

UNIVERZITA PARDUBICE  
FAKULTA CHEMICKO-TECHNOLOGICKÁ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2020

Lenka Svašková

Univerzita Pardubice

Fakulta chemicko-technologická

Vybrané základní parametry ovlivňující kvalitu vod

Lenka Svašková

Bakalářská práce

2020

Univerzita Pardubice  
Fakulta chemicko-technologická  
Akademický rok: 2019/2020

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Lenka Svašková**  
Osobní číslo: **C17034**  
Studijní program: **B2807 Chemické a procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Ochrana životního prostředí**  
Téma práce: **Vybrané základní parametry ovlivňující kvalitu vod**  
Zadávající katedra: **Ústav environmentálního a chemického inženýrství**

### Zásady pro vypracování

1. Shromážděte literární informace o vybraných základních parametrech ovlivňujících kvalitu vod. Čerpejte přitom z poznatků získaných z různých zdrojů, zahrnujících různá hlediska uplatňovaná při diskusi otázek spojených s kvalitou vod.
2. Získané poznatky uspořádejte do rámcových bloků s tematickým zaměřením například na informace o vybraných fyzikálně-chemických, anorganických a organických parametrech, v kontextu s jejich vazbou na kvalitu životního prostředí, sledování resp. péči o kvalitu vod apod.
3. Bakalářskou práci zpracujte v souladu se Směrnicí UPa č. 9/2012 „Pravidla pro zveřejňování závěrečných prací a jejich základní jednotnou formální úpravu“ v platném znění.

Rozsah pracovní zprávy:  
Rozsah grafických prací:  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Dr. Ing. Ladislav Novotný, DrSc.**  
Ústav environmentálního a chemického inženýrství

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Aneta Karásková**  
Ústav environmentálního a chemického inženýrství

Datum zadání bakalářské práce: **5. února 2020**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **4. července 2020**



---

**prof. Ing. Petr Kalenda, CSc.**  
děkan

L.S.



---

**prof. Ing. Petr Mikulášek, CSc.**  
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 5. února 2020

## **Prohlášení**

Tuto práci jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 20.05.2020

Lenka Svašková

## **Poděkování**

Tímto bych chtěla srdečně poděkovat panu prof. Dr. Ing. Ladislavu Novotnému, DrSc. a Ing. Anetě Karáskové za trpělivost, kreativní vedení, profesionální přístup, cenné rady, vhodné nasměrování směrem kupředu a rovněž za velmi citlivý, vstřícný a lidský přístup a neocenitelnou pomoc.

## **ANOTACE**

Práce je zaměřena na problematiku antropogenního znečištění hydrosféry. Popsány jsou zde vlivy lidské činnosti na jednotlivé vody, jak povrchové, tak podzemní či atmosférické, a to v pozitivním i negativním smyslu. Se zvyšujícími se nároky obyvatel na život rostou i nároky chemického průmyslu, jak ve výrobní sféře, tak v té ekologické. S tím jsou spojeny novelizace zákonů týkajících se jednotlivých odvětví.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Hydrosféra, životní prostředí, ekologie, znečištění, kvalita vod, suchá depozice, mokrá depozice, anorganické a organické složky

## **TITLE**

Selected basic parameters affecting water quality

## **ANNOTATION**

This part of work focuses on the problem of anthropogenic hydrosphere pollution. It describes positive and negative influences of human activities on surface water, groundwater and atmospheric water. With growing demands for high standards of living, it can be similarly observed that demands of the chemical industry in terms of production and ecology are increasing as well. This trend results in necessary amendments to existing laws addressing individual industry branches in question.

## **KEYWORDS**

Hydrosphere, environment, ecology, pollution, water quality, dry deposition, wet deposition, inorganic and organic compounds

## Obsah

Úvod.....	13
1. HYDROSFÉRA.....	15
1.1. Dělení vod na Zemi.....	15
1.1.1. Přírodní vody.....	15
1.1.2. Odpadní vody.....	17
1.2. Hydrologický cyklus.....	17
1.2.1. Srážky.....	19
1.2.2. Infiltrace a povrchový odtok.....	22
1.3. Vybrané fyzikálně-chemické vlastnosti vody.....	22
1.3.1. Hodnota pH.....	23
1.4. Organoleptické vlastnosti vody.....	24
1.4.1. Teplota.....	24
1.4.2. Barva.....	25
1.4.3. Zákal.....	26
1.4.4. Pach.....	27
1.4.5. Chuť.....	27
2. ANORGANICKÉ LÁTKY VE VODÁCH.....	28
2.1. Kovy.....	28
2.2. Polokovy ve vodách.....	29
2.3. Nekovy.....	29
3. VYBRANÉ ORGANICKÉ LÁTKY VE VODÁCH.....	30
3.1. Organické halogenderiváty.....	31
3.1.1. Zdroje halogenderivátů.....	32
3.1.2. Obecné vlastnosti a charakteristika organických halogenderivátů.....	33



3.1.3	Dopad na kvalitu vod a vodních organismů.....	33
3.1.4	Vybrané příklady halogenderivátů.....	34
3.2	Uhlovodíky.....	39
3.2.1	Těkavé aromatické uhlovodíky ve vodách.....	39
3.2.2	Polycyklické aromatické uhlovodíky.....	40
3.3	Tenzidy a detergenty.....	45
3.3.1	Dělení tenzidů.....	45
3.3.2	Nepříznivé účinky tenzidů.....	47
3.4	Látky vyluhující se z plastů.....	48
3.5	Pesticidy.....	49
3.5.1	Organické pesticidy.....	50
Závěr	.....	54
Seznam literatury	.....	56

## Seznam použitých obrázků

Obrázek 1 - Stav hladiny podzemní vody v mělkých vrtech v červenci 2018 [12].....	16
Obrázek 2 – Stav hladiny podzemní vody v mělkých vrtech v červenci 2019 [12] .....	17
Obrázek 3 – Hydrologický cyklus [15].....	18
Obrázek 4 – Historický vývoj nejvýznamnějších antropogenních zdrojů emisí oxidu siřičitého na území bývalého Československa [18] .....	21
Obrázek 5 - Jezero Hillier v Austrálii zbarvené do růžova díky činnosti řas [22].....	26
Obrázek 6 – Strukturní vzorec polyvinylchloridu – PVC [26].....	31
Obrázek 7 – Strukturní vzorec 2,6-dichlorfenolu [32].....	32
Obrázek 8 – 2-chlorfenol [34]      Obrázek 9 – 3-chlorfenol [35].....	34
Obrázek 10 – Chlorophenol [37] .....	35
Obrázek 11 – Obecná struktura PCB závisící na typu kongeneru (různý stupeň chlorace a poloha atomů chloru na aromatických jádrech) [39].....	35
Obrázek 12 – Chemická struktura 2,4,4' - trichlorbifenyl v 3D a 2D zobrazení [41]...	37
Obrázek 13 – Graf stanovaných kongenerů PCB v mateřském mléce [42].....	38
Obrázek 14 – Chemické struktury (3D, 2D) 2,3,7,8-tetrachlordibenzo-p-dioxinu [43].....	39
Obrázek 15 – Naftalen [48]      Obrázek 16 – Anthracen [49].....	41
Obrázek 17 – Fluoren [50]      Obrázek 18 – Pyren [51] .....	41
Obrázek 19 - Pole roční průměrné koncentrace benzo[a]pyrenu z roku 2015 v ovzduší [52].....	42
Obrázek 20 – Biotransformační schéma benzo[a]pyrenu bakterií <i>M. vanbaalenii</i> [53].....	44
Obrázek 21 - Obecný vzorec KAS [55] .....	45
Obrázek 22 - Vzorec kvarterního esterquatu [57].....	46

Obrázek 23 – Obecná alkalická hydrolýza esterů [58] .....	46
Obrázek 24 – Znečištěná indická řeka Yamuna toxickou pěnou z průmyslových výrob [59] .....	48
Obrázek 25 – Strukturní vzorec ftalátu [60] .....	48
Obrázek 26 – Výsledky vybraného spektra pesticidních látek ve vybraných veřejných vodovodech v celé ČR [63] .....	50
Obrázek 27 – Strukturní vzorec 2,4'-DDT [64] .....	51
Obrázek 28 - Rozprašování DDT nad americkými lesy [65] .....	52

## Seznam použitých tabulek

Tabulka 1 – Dělení vod podle jejich původu [9] .....	15
Tabulka 2 – Rozdělení přírodních vod na zemském povrchu podle obsahu soli [10] ..	16
Tabulka 3 - Jakost srážkových vod – průměrné roční koncentrace $\text{NO}_3^-$ ve srážkách na stanici Praha 4 – Libuš [17] .....	19
Tabulka 4 - Jakost srážkových vod – průměrné roční koncentrace $\text{SO}_4^{2-}$ ve srážkách na stanici Praha 4 – Libuš [17] .....	20
Tabulka 5 – Průměrné složení mořských srážek a srážek kontinentálních ( $\text{mmol.l}^{-1}$ ) [7] .....	20
Tabulka 6 - Jakost srážkových vod – průměrné roční hodnoty pH ve srážkách na stanici Praha 4 – Libuš [17] .....	21
Tabulka 7 – Vybrané fyzikálně-chemické konstanty čisté vody [18] .....	23
Tabulka 8 – Hodnoty pH jednotlivých druhů vod [16] .....	24
Tabulka 9 – Sedm stanovovaných kongenerů pro vodohospodářské účely [40] .....	36
Tabulka 10 – Nejvíce rozpustné těkavé uhlovodíky ve vodách [40] .....	40
Tabulka 11 – Dělení pesticidů dle biologické účinnosti [10] .....	49

## Seznam použitých zkratek

Zkratka	Význam
NOM	Natural occuring organic matter
DOM	Dissolved organic matter
POP	Perzistentní organické polutanty
PAH, PAU	Polycyklické aromatické uhlovodíky
PCB	Polychlorované bifenyly
CHSK	Chemická spotřeba kyslíku
BSK	biochemické spotřeby kyslíku
TOC	Celkový organický uhlík
PVC	Polyvinylchlorid
IUPAC	The International Union of Pure and Applied Chemistry
PCDD	Polychlorované dibenzo- <i>p</i> -dioxiny
PCDF	Polychlorované dibenzofurany
TCDD	2,3,7,8 - tetrachlordibenzo- <i>p</i> -dioxin
PAL	Povrchově aktivní látky
KAS	Kvarterní amoniové sloučeniny
ABS	Alkylbenzensulfonany
DEHP	[di(ethylhexyl)-ftalát]
DDT	1,1,1-trichlor-2,2-bis(4-chlorfenyl)ethan

## Úvod

Člověk je propojen s okolním prostředím a tím vytváří dynamický systém, který je vázán výměnou látek zprostředkovanou jednak příjmem potravy, vody a ovzduším. Prostředí ovlivňuje člověka ve všech směrech, jako například jeho fyzické či duševní zdraví, jeho hospodářské i další aktivity, civilizační a kulturní úroveň, ale také tvorbu vlastního životního stylu, sociálních vrstev a společenských skupin. Člověk stejně tak jako jiné organismy je v interakci s prostředím po celou dobu. Na rozdíl od jiných organismů se vyznačuje tím, že životní prostředí přetváří do své podoby, přizpůsobuje ho svým požadavkům a podmínkám. V úplných počátcích ovlivňoval člověk planetu Zemi asi stejnou měrou jako jakýkoliv jiný druh primátů. Nejmenší zásahy lidskou činností, zásahy vratné, byly způsobeny získáním potravy lovecko-sběračským způsobem. Obrat nastal v momentě, kdy lidé začali hojně využívat ohně a docházelo k nechtěným požárům, a tedy ke změně rázu přírodního prostředí. To vše pomohlo člověku k tomu, aby mohl žít v různých geografických, ekologických či klimatických situacích a osvobodil se z bezprostřední závislosti na přírodě. Dokonce člověk částečně mění i některé životní podmínky na místní úrovni či ve světovém měřítku jako je globální oteplování, které má negativní následky na celou planetu a na všechny žijící druhy na Zemi. Dříve žil člověk v symbióze s prostředím, ale dnes žijeme v prostředí přetvořeném lidskou činností. Podmínky pro život a prostředí se v posledních letech vysoce mění a každá další generace se musí vypořádat s novodobým technickým pokrokem, což může činit v budoucnu jakýsi limitní faktor rozvoje společnosti. Současná populace narůstá radikálním tempem, ale únosnost zalidnění na naší planetě se odhaduje na 9 miliard obyvatel. I přes nárůst technologického pokroku jsou země třetího světa vystaveny základním nedostatům v hygieně a problémům s pitnou vodou. Přibližně 80 % nemocí, které se vyskytují v rozvojových zemích, jsou právě spojeny s nedostatkem vody nebo s její nedostatečnou kvalitou a špatnými hygienickými podmínkami. Za každý rok zemře téměř 1,7 milionů lidí na průjmová onemocnění způsobená zmíněnou nedostatečnou kvalitou vody. V důsledku nešetřného zacházení s nerostným bohatstvím, vznikajícími odpady z průmyslu, dopravy a zemědělství, se stává naše planeta znečištěna látkami ve velkém měřítku [1]. Dnešní technologický pokrok je rychlý a některé dopady nových látek nejsou známy. Po několika letech se může zjistit jejich toxický účinek, a pak jsou celosvětově či lokálně zakázány jako tomu je například u DDT [2]. S rostoucími požadavky obyvatel, rostou nároky i na průmysl, a tedy i na životní prostředí a jeho schopnost odbourávat škodlivé látky [3].

Na jedné straně si člověk podmaňuje přírodu a ničí ji novodobými technologiemi či nešetrným zacházením a na druhé straně lidé řeší základní podmínky přežití. Mezi základní podmínky pro přežití patří kyslík, voda a potraviny. Bez vody naše tělo neumí přežít déle jak tři, maximálně čtyři dny [4]. Paradoxně mnoho velmocí tento problém zdánlivě neřeší a zásoby sladké vody jsou kontaminovány a ničeny kvůli zisku či neuváženosti, kde příkladem může být využívání pitné vody pro zalévání růží v Africe, které jsou pak následně vyváženy do Evropy, zejména do Holandska na květinovou burzu [5]. Voda se využívá na zavlažování bavlníkových plantáží, na živočišný průmysl. Uvádí se, že na 1 kg hovězího masa se spotřebuje až okolo 15 litrů vody, nebo na jednu dojnici je průměrná denní spotřeba vody 75 litrů a maximální až 110 litrů [6]. Již jsme se dostali do takové fáze, kdy se postupem času budeme muset přestat spoléhat na přírodní regulace a samočisticí procesy ve vodách, a to zejména v důsledku velkého znečištění jednotlivých úseků říčních toků, které se postupně budou přeměňovat ve stoky [1]. Předpokládá se, že nedostatek vody může být příčinou dalších případných válečných konfliktů. Na nedostatek vody nebo na její neadekvátní kvalitu zemře desetkrát více lidí než všechny oběti ozbrojených konfliktů. Kontaminovaná voda je jedním z největších katastrof. Příkladem může být zátoka Minamata v Japonsku, kde byla vypuštěna do zálivu voda znečištěná z blízké výroby využívající rtuti jako katalyzátoru. Následky byly fatální pro celé okolí. Voda by měla být chráněna, a ne znečišťována jako je tomu dnes. Na základě těchto závažných faktů předpokládám, že s rostoucími nároky na průmysl v rámci zvyšujících se požadavků obyvatel, bude znečištění vod v řádu let pomalu stoupat. Cílem mé práce je proto popsat vybrané zdroje znečištění atmosférických, podzemních a povrchových vod a následně porovnat znečištění vod za posledních 5 let v České republice [1].

# 1. Hydrosféra

Hydrosféra představuje přibližně 73 % zemského povrchu. Planeta Země je kvůli výhodné poloze vůči Slunci a teplotě na povrchu Země jedinou planetou ve sluneční soustavě, která obsahuje vodu v kapalném stavu. Voda je esenciální látkou pro život. V přírodě neexistuje chemicky čistá. Veškerá voda je obohacena o jednotlivé látky jako jsou rozpuštěné plyny, anorganické a organické látky, které mohou a nemusí být rozpuštěny. Voda je těmito látkami obohacována v atmosféře, infiltrací látek z půdy a z hornin, nebo antropogenní činností. Zdrojem lidského působení jsou splaškové vody, odpadní vody a znečišťující látky v ovzduší [7].

## 1.1. Dělení vod na Zemi

Limnotypologie je součástí všeobecné limnobiologie, která podrobně studuje a srovnává všechny vnitrozemské vody a následně je podle zjištěných rozdílů a jednotlivých shod třídí do samostatných uměle vytvořených skupin o určitých společných vlastnostech [8]. Vody se na zemském povrchu mohou dělit do skupin dle několika kritérií, a to dle původu (viz Tabulka 1), jejich použití, nebo výskytu [9].

**Tabulka 1 – Dělení vod podle jejich původu [9]**

---

Přírodní:	Odpadní:
- atmosférické	- průmyslové
- podzemní	- splaškové
- povrchové	- průsakové
○ kontinentální	
○ mořské a oceánské	
○ brakické	

---

### 1.1.1. Přírodní vody

Přírodní vody dále řadíme do skupin dle jejich výskytu, a to na vody atmosférické, podzemní a povrchové. Atmosférická voda je veškerá voda, která se vyskytuje v ovzduší, a to ve všech skupenských formách. Povrchovou vodou se rozumí taková voda, která se přirozeně vyskytuje na zemském povrchu, tyto vody se dále dělí na vody kontinentální a mořské [9]. Přičemž nejsou stanoveny přesné hranice, které by je striktně



rozdělovaly od sebe [10] (viz Tabulka 2). Výjimkou uvedeného je voda brakická. Nachází se v deltách větších řek, nebo v místech, kde dochází k míšení sladkých vod se slanými z oceánu a moří, do kterých se dané řeky, vodní toky vlévají. Dále je důležitá voda navázaná v minerálech a horninách. Ovšem voda, která se vyskytuje v pórech či puklinách hornin, se zvětšujícím objemem způsobuje jejich trhání. Tímto mohou být narušeny i povrchy staveb jako je malta či omítka a někdy i beton [11].

**Tabulka 2 – Rozdělení přírodních vod na zemském povrchu podle obsahu soli [10]**

Sladké vody $\leq 1,5 \text{ g/l}^{-1}$	Slané vody $\geq 1,5 \text{ g/l}^{-1}$
<ul style="list-style-type: none"> <li>- sladkovodní jezera</li> <li>- povrchové vody</li> <li>- podzemní vody</li> <li>- ledovce</li> <li>- atmosférické vody</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- moře</li> <li>- oceány</li> </ul>

Podzemní voda je taková voda, která se přirozeně vyskytuje pod zemským povrchem v přímém styku s horninami a v pásmu nasycení [9]. Stav podzemních vod v České republice v mělkých vrtech je za roky 2018 a 2019 dle Českého hydrometeorologického ústavu silně podnormální oproti referenčním rokům, (viz Obr. 1), (viz Obr. 2).



**Obrázek 1 - Stav hladiny podzemní vody v mělkých vrtech v červenci 2018 [12]**



**Obrázek 2 – Stav hladiny podzemní vody v mělkých vrtech v červenci 2019 [12]**

### **1.1.2 Odpadní vody**

„Odpadní vody jsou vody použité v obytných, průmyslových, zemědělských, zdravotnických a jiných stavbách, zařízeních nebo dopravních prostředcích, pokud mají po použití změněnou jakost (složení nebo teplotu) a jejich směsi se srážkovými vodami, jakož i jiné vody z těchto staveb, zařízení nebo dopravních prostředků odtékající, pokud mohou ohrozit jakost povrchových nebo podzemních vod. Odpadní vody jsou i průsakové vody vznikající při provozování skládek a odkališť nebo během následné péče o ně z odkališť, s výjimkou vod, které jsou zpětně využívány pro vlastní potřebu organizace, a vod, které odtékají do vod důlních“ [13].

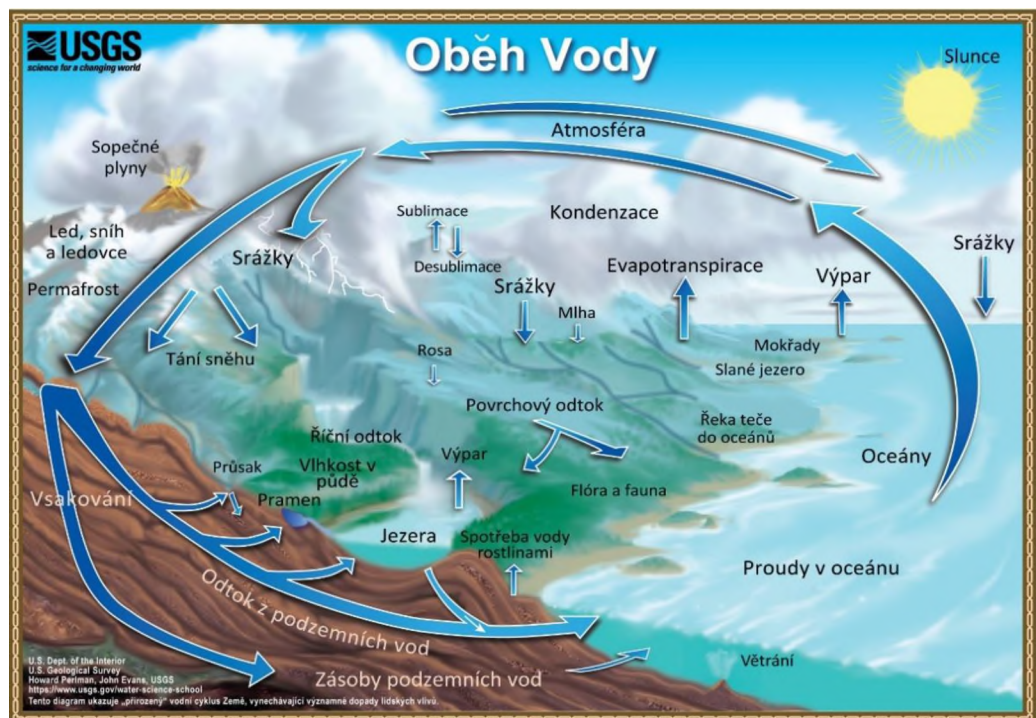
## **1.2. Hydrologický cyklus**

Hydrologický cyklus je na planetě Zemi ovlivňován zejména dvěma činiteli, a to:

- vliv přírodních ekosystémů, kde organismy využívají vodu pro jejich potřebný vývoj
- antropogenní vlivy, které jsou způsobeny odčerpáváním vody na základě sílení ekonomické činnosti společnosti a následné znečišťování vodních zdrojů [11].

Na fázové přeměny vody je spotřebováno velké množství vnitřní energie. Proto je energetická bilance Země úzce spojena s cyklem vody. Mezi nejvýznamnější kroky hydrologického cyklu patří proces odpařování vody neboli evaporace, kde dochází

k přeměně vody z kapalně fáze na fázi plynou. Při vypařování dochází k velkému energetickému transportu. Voda neustále probíhá hydrologickým cyklem (viz Obr. 3) a je od svého vzniku na Zemi stále stejná [7]. Její objem lze považovat za konstantní, i když tomu není úplně tak. Část vody opouští troposféru a dostává se do vyšších vrstev stratosféry a nad ní. Tam se rozštěpí na jednotlivé molekuly pomocí krátkovlnné sluneční radiace a tyto molekuly jsou následně rozptýleny do meziplanetárního prostoru. Tato zdánlivě „ztracená voda“ se nahrazuje vodou juvenilní, která vzniká složitými procesy v zemské kůře za pomoci vysokých tlaků a teplot [14].



Obrázek 3 – Hydrologický cyklus [15]

Kondenzující vodní pára dopadající na zemský povrch ve formě srážek, tedy jako déšť, rosa, jinovatka poté odtéká povrchovým odtokem jako jsou řeky, potoky do moří a oceánu, nebo se infiltuje do podzemních vod. Uzavírajícím krokem hydrologického cyklu je odpar vody ze zemského povrchu, z hladiny povrchových vod a oceánu, ale také vydechování vodní páry živými organismy či rostlinami neboli evapotranspirace.

Sluneční záření a gravitace jsou hnacími silami celého hydrologického cyklu. V průběhu hydrologického cyklu vstupuje voda do biogeochemických cyklů jednotlivých prvků, ale také do geologického cyklu přeměny hornin. V hydrologickém cyklu lze hmotnostní bilanci vody vyjádřit následující rovnicí (1):

$$S = O + E + Z \quad (1)$$

$S$  jsou srážky,  $O$  je považováno za odtok,  $E$  je evapotranspirace neboli odpar a  $Z$  je akumulace vody v jednotlivých rezervoárech, které jsou vymezeny od okolí [7].

### 1.2.1. Srážky

Chemické složení srážek je závislé na znečištění a složení atmosféry ve spodní a střední vrstvě [16]. V oblasti velkých průmyslových center a velkých městských aglomerací dochází k největšímu znečištění srážkových vod, příklad jakosti srážek v Praze viz Tabulka 3 a Tabulka 4. Nejméně znečištěny jsou srážkové vody v horských oblastech, pokud i do těchto oblastí nejsou látky přeneseny jejich přirozeným transportem. Obecně je chemické složení srážkových vod z kvalitativního hlediska velmi podobné složení podzemních a povrchových vod. Složení srážek závisí nejenom na místě výskytu, ale i na jejich intenzitě a době trvání [16]. Jiné složení srážek je kromě výše uvedeného i nad kontinenty a nad moři a oceány (viz Tabulka 5), jelikož srážky nad oceánem jsou obohaceny o prvky z mořské vody jako sodík a hořčík a srážky nad kontinentem jsou obohaceny o prvky pocházející z půdy a horniny jako vápník a hliník [7].

**Tabulka 3 - Jakost srážkových vod – průměrné roční koncentrace  $\text{NO}_3^-$  ve srážkách na stanici Praha 4 – Libuš [17]**

<b>Rok</b>	<b>Koncentrace <math>\text{NO}_3^-</math> [<math>\mu\text{g.l}^{-1}</math>]</b>
2013	1,74
2014	1,70
2015	2,08
2016	2,20
2017	1,93

**Tabulka 4 - Jakost srážkových vod – průměrné roční koncentrace  $\text{SO}_4^{2-}$  ve srážkách na stanici Praha 4 – Libuš [17]**

<b>Rok</b>	<b>Koncentrace <math>\text{SO}_4^{2-}</math> [<math>\mu\text{g.l}^{-1}</math>]</b>
2013	1,74
2014	1,70
2015	2,08
2016	2,20
2017	1,93

**Tabulka 5 – Průměrné složení mořských srážek a srážek kontinentálních ( $\text{mmol.l}^{-1}$ ) [7]**

<b>Složka</b>	<b>Mořské srážky</b>	<b>Kontinentální srážky</b>
pH	4,25	5,08
Na	191	47
Al	1,5	3,4
$\text{NO}_3^-$	42	95
$\text{NH}_4^+$	41	135
Mg	30	11,9
Ca	4,8	15,8
$\text{SO}_4^{2-}$	32	92
$\text{Cl}^-$	241	31
Pb	0,06	0,1

#### **1.2.1.1. Kyselé deště**

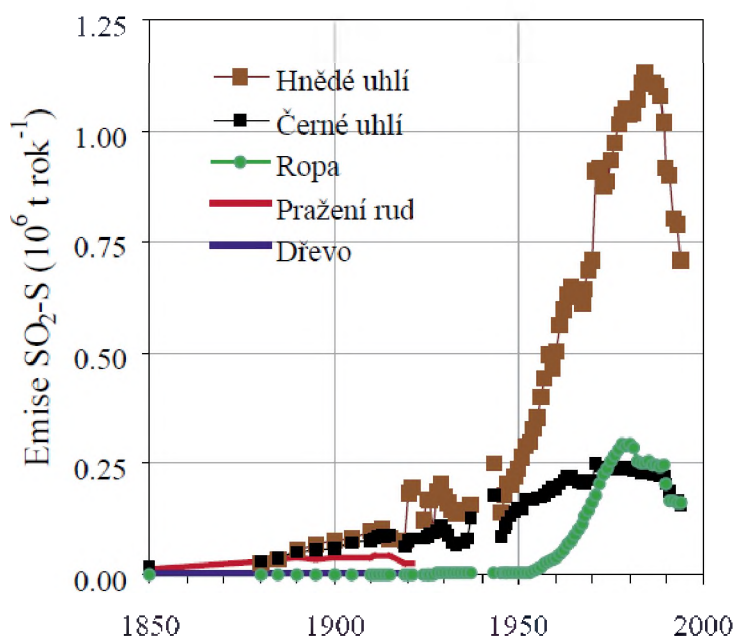
V současnosti jsou často produkovány kyselé srážky, které lze chemicky definovat, jako vodu, která vyčerpala svou veškerou tlumivou kapacitu uhličitánového systému a na kyselosti se podílí silné minerální kyseliny. Kyselé srážky jsou považovány za kyselé,

pokud pH klesne pod hodnotu cca 5. Pod tuto hodnotu pH klesly i průměrné roční srážky v roce 2013 v Praze (viz Tabulka 6).

**Tabulka 6 - Jakost srážkových vod – průměrné roční hodnoty pH ve srážkách na stanici Praha 4 – Libuš [17]**

Rok	pH
2013	4,97
2014	5,06
2015	5,20
2016	5,35
2017	5,04

Tyto kyselé deště jsou zejména způsobené antropogenní činností a největší frekvencovanost na našem území byla zaznamenána v 80. – 90. letech minulého století, jelikož se příliš nehledělo na vyprodukované emise oxidů síry a dusíku do atmosféry. Tyto oxidy především vznikají při spalování fosilních paliv. Na území Čech a Slovenska se v tomto období spalovalo přibližně 96 mil. tun hnědého uhlí a 30 mil. tun černého uhlí za rok, což vedlo k prudkému nárůstu emisí oxidu siřičitého v ovzduší (viz Obr. 4) [18].



**Obrázek 4 – Historický vývoj nejvýznamnějších antropogenních zdrojů emisí oxidu siřičitého na území bývalého Československa [18]**

Přísun látek v podobě dešťů může být mnohem významnější, než splachy a přítoky, a to jak v negativním směru, tak i v tom pozitivním [8]. Kyselé srážky mají významný vliv na vodní ekosystém acidifikací povrchových vod, a tedy poškozováním vodního rostlinstva a živočišstva. V některých případech to vedlo i k vymizení některých druhů, jak dokumentoval již roku 1967 Svante Odén ve stockholmském deníku Dagens Nyheter [18]. Zde popsal, že došlo k významnému úbytku ryb ze švédských jezer kvůli kyselým dešťům, a to i přes to, že se v této oblasti skoro žádné uhlí nepálilo. Příčinou kyselých dešťů ve Švédsku byl jejich dálkový transport z průmyslových zemí jako Velká Británie, Polsko a Německo, které získávali energii právě spalováním fosilních paliv [18]. Teprve o šest let později po otištění této informace, upozornili ekologové a vědci severoamerickou vědeckou komunitu na existenci kyselých srážek [19]. Kyselost těchto dešťů se pohybovala okolo pH 3 [16]. Přirozená atmosférická depozice je pro zemský povrch asi stonásobně menším zdrojem kyselin oproti kyselým dešťům [18].

### **1.2.2. Infiltrace a povrchový odtok**

Srážky po dopadu na zemský povrch se z určité části infiltrují, vsakují nenasycenou zónou neboli propustnou povrchovou vrstvou, další část odteče do vod povrchových nebo do míst, kde může docházet k další infiltraci a malý podíl srážek se odpaří zpět do atmosféry [7].

Infiltrace vody do půdy je umožněna díky půdním kapilárám neboli systému mezer a pórů, které jsou v nenasycené zóně vyplněny vodou a vzduchem. Tato část vody je zejména využita kořenovým systémem rostlin. Pokud jsou půdní kapiláry vyplněny zcela vodou, jedná se o nasycenou zónu a uplatňuje se zde hydrostatický tlak. Hladina podzemní vody, která vytváří pomyslnou hranici mezi těmito zónami, se mění ze současného množství vody, ale také dle charakteru půdní a horninové vrstvy [7].

## **1.3. Vybrané fyzikálně-chemické vlastnosti vody**

Voda je díky svým chemickým vlastnostem pozoruhodnou látkou, kde tyto vlastnosti vyplývají ze struktury a elektronového uspořádání molekul vody. Dva atomy vodíku jsou k atomu kyslíku poutány pevnou kovalentní vazbou, která zaručuje stabilitu molekuly [7]. Za vysokou polaritu vody mohou volné elektronové páry umístěné na atomu kyslíku, a tedy je dán prostorovým uspořádáním molekuly vody [8]. Vysoká polarita vody se projevuje pevnými mezimolekulárními vazbami ve formě vodíkových můstků (vodík je

na jedné straně vázán k silně elektronegativnímu prvku, kterým je v případě vody kyslík, a na druhé straně je vázán atomem s volným elektronovým párem, toto spojení je nejsilnější z mezimolekulárních sil). Vodíková vazba má tedy ze všech mezimolekulárních sil nejvyšší energii, tudíž značně zvyšuje teplotu tání a varu vody oproti methanu nebo sulfanu. Voda je amfoterní látka, tudíž podléhá autoprotolýze dle rovnice (2):



Voda je výborným polárním rozpouštědlem kvůli své vysoké polaritě a také je významným erozním činitelem [7]. Její užití například v průmyslu se odvíjí od některých jejích vlastností, které jsou odrazem jejích fyzikálních a fyzikálně-chemických konstant (viz Tabulka 7) [18].

**Tabulka 7 – Vybrané fyzikálně-chemické konstanty čisté vody [18]**

<b>Konstanta</b>	<b>Voda</b>
hustota (25 °C)	997,045 kg.m <sup>-3</sup>
maximální hustota (3,98 °C)	1 000,000 kg.m <sup>-3</sup>
bod varu (101,325 kPa)	100,00 °C
bod tuhnutí (101,325 kPa)	0,00 °C
kritický tlak	22,13 MPa
kritická teplota	647,35 K (374,2 °C)
měrné teplo tání	333,7 kJ.kg <sup>-1</sup>

### **1.3.1. Hodnota pH**

Dle Brönstedovy teorie je voda jak donorem, tak akceptorem protonu. Bude-li v kontaktu se silnější kyselinou, bude se voda chovat jako báze a bude tedy akceptorem protonu. Bude-li v kontaktu se silnější bází, bude se chovat jako kyselina, a tedy proton poskytovat. S tímto úzce souvisí hodnota pH [20].

Hodnota pH je důležitým limnologickým indikátorem, jelikož do určité míry může ovlivňovat působení fermentů, a tedy s tím spojené biochemické a chemické procesy ve vodách [8]. Je proto velmi důležité stanovit při každém chemickém rozboru vody její



pH. Na základě toho lze určit, v jakých formách se budou vyskytovat jednotlivé prvky, jak budou reagovat sami nebo s jinými obsaženými prvky, a tedy jakou agresivitu bude voda mít. Různé druhy vod mají i odlišné hodnoty pH (viz Tabulka 8). Dále ovlivňuje, jak budou probíhat chemické, fyzikálně chemické a biologické procesy při čištění a úpravě vod [16].

**Tabulka 8 – Hodnoty pH jednotlivých druhů vod [16]**

<b>Druh vod</b>	<b>Hodnota pH</b>
Povrchové vody – jezera, nádrže	6 – 8,5
Podzemní vody a vody minerální	5 – 7,5
Balené vody	Od 4,5
Kojenecké vody	5 – 8
Rašeliniště	3,8 – 7,5
Průmyslově znečištěné vody vypouštěné do kanalizací	6 – 9
Průmyslově znečištěné vody vypouštěné do recipientu	6 – 8,5

## **1.4. Organoleptické vlastnosti vody**

Organoleptické vlastnosti vody jsou takové vlastnosti, které je možné zjistit smyslovými orgány. Patří sem teplota, barva, zákal, chuť a pach. Při zjišťování těchto vlastností pomocí zraku, čichu či chuti se hovoří jako o senzorní analýze [10].

### **1.4.1. Teplota**

Chemická a biochemická reaktivita je významně ovlivněna teplotou, a to i v poměrně úzkém teplotním rozmezí užitkových a přírodních vod, tudíž od 0 °C do 30 °C. Roční průměrná teplota podzemních vod, ne vod minerálních, se v celé střední Evropě pohybuje kolem teploty 10 °C. Termální voda je taková přírodní voda, jejíž teplota při vývěru převyšuje teplotu 25 °C. Velký význam má teplota povrchových vod, a to zejména na rozpustnost plynů, především kyslíku a dále na biochemické samočisticí pochody. Pokud klesne teplota povrchových vod pod 5 °C, biochemické děje probíhají velmi pomalu. Pokud se do vod povrchových, či podzemních vypouští vody oteplené,

zejména chladicí vody z elektráren, ať už jaderných či tepelných, hovoří se o tepelném znečištění. To může mít negativní dopad na zmíněnou rozpustnost kyslíku ve vodě, což vede zároveň i k negativnímu dopadu na podvodní svět. Teplota je tedy jedním z nejvýznamnějších ukazatelů kvality vody pro život a následnou reprodukci vodních organismů, může mít tedy přímý, či nepřímý vliv na přítomné vodní organismy, také na jejich fyziologii a popř. ekologii [10]. Do městské kanalizace nemohou být vypuštěny průmyslové odpadní vody s teplotou překračující 40°C.

#### 1.4.2. Barva

Zabarvení vody může být způsobeno přírodním původem nebo antropogenním. Barva přírodních vod je zapříčiněna především huminovými látkami. Huminové látky jako fulvokyseliny zbarvují vodu do žluta či žlutohněda. Rozlišujeme dva druhy zbarvení vod:

- Skutečná barva vody, která je způsobena jen látkami rozpuštěnými, které se stanovují ve vzorku vody, který byl přefiltrován membránovým filtrem o velikosti pórů 0,45 µm [9].
- Zdánlivá barva vody, která je zapříčiněna vlivem jak rozpuštěných, tak nerozpuštěných látek, zejména koloidního charakteru, která se stanovuje v nefiltrovaném a neodstředovaném původním vzorku. Příkladem může být namodralé, zelenomodré či zelené zbarvení vod, které je způsobeno přítomností řas a sinic, které po jejich přefiltrování zmizí a někdy i atypická zbarvení jako růžová či červená [10]. Příkladem atypického růžového zbarvení může být jezero Hillier, které se nachází na západě Austrálie (viz Obr. 5). Tento barevný unikát čistě přírodního původu nebyl dodnes vědci zcela objasněn. Předpokládá se, že toto zbarvení způsobuje bakterie *Dunaliella salina*, která produkuje růžové barvivo obsahující karotenoidy [21].



**Obrázek 5 - Jezero Hillier v Austrálii zbarvené do růžova díky činnosti řas [22]**

Antropogenními zdroji barevnosti jsou průmyslové odpadní vody z výroby, kde se nakládá či využívá barev jako je textilní průmysl či samotné výroby barev. Textilní průmysl se na žebříčku největších producentů odpadu řadí na první příčky. Předpokládá se, že přes 10 000 různých pigmentů a barev se využívá pro jednotlivá barvení různých materiálů a celková roční produkce těchto barev činí přes 700 000 tun celosvětově. Z této sumy se asi 10 % barev dostává nedokonalým či neefektivním barvením do odpadních vod, a tedy je kontaminují. Kromě samotné toxicity a mutagenity, zamezují tyto barvy průchodu světla, čímž zamezují přirozené fotosyntetické činnosti zelených organismů a dochází ke snížení obsahu kyslíku ve vodách [23]. Žlutohnědé zbarvení antropogenního původu pochází z odpadních vod z výroben celulózy. Barva a její intenzita je především závislá na hodnotě pH [8].

### **1.4.3. Zákaly**

Zdrojem zákaly jsou anorganické a organické látky suspendované ve vodě. Tedy na rozdíl od barvy je zákaly dán přítomností suspendovaných částic ve vodě [8]. Zákaly je možné dále definovat jako snížení transparence vody kvůli přítomnosti nerozpuštěných látek [9]. Příkladem jsou jílové minerální látky, bakterie, plankton jako sinice a řasy, hydratované oxidy kovů aj. [10]. Termín plankton byl navržen oceánografem Victorem Hensenem roku 1887 a to pro heterogenní společenstvo nepatrných organismů a pro jemný neživý materiál, který se vznáší ve vodě a je odkázán na působení proudů a vln. I když nezpůsobuje zákaly žádné zdravotní komplikace, bere se pro kvalitu pitné a užitkové vody jako nežádoucí [8].

#### 1.4.4. Pach

Pach je nežádoucí v pitné vodě, jelikož ji znehodnocuje a nesmí se uvolňovat ani zahrátím vody. Pach přírodních vod je příčinou přírodních látek vyskytujících se ve vodě jako je sulfan, nebo je zapříčiněn látkami biologického původu, které vznikají při činnosti nebo odumírání organismů ve vodě. Pach, který je způsoben antropogenní činností je důsledek přítomnosti látek obsažených ve splaškových či průmyslových vodách. Největší vliv v negativním slova smyslu má petrochemický průmysl, a to nejen na pach a jiné organoleptické vlastnosti vody. Povrchový film, který se vytvoří na hladině, zapříčiní menší odpařování vody, a tedy následně dochází k ohřevu hladiny a snížení vodních par v atmosféře [1]. Z pohledu hygienického zabezpečení má velkou váhu prahová koncentrace chloru, kde prahová koncentrace je právě taková, kdy dané látky vyvolají postizitelný pach. Tato koncentrace závisí na pH vody [16].

#### 1.4.5. Chut'

Látky, které ovlivňují chuť vody, většinou ovlivňují i její pach. Chuť vody je především ovlivňována koncentrací železa, hořčíku, manganu, zinku, mědi, chloridů, oxidu uhličitého a jinými látkami. Prahové koncentrace chutí jsou závislé i na celkovém složení vody, jelikož mezi sebou mohou jednotlivé látky reagovat či se vzájemně ovlivňovat. Nejlepší chuti dosahuje voda okolo pH 6,5-7,5. Při hodnotách vyšších, než je 7,5 začíná mít voda mýdlovitou chuť. Pozitivně ovlivňují chuť hydrogenuhličitanu a vápník. Vhodným poměrem mezi hořčíkem, vápníkem, hydrogenuhličitanu, sírany a chloridy lze zajistit dobrou chuť vody. Intenzita vnímání chuti klesá se stoupající teplotou. Proto se při analýze chuti doporučuje testovat voda v teplotním rozmezí okolo 15 °C až 20 °C. [10].

Testování kvality chuti a pachu patří mezi základní ukazatele kvality pitné vody pro spotřebitele. Proto má své nenahraditelné místo subjektivní sensorické hodnocení v rámci sledování kvality pitné vody. V současné době testují pach a chuť vzorkaři, kteří prošli minimálně kurzem v orientační sensorické analýze. Samozřejmě kontrolu výše zmíněných aspektů testují ve specializovaných laboratořích týmy expertů dle stanovené normy ČSN EN 1622. Ovšem i do této oblasti testování zasahuje automatizace. Již dříve pro potravinářské účely bylo sestrojeno zařízení „elektronický nos a jazyk“, které obsahuje senzory a umělou inteligenci a v nedávné době bylo přizpůsobeno i testování pitné vody [24].

## 2. Anorganické látky ve vodách

Forma látky vyskytující se ve vodě je závislá především na pH vodního prostředí, oxidačně-redukčního potenciálu a na komplexotvorných reakcích. Pro podrobnější a přesnější interpretaci výsledků bylo zvoleno dělení prvků na kovy, polokovy a nekovy [10].

### 2.1. Kovy

Kovy zabírají v periodické tabulce prvků asi 75 % a mají různé formy výskytu v celé hydrosféře. Pokud se posuzuje znečištění daného prostředí kovy, nebo polokovy, mluví se většinou o skupině těžkých nebo toxických kovů, avšak tyto kovy nejsou přesně specifikovány. Z hlediska chemického jsou za těžké kovy považované takové, které mají hustotu větší než  $5\,000\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  nebo takové u nichž vzniká sraženina reakcí se sulfidem sodným. Často je termín těžkých kovů zaměňován za „toxické kovy“, ovšem zde je problém se zařazením kovů do této skupiny, jelikož i železo by mělo být bráno kvůli své hustotě do této skupiny, ale pro lidský organismus není toxické v určitém množství. Důležitou skupinou kovů jsou esenciální kovy, které jsou pro člověka důležité, při jejich nedostatku dochází ke špatné funkci organismu, ale i při vyšší koncentraci mají negativní vliv na organismus [10]. Tyto kovy mohou být součástí důležitých enzymů v lidském těle, či v tělech jiných organismů a živočichů, a tedy jejich nedostatek se může projevit závažným onemocněním [25]. Mezi toxické kovy, které mají zvláště vliv na živé organismy, patří rtuť, kadmium, olovo a arsen. Tyto kovy potlačují růst a vývoj organismů, dále mají vliv na enzymy a tím negativně ovlivňují i samočistící schopnost vody a biologické pochody v čistírnách odpadních vod. U člověka a jiných živočichů může docházet k akutním anebo chronickým otravám. Kovy a polokovy mohou podléhat biotransformaci. Mezi tyto procesy patří methylace, při níž vznikají těkavé alkylní sloučeniny, které se z vodního prostředí dostávají difúzí do atmosféry a také mají tyto sloučeniny vysoký bioakumulační potenciál. Některé kovy mohou mít funkci katalyzátorů probíhajících chemických reakcí ve vodním prostředí, především u reakcí oxidačně-redukčních [10].

Podle hygienické závadnosti lze kovy a polokovy zařadit do skupin. První skupina jsou kovy toxické a polokovy jako je rtuť, kadmium, selen, arsen a nikl. Na tyto kovy jsou zejména nejvíce citlivé ryby. Druhou skupinou jsou kovy a polokovy, které mají

teratogenní a karcinogenní účinek jako je arsen, kadmium, šestimocný chrom a nikl. Třetí skupinou jsou kovy a polokovy, které představují chronickou toxicitu jako je opět kadmium, rtuť, olovo. U živočichů jsou schopné způsobit akutní nebo chronické otravy. Jelikož by se měly ve vodách vyskytovat pouze v malých množstvích, k chronickým otravám by nemělo z vodních zdrojů docházet. A poslední, čtvrtou skupinou, jsou kovy, které mají vliv na chuť vody, patří sem zejména železo, mangan, měď a zinek. Celková toxicita kovů závisí především na pH vodního prostředí, na teplotě a na celkovém složení vod, tedy látkám, které by mohli vzájemně reagovat. V některých případech může docházet k vzájemnému působení směsí kovů, kdy může dojít k zesílení účinku daného kovu neboli k synergismu, jako je směs kadmia a zinku, rtuti a mědi nebo niklu a zinku, kdy toxický účinek je mnohem větší než při samotném působení jednotlivých kovů. Opakem je antagonismus, kdy toxický účinek je naopak potlačen, než kdyby působili dané kovy samostatně. Toxicita kovů je také velice závislá na oxidačním čísle daného kovu. Příkladem může být arsen [16]. Trojmocný arsen spíše způsobí akutní otravu, která je velice podobná příznakům cholery. Proto byl arzenik v dřívějších dobách používán jako velmi efektivní jed. A pětimocný arsen, který způsobuje především chronické otravy, které se projeví zejména na kůži. Dalším příkladem může být trojmocný a šestimocný chrom [10].

## **2.2. Polokovy ve vodách**

Rozdělení prvků na nekovy, polokovy a kovy je na základě jejich elektronové konfigurace. Prvek je brán za kov, pokud splňuje podmínku, že počet elektronů jeho nejvyšších zaplňovaných orbitalů je menší nebo roven číslu periody, ve které se nachází. Pokud není tato podmínka splněna, bere se daný prvek za nekov. Ovšem nacházeli se nějaký prvek na hranici této definice, tedy má určité vlastnosti podobné jako kovy je považován za polokov [20]. Příkladem polokovů ve vodách je bor či křemík.

## **2.3. Nekovy**

Nejvýznamnějším rysem, kterým se liší nekovy od kovů a polokovů, je velký odpor, který je kladen nekovy elektrickému proudu. Nekovy jsou dále velmi dobrými izolanty. Oproti kovům jsou nekovy většinou křehké, nemají lesk, tvoří anionty, mají povahu oxidačních činidel, většinou jsou elektronegativnější, tedy neuvolňují vodík, jejich oxidy jsou většinou kyselé povahy a anionty jsou většinou Lewisovými bázemi. Příkladem nekovů ve vodách je kyslík a dusík [9].

### 3. Vybrané organické látky ve vodách

Organické látky, které jsou ve vodách přítomny mohou být jak přírodního, tak antropogenního původu. Mezi přírodní organické látky patří výluh ze sedimentů a půdy, jako je výluh z tlejícího listí a dřeva nebo rašelinný humus a produkty činnosti živočišných a rostlinných bakterií. Jedná se především o látky biogenního původu, většinou tedy o huminové látky. Extracelulární organické látky je souhrnný název pro skupinu látek, které jsou produkovány při životní činnosti řasami, mikroby, sinicemi a jsou jak nízkomolekulárními, tak vysokomolekulárními látkami. Příkladem jsou látky na bázi sacharidů, aminokyselin, polyfenolů aj. Intracelulární organické látky jsou takové látky, které vznikají při odumírání či rozpadu z organismů a přechází do vody. Zkratka NOM (*natural occurring organic matter*) je používána pro přírodní organické látky vyskytující se v povrchových a podzemních vodách. Další možnou zkratkou je DOM (*dissolved organic matter*) užívaná pro rozpuštěné přírodní organické látky.

Antropogenní organické látky pochází z průmyslových odpadních vod, ze splaškových vod, z odpadů ze zemědělství, skládek, při úpravě vody chlorací, nešetrným nakládáním nebezpečných látek či nezákonnými zacházeními s nebezpečnými látkami, nedovolené vypouštění látek do povrchových či podzemních vod, automobilová, motorová doprava, lodní a letecká doprava aj. [10]. Množství organických látek v povrchových vodách také závisí na úrovni znečištění vod. Zvýšený obsah organických látek je rovněž spjat s nadměrným obsahem mikroorganismů a doprovodných látek, které vznikají při rozkladných procesech [6].

Je důležité jak z hygienického hlediska, tak z vodohospodářského rozlišovat látky, které podléhají biologickému rozkladu ve vodách a při čištění odpadních vod a látky, které jsou rezistentní, těžko biologicky rozložitelné, které se mohou akumulovat v hydrosféře a v půdě jako jsou polyhalogenované organické látky, polyaromatické uhlovodíky, některé pesticidy a tenzidy aj. Biologicky rezistentní látky jsou látky ve vodách nechtěné, jelikož podléhají biologickým procesům velmi pomalu a to jak v podzemních, povrchových a odpadních vodách a mohou tedy přecházet do vod pitných.

Organické látky ovlivňují biologické a chemické vlastnosti vody a mohou mít karcinogenní, genotoxický, teratogenní účinky jako pesticidy, polychlorované bifenyly. Dále mohou ovlivňovat chuť a pach vody jako chlorfenoly. V některých případech

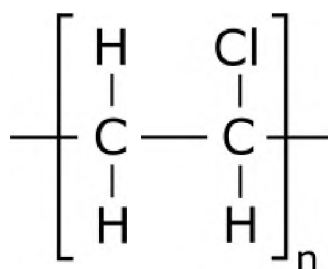
negativně mění barvu vody jako barviva a huminové látky. Mění pěnivost vody, vytváří povrchový film na vodní hladině a tím znesnadňují přestup kyslíku do vody, např. oleje a ropa.

Některé vyskytující se organické látky mají zvláštní hygienický význam nebo mají speciální postavení pro provoz vodáren a čistíren odpadních vod a jsou to huminové látky, tenzidy, fenoly, uhlovodíky, halogenované organické látky, pesticidy, perzistentní organické polutanty (POP), kam se řadí polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH, resp. PAU), polychlorované bifenyly (PCB), organochlorové pesticidy aj.

Pro identifikaci obsažených organických látek ve vodě se hledaly vhodné postupy, které by umožňovaly určit jejich celkovou koncentraci ve vodě, nebo v některých případech se daly stanovit organické látky skupinově. Pro stanovení celkové koncentrace organických látek ve vodě se užívá chemická spotřeba kyslíku CHSK dichromanem či manganistanem draselným, stanovení celkového organického uhlíku TOC a stanovení biochemické spotřeby kyslíku BSK [10].

### 3.1 Organické halogenderiváty

Organické halogenderiváty se řadí mezi průmyslově významné látky. Mají celou škálu vlastností, které jsou pro výrobu rozpouštědel, některých složek léků, vybraných pesticidů, ale v neposlední řadě i plastických hmot jako je polyvinylchlorid (viz Obr. 6).



Obrázek 6 – Strukturální vzorec polyvinylchloridu – PVC [26]

Nehledě na jejich výhodné vlastnosti mají tyto látky negativní vliv na životní prostředí [27]. Příkladem mohou být freony, které ničily a nadále v malé míře ničí ozonovou vrstvu z nelegálních zdrojů. Roku 1987 byl podepsán Montrealský protokol, kde se zavázalo 196 států o zastavení výroby freonů [28]. Vědci z NASA zaznamenali tento rok nečekaný jev a to, že ozonová díra byla tento rok nejmenší od doby, co byla objevena [29]. Velmi významným problémem jsou halogenované uhlovodíky

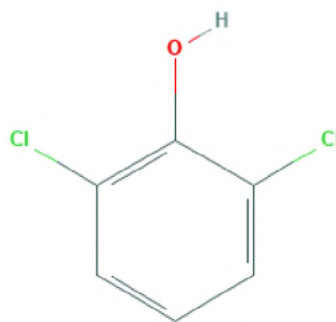


také ve vodách, nejčastěji v podzemních vodách. Zde mohou dosahovat halogenované uhlovodíky tak vysokých koncentrací, že se i v některých případech blíží k nasycenému roztoku. To vede ke vzniku organické fáze na nepropustném horninovém podloží, která nese vodní masu [30].

### 3.1.1. Zdroje halogenderivátů

#### 3.1.1.1 Přírodní zdroje halogenderivátů

Mezi přírodní halogenderiváty se řadí ty, které jsou produktem metabolismu rostlin, hub a živočichů. Z celkového množství vyprodukovaných halogenderivátů tvoří přírodní halogenderiváty zanedbatelnou část. Příkladem mohou být feromony klíšťat nebo pijáka hnědého, které je za určitých podmínek uvolňují jako je hledání místa útočiště či hostitele. Dalším příkladem může být sání krve samičkou na hostiteli, které vede k páření, kdy se vylučuje přírodní halogenderivát 2,6-dichlorofenol (viz Obr. 7), který má podobnou strukturu jako dnešní komerčně využívané herbicidy [31].



Obrázek 7 – Strukturní vzorec 2,6-dichlorofenolu [32]

Bylo zjištěno, že je mnoho enzymů schopných syntetizovat organické halogenderiváty, a to alifatické i aromatické. Mořské mikroorganismy, houby anebo řasy jsou také schopny produkovat halogenderiváty a zejména chlormethan. Mezi další přírodní zdroje halogenderivátů patří požáry lesních porostů, vulkanické procesy a geologické procesy [10]. Jelikož jsou tyto látky těžké, mohou se následně mokrou depozicí a následnou infiltrací dostat do podzemních vod nebo se usazují do hornin a minerálů.

#### 3.1.1.2 Antropogenní zdroje halogenderivátů

Antropogenní halogenderiváty mají původ z komunální, průmyslové a zemědělské sféry jako konzervační prostředky, některé bělicí prostředky či při výrobě papíru nebo pesticidů aj. Jiné halogenderiváty jsou vytvářeny jako produkty spalování

nebo při skládkování odpadů, které v sobě zahrnují chlor jako je PVC. Jelikož PCB se při běžných teplotách spalovacích procesů nerozkládají, uvolňují se exhalacemi do atmosféry. Odpady, které se takto spalují a obsahují PCB jsou staré barvy, oleje či plasty. Některé halogenderiváty se utvářejí jako vedlejší nežádoucí produkty při chloraci vody.

V domácnostech a průmyslu se zejména jako odmašťovací, čisticí prostředky a jako rozpouštědla užívají nasycené chloralkany, chloralkeny, chlorcykloalkany a chlorcykloalkeny. V průmyslu se nachází široké uplatnění chlorovaných aromatických uhlovodíků, ať už mono-, di- či trichlorbenzeny. Používají se jako výchozí suroviny při výrobě pesticidů. Své využití nachází i v domácnostech jako některé dezodoranty, tedy prostředky na odstraňování nežádoucích pachů. Vysoce se uplatnily i chlorfenoly, které jsou pro vodní prostředí též hlídanou skupinou. Tyto látky se využívaly jako konzervační prostředky na dřevo, textilii i kůži, a to díky fungicidním a baktericidním vlastnostem [10].

### **3.1.2 Obecné vlastnosti a charakteristika organických halogenderivátů**

Z chemického i zdravotního hlediska patří většina organických halogenderivátů mezi látky nebezpečné anebo s negativním účinkem na organismy i životní prostředí. Jelikož mají tyto látky lipofilní charakter, hromadí se v sedimentech, půdě i biomase živočichů, zejména v jejich tukových tkáních. Na základě potravního řetězce dochází k akumulaci těchto látek i v lidském organismu, např. požíváním ryb a jiných živočichů. Z vodohospodářského hlediska jsou nejnebezpečnějšími halogenderiváty takové, které jsou velmi stabilní vůči všem formám rozkladu, jsou málo těkavé a mají velkou hodnotu rozdělovacího koeficientu oktanol-voda a mohou tedy po velmi dlouhou dobu setrvávat ve vodních i jiných zdrojích a následně se transportovat na velké vzdálenosti i do míst, kde jejich výroba či užití nebylo realizováno jako je Antarktida [10].

### **3.1.3 Dopad na kvalitu vod a vodních organismů**

Halogenované organické uhlovodíky jsou látky silně toxické, z nichž některé jsou prokazatelně karcinogenní a mutagenní. Proto jsou v současné době hlídány jak vodohospodáři, tak hygieniky. Tyto látky jsou perzistentní a jsou v životním prostředí po dlouhý časový horizont, což vede ke kumulativnímu charakteru těchto látek, a tedy k následnému ukládání do říčních sedimentů, plavenin a biomasy. Z uvedeného se tyto

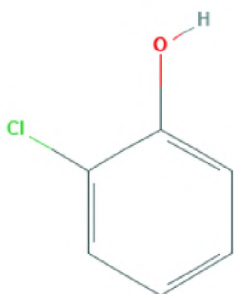
biologicky a chemicky stabilní látky dostávají do živočichů a následným potravním řetězcem až k samotnému spotřebiteli.

### 3.1.4 Vybrané příklady halogenderivátů

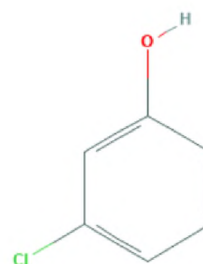
#### 3.1.4.1 Chlorfenoly

Jedná se o velmi široké zastoupení organických látek vznikajících převážně antropogenní činností, ale i přirozenou cestou. Chlorfenoly vznikají např.: při výrobě papíru a také jako vedlejší produkty chlorace ligninu, který je přirozenou součástí všech suchozemských i vodních rostlin. Chlorace ligninu je vedlejší reakcí při samotné chloraci pitné vody. V současnosti existuje pouze málo metod, které umožňují degradaci chlorfenolů na látky přijatelnější pro životní prostředí. Chlorfenoly dráždí oči, sliznice a prostupují kůži [33]. V některých zemích je jejich aplikace v průmyslu již nedovolená, a proto se od nich v poslední době upouští. Zástupci chlorfenolů:

- **2-chlorfenol** (viz Obr. 8)
- **3-chlorfenol** (viz Obr. 9)

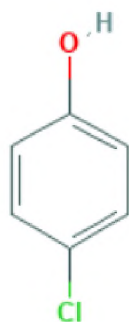


Obrázek 8 – 2-chlorfenol [34]



Obrázek 9 – 3-chlorfenol [35]

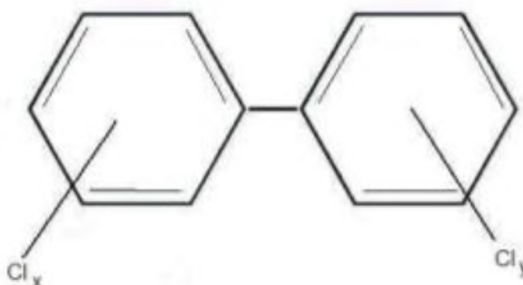
- **4-chlorofenol** (viz Obr. 10) – toxický pro vodní organismy, s dlouhodobými účinky; zdraví škodlivý při požití, při styku s kůží a při vdechnutí [36]



Obrázek 10 – Chlorophenol [37]

#### 3.1.4.2 Polychlorované bifenyly

Zvláštní pozornost si vysloužili již od šedesátých let minulého století polychlorované bifenyly PCB (viz Obr. 11), a to i u široké veřejnosti. Mezi 70. až 80. lety patřily tyto látky mezi jedny z nejvíce sledovaných škodlivin životního prostředí. Tyto látky byly pro své výhodné technické vlastnosti připravovány ve velkém množství, další vznikaly jako vedlejší produkty některých výrob a některé vznikaly při spalování odpadů s obsahem chlorovaných látek [38].



Obrázek 11 – Obecná struktura PCB závisící na typu kongeneru (různý stupeň chlorace a poloha atomů chloru na aromatických jádrech) [39]

Mezi výhodné vlastnosti patří vysoká chemická a tepelná stabilita. Své uplatnění proto našly zejména jako aditiva do transformátorů, resp. do transformátorových olejů a také do hydraulických kapalin. Dalšími zdroji mohou být splachy z ulic a silnic nebo odpadní vody pocházející zejména z výroben koksů a impregnací dřev, ale také vody prosakující ze skládek popílku. Ovšem mezi negativní vlastnosti polychlorovaných bifenyly patří toxicita a jejich karcinogenita [40]. Toxicita se odvíjí na základě závislosti počtu atomů chloru a jejich postavení v molekule [10]. Na konci 80. let byla proto jejich výroba celosvětově ukončena [38].

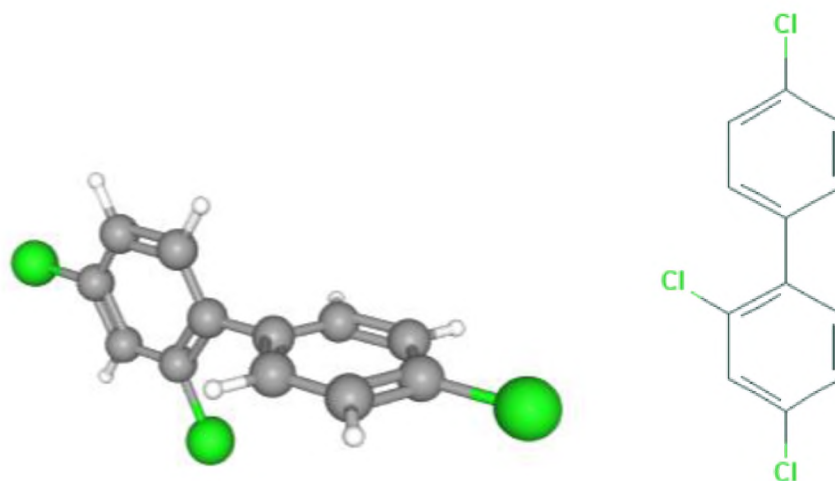
### 3.1.4.2.1 Stanovení polychlorovaných bifenyků ve vodách

Při chloraci bifenyku může z teoretického hlediska dojít ke vzniku 209 derivátů obsahujících jeden až deset atomů chloru v molekule a mající různou polohu substituentů, hovoří se o tzv. kongenerech. Tyto kongenery se označují čísly dle polohy atomů chloru v celé molekule. Termický rozklad probíhá při teplotě 1200 °C a vyšších. Z celkových 209 kongenerů bylo v životním prostředí nalezeno 150. Pro analýzu vod je suma těchto kongenerů vysoká [40], a proto se pro vodohospodářské analytické účely stanovuje ve vodách sedm indikačních kongenerů, (viz Tabulka 9), které se uvádí s čísly IUPAC (The International Union of Pure and Applied Chemistry nebo Mezinárodní unie pro čistou a užitou chemii) [40].

Tabulka 9 – Sedm stanovovaných kongenerů pro vodohospodářské účely [40]

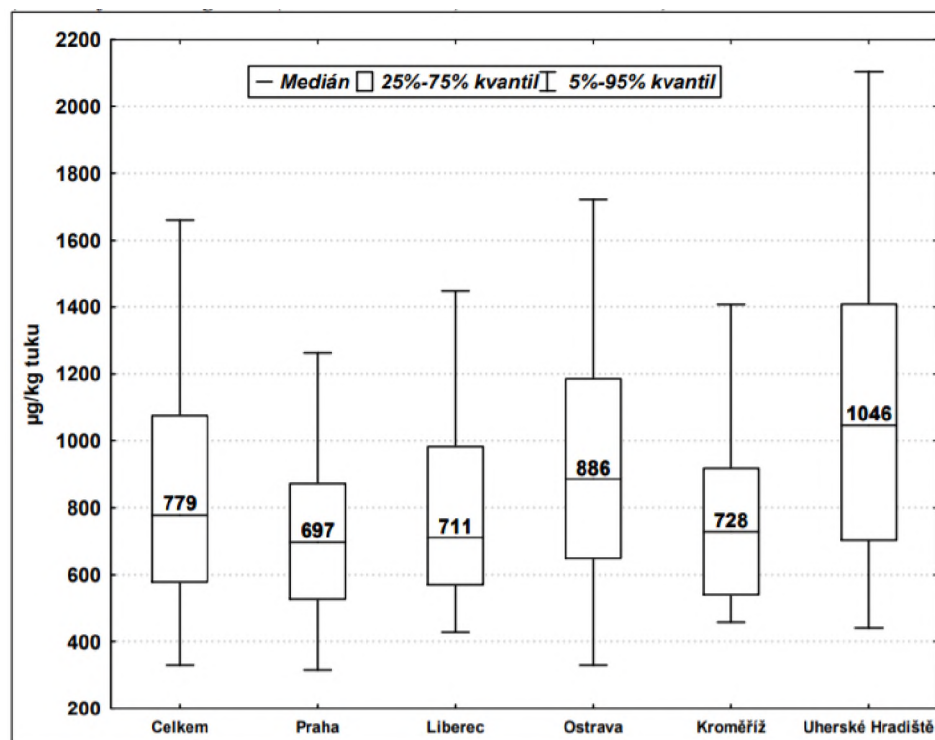
Číslo IUPAC	Chemický název
180	2,2',3,4,4',5,5' - heptachlorbifenyk
153	2,2',4,4',5,5' -hexachlorbifenyk
138	2,2',3,4,4',5' - hexachlorbifenyk
118	2,3',4,4',5 – pentachlorbifenyk
101	2,2',4,5,5' - pentachlorbifenyk
52	2,2',5,5' - tetrachlorbifenyk
28	2,4,4' - trichlorbifenyk

Polychlorované bifenyky jsou látky, které jsou stále i za vysokých teplot, a proto se stanovují pouze plynovou chromatografií [40]. Pro názornost je vybraným příkladem chemické struktury polychlorovaných bifenyků 2,4,4' - trichlorbifenyk (viz Obr. 12).



**Obrázek 12 – Chemická struktura 2,4,4' - trichlorbifenyl v 3D a 2D zobrazení [41]**

V ČSSR došlo k ukončení výroby těchto látek v roce 1984, avšak v důsledku jejich stability jsou i v dnešní době místa, kde se nachází ve větších koncentracích a představují zdravotní rizika a celkové nebezpečí. Jedná se o bodová místa, která byla v bezprostřední blízkosti zdrojů těchto látek jako jsou skládky aj. [10]. Česká republika je jedna z nejvíce kontaminovaných zemí PCB i v současnosti. Zákaz výroby PCB v ČR je spojen zejména s kontaminací hovězího masa, dále mléka a všech jiných mléčných výrobků a ryb. V souvislosti s ukládáním PCB do tukových tkání provedl Státní zdravotní ústav biologický monitoring PCB v mateřském mléce (viz Obr. 13). Expoziční cesta PCB je z největší části potrava (včetně pitné vody), a to okolo 90 %. Celkový trend obsahu indikačních kongenerů v mateřském mléce se snižuje.



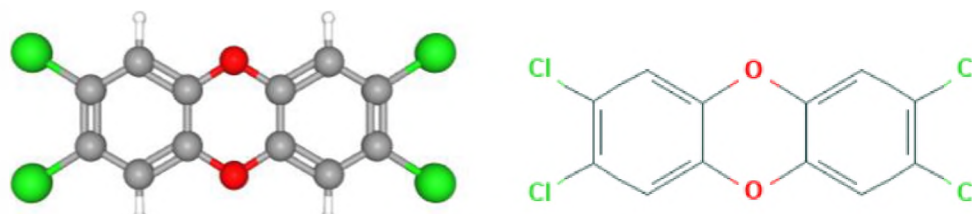
Obrázek 13 – Graf stanovaných kongenerů PCB v mateřském mléce [42]

### 3.1.4.3 Dioxiny

Další skupinou významných látek v negativním slova smyslu jsou polychlorované dibenzo-*p*-dioxiny (PCDD) a polychlorované dibenzofurany (PCDF), které mají různý počet atomů chloru v dané molekule. Nejčastěji jsou nazývány skupinově jako dioxiny. Tyto látky se dostávají do životního prostředí při výrobě aromatických chlorderivátů jako PCB aj., dále při tepelných procesech v metalurgii, při chlorovém bělení papíru, nebo zejména při spalování organických odpadů obsahující PVC nebo jiné látky obsahující chlor ve své molekule, tedy ve spalovnách komunálního i průmyslového odpadu. Některé jsou i přírodního původu, jelikož se uvolňují při lesních požárech a při spalování dřeva. Což je důvod, proč je jejich výskyt v přírodě poměrně hojný. Velkou nevýhodou je vysoká termická stabilita, rozklad probíhá teprve kolem 1200 °C, také jsou biologicky a chemicky inertní. Mezi známé degradační procesy patří jejich fotolýza (rozklad látky za působení světla) v přírodě. Negativní dopad mají i na lidskou populaci, jelikož se řadí mezi nejedovatější látky. Dokážou snižovat imunitu jedince, mají teratogenní, mutagenní a karcinogenní účinky [10].

### 3.1.4.3.1 2,3,7,8 - tetrachlordibenzo-p-dioxin

Jedním ze zástupců skupiny dioxinů je 2,3,7,8 - tetrachlordibenzo-p-dioxin (TCDD), který je zároveň nejtoxičtější z celé skupiny (viz Obr. 14).



Obrázek 14 – Chemické struktury (3D, 2D) 2,3,7,8-tetrachlordibenzo-p-dioxinu [43]

Tato látka byla za Vietnamské války vedlejším produktem Agent Orange neboli směsi dvou herbicidů, které měly zničit místní vegetaci, aby mohly být odhaleny zásobovací cesty a vojenské základny. Negativní dopady této bojové látky přetrvávají do dnes. Děti, které přežily válečnou operaci mají jak fyzické, tak psychické následky. Dokonce i současná generace dětí, i těch, které se do místa přistěhovaly s rodiči až po válce, mají několikanásobně zvýšenou hodnotu 2,3,7,8 - tetrachlordibenzo-p-dioxinu v krvi. Tento dioxin se dokonce vyráběl i na našem území, a to ve Spolaně Neratovice a následně byl prodán skrz obchodníka do USA. V důsledku vážného poškození zdraví zaměstnanců chemičky, byla výroba roku 1968 zastavena [44].

## 3.2 Uhlovodíky

Největším zdrojem uhlovodíků jsou produkty vytvářené z ropy jako je benzin, mazut, asfalt, nafta, petrolej. Zdroje uhlovodíků jsou látky omezeně rozpustné ve vodě, které se nacházejí jednak ve splaškových vodách a jednak ve vodách průmyslových odpadních [45]. Tyto látky jsou považované jako látky ropné. Zejména jsou tvořeny ropnými uhlovodíky jako alkany, aromatické uhlovodíky – areny, cykloalifatické uhlovodíky. Chybějícími látkami v ropných uhlovodících jsou alkeny a alkyny. Benzín je směsí utvářená z uhlovodíků od C<sub>4</sub> do C<sub>12</sub> a petrolej od C<sub>12</sub> do C<sub>18</sub> [10].

### 3.2.1 Těkávé aromatické uhlovodíky ve vodách

Tyto uhlovodíky negativně ovlivňují pach a chuť vody. Nejvíce toxické jsou ty uhlovodíky, které jsou zároveň nejvíce rozpustné ve vodě (viz Tabulka 10). Z té také



vyplývá, že nejtoxičtější je benzen [40]. Negativní dopad uhlovodíku na organismy se projevuje ve vyšších koncentracích, než je prahová koncentrace pachu.

**Tabulka 10 – Nejvíce rozpustné těkavé uhlovodíky ve vodách [40]**

<b>Těkavý uhlovodík</b>	<b>Rozpustnost uhlovodíků ve vodě při teplotě 20°C v mg.l<sup>-1</sup></b>
Benzen	1 780
Toluen	540
p-Xylen	198
o-Xylen	176
Ethylbenzen	160
Cyklohexan	60

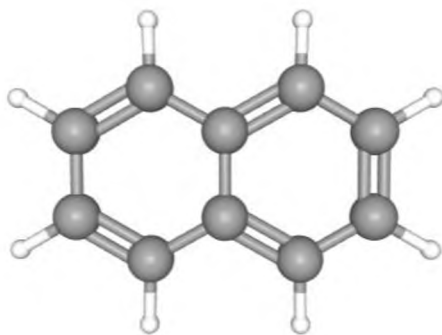
### **3.2.1.1 Stanovení těkavých aromatických uhlovodíků ve vodách**

Těkavé aromatické uhlovodíky lze stanovit při koncentracích větších než 2  $\mu\text{g.l}^{-1}$  a to ve všech typech vod jako jsou vody odpadní, průmyslové či pitné. Norma ČSN EN ISO 15680 definuje stanovování těchto látek. Nejprve se těkavé aromatické látky izolují postupem P&T, neboli „purge and trap“, tedy promývání plynem a následným zachycením. Po tomto kroku následuje plynová chromatografie. Detekce látek se poté provádí hmotnostní spektrometrií s ionizací nárazem elektronu. Touto metodou lze stanovit celkem 60 alifatických a monocyklických uhlovodíků a aromatických halogenderivátů [46].

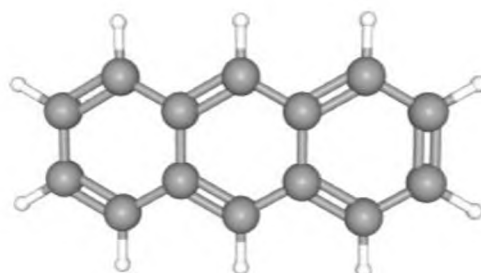
### **3.2.2 Polycyklické aromatické uhlovodíky**

Polycyklické aromatické uhlovodíky PAH tvoří samostatnou, oddělnou skupinu [10]. Představitelé této skupiny jsou typickými rezistentními organickými prioritními polutanty (POP). Oproti organochlorovaným sloučeninám jsou zastoupeny v životním prostředí v mnohem menších koncentracích a hladina kontaminace nedosahuje takových hodnot. Ovšem i tak běžné populaci hrozí rizika spojená s karcinogenitou a mutagenitou těchto látek v souvislosti s jejich biologickou aktivitou a jejich trvalému působení. Tyto látky se vyskytují všude, a proto jim jsme vystaveny denně a rizika z expozic

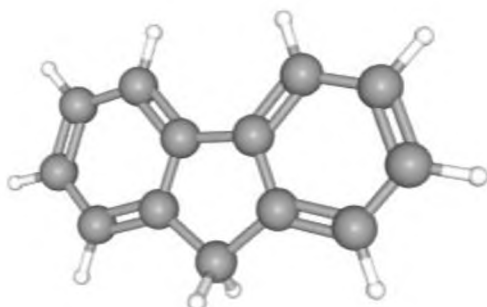
se zvyšují [47]. Zástupci jsou naftalen (viz Obr. 15), anthracen (viz obr. 16), fluoren (viz Obr. 17), pyren (viz Obr. 18), benzoapyren aj. Tyto látky mají různý počet kondenzovaných jader, naftalen má dvě kondenzovaná jádra, anthracen a fluoren tři, pyren čtyři a benzoapyren pět. A některé PAH obsahují i nearomatické jádro jako fluoren [10]



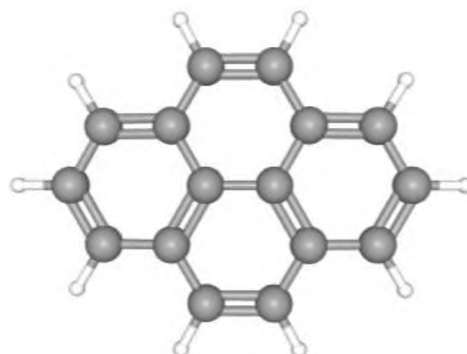
Obrázek 15 – Naftalen [48]



Obrázek 16 – Anthracen [49]



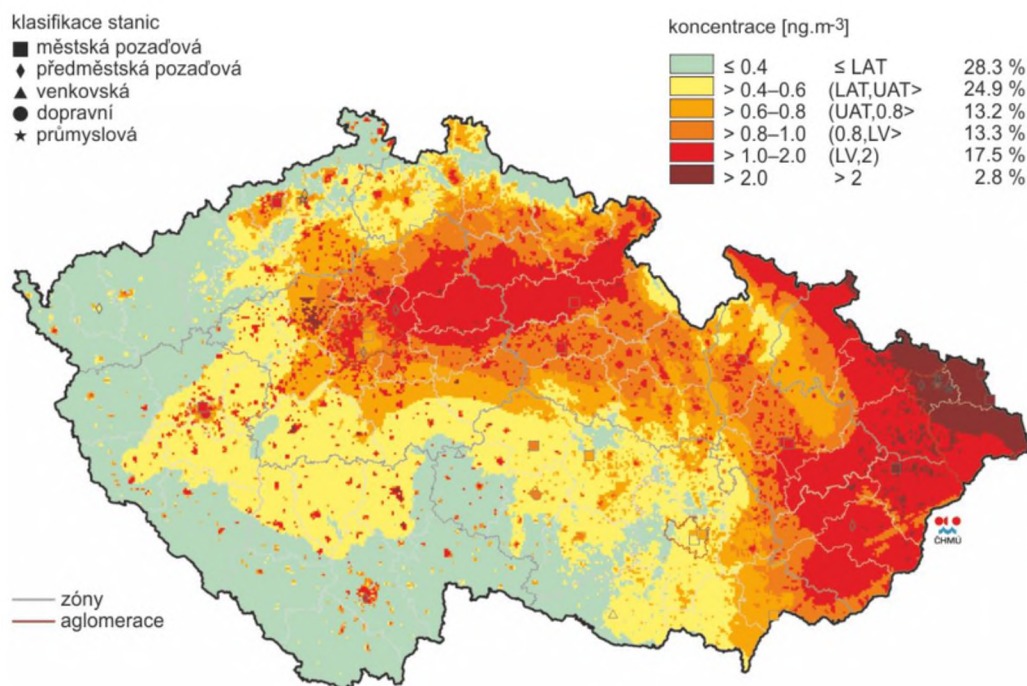
Obrázek 17 – Fluoren [50]



Obrázek 18 – Pyren [51]

### 3.2.2.1 Zdroje polycyklických aromatických uhlovdíků

Zásadními antropogenními zdroji PAH jsou spalovací procesy, zejména ty při nedokonalém spalování organické hmoty jako je spalování kapalných a pevných paliv, provoz motorových vozidel, dále průmyslové technologie jako je krakování ropy či karbonizace uhlí. Dalšími zdroji mohou být splachy z asfaltových povrchů vozovek a povrchové úpravy dřeva [16]. Nejvíce je PAH zasažena atmosféra zejména ze spalovacích procesů a z ní se následně mokrou či suchou depozicí přesouvají tyto látky do půd či vod. V České republice jsou průměrné koncentrace PAH poměrně vysoké (viz Obr. 19), kde jsou zaznamenány průměrné roční koncentrace benzo[a]pyrenu v ovzduší.



**Obrázek 19 - Pole roční průměrné koncentrace benzo[a]pyrenu z roku 2015 v ovzduší [52]**

Přímým kontaminantem půd a vod jsou průmyslové odpadní vody zejména z havárií způsobené selháním lidského faktoru, opotřebením materiálu, technických chyb přístrojů, špatnou manipulací a skladováním ropných látek nebo ropy samotné. Přírodním zdrojem mohou být přírodní lesní požáry, nebo biologické procesy jako je biosyntéza řas, bakterií či vodních rostlin. Někdy jsou to produkty metabolismu bakterií a fytoplanktonu [16].

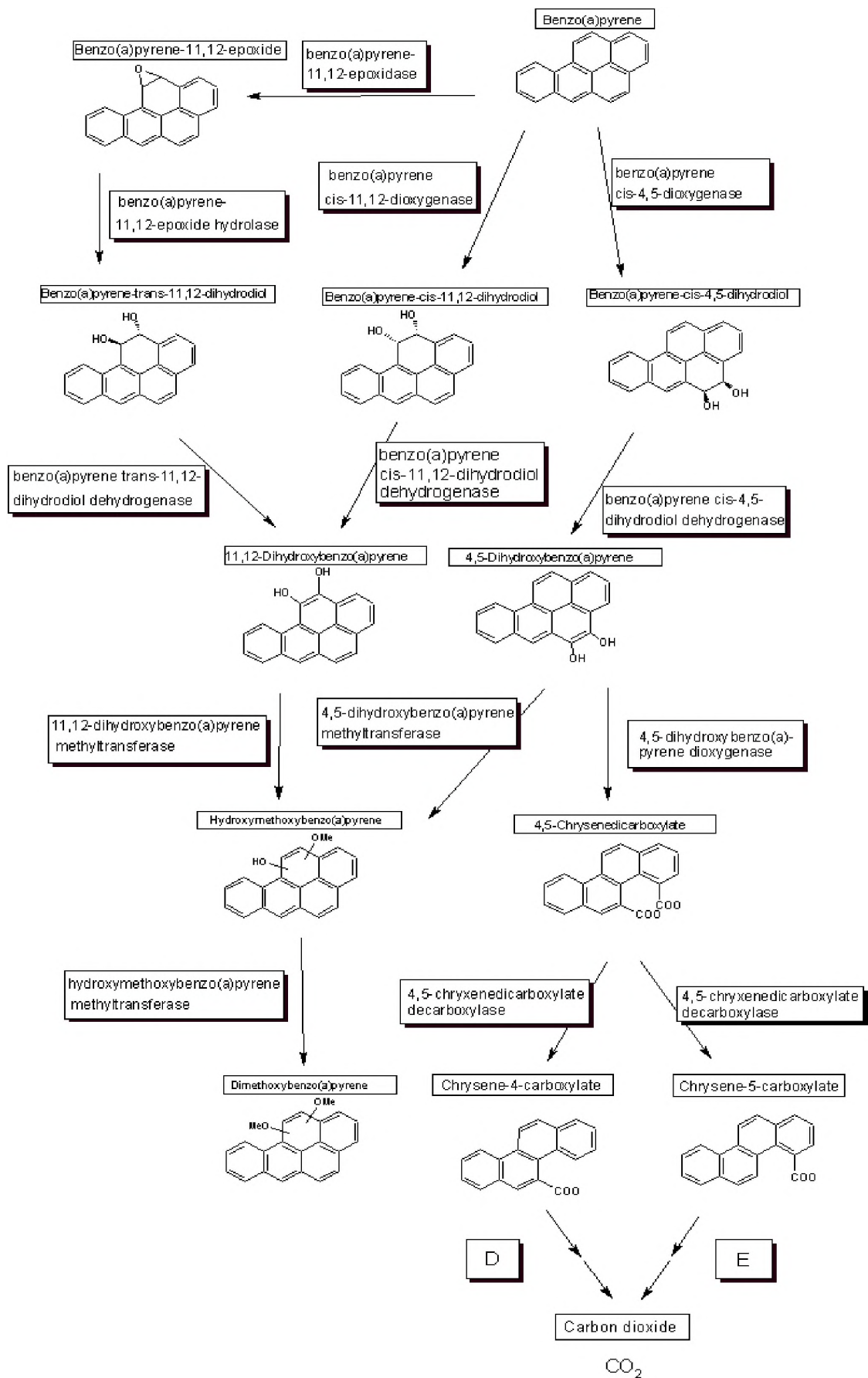
### 3.2.2.2 Negativní působení polycyklických aromatických uhlovodíků

Při kontaktu uhlovodíků a vody dochází k těkání těchto látek, k jejich rozpouštění, sorpci na tuhé fáze či k biologickému rozkladu. Uhlovodíky zhoršují kvalitu vody ať už zhoršením organoleptických vlastností nebo toxickým působením na vodní organismy. Povrchové filmy těchto látek zamezují dostatečnému přísunu vzdušného kyslíku podvodnímu světu, čímž jsou ovlivněny nejen živočichové a rostliny, ale i samočistící schopnost vody s tím spojená. Uhlovodíky jsou velmi ochotné podléhat sorpci na nerozpuštěných látkách a sedimentech. Tato vlastnost umožňuje jejich transport v celém prostředí. Polycyklické uhlovodíky jsou jednou z největších skupin karcinogenů, která vzniká při spalování organické hmoty. Samotnou toxicitu polycyklických aromatických uhlovodíků zpozoroval Percival Pott u mladých kominíků a na základě

jeho podkladů se musela upravit i tehdejší legislativa týkající se zaměstnávání dětí, a to již v 18. století. Další nevýhodou uhlovodíků je jejich schopnost podlehnout fotochemickým, chemickým a biochemickým transformacím. Tyto procesy slouží v přírodě pro snížení samotné toxicity látky, ovšem v případě těchto látek někdy dochází naopak ke zvýšení toxicity a tím ještě ve větším měřítku poškozují životní prostředí. Příkladem může být biotransformace benzo[a]pyrenu, který se může transformovat na látky poškozující DNA, způsobuje mutace, což může vést až k růstu nádorů např.: kůže, plic aj. [10]. Schéma celé biotransformace benzo[a]pyrenu (viz Obr. 20). Jedná se o biotransformaci bakterií *M. vanbaalenii* [53].

### **3.2.2.3 Stanovení polycyklických uhlovodíků ve vodách**

V normě ČSN EN ISO 17993 se specifikuje stanovení 15 PAH, a to kapalinovou chromatografií s fluorescenční detekcí po extrakci kapalina-kapalina. Tato metoda stanovení je určena především pro přírodní a užitkové vody, avšak po určité obměně je následně vhodná i pro vody odpadní. Limit pro stanovení PAH v podzemních a pitných vodách je nad hodnotu  $0,005 \mu\text{l}^{-1}$ . Limit pro stanovení PAH v povrchových vodách je nad hodnotu  $0,01 \mu\text{l}^{-1}$  [54]. Dále existuje norma, která stanovuje PAH v kalech a sedimentech a to TNV 75 8055 Charakterizace kalů – Stanovení vybraných polycyklických aromatických uhlovodíků metodou HPLC s fluorescenční detekcí z roku 2003.



Obrázek 20 – Biotransformační schéma benzo[a]pyrenu bakterii *M. vanbaalenii* [53]

### 3.3 Tenzidy a detergenty

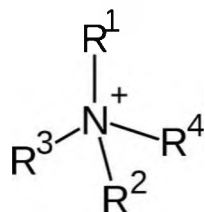
Název tenzidy je používán pro povrchově aktivní látky (PAL). Jedná se o skupinu organických látek, které se při malých koncentracích akumulují na fázovém rozhraní a tím snižují povrchovou energii. Znamená to, že v soustavě kapalina-tuhá fáze či kapalina-kapalina se snižuje mezifázové napětí a soustavě kapalina-plyn se snižuje povrchové napětí. Povrchová aktivita tenzidů se následně projevuje pěněním vodních zdrojů. I synteticky vyrobené tenzidy nejsou látky čisté, a proto se hovoří o aktivních látkách, tedy takových, kde obsah tenzidu je 100 %. Tenzidy jsou v dnešní době hojně využívány a jsou součástí čisticích, mycích, pracích, pěnicích prostředků, které kromě tenzidů obsahují další látky či přísady, které zlepšují jejich účinek [16].

#### 3.3.1 Dělení tenzidů

Dle chemického hlediska dělíme tenzidy na kationtové, aniontové, neiontové a amfolytické. Molekula dané sloučeniny určuje povrchovou aktivitu. Molekula musí obsahovat dlouhý hydrofobní uhlovodíkový řetězec od osmi uhlíků a výše a minimálně jednu hydrofilní skupinu jako je karboxylová. Kationtové tenzidy disociují na povrchově aktivní kationt, aniontové na povrchově aktivní anion, neiontové tenzidy nedisociují jako kationtové a aniontové, avšak se rozpouští solvatací s vícero hydrofilními skupinami. V poslední řadě amfolytické tenzidy nabývají jak kationtového, tak aniontového charakteru v závislosti na pH daného prostředí.

##### 3.3.1.1 Kationtové tenzidy

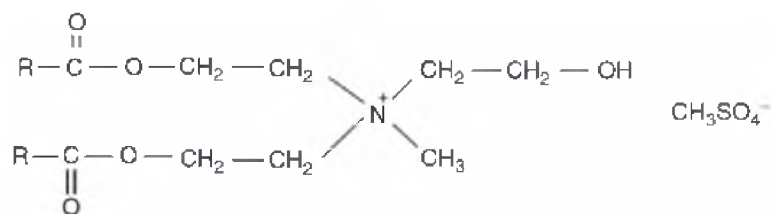
Mezi kationtové tenzidy patří kvarterní amoniové sloučeniny a pyridiniové sloučeniny, které mají v molekule minimálně jeden dlouhý hydrofobní řetězec. Kvarterní amoniové sloučeniny (KAS) mají v molekule obecně jeden až tři alkyly (viz Obr. 21).



Obrázek 21 - Obecný vzorec KAS [55]

Tyto sloučeniny byly ale nahrazeny tzv. esterquaty pro jejich lepší biologickou rozložitelnost [56]. Z ekologického hlediska jsou tedy příznivější esterquaty

neboli kvarterní sloučeniny, které mají přítomnou esterovou vazbu v hydrofobním alifatickém řetězci (viz Obr. 22), jelikož ochotněji podléhají biologické degradaci.

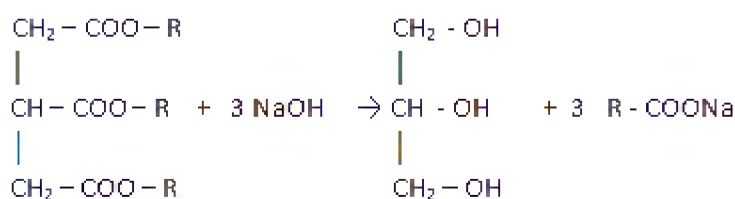


**Obrázek 22 - Vzorec kvarterního esterquatu [57]**

Kationtové tenzidy se zejména využívají jako změkčovací a antistatické látky na vlákna a dále se uplatňují jako inhibitory koroze. Také mají dispergační a mikrobicidní účinky a jsou přidávány do dezodorantů či do antiseptik [10]. Své využití nacházejí při praní syntetických textilií, které je nutné po tomto procesu ještě antistaticky upravit. Biologická rozložitelnost kationtových tenzidů je oproti aniontovým mnohem horší.

### 3.3.1.2 Aniontové tenzidy

K aniontovým tenzidům patří mýdla, alkylsulfáty, alkansulfonany, alkensulfonony, alkylbenzensulfonany aj. Mýdlo má svoji charakteristickou strukturu  $R - \text{COONa}$ , nebo  $R - \text{COOK}$ . Obecná rovnice výroby mýdla (viz Obr. 23) a jedná se o alkalickou hydrolyzu esterů za vzniku daného alkoholu a příslušné alkalické soli vyšších mastných kyselin (kyselina palmitová, kyselina stearová aj.)



**Obrázek 23 – Obecná alkalická hydrolyza esterů [58]**

Jedná se o soli vyšších alifatických kyselin původu přírodního, s  $\text{C}_{16}$  až  $\text{C}_{18}$ , s přímým řetězcem. Díky své struktuře jsou proto snadno biologicky rozložitelné či odbouratelné. A to z toho důvodu, že alifatický řetězec ochotně podstupuje biochemickou beta-oxidaci, při níž se odštěpují molekuly kyseliny octové, která je snadno odbouratelná. Mýdlo je pro vodní prostředí neškodné [16]. Mýdlo se také přidává jako druhořadý tenzid v práškových pracích prostředcích, kde má zároveň funkci

odpěňovače [56]. Alkylsulfáty jsou vyráběny sulfatací vyšších alifatických alkoholů od C<sub>10</sub> až C<sub>18</sub>. Na konci řetězce je sulfátová skupina  $-O-SO_3Na$ , která velmi ochotně podstupuje biologickou hydrolyzu a jejich obecný vzorec je  $R-CH_2-O-SO_3Na$ . Pro vodohospodářství jsou málo závadné. Alkylbenzensulfonany (ABS) jsou s největší frekvencí využívané aniontové tenzidy. Přípravují se z ropy alkylací benzenu frakcemi C<sub>10</sub> až C<sub>18</sub> a jejich sulfonací. ABS jsou látky biologicky málo rozložitelné a pro vodohospodářství se jejich používání nedoporučuje.

### 3.3.1.3 Neiontové a amfolytické tenzidy

Příkladem neiontových tenzidů jsou oxyethylenáty fenolů, alkoholů, kyselin a aminů. Zástupci amfolytických tenzidů se v alkalickém prostředí chovají stejně jako aniontové tenzidy a v kyselém prostředí se chovají jako kationtové tenzidy. Mezi hlavní představitele patří alkybetainy. Amfolytické tenzidy mají optimální práci a čisticí schopnosti a své uplatnění mají především v kosmetickém průmyslu, ale také jako avivážní prostředky [16].

### 3.3.2 Nepříznivé účinky tenzidů

Nepříznivé vlastnosti tenzidů, zejména jejich pění, negativně ovlivňuje městské, odpadní, povrchové vody a v dnešní době představují významné kontaminanty vod [10]. Při aplikaci zákona zachování hmoty, platí zde Imbesiho zákon o zachování špíny: „Aby bylo možno jedno vyčistit, musíme něco jiného ušpinit.“ Znamená to, že se pouze špína přesouvá na jiné místo z místa původního působením energie a jiné hmoty [56]. Pěnovost je závislá na chemickém složení daného tenzidu. Toto pění způsobuje na biologických čistírnách odpadních vod závažný vodohospodářský problém, který byl zaznamenán již v 50. – 60. letech minulého století a vedl k legislativním úpravám. U neiontových tenzidů na bázi oxyethylenátu alkylfenolů byly dokonce prokázány estrogenní účinky, to znamená, že vykazovaly velmi podobnou aktivitu jako ženský hormon estradiol. To vedlo k zákazům užívání těchto látek v některých zemích či jejich zásadní omezení [10]. Z průzkumů minulých let bylo zjištěno, že největší podíl na spotřebě tenzidů má Severní Amerika a západní Evropa, ty spotřebovaly přibližně jednu polovinu veškeré světové spotřeby tenzidů a v následujících letech je očekáván další nárůst [56]. Demonstrujícím příkladem negativních účinků tenzidů je řeka Yamuna, která se nachází v Indii. Je to nejvíce průmyslově znečištěná voda. Problémem není pouze samotné



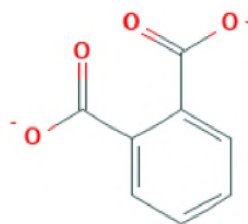
znečištění řeky, ale neznalost obyvatel vážných negativních důsledků na jejich zdraví, související s koupáním v této kontaminované vodě (viz Obr. 24)



**Obrázek 24 – Znečištěná indická řeka Yamuna toxickou pěnou z průmyslových výrob [59]**

### **3.4 Látky vyluhující se z plastů**

Skupinou látek, které v dnešní době nabývají neustále na negativní popularitě jsou ftaláty neboli estery kyseliny ftalové (viz obr. 25)



**Obrázek 25 – Strukturální vzorec ftalátu [60]**

Jelikož nejsou v plastu chemicky vázány, mohou se louhováním uvolňovat do vod. Uplatňují se především jako změkčovadla při výrobě plastů, zejména při výrobě PVC. Pokud dochází ke spalování plastových odpadů za nižších teplot, dochází při tom k uvolňování ftalátu do atmosféry a následně ke kontaminaci atmosférických vod, sekundárně dochází ke kontaminaci vod povrchových, sedimentů a půd. Za další antropogenní zdroje těchto látek se také považují balené vody v plastových obalech a následně látky, které se z nich uvolňují do vodního obsahu. Většina ftalátů

je z organismu odváděna pryč, ale kvůli jejich lipofilitě se také ochotně ukládají do tukových tkání. Jejich akutní toxicita nebyla prokázána, ale chronická toxicita má negativní vliv na hormonální a reprodukční systém, a mohou být karcinogenní. Limitní hodnota pro ČR pro [di(ethylhexyl)-ftalát] neboli DEHP je  $10 \mu\text{g.l}^{-1}$ . DEHP se uvolňuje z materiálů vyrobených z PVC, kde plní funkci změkčovadla. Další kontrolovanou látkou, která se může uvolnit z plastového potrubí například z PVC je akrylamid. Jeho nejvyšší přípustná hodnota ve vodách je  $0,1 \mu\text{g.l}^{-1}$ . Akrylamid má karcinogenní a mutagenní účinky [16].

### 3.5 Pesticidy

Pesticidy jsou biocidními látkami, které se používají pro preventivní destrukci, odpuzování či zmírnění následků škodlivých živočichů [61], na ochranu proti plevelům, houbám a na ochranu zemědělských rostlin. Svoje místo našly pesticidy i ve vodohospodářství, a to zejména na hubení některých druhů vodních rostlin, k omezení zooplanktonu v okamžiku, kdy jsou ohroženy ryby nedostatkem kyslíku a dále k antiparazitárnímu ošetření kaprovitých ryb. Pesticidy tvoří velmi obsáhlou skupinu látek a dělí se do několika kategorií podle [61]:

- biologické účinnosti (viz Tabulka 11)
- chemického typu dané účinné látky

**Tabulka 11 – Dělení pesticidů dle biologické účinnosti [10]**

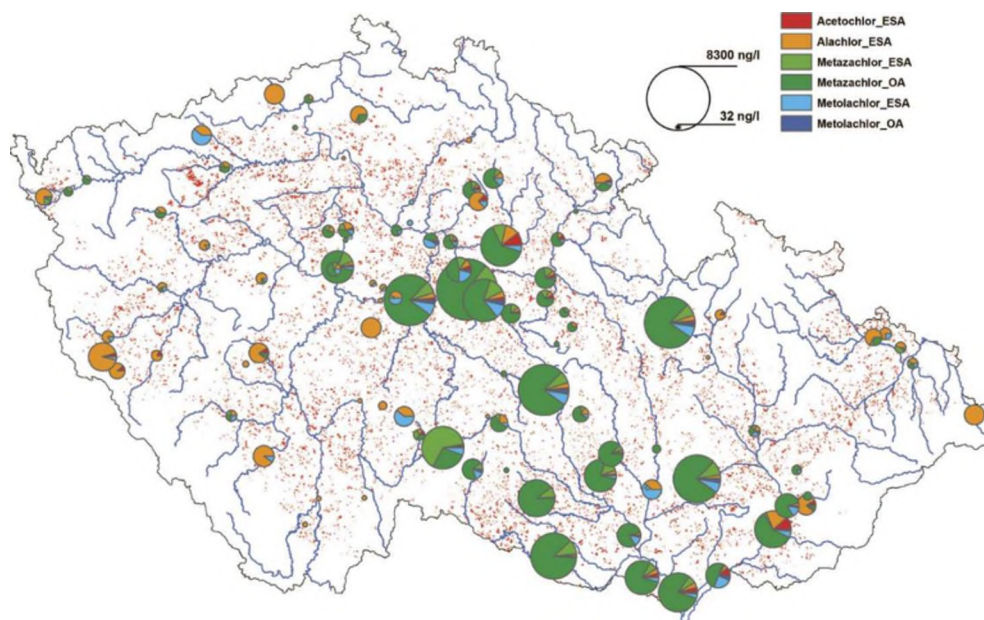
Druh pesticidu	Účinek
insekticidy	prostředky používané k usmrcení hmyzu
herbicidy	prostředky používané k hubení plevelů
fungicidy	prostředky používané k hubení škodlivých a parazitických hub

Některé látky vykazují více účinků. Pesticidy jsou charakterizovány obecným názvem, který je nejdůležitější a platný skrze jednotlivé státy, dále mají obchodní název, který si mohou výrobci měnit a způsobují tím nepřehlednost.

Pesticidy mohou mít anorganickou nebo organickou povahu. U anorganických pesticidů je aktivní složkou nejčastěji měď, rtuť, arsen, olovo, fluor, elementární síra či polysulfidy. V současnosti jsou ale v převaze organické pesticidy.

### 3.5.1 Organické pesticidy

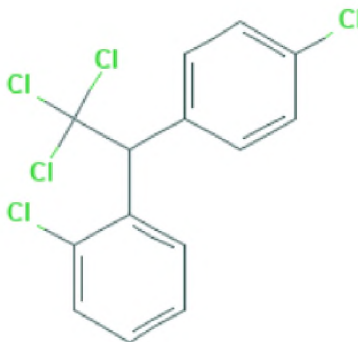
Organické pesticidy lze také rozdělit do několika skupin, z nichž nejvýznamnějšími jsou organochlorové a organofosforové pesticidy. Dalšími skupinami organických pesticidů jsou karbamáty užívané v dnešní době jako jedy, heterocyklické sloučeniny jako triaziny, deriváty močoviny aj. [10]. Pesticidy se dostávají do vod splachem z polí, z plodin nebo větrem při leteckém postřiku. Dalšími zdroji jsou vody, které pochází z výroby pesticidů a vody určené pro umývání a vyplachování mechanického rozstřikovače v okolí vodních zdrojů. Pesticidy v těchto kontaminovaných vodách narušují rovnováhu v tocích a tím působí toxicky na biocenózu. Dále přispívají k poruchám samočisticí schopnosti vody [6]. Obrázek č. 26 demonstruje množství vybraných pesticidů ve vodovodech na území České republiky a z něhož je patrné, že nejvíce zastoupeným pesticidem je metazachlor\_OA, neboli N-(2,6-dimethylphenyl)-N-(1H-pyrazol-1-ylmethyl)oxalamide [62], což je používaný organický herbicid.



Obrázek 26 – Výsledky vybraného spektra pesticidních látek ve vybraných veřejných vodovodech v celé ČR [63]

### 3.5.1.1 DDT

Mezi nejvýznamnější a mediálně nejznámější organochlorové insekticidy patří DDT, jehož zkratka pochází z ne zcela korektního chemického názvu dichlordifenyltrichlorethan, jeho strukturní vzorec je zobrazen na Obrázku 27. DDT je velmi stálý, málo těkavý s lipofilní povahou a nízkou rozpustností. Jeho velkou nevýhodou je schopnost kumulovat se v tukových tkáních organismů [10].



Obrázek 27 – Strukturní vzorec 2,4'-DDT [64]

Při jeho zavádění se uvádělo, že má výhodné vlastnosti, zejména široké spektrum insekticidních vlastností, odolný, stabilní, ale především málo toxický pro savce. Tento poslední bod se stal ovšem velkým omylem a DDT je nyní stále hrozbou jak pro savce, tak životní prostředí a jiné organismy [61]. Je to bezbarvý až bílý krystalický prášek, který má slabou aromatickou vůni a je to látka čistě antropogenního původu. Roku 1948 byla švýcarskému chemiku Paulu Hermannovi Mullerovi udělena Nobelova cena za fyziologii a medicínu. Jelikož jako první popsal právě insekticidní vlastnosti DDT. Od druhé světové války se začalo DDT využívat v masovém měřítku, dokonce byl rozprašován letadly, aby se dostal na co nejvíce míst a zasáhl tak co největší množství hmyzu (viz Obr. 28).



**Obrázek 28 - Rozprašování DDT nad americkými lesy [65]**

Zejména se používal na hubení hmyzu v zemědělství, ale jeho hlavním úkolem bylo zničení komárovitého hmyzu v tropických zemích. Cílem tedy bylo zničit malárii a tyfus. DDT má velkou schopnost adsorbovat se na tuhé fáze, a to se ukazuje jako jeden z velmi negativních dopadů na lidskou, živočišnou i rostlinou populaci.

#### **3.5.1.1.1 Biodegradace DDT**

Při rozprašování DDT letadly docházelo díky slunečnímu záření k jeho rychlému rozkladu, přibližně za necelé dva dny [65]. Jenže DDT se dokázal navázat na prach či aerosoly ve vzduchu. V půdě jeho rozklad trvá několik let, od dvou do patnácti let, díky půdním mikroorganismům. Velmi ochotně a silně se váže na půdní částice, a to je důvod jeho výskytu a kontaminace vod. DDT se do lidského organismu dostal přirozeným potravním řetězcem, v důsledku jeho schopnosti se bioakumulovat. Zvěř, která byla v kontaktu s insekticidem, měla v tukových zásobách tuto látku hojně zastoupenou. Nejvíce byli ohroženi predátoři a tím i člověk.

#### **3.5.1.1.2 Negativní účinky DDT na lidské zdraví**

U lidské populace byly zaznamenány případy akutní expozice DDT, kdy byly pozorovány následky jako bolest hlavy, malátnost, podrážděnost a při vysokých expozicích třes a křeče. Při chronické expozici docházelo k poškození jater, narušení funkce steroidních hormonů a metabolismu. DDT byl zařazen mezi karcinogeny. V současné době je užívání či výroba DDT zakázána, a to Stockholmskou dohodou, která vstoupila

v platnost 17. května 2014. Obecně pojednává o nebezpečnosti organických perzistentních polutantech a byla uznána Spojenými národy [66].

#### **3.5.1.1.3 Negativní dopady užívání DDT na životní prostředí**

Dopady na životní prostředí jsou v České republice stálé, a to kvůli užívání tohoto pesticidu v minulosti. Jelikož se jedná o perzistentní látku, je schopná se dostávat i na dlouhé vzdálenosti od původního místa výskytu. Do České republiky se může určité množství DDT dostávat z okolních zemí, kde zakázáno nebylo. Zdroji mohou být staré ekologické zátěže či rizikové skládky aj. [67]. Pesticidy jsou i v dnešní době poměrně kontroverzním tématem.

## Závěr

Člověk neustále ovlivňuje koloběh vod, ať už těch povrchových, podzemních či atmosférických, a to většinou negativním způsobem. Největší rozmach byl zaznamenán od průmyslové revoluce a tento trend neustále roste, ať již s tím korelující nárůst obyvatel anebo jejich se neustále zvyšující požadavky na kvalitu života. Významně se na kvalitě vody podílí i zásahy při vrtném průmyslu. Živočichy, rostlinstvo i člověka negativně ovlivňují uvolněné látky, a to zejména na kvalitě života či jako zdroje chorob. Odpadní splaškové vody ohrožují lidské životy v momentě, kdy neprochází klasicky přes čističku odpadních vod anebo nejsou rozředěny dostatečným způsobem v řekách, do kterých jsou vypouštěny. Nebezpečí představuje vysoká koncentrace organických látek, které mohou způsobit nadměrné znečištění povrchových vod, a tedy dochází ke znemožnění využití těchto vod k rekreačnímu využití, závlahám nebo dokonce k pití. V místech s vysokou koncentrací organických látek dochází často k hnilobným procesům, kde mohou snadno přežít patogenní organismy. Z mikrobů jsou to především střevní nákazy jako je salmonela a tyfus, původci hnisavých kožních onemocnění, mezi něž patří stafylokoky či mikrokoky, dále původci tuberkulózy. Z virových infekčních onemocnění jsou to původci dětské obrny, nakažlivého zánětu jater jako hepatitis epidemica A + C [1].

Odpadní průmyslové vody mají velmi rozmanité složení. Hlavním nebezpečím je vysoká koncentrace organických látek či toxických látek. Samotné riziko představují organické látky jak přírodního, tak antropogenního původu. Mezi nebezpečné látky patří především ty rezistentní vůči všem formám rozkladu. Sem patří zejména polycyklické aromatické uhlovodíky, které především vznikají při přeměně organické hmoty. Ty se dostávají do životního prostředí antropogenní činností a to z 91,7 %. Jejich malými zdroji jsou přírodní lesní požáry či vulkanická činnost. Dalšími látkami jsou halogenované uhlovodíky, tenzidy a detergenty, pesticidy aj. Nebezpečnými anorganickými látkami jsou zejména těžké kovy, které při vyšších koncentracích působí toxicky jak na vodní organismy, tak na člověka při užívání těchto vod. Mezi nejvýznamnější těžké kovy s negativním účinkem patří rtuť, jejíž užití je značně omezeno a korigováno Evropskou unií. Dalšími toxickými kovy je olovo, kadmium, chrom, arsen, selen. Vždy závisí na koncentraci daného kovu a styku tohoto kovu s organismy [1].

Mým předpokladem bylo, že se kvalita vody v posledních letech zhoršila v závislosti na neustálém rozmachu průmyslu a staveb. Na základě dat, které byly sesbírané

příslušnými institucemi ve Statistické ročence životního prostředí České republiky publikované CENÍ, jsem zjistila, že se kvalita srážkových vod výrazně nezměnila oproti minulým letům. Hodnoty mají trend mírně kolísavý a dle mého jsou tyto výsledky jako následek neustálého zpříšňování emisních i imisních limitů v legislativě ať už České republiky či Evropské unie. Dalším možným vysvětlením je neustále se rozvíjející vědecký a technický pokrok. Ne všude se však daří těmto zvýšeným nárokům urychleně a operativně vyhovět, často i pro nedostatek finančních prostředků a možnosti provádět větší technologické změny. Kvality podzemních i povrchových vod jsou též na podobných hodnotách a opět dochází ke kolísání hodnot zřejmě ze stejných výše zmíněných důvodů. Zde se zejména uplatňuje přísná legislativa a následné poplatky za nedodržení podmínek o vypouštění vod odpadních do vod povrchových či do vod podzemních.

Česká republika je pouze malým střípkem mezi celým světem. Každý stát by se měl chovat šetrně k vodním zdrojům, jelikož jejich nedostatek není tak vzdálený, jak si většina velmocí myslí. Důkazem toho je fakt, že právě dvě důležité velmoci vystoupily z Kjótského protokolu. Technologie by měly pomáhat chránit toto přírodní bohatství, a ne ho ničit.



## Seznam literatury

1. BENCKO, Vladimír, Jaroslav NOVÁK a Miloš SUK. *Zdraví a přírodní podmínky: Medicína a geologie*. Praha: DOLIN, 2011. ISBN 978-80-905047-0-7
2. ČAPOUNOVÁ, Kateřina. Vyšlo v Zemědělci: Ekozemědělci doplácí na DDT. *Česká ekologická platforma pro ekologické zemědělství* [online]. 12/2016 [cit. 2019-08-28]. Dostupné z: <https://www.ctpez.cz/cz/clanky/vyslo-v-zemedelci-ekozemedelci-doplaci-na-ddt>
3. HOLOUBEK, Ivan, Anton KOČAR, Irena HOLOUBKOVÁ a Jiří KOHOUTEK. *Persistentní organické polutanty* [online]. Brno, 2001, IX.(2/2001), 13 s. [cit. 2019-08-28]. ISSN 1213-3396. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/A0750BCC7925B390C1256FAF0048ADF9/\\$file/chlatky1.pdf](https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/A0750BCC7925B390C1256FAF0048ADF9/$file/chlatky1.pdf)
4. SMEJKAL, Petr. Víte, jak dlouho vydrží lidské tělo bez jídla, vody a spánku? *Zoom magazín* [online]. 2019, 22. 10. 2019 [cit. 2019-11-21]. Dostupné z: <https://zoommagazin.iprima.cz/zajimavosti/vite-jak-dlouho-vydrzi-lidske-telo-bez-jidla-vody-a-spanku>
5. SILNÝ, Jiří a Markéta NOVOTNÁ. Víte, jak dlouho vydrží lidské tělo bez jídla, vody a spánku? *Lidovky* [online]. 17. prosince 2010 [cit. 2020-04-29]. Dostupné z: [https://www.lidovky.cz/noviny/voda-pro-ruze-ne-pro-lidi.A101217\\_000115\\_ln\\_noviny\\_sko](https://www.lidovky.cz/noviny/voda-pro-ruze-ne-pro-lidi.A101217_000115_ln_noviny_sko)
6. ZACHAR, Dušan a Karel JÚVA. *Využití a ochrana vod ČSSR z hlediska zemědělství a lesního hospodářství*. Praha: Academia, 1987
7. DOUŠOVÁ, Barbora a František BŮZEK. *Chemie životního prostředí: úvod do chemie atmosféry, hydrosféry a geosféry*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2016. ISBN 978-80-7080-979-2
8. ŠTĚPÁNEK, Miroslav a kolektiv autorů. *Hygienický význam životních dějů ve vodách*. Praha: Avicenum, 1979
9. ŠELEŠOVSKÁ, Renáta, Lenka BANDŽUCHOVÁ a Jaromíra CHÝLKOVÁ. *Ekoeanalýza II*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2013. ISBN 978-80-7395-633-2.
10. PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 4., aktualiz. vyd. Praha: Vydavatelství VŠCHT Praha, 2009. ISBN 978-80-7080-701-9

11. ŘÍHA, Josef. *Voda a společnost*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1987. Ochrana životního prostředí. ISBN (váz.).
12. Stav podzemních vod. *Český hydrometeorologický ústav* [online]. [cit. 2019-10-15]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/aktualni-situace/hydrologicka-situace/stav-podzemnich-vod>
13. Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)
14. ŠOBR, Miroslav. Hydrologický cyklus. ResearchGate [online]. January 2016 [cit. 2019-08-29]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/312198451\\_Hydrologicky\\_cyklus](https://www.researchgate.net/publication/312198451_Hydrologicky_cyklus)
15. Oběh vody - The Water Cycle diagram in Czech. In: USGS science for a changing world [online]. Sunday, February 19, 2017 [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://www.usgs.gov/media/images/ob-h-vody-water-cycle-diagram-czech>
16. SÝKORA, Vladimír, Hana KUJALOVÁ a Pavel PITTER. *Hydrochemie pro studenty bakalářského studia*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2016. ISBN 978-80-7080-949-5
17. Statistická ročenka životního prostředí České republiky. *CENIA* [online]. 11.1.2019 [cit. 2020-04-29]. Dostupné z: [https://www.cenia.cz/wp-content/uploads/2019/07/Statisticka\\_Rocenka\\_ZP\\_CR\\_2017-1.pdf](https://www.cenia.cz/wp-content/uploads/2019/07/Statisticka_Rocenka_ZP_CR_2017-1.pdf)
18. HRUŠKA, Jakub a Jiří KOPÁČEK. Kyselý déšť stále s námi – zdroje, mechanismy, účinky, minulost a budoucnost. Ministerstvo životního prostředí [online]. 5/2005 [cit. 2019-08-28]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/DC21A4C7F0AFAD0AC1257081001AA6B7/\\$file/planeta\\_web.pdf](https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/DC21A4C7F0AFAD0AC1257081001AA6B7/$file/planeta_web.pdf)
19. KLEIN, Richard M. The Complexities of Acid Rain: Overcoming ecological damage from airborne pollution poses economic and political, as well as scientific, problems. *ACS Publications* [online]. October 24, 1988 [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/cen-v066n043.p049>
20. KLIKORKA, Jiří, Bohumil HÁJEK a Jiří VOTINSKÝ. *Obecná a anorganická chemie*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1985.
21. *Lake Hillier* [online]. [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://hillierlake.com/>

22. Lake Hillier. *Australia's guide* [online]. [cit. 2019-10-16]. Dostupné z: <https://www.australias.guide/wa/attraction-tour/lake-hillier/>
23. HERKOMMEROVÁ, K., PICHOVÁ, I. Biodegradace textilních barviv v odpadních vodách pomocí lakas. *Chemické listy* [online]. 2017 [cit. 2019-08-29]. Dostupné z: [http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2017\\_12\\_798-803.pdf](http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2017_12_798-803.pdf).
24. KOŽÍŠEK, F. Kam směřuje kontrola a analytika pitné vody. *Chemické listy* [online]. 2011 [cit. 2019-08-29]. Dostupné z: [http://www.w.chemicke-listy.cz/docs/full/2011\\_04\\_237-244.pdf](http://www.w.chemicke-listy.cz/docs/full/2011_04_237-244.pdf).
25. KAFKA, Z., et al. Těžké kovy v přírodě a jejich toxicita. *Chemické listy* [online]. 2002 [cit. 2019-08-29]. Dostupné z: [http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2002\\_07\\_05.pdf](http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2002_07_05.pdf).
26. Kunststoff PVC - Polyvinylchlorid. *Maschinenbau-Wissen.de: Die Maschinenbau-Community* [online]. [cit. 2019-11-23]. Dostupné z: <http://www.maschinenbau-wissen.de/skript3/werkstofftechnik/kunststoffe/352-polyvinylchlorid>
27. Přírodní halogenderiváty. *Věda.cz: Průvodce informacemi o vědě a výzkumu* [online]. 7. 11. 2005 [cit. 2019-11-23]. Dostupné z: <http://www.veda.cz/article.do?articleId=11801>
28. Čína vypouští do ovzduší freony. Přestože je před 12 lety oficiálně přestala vyrábět. *Česká televize* [online]. 26.5.2019 [cit. 2019-11-23]. Dostupné z: <https://ct24.ceskatelevize.cz/svet/2823938-cina-vypousti-do-ovzdusi-freony-prestoze-je-pred-12-lety-oficialne-prestala-vyrabet>
29. GRAY, Ellen a Theo STEIN. 2019 Ozone Hole is the Smallest on Record Since Its Discovery. *NASA* [online]. Oct. 21, 2019 [cit. 2019-11-23]. Dostupné z: <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2019/2019-ozone-hole-is-the-smallest-on-record-since-its-discovery>
30. VAŠEK, Petr, Jana BÍŽOVÁ a Václav JANDA. Odstraňování halogenovaných uhlovodíků z vody elementárním železem. *Chemické listy* [online]. 2004, 16.2.04, 98, 985-988 [cit. 2019-11-23]. ISSN 1213-7103. Dostupné z: [http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2004\\_11\\_04.pdf](http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2004_11_04.pdf)

31. RUSSELL, Richard C., Domenico OTRANTO a Richard L. WALL. *The encyclopedia of Medical and Veterinary Entomology*. Velká Británie: CABI Publishing, 2013. ISBN 978-1-78064-037-2.
32. 2,6-Dichlorophenol. *National Center for Biotechnology Information: PubChem Database* [online]. [cit. 2019-11-23]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/2%2C6-DICHLOROPHENOL>
33. VLKOVÁ, L., CÍRKVA, V. Chlorované fenoly a způsoby jejich degradace. *Chemické listy* [online]. 2005, vol. 99 [cit. 2019-08-31]. Dostupné z: [http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2005\\_02\\_125-130.pdf](http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2005_02_125-130.pdf).
34. 2-Chlorophenol. *National Center for Biotechnology Information: PubChem Database* [online]. [cit. 2019-11-23]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/7245#section=Structures>
35. 3-Chlorophenol. *National Center for Biotechnology Information: PubChem Database* [online]. [cit. 2019-11-23]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/7933#section=2D-Structure>
36. Bezpečnostní list podle 1907/2006/ES, Článek 31: Bezpečnostní list 4-chlorfenolu. *Personalising medicine: Fargon* [online]. [cit. 2019-11-23]. Dostupné z: [https://fargon.com/sites/default/files/document/msds\\_coa/106-48-9\\_%28CZ%29.pdf](https://fargon.com/sites/default/files/document/msds_coa/106-48-9_%28CZ%29.pdf)
37. 4-Chlorophenol. *National Center for Biotechnology Information: PubChem Database* [online]. [cit. 2019-11-13]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/4684#section=Structures>
38. STRATIL, P., KUBÁŇ, V. Exogenní karcinogeny v potravinách a karcinogeny vznikající při jejich technologickém zpracování. *Chemické listy* [online]. 2005, vol. 99 [cit. 2019-08-31]. Dostupné z: [http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2005\\_01\\_3-12.pdf](http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2005_01_3-12.pdf).
39. Polychlorované bifenyly (PCB). *Integrovaný registr znečišťování* [online]. [cit. 2019-11-13]. Dostupné z: [https://www.irz.cz/repository/latky/polychlorovane\\_bifenyly.pdf](https://www.irz.cz/repository/latky/polychlorovane_bifenyly.pdf)
40. POPL, Milan a Jan FÄHNRICH. *Analytická chemie životního prostředí*. Vyd. 4., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 1999. ISBN 80-7080-336-3.

41. 2,4,4'-Trichlorbiphenyl. *National Center for Biotechnology Information: PubChem Database* [online]. [cit. 2019-11-10]. Dostupné z:  
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/23448#section=3D-Conformer>
42. ČERNÁ, Milena, Hana BAVOROVÁ, Andrea BATÁRIOVÁ, et al. 42. Zdravotní důsledky expozice lidského organismu toxickým látkám ze zevního prostředí (biologický monitoring).: Odborná zpráva za rok 2005. *Státní zdravotní ústav* [online]. červen 2006 [cit. 2019-11-23]. Dostupné z:  
[http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/biomonitoring/biologicky\\_monitoring\\_05.pdf](http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/biomonitoring/biologicky_monitoring_05.pdf)
43. 2,3,7,8-tetrachlordibenzo-p-dioxin. *National Center for Biotechnology Information: PubChem Database* [online]. [cit. 2019-11-10]. Dostupné z:  
[https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/2\\_3\\_7\\_8-Tetrachlorodibenzo-P-dioxin#section=3D-Conformer](https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/2_3_7_8-Tetrachlorodibenzo-P-dioxin#section=3D-Conformer)
44. Agent Orange a napalm: symboly války ve Vietnamu zabíjejí dodnes. *Česká televize* [online]. 17. 8. 2013 [cit. 2019-11-11]. Dostupné z:  
<https://ct24.ceskatelevize.cz/svet/1081058-agent-orange-a-napalm-symboly-valky-ve-vietnamu-zabijeji-dodnes>
45. KURÁŇ, P., NOVÁKOVÁ, J., JANOŠ, P. Možnosti stanovení uhlovodíků C10-C40 v kompostech a kalech metodou plynové chromatografie s plamenově-ionizačním detektorem s klasickým injektorem s děličem a bez děliče toku. *Chemické listy* [online]. 2011, vol. 105 [cit. 2019-01-09]. Dostupné z: [http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2011\\_02\\_133-137.pdf](http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2011_02_133-137.pdf).
46. ČSN EN ISO 15680 (75 7558) Jakost vod – Stanovení řady monocyklických aromatických uhlovodíků, naftalenu a některých chlorovaných sloučenin plynovou chromatografií s P&T a termální desorpcí. Datum vydání: Zář 2004.
47. TOMANIOVÁ, M., KOCOUREK, V., HAJŠLOVÁ, J. Polycyklické aromatické uhlovodíky v potravinách. *Chemické listy* [online]. 1997, vol. 91 [cit. 2019-01-09]. Dostupné z: [http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/1997\\_05\\_357-366.pdf](http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/1997_05_357-366.pdf).
48. Naphthalene. *National Center for Biotechnology Information: PubChem Database* [online]. [cit. 2019-11-11]. Dostupné z:  
<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Naphthalene#section=3D-Conformer>

49. Anthracene. *National Center for Biotechnology Information: PubChem Database* [online]. [cit. 2019-11-11]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/8418#section=3D-Conformer>
50. Fluorene. *National Center for Biotechnology Information: PubChem Database* [online]. [cit. 2019-11-11]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/8418#section=3D-Conformer>
51. Pyrene. *National Center for Biotechnology Information: PubChem Database* [online]. [cit. 2019-11-11]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/31423#section=3D-Conformer>
52. BENZO[A]PYREN: Grafická ročenka. *Český hydrometeorologický ústav* [online]. [cit. 2019-10-16]. Dostupné z: [http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/15groc/gr15cz/IV2\\_BaP\\_CZ.html](http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/isko/grafroc/15groc/gr15cz/IV2_BaP_CZ.html)
53. ŠMIDRKAL, J. Tenzidy a detergenty dnes. *Chemické listy* [online]. 1999, vol. 93 [cit. 2019-09-01]. Dostupné z: [http://www.w.chemicke-listy.cz/docs/full/1999\\_07\\_421-427.pdf](http://www.w.chemicke-listy.cz/docs/full/1999_07_421-427.pdf).
54. ČSN EN ISO 17993 (75 7555) Jakost vod – Stanovení 15 polycyklických aromatických uhlovodíků (PAU) metodou HPLC s fluorescenční detekcí po extrakci kapalina-kapalina. Datum vydání: Srpen 2004.
55. MIHULKA, Stanislav. 3D tištěné zuby jako antimikrobiální obrana úst. *OSEL Objective Source E-learning* [online]. 9. 10. 2015 [cit. 2019-11-12]. Dostupné z: <http://www.osel.cz/popisek.php?popisek=18282&img=3461px-quaternary-ammonium-cation.jpeg>
56. ŠMIDRKAL, J. Tenzidy a detergenty dnes. *Chemické listy* [online]. 1999, vol. 93 [cit. 2019-09-01]. Dostupné z: [http://www.w.chemicke-listy.cz/docs/full/1999\\_07\\_421-427.pdf](http://www.w.chemicke-listy.cz/docs/full/1999_07_421-427.pdf).
57. MISHRA, Siplhi a V.K. TYAGI. Ester Quats: *The Novel Class of Cationic Fabric Softeners*. Journal of Oleo Science. 2007
58. Acylglyceroly (tuky). *ELUC* [online]. [cit. 2019-11-13]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/2488>

59. CHALASANI, Radhika. Toxic foam pollutes India's sacred Yamuna River. *ABC NEWS* [online]. New York, 2018, 26 Sep 2018 [cit. 2019-10-16]. Dostupné z: <https://abcnews.go.com/International/toxic-foam-pollutes-indias-sacred-yamuna-river/story?id=57995346>
60. Phthalate. *National Center for Biotechnology Information: PubChem Database* [online]. [cit. 2019-11-13]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/181977#section=2D-Structure>
61. MIČKOVÁ, B., RAUCH, P., FUKAL, L. Možnosti imonochemického stanovení organochlorových a karbamátových pesticidů. *Chemické listy* [online]. 2004, vol. 98 [cit. 2019-09-01]. Dostupné z: [http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2004\\_11\\_02.pdf](http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2004_11_02.pdf).
62. Pasport látky metazachlor OA. *Hlásná a předpovědní povodňová služba* [online]. [cit. 2019-11-13]. Dostupné z: <http://hydro.chmi.cz/pasporty/pasport.php?css=arrow&seq=4635832>
63. MOULISOVÁ, Alena, Lenka BENDAKOVSKÁ, František KOŽÍŠEK, Adam VAVROUŠ, Hana JELIGOVÁ a Filip KOTAL. Pesticidy a jejich metabolity v pitné vodě. *Vodní hospodářství* [online]. Praha, 2017 [cit. 2019-10-16]. Dostupné z: <http://vodnihospodarstvi.cz/pesticidy-a-jejich-metabolity-pitne-vode/#prettyPhoto>
64. O,P'-DDT. *National Center for Biotechnology Information: PubChem Database* [online]. [cit. 2019-11-13]. Dostupné z: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/13089#section=Structures>
65. PIGULA, Topi. DDT – příběh látky, která dodnes ničí svět. *Zoom magazín* [online]. 01. 03. 2018 [cit. 2019-08-31]. Dostupné z: <https://zoommagazin.iprima.cz/zajimavosti/ddt-pribeh-latky-ktera-dodnes-nici-svet>
66. FILIP, L., ZOLAL, A. Perzistentní organické látky v životním prostředí a technologie pro jejich odstraňování. *Chemické listy* [online]. 2017, vol. 111 [cit. 2019-09-01]. Dostupné z: [http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2017\\_12\\_782-788.pdf](http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2017_12_782-788.pdf).
67. DDT. *Integrovaný registr znečišťování* [online]. [cit. 2019-08-31]. Dostupné z: <https://www.irz.cz/repository/latky/ddt.pdf>