nákladů. V tomto případě je vhodné vystavět další nádrž k čiření a filtraci chemického kalu (je možné využít i nevyužité části rezervní linky ČOV). Dále je nutné aplikovat následnou filtraci či mikro nebo ultra filtraci (včetně výstavby filtračních zařízení). Oproti simultánnímu srážení je možno dosáhnout ještě vyššího efektu, a to nejen odstranění fosforu, ale i dalších látek sorbujících se na vzniklý chemický kal. Ten je ovšem nutné likvidovat vhodnou formou (nejlépe jako kal z úpravy pitné vody) a počítat s jeho nezanedbatelným množstvím.

Sorpce a následná filtrace vyčištěných odpadních vod: funguje na principu hromadění (zachycení) rozpuštěné látky (adsorbátu) na povrchu tuhé fáze (adsorbentu). V technologii vody se nejčastěji jako adsorbent používá aktivní uhlí (práškové nebo granulované), lze ale použít i jiné sorpční materiály jako elektrárenský popílek, škváru (u v ČR dříve velmi propagovaného materiálu CINIS – šlo o „definovaný“ materiál na bázi popílku) nebo látky na bázi organických polymerů (kopolymery styrenu a divinylbenzenu, estery kyseliny akrylové). Pomocí vrstvy sorpčního materiálu na povrchu pískového lože lze intenzifikovat výše popisovaný proces pomalé filtrace. Při výběru druhu sorpčního materiálu hraje nezanedbatelnou roli jeho cena. Proces sorpce ovlivňuje množství faktorů, např. průměr (velikost) částic adsorbentu, koncentrace adsorbátu, pH, teplota, molekulová hmotnost a další specifické vlastnosti sorbované látky. Sorpce je využívána pro odstranění látek karcinogenních a mutagenních, látek obtížně biologicky rozložitelných, případně látek způsobujících pachové problémy. Jedná se především o zbytkové koncentrace organických látek (chlorované aromatické uhlovodíky, pesticidy), těžké kovy, volný chlor atp. Při sorpci může dojít k zachycení buď celých molekul látky (molekulová sorpce) nebo přednostně některých iontů (iontová sorpce), při iontové sorpci pak může probíhat i další fyzikálně-chemický děj (výměnná sorpce, hydrolytická sorpce). Na základě sil, které poutají rozpuštěnou látku k povrchu tuhé fáze, rozlišujeme sorpci fyzikální, chemisorpci a iontovou sorpci. Problematickým bodem této technologie se může stát regenerace, případně likvidace vyčerpaných sorbentů. Obecně jde o postup, který výrazně zvyšuje účinnost čištění. Nevýhodou je, vedle nutnosti výstavby kompletního technologického zařízení (včetně filtrace), i nutnost manipulace a zpracování použitých sorpčních materiálů. Podrobněji uvádíme možnosti použití materiálu BIOCHAR, který má za sebou dlouhodobé zkoušky i v oblasti zneškodňování odpadních vod.

Jedna z možných technologií dočišťování odpadních vod, použitelná pro přechodná období, kdy je třeba dále snížit zatížení toků/recipientů vypouštěným znečištěním, je spojena se současným rozvojem využití částečně pyrolyzované biomasy, standardně nazývané Biochar

(česky občas „biouhel“). Proces přípravy tohoto materiálu odpovídá klasické historické výrobě dřevěného uhlí – část organického uhlíku odejde jako plyny (energeticky využitelné), případně jako kapaliny (dehet) a pevný podíl se dále využívá – jako palivo, jako přírůdek do kompostů a přímo do zemědělské půdy (zlepšení její kvality + sekvestrace uhlíku) a také jako účinný sorbent, využitelný i pro čištění odpadních vod. Vlastnosti biocharu jsou určeny surovinou, ze které se připravuje a řízeným režimem pyrolýzy, která je obecně energeticky pozitivní (využijí se unikající plyny). Režim pyrolýzy také určuje udržení nebo vytěkání některých minerálních i organických polutantů (a kovů), nebo také fosforu a dusíku a tím využitelnost biocharu. Pro pyrolýzu je využitelný také kal z ČOV, upravený (sušením, centrifugací) na obsah cca 25% sušiny. Termín Biochar je obecně používán pro materiál s více než 50% uhlíku [28], takže pro materiál vyrobený z aktivovaného kalu by měl být používán spíše termín PCM (Pyrogenic Carbonaceous Material), zde zatím zůstáváme u použití běžného termínu a dále už jej „píšeme“ s malým písmenem na začátku.

V odborné literatuře je k dispozici řada publikací potvrzující praktickou využitelnost biocharu pro čištění odpadních vod – od sorbentu na kovy apod., po přímé čištění odpadních vod – komunálních nebo ze zemědělských a potravinářských provozů [29,30,31,32]. Mechanismy „čištění“ jsou popisovány jako sorpce, ale i inaktivace různých typů polutantů – od nespecifického komunálního znečištění po řadu specifických polutantů. Aplikace spočívá v kontaktu odpadních vod s biocharem (v koloně/filtru, v nádrži apod.) a jeho následné separaci, pokud se pracuje se suspenzí. Technické problémy spojené s tímto „stupněm“ nejsou dovedeny ke standardním modelům technologií, ale nevyžadují instalaci nákladných zařízení. Protože biochar lze rozumně aplikovat v čistírenském provozu a také skladovat a dále použít (např. pro přímou aplikaci do půdy, kdy významně zlepšuje půdní vlastnosti a jako je významným zdrojem fosforu), lze jej použít pro dočištění již standardně vyčištěných odpadních vod v situacích, kdy je třeba dále omezit zatížení recipientu. Podstatné pro rozvoj těchto technologií je navíc to, že při přímé aplikaci do půdy je to perspektivní způsob sekvestrace uhlíku, kromě již uvedené recyklace fosforu [33,34]. Při aplikaci po řízeném spálení zbytku organického uhlíku v biocharu se odstraní také organické polutanty, takže jej lze použít i jako minerální hnojivo s vysokým obsahem fosforu. Problém zůstává u kovů v kalu, protože jejich koncentrace v mineralizovaném materiálu s odstraněním organického uhlíku samozřejmě významně stoupá a jen některé vytěkají při řízené mineralizaci kalu či biocharu [35]. Technologie využití biocharu pro dočišťování odpadních vod a recyklaci fosforu se ovšem intenzivně rozvíjejí a měly by být podporovány i jako možný prostředek pro řešení rizikových situací.

Technologie elektro-impulsního čištění odpadních vod nebo elektro flotace: Tyto postupy nelze aplikovat jako třetí stupeň čištění ale nanejvýše jako intenzifikační opatření na

přítoku odpadních z průmyslového závodu na ČOV a nejlépe přímo při čištění těchto odpadních vod před vypuštěním do veřejné kanalizace.

Reverzní osmóza: je jedním z řady membránových procesů, využívajících k separaci látek rozpuštěných v kapalině semipermeabilní membránu, která je propustná pro vodu a zachycuje mikroorganismy, koloidy, ionty rozpuštěných solí i molekuly organických látek. Jedná se o prvotřídní technologii, která nachází uplatnění v mnoha oborech nejen z hlediska svých technických možností, ale i s ohledem na další skutečnosti. Výhodou použití reverzní osmózy je, že separace probíhá při teplotě, kdy nedochází k poškození termolabilních látek (separace bílkovin, enzymů, antibiotik), dále že za provozu reverzně osmotického zařízení nevznikají obtížně likvidovatelné látky, provoz RO stanic lze velmi efektivně řídit a kontrolovat moderními řídicími prostředky s vyloučením obsluhy. Nevýhodou jsou vysoké provozní náklady a relativně malý výkon dostupných zařízení. Jako přídatnou technologii pro čištění části odtoku z ČOV je možné toto zařízení použít. V každém případě je pro vypouštění do toku nevýhodou stav, kdy vyčištěná voda je kvalitou velmi blízká vodě destilované a proto je její vypouštění do toku nutné regulovat tak, aby vzniklá povrchová voda nebyla příliš měkká a agresivní. Tím jsou také dány meze použití této metody. Další nevýhodou je nutnost likvidace koncentrátů obsahujících extrémní koncentrace rozpuštěných látek a samozřejmě i znečištění.

Destilace vody a zahušťování kalů: obdobně jsou na tom další ve světě v některých extrémních případech používané fyzikální metody čištění odpadních vod a to **destilace vody a zahušťování kalů**. Náklady na provoz a zařízení (odpařování vody a chlazení destilátu) a likvidaci koncentráту v tomto případě v našich klimatických podmínkách i v období sucha převyšují výhody jednoduchosti a spolehlivosti metody, která se standardně používá ve státech s chronickým nedostatkem (sladké) vody a levnými zdroji energie.

Oxidační procesy (AOP – advanced oxidation process): mezi kombinované chemicko-fyzikální postupy patří oxidace peroxidem vodíku. Jde o způsob dočišťování odpadních vod pomocí aplikace UV záření a aplikace peroxidu vodíku, zakončená filtrací nebo ultrafiltrací [36]. Dále jde o technologii oxidace vyčištěných odpadních vod ozonem, opět s následnou dodatečnou filtrací či ultrafiltrací. [37]. A v neposlední řadě o fotokatalytickou oxidaci, kdy je vyčištěná odpadní voda při aplikaci UV záření vedena přes katalyzátor oxid titaničitý s výsledkem rozkladu organických látek oxidací. Následně je opět vhodné provádět zachycení nerozpuštěných látek (a i katalyzátoru) na pískovém filtru či ultrafiltrací [27]. Všechny tyto technologie jsou velmi účinné, pokud jde o likvidaci reziduí organických látek typu tzv. mikropolutantů (např. léčiv, drog atp.), které nelze odstranit tradičními postupy mechanicko-biologického čištění odpadních vod. Jde o velmi provozně nákladné

technologie, které jsou nezbytné tam, kde stoupají koncentrace těchto látek v povrchových vodách a v budoucnu je bude nutné aplikovat ve velké míře vzhledem k ochraně vod [27].

Retence vody včetně terciálního biologického čištění: přichází v úvahu u menších ČOV. Zde se jako řešení nabízí dostavba tzv. biologického rybníku popř. s chemickým srážením iontů v odtoku z mechanicko-biologické ČOV. Jde o řešení trvalé, provoz biologického rybníku sezonně není obvyklý, a poměrně elegantní. Vyžaduje však vedle investičních nákladů i poměrně veliký prostor potřebný k výstavbě nádrže, proto je toto řešení prakticky nepoužitelné u větších čistíren odpadních vod.

Terciální biologické čištění: na menších ČOV je možno vybudovat jako třetí stupeň čištění i další alternativní biologické čistící technologie - **kořenové ČOV** a **zemní filtry**. Platí zde stejná omezení jako u biologických rybníků. Další nevýhodou těchto zařízení je (v našich klimatických podmínkách) nižší spolehlivost v době teplot vzduchu blízkých bodu mrazu [39].

Desinfekce vyčištěné vody: při desinfekci vyčištěné vody, pokud je provedena pomocí fyzikálně chemických postupů tedy UV zářením nebo ozonizací, dochází k odstranění mikroorganismů z odpadních vod, ale také k rozkladu některých biologicky běžně neobdouratelných látek rozpuštěných ve vyčištěné odpadní vodě. Na rozdíl od desinfekce provedené sloučeninami chloru, neobsahuje takto upravený odtok nežádoucí rezidua organických sloučenin chloru, i když eliminace některých nebezpečných organických látek může být jen částečná [38].

4.5. Možnosti „intenzifikace“ a zavádění „nových technologií“ na stávajících ČOV v ČR

V současné době jsou prakticky všechny ČOV velkých měst a obecně velkých zdrojů znečištění postaveny i provozovány tak, že splňují stávající legislativní požadavky. Protože jsou velké ČOV vzhledem k určitému naddimenzování při výstavbě mnohdy provozovány s omezením plánovaného výkonu, v některých (nijak vzácných) případech existuje rezervní technologické zařízení (popř. celá část technologické linky), která je trvale mimo provoz.

Je tedy možné bez zásadních stavebních investic zlepšit výkon ČOV pouhým zapojením neprovozovaných částí technologické linky do plného provozu. Otázka je, zda opravdu dojde k zlepšení kvality odtoku odpovídajícímu zvýšení provozních nákladů (může jít až o dvojnásobné zvýšení). Paradoxně se totiž při prodloužení doby zdržení v technologické lince bez změny zapojení technologie nedá očekávat výrazné zlepšení kvality vyčištěné odpadní vody a může dokonce dojít ke zhoršení některých ukazatelů (rozklad aktivovaného kalu v důsledku nízkého látkového zatížení). Lépe je tedy při využití dalších objemů k čištění upravit provoz ČOV a to cíleně podle potřeb recipientu [31,40,41].

Příkladem může být v případě požadavku na úplnou eliminaci amoniakálního dusíku prodloužení části ČOV, na které probíhá nitrifikace (případně zcela změnit režim ČOV jen na

nitrifikační, tedy provzdušovat i denitrifikační nádrže), s tím, že podle výsledků bude optimalizována doba zdržení v aktivačních nádržích tak, aby nedocházelo k rozpadu kalu.

Podobně je možné zmenšit objem sedimentace primárního kalu a tak zatížit lépe aktivaci (s prodlouženou dobou zdržení) a také zlepšit sedimentační vlastnosti aktivovaného kalu a snížit množství nerozpuštěných látek unikajících do recipientu.

Obecně je tato opatření třeba vyzkoušet a uvážit, zda postačují, protože použití terciálního čištění má mnohem lépe definované (a garantované) výstupy.

Ultrafiltrace jako intenzifikace ČOV – jde o doplnění technologické linky o filtrační zařízení, které je možné osadit do stávajících nádrží linky (aktivační nebo dosazovací). Řešení může být určeno jen pro část odtoku (míchání s vodou vyčištěnou pouze pomocí původní technologie). Výhodou tohoto systému je garance vysoké kvality vyčištěné vody, nevýhodou vysoké náklady a také neúčinnost při likvidaci biologicky neodbouratelných látek (mikropolutantů) v odtoku. V praxi je možné aplikovat následující zapojení:

- Instalace filtru v aktivační nádrži – v normálním hydrologickém období jen připravená konstrukce, do které se bude filtr osazovat a samozřejmě sám filtr (je nutná výměna během regenerace, takže je nutné mít provozní rezervu).
- Instalace filtru v dosazovací nádrži - je třeba vyřešit hydraulické aspekty osazení filtru tak, aby při filtraci dosazovací nádrž mohla fungovat jako zdroj zahuštěného kalu.

Opět by bylo výhodné filtr osazovat do nádrže jen v období sucha.

Obdobně je možno intenzifikovat ČOV osazením mikrosít na odtoku z dosazovací nádrže (tedy do ní). Oproti ultrafiltraci zachycuje filtrace přes mikrosíta (obdobně jako filtrace klasická) prakticky jen unikající nerozpuštěné látky v odtoku.

Simultánní srážení dávkováním sloučenin železa nebo hliníku do aktivační nádrže je standardní postup, který nevyžaduje kromě nákupu dávkovacích čerpadel a potřebných chemikálií žádnou další (stavební) investici. Zlepšení výkonu ČOV, týká se to ČOV všech velikostí, je zaměřeno na snížení koncentrace fosforu, dochází ale také ke zlepšení dalších parametrů znečištění v odtoku, nicméně nijak výraznému. Při volbě množství dávkovaných chemikálií je třeba brát v úvahu i vlastnosti aktivovaného kalu - při přehnané dávce může dojít k poruchám nárůstu kalu vlivem nedostatku fosforu.

Intenzifikace ČOV pomocí instalace sorpčního procesu přímo do technologické linky není vhodná, protože je v každém případě nutná následná filtrace a také řízení procesu není v tomto případě snadné, To se týká i sorpce aktivovaného kalu na nosičích z umělé hmoty.

Z méně obvyklých postupů využívajících reakce vody na aplikaci elektrického proudu uvádíme jako příklad **technologie elektro-impulsního čištění odpadních vod**. Tato

technologie se vyznačuje vysokou účinností při snižování uhlíkatého znečištění i při eliminaci nutrietů a při odstraňování nežádoucích látek jako jsou tuky, odmašťovací prostředky, ropa a ropné produkty. Princip činnosti zařízení spočívá v tom, že na kontinuální tok znečištěné vody je působeno silnými elektrickými a magnetickými poli. V reaktoru zařízení dochází působením impulsního elektromagnetického pole k disociaci molekul látek obsažených v odpadních vodách, v důsledku čehož se vytváří vazba molekul těchto látek na flokulační činidla a dochází k tvorbě makromolekul s vlastnostmi vhodnými k separaci. Nežádoucí látky z vody jsou pak odstraňovány ve formě flotační pěny a kalu odkalovaného z vlastní nádrže procesu a z dosazovací nádrže. Systém je používán podobně jako **elektroflotace** (kdy je navíc dávkováno i koagulační činidlo) k čištění (a předčištění) vysoce znečištěných vod s obsahem organických látek na bázi olejů a tuků. Je jej tedy možné aplikovat spíše jako předčištění odpadních vod z průmyslu.

Reverzní osmóza nebo **destilace** odpadních vod nepřichází jako intenzifikace procesů na velkých ČOV v úvahu (jak bylo zdůvodněno výše). Je ovšem možné v případě extrémní situace u malého zdroje znečištění použít tyto technologie s cílem naředit odpadní vody z několika zdrojů tím, že vodu jednoho z nich zbavíme všech tedy i znečišťujících rozpuštěných látek a výsledně se podaří dosáhnout potřebné koncentrace v recipientu. Tyto postupy ovšem vedou spíše ke „splnění limitů“, než k obecnému snížení znečištění toků za sucha.

Jako **retenční nádrže** s dodatečným srážením je možné využít tzv. dešťové zdrže na velkých ČOV, k čištění jen malé části odtoku z čistírny.

Terciální biologické čištění není na velkých ČOV použitelné, protože jde o příliš rozsáhlé objemy určující náklady potřebné k výstavbě technologie. Intenzifikace technologické linky zařazením těchto postupů jinam než jako třetí stupeň ostatně není možná.

Desinfekce vyčištěné vody přichází v úvahu jen jako rozšíření technologické linky, nikoli jako její vnitřní intenzifikace. Před vypuštěním do toku, zejména za sucha, je však nutno zajistit, aby odtok neobsahoval nové „produkty“ desinfekce jako např. chlorované látky či produkty UV-oxidace.

4.6. Požadavky na měření účinnosti a vypouštění (standardně a za sucha)

Oproti standardnímu sledování bude nutné pro všechny velikosti čistíren odpadních vod monitoring zhustit, a to jak ve frekvenci kontrolních měření (vzorkování atd.), tak v oblasti doby měření (vzorkování) tak, aby byl pod kontrolou i denní a týdenní cyklus. Kontrola dodržování požadovaných koncentrací znečištění v odtoku musí být co nejčtetnější, kromě zcela spolehlivých technologií založených na filtračních procesech, a musí být rozšířena, a to

především o sledování koncentrace mikropolutantů, popř. mikrobiálního znečištění. Vlastní nastavení nezbytného sledování bude ovšem individuální pro každou ČOV v závislosti na vlastnostech a „potřebách“ recipientu. Může dojít i k tomu, že relativně malý zdroj znečištění bude nutno sledovat podrobněji než jiný (velký) zdroj na suchem méně postiženém recipientu.

4.7. Ekonomické možnosti

Cenové relace jednotlivých postupů zlepšování kvality vyčištěné odpadní vody souvisí s tím, zda bude nutné provést rozsáhlé investice stavební, nebo bude stačit jen investovat do technologie. V každém případě dojde ke zvýšení nákladů jednak jednorázově (nákup strojně-technologického vybavení a jeho instalace, případně investiční výstavba), dále také pravidelně při předepsaných zkouškách zařízení (zvýšení nákladů za energii, chemikálie, monitoring atp.), a to i pokud nebude vyhlášen stav ohrožení suchem. V době sucha budou nezbytné provozní náklady samozřejmě vyšší, protože budou vynakládány dlouhodobě. Je třeba mít na paměti, že běžné zdroje provozovatelů (tzn. vodné a stočné) budou vzhledem k opatřením v době sucha zaměřeným na úsporu spotřeby pitné vody klesat a bude třeba nějakým způsobem zabezpečit provoz ČOV i finančně.

Důležité je v každém případě nepaušalizovat řešení, ale vždy vycházet z místních podmínek - tedy z množství a kvality vyčištěné vody odtékající ze zdroje a ze stavu recipientu v době sucha. Záleží především na tom, který typ znečištění je třeba eliminovat přednostně.

Řešení technologie na velkých ČOV bude vždy nákladné jak investičně tak i provozně, ale je možno jej aplikovat jen na část odtoku určenou výpočtem dle směšovacích pravidel a tím náklady snížit. Menší ČOV mohou být intenzifikovány s menšími celkovými náklady, ovšem vždy je třeba zvážit měrné náklady (přepočet na jednoho obyvatele). Nejdražší bude samozřejmě řešení, které je nezbytné při požadavku snížení koncentrace mikropolutantů (nebo jejich úplné eliminace). Je třeba si však uvědomit, že pokud tato potřeba vzniká prozatím pro období sucha, v budoucnu bude patrně pro místní málo vodný zdroj nezbytná i za normálních průtoků.

Tedy u velkých ČOV by mělo být přednostně uvažováno o technologické intenzifikaci provozu (úprava a rozšíření současné mechanicko-biologické technologické linky). Pokud to nepostačí, pak o dodatečném srážení a filtraci vyčištěných odpadních vod (nebo o simultánním srážení a jejich ultrafiltraci). A tam, kde je to nezbytné, je třeba využít velmi účinných technologií fyzikálního a chemického čištění odpadních vod, nejlépe těch opravdu odzkoušených (např. BIOCHAR). Ve všech případech se zvážením aplikace nového systému čištění jen na část čištěné odpadní vody. U menších a malých ČOV je možná

aplikace alternativních biologických postupů, kombinovaná s technologií chemického srážení (simultánního nebo následného). Použití vysoce účinných postupů čištění odpadních vod je v případě potřeby možné, ale vždy se musí počítat s nutností spolehlivé automatizace instalované technologie.

5. Přehled detailních směrů řešení problému, doporučená opatření do Návrhu koncepce ochrany před následky sucha pro území České republiky s využitím realizovaných opatření

Tato kapitola obsahuje jen vypsání hlavních směrů „řešení“ problémů sucha na českých tocích obecně a na tocích jako recipientech znečištění, agregovaných podle názoru autorů této zprávy, s orientací především na dosud zásadně neřešené aspekty problému „sucha“ na tocích. Z jednotlivých témat, probíraných v předchozích kapitolách, lze zajisté vytvořit i jiná schémata. To se s postupem řešení celkové problematiky sucha v ČR a zvažování jednotlivých dílčích problémů samozřejmě předpokládá.

A: Hydrologie:

- Vývoj „sucha v tocích“ (hydrologického sucha) v jednotlivých úsecích toků resp. vodních útvarech - od poklesu přítoku z horních úseků, podílu bazálního odtoku a jeho poklesu se suchem, ztráty z koryta do podzemních vod.
- Možné efekty na konci „období sucha“: Změny v korytě toku, zejména po přívalových srážkách a erozních a změny kvality odpadní vody po přívalových srážkách (splachy a smyvy z povrchu, vypláchnutí kanalizace).
- Způsoby stanovení hranice sucha pro povodí/profil na recipientu.

B: Zdroje znečištění:

- Shromáždění dat o skutečné účinnosti současných ČOV v ČR s cílem zobecnit problematiku skupin ČOV, klasifikovaných podle velikosti, typů a podle relativního podílu vypouštěných odpadních vod na průtoku v recipientu za různých režimů.
- Shromáždění dat o podílu balastních vod a **odlehčování ČOV** na celkovém zatěžování recipientů za běžných situací a za sucha, vedoucí ke stanovení minimální produkce komunálních odpadních vod (tj. rovné přísunu pitné vody).
- Shromáždění a verifikace dat o možnostech zvýšení účinnosti čištění komunálních odpadních – pro standardní zpoplatněné ukazatele, pro nutrienty a pro specifické polutanty.
- Rozšíření spektra sledovaných polutantů o látky kategorie PPCP – jak na odtoku z ČOV, tak v tocích.
- Odhad cen typových technologií, respektive maximálního využití technologií současných (instalovaných).
- Odhad funkčnosti kanalizace ve velkých městech v situacích kdy nebude proplachována občasnými srážkami a bude se všeobecně šetřit pitnou vodou a jejího obnovení po ukončení sucha.

C: Ovlivnění říčních ekosystémů suchem:

- Shrnutí a specifikace vlivu změn koryta na ekosystémy: Pomalý postup (vody i odpadní vody) downstream, fragmentace do tůní, teplotní oscilace v zimě a v létě, predace, ztráta refugií.
- Shrnutí a specifikace vlivu zvýšeného zatížení odpadními vodami a teplotních extrémů na ekosystémy – zvýšená respirace, pokles koncentrace kyslíky, vliv farmak, endokrinních disruptorů a PPCP, eutrofizace.
- Shrnutí a specifikace změn hydraulických poměrů za sucha – pro různé typy a řády toků.
- Předpoklady obnovení ekosystémů a ekosystémových služeb po odeznění suchých period.

D: Ovlivnění samočisticí schopnosti recipientů:

- Shrnutí a specifikace změn faktorů podporujících „samočištění“ v hydraulicky ovlivněném toku. Do pojmu „znečištění“ zahrnout i znečištění fyzikální, tj. tepelné, především z chlazení tepelných elektráren.
- Návrh způsobů restaurace po skončení sucha, včetně vlivu odlehčení a nebodových zdrojů.
- Podklady pro případné zákazy užívání, omezování spotřeby pitné vody/vypouštění vyhlášené v „období sucha“ na různých úrovních (lokální, regionální, krizové).

E: Zjištění možností snižování dopadu hydrologického sucha na toky:

- Shrnutí postupů možnosti nadlepšování průtoků v „období sucha“ – současné a „budoucí“. Důkladná bilance jejich efektů a kapacit, tj. možnosti odpouštění (průtok x doba nadlepšování), délka dotoku vody „z nadlepšení“ v různých typech toků apod.
- Zhodnocení pozitivního přínosu vypouštění vyčištěných odpadních vod v situacích, kdy tvoří významnou část aktuálního průtoku v řece.

F: Ekonomické a legislativní možnosti snižování dopadu sucha:

- Návrh postupů výpočtu změn nákladů provozovatele v „období sucha“ – investice a provoz + cenový vývoj vodného, stočného, plateb za užívání.
- Návrh vyčíslení „ztrát suchem“ – na užívání, na ekosystémech atd. Také vyčíslení ztrát bonusů ekosystémových služeb vodních toků.
- Návrh metodiky stanovení „sucha“ a jeho dopadů a možností zmírnění dopadů na toky/říční ekosystémy.

6. Závěry

Hydrologické sucho ovlivní toky v ČR obecně v následujících směrech:

1. Změny hydromorfologických charakteristik.
2. Změny celkových vlastností ekosystémů tekoucích vod.
3. Zvýšení podílu vypouštěných odpadních vod v aktuálních průtocích, vedoucích k významným změnám jakosti vody.
4. Synergistické působení faktorů 2 a 3 může vést k významným změnám na úsecích toků pod vyústěním znečištění (vč. tepelného). To může vést nejen k významnému snížení možnosti užívání vody, ale až k hygienickým a technickým problémům na tocích.
5. Zpráva probírá jednotlivé faktory ovlivnění, včetně technických možností čištění odpadních vod pro posílení jejich účinnosti v krizových obdobích.

Obecná doporučení:

6. Považujeme za důležité co nejdříve provést podrobnější průzkum poměrů „ČOV – recipient“, orientovaný na stav ČOV, vypouštění významných polutantů, míru ovlivnění recipientu v situaci normální a za nízkých průtoků a na technické možnosti zvýšení ochrany toku za dlouhodobého sucha. Průzkum lze v první fázi realizovat v databázích.
7. Zásadní je co nejdříve zavést alespoň pracovní systém odhadu, kdy pro jednotlivá dílčí povodí resp. úseky toků začíná „sucho“, tj. kdy by měla být zavedena jakákoliv kontrolní a regulační opatření k ochraně. Postupně tento systém zavést do legislativy.
8. Pro technická opatření na ČOV, vedoucí k dočasnému snížení zatížení toků, je podán výčet možností. Jejich zvážení je podmíněno zhodnocením situace „ČOV – recipient“ pro jednotlivé objekty a úseky toků, tj. z hlediska vlastní ČOV, tak z hlediska vlastností a významnosti dotčených úseků toků či dílčích povodí.

7. Použitá literatura

1. Millennium (2005): Ecosystems and human well-being: A framework for assessment. Report of Millennium Conceptual Framework Working Group. Dostupné na: <http://www.millenniumassessment.org>
2. Fuksa, J.K. (2008): Ekosystémové služby – nový pohled na užívání a ochranu vod. *Vodní hospodářství* 58(11), s. 398 – 403.
3. Zahrádková, S., Hájek, O., Tremel, P., Pařil, P., Straka, M., Němejcová, D., Polášek, M., Ondráček, P., (2015): Hodnocení rizika vysychání drobných toků v České republice. *VTEI* 57 (6), s. 4 – 16.
4. MŽP (1998): Metodický pokyn odboru ochrany vod Min. životního prostředí ke stanovení minimálních hodnot zůstatkového průtoku ve vodních tocích. *Věstník MŽP* 1998 (5).
5. EC (2015): Ecological flows in the implementation of the Water Framework Directive. Guidance document No. 31. EC Technical Report 2015-086.
6. EC (2012): Sdělení Komise Evropskému parlamentu, Radě, Evropskému hospodářskému a sociálnímu výboru a výboru regionů. Zpráva o přezkumu evropské politiky pro řešení problému nedostatku vody a sucha. COM (2012)672.
7. Pařil, P., Syrovátka, V., Králová, H. (2010): Jsou morfologicky degradované úseky toku zdrojem tepelného znečištění vody? *Vodní hospodářství* 60(8), s. 203-209.
8. ČSÚ (2014): Statistická ročenka České republiky 2013. Český statistický úřad, Praha, 813 s.
9. MŽP (2014): Statistická ročenka životního prostředí České republiky 2013. Ministerstvo životního prostředí, Cenia, Praha, 414 s.
10. Fuksa, J. K. (2014): Řeky jako recipient odpadních vod – vývoj situace za sucha. *VTEI* 56 (4), příloha čas. *Vodní hospodářství* 64(8), s. 7-10.
11. Vláda ČR (2015): Usnesení vlády České republiky ze dne 29. července 2015 č. 620 k přípravě realizace opatření pro zmírnění negativních dopadů sucha a nedostatku vody.
12. MŽP (2015): Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR. Ministerstvo životního prostředí, Praha, 130 s.
13. Liška, M., Fučík, P., Dobiáš, J., Wildová, P., Koželuh, M., Válek, J., Zajíček, A. (2016): Problematika výskytu pesticidních látek v povrchových vodách v povodí vybraných vodárenských zdrojů. *Vodní hospodářství* 66(1), s. 1-6.
14. Vanotte, R.L., Minshall, G.W., Cummins, K.W., Sedell, J.R., Cushing, C.E. (1980): The river continuum concept. *Can.J.Fish.Aquat.Sci.* 37, s. 130 – 137.
15. Hynes, H.B.N. (1975): The stream and its valley. *Verh. Int. Verein. Limnol.* 19, s: 1 – 15.
16. Whitehead, P.G., Wilby, R.L., Battarbee, R.W., Kernan, M., Wade, A.J. (2009): A review of the potential impacts of climate change on surface water quality. *Hydrological Sciences* 54(1), s. 101 – 123.
17. Nilsson, C., Renofalt, B.M. (2008): Linking flow regime and water quality in rivers: a challenge to adaptive catchment management. *Ecology and Society* 13(2), s. 18 - 20.
18. Carraro, L., Bertuzzo, E., Mari, L., Gatto, M., Streppavara, N., Hartikainen, H., Rinaldo, A. (2015): An epidemic model for the interactions between the thermal régime of rivers and transmission of Proliferative Kidney disease in salmonid fish. *Geophysical Res. Abstracts*. 17, EGU2015-8858-1.
19. Costanza, R. et al. (1997): The value of the worlds ecosystem services and natural capital. *Nature* 387, s. 253-260.

20. Fuksa, J. K. (2008): Ekosystémové služby – nový pohled na užívání a ochranu vod. *Vodní hospodářství* 58(11), s. 398 – 403.
21. Fuksa, J. K. (2016): Jakost vody v tocích ČR v roce 2013. *Vodní hospodářství* 66(1), s. 4-8.
22. Halden, R. U. (2014): On the Need and Speed of Regulating Triclosan and Triclocarban in the United States. *Environmental Science & Technology* 48(7), s. 3603-3611.
23. Fram, M.S., Belitz, K. (2011): Occurrence and concentrations of pharmaceutical compounds in groundwater used for public drinking-water supply in California. *Science of The Total Environment* 409(18), s. 3409-3417.
24. Kožíšek, F., Jeligová, H. (2012): Metabolity léčiv v pitné vodě a jejich relevance. *Vodní hospodářství* 62(2), s. 75-76.
25. Storck, F. R., Schmidt, C.K., Lange, F.T., Henson, J.W. and Hahn, K. (2012): Factors controlling micropollutant removal during riverbank filtration. *J.AWWA* 104(12), s. 35-36.
26. Schaidler, L. A., Ackerman, J.M. and Rudel, R.A. (2016): Septic systems as sources of organic wastewater compounds in domestic drinking water wells in a shallow sand and gravel aquifer. *Science of The Total Environment* 547, s. 470-481.
27. Matoušová, L., Váňa, M., Hubáčková, J., Fuksa, J. K. (2011): Účinnost procesů úpravy vody na odstraňování farmak. In Jana Říhová Ambrožová, Jana Veselá (eds.): *Vodárenská biologie 2011*. EKOMONITOR, Chrudim, s. 185-188.
28. E.B.C. (2012): Guidelines for a Sustainable Production of Biochar. European Biochar Foundation (EBC), Arbaz, Switzerland, 21 s.
29. Ahmad, M., Rajapaksha, A. U. Lim, J. E., Zhang, M., Bolan, N., Mohan, D., Vithanage, M., Lee, S.S. and Ok, Y.S. (2014): Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: A review. *Chemosphere* 99, s. 19-33.
30. Inyang, M. and Dickenson, E. (2015): The potential role of biochar in the removal of organic and microbial contaminants from potable and reuse water: A review. *Chemosphere* 134, s. 232-240.
31. Kos, M. (2015): Termické zpracování čistírenských kalů. *SOVAK* 24(12), s. 21-23.
32. Kos, M. (2016): Čistírenský kal - obnovitelný zdroj pro výrobu paliva a hnojiva. *SOVAK* 25(1), s. 16-20.
33. Kimetu, J. M., Hill, J. M., Husein, M., Bergerson, J., Layzell, D. B. (2016): Using activated biochar for greenhouse gas mitigation and industrial water treatment. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 21(5), s. 761-777.
34. Mohan, D., Sarswat, A., Ok, Y. S. and Pittman Jr, C. U. (2014): Organic and inorganic contaminants removal from water with biochar, a renewable, low cost and sustainable adsorbent – A critical review. *Bioresource Technology* 160, s. 191-202.
35. Van Wesenbeeck, S., Prins, W., Ronsse, F., dAntal, M. J. (2014): Sewage Sludge Carbonization for Biochar Applications. *Fate of Heavy Metals. Energy & Fuels* 28(8), s. 5318-5326.
36. Brillasa; E., Mur, E., Sauleda; R., Sánchez; L., Peral, J., Domènech; X., Casado, J. (1998): Aniline mineralization by AOP's: anodic oxidation, photocatalysis, electro-Fenton and photoelectro-Fenton processes. *Applied Catalysis B: Environmental*.16(1), s. 31–42.
37. Munter, R. (2001): Advanced Oxidation Processes – Current Status and Prospects. In: *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences. Chemistry*. 50 (2), s. 59–80.

38. Glaze, William; Kang, Joon-Wun; Chapin, Douglas H. (1987): The Chemistry of Water Treatment Processes Involving Ozone, Hydrogen Peroxide and Ultraviolet Radiation. *Ozone: Science & Engineering*. 9(4), s. 335–352.
39. Mlejnská, E., Rozkošný, M., Baudišová, D., Váňa, M., Wanner, F., Kučera, J. (2009): *Extenzivní způsoby čištění odpadních vod*. Praha, VÚV T.G.M., 120 s.
40. Bodík, I., Blšťáková, A., Kollár, M., Sedláček, S., Vozár, J, Ruttkay, J. (2008): Intenzifikácia odstraňovania dusíka na ČOV Martin-Vrútky externým substrátom. *Odpadové vody 2008, sborník přednášek, Štrbské Pleso 2008*, s. 37-44.
41. Novák L., Wanner J., Kos M. (2004): Uplatnění metody bioaugmentace nitrifikace při intenzifikaci biologických čistíren odpadních vod. *Čistírenské listy, příloha čas. Vodní hospodářství* 54(5), s. I-IV.