



# Bioakumulace hexachlorcyklohexanů v mechorostech na lokalitě Hájek

## Bakalářská práce

*Studijní program:*

B0114A300075 Přírodopis se zaměřením na vzdělávání

*Studijní obory:*

Přírodopis se zaměřením na vzdělávání

Zeměpis se zaměřením na vzdělávání

*Autor práce:*

**Petra Burdychová**

*Vedoucí práce:*

Mgr. Martin Slavík, Ph.D.

Katedra chemie

*Konzultanti práce:*

Mgr. Pavel Hrabák, Ph.D.

Ústav nových technologií a aplikované informatiky

Mgr. Jana Steinová, Ph.D.





## Zadání bakalářské práce

# Bioakumulace hexachlorcyklohexanů v mechorostech na lokalitě Hájek

*Jméno a příjmení:* **Petra Burdychová**  
*Osobní číslo:* P21000402  
*Studijní program:* B0114A300075 Přírodopis se zaměřením na vzdělávání  
*Specializace:* Přírodopis se zaměřením na vzdělávání  
Zeměpis se zaměřením na vzdělávání  
*Zadávací katedra:* Katedra chemie  
*Akademický rok:* **2020/2021**

### Zásady pro vypracování:

1. Provedení rešerše na téma bioakumulace organochlorovaných pesticidů.
2. Seznámení s metodikou a provedení sběru vzorků mechorostů, včetně dokumentace.
3. Seznámení s analýzou GC-MS/MS.
4. Zpracování a vyhodnocení změřených dat.

Rozsah grafických prací:  
Rozsah pracovní zprávy:  
Forma zpracování práce:  
Jazyk práce:

tištěná/elektronická  
Čeština



### Seznam odborné literatury:

1. AUGUSTO, Sofia, Cristina MÁGUAS a Cristina BRANQUINHO, 2013. *Guidelines for biomonitoring persistent organic pollutants (POPs), using lichens and aquatic mosses – A review.* /Environmental Pollution/ [online]. **180**, 330-338 [vid. 2021-04-12]. ISSN 0269-7491. Dostupné z: doi: 10.1016/j.envpol.2013.05.019
2. HERZIG, Rolf, Nina LOHMANN a Reto MEIER, 2019. *Temporal change of the accumulation of persistent organic pollutants (POPs) and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in lichens in Switzerland between 1995 and 2014.* /Environmental Science and Pollution Research/ [online]. 26(11), 10562-10575 [vid. 2021-04-12]. ISSN 1614-7499. Dostupné z: doi: 10.1007/s11356-019-04236-9
3. ANDĚL, Petr, 2011. *Ekotoxikologie, bioindikace a biomonitoring.* Liberec: Evernia. ISBN 9788090378797
4. KALINA, Tomáš, Jiří VÁŇA, a UNIVERZITA KARLOVA, 2005. *Sinice, řasy, houby, mechorosty a podobné organismy v současné biologii.* Praha: Karolinum. ISBN 9788024610368

Vedoucí práce:

Mgr. Martin Slavík, Ph.D.  
Katedra chemie

Konzultanti práce:

Mgr. Pavel Hrabák, Ph.D.  
Ústav nových technologií a aplikované informatiky  
Mgr. Jana Steinová, Ph.D.

Datum zadání práce:

9. října 2020

Předpokládaný termín odevzdání:

17. května 2022

prof. RNDr. Jan Pícek, CSc.  
děkan

L.S.

prof. Ing. Josef Šedlbauer, Ph.D.  
vedoucí katedry

## Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracovala samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědoma toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci 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.

Jsem si vědoma následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

27. dubna 2022

Petra Burdychová

# Bioakumulace hexachlorcyklohexanů v mechorostech na lokalitě Hájek

## Abstrakt

Bakalářská práce studuje bioakumulaci hexachlorcyklohexanů v mechorostech v lokalitě Hájek, konkrétně kolem Ostrovského potoka.

Praktická část se týká odběrů vzorků mechorostů, jejich následného určení, měření koncentrace hexachlorcyklohexanů ve vzorcích metodou GC-MS/MS a porovnání koncentrací HCH v mechorostech a vodě.

Bylo zjištěno, že mechorosty v sobě akumulují všechny izomery HCH kromě alfa izomeru. Mechorosty jsou také vhodnými bioindikátory kontaminace životního prostředí.

## Klíčová slova

organochlorované pesticidy, hexachlorcyklohexan, mechorosty, metoda GC-MS, kontaminace, perzistentní organické látky, bioindikátor, biomonitoring, bioakumulace

---

# Bioaccumulation of hexachlorocyclohexanes in mosses in the Hájek locality

## Abstract

The bachelor's thesis studies the bioaccumulation of hexachlorocyclohexanes in mosses in the Hájek locality, specifically around the Ostrovský brook.

The practical part deals with concerns the sampling of mosses, their subsequent determination, measurement of hexachlorocyclohexane concentration in samples by GC-MS / MS and comparison of HCH concentration measurements in mosses and water.

Mosses have been found to accumulate all HCH isomers except the alpha isomer. Mosses are also suitable environmental bioindicators of environmental contamination.

## Keywords

organochlorine pesticides, hexachlorocyclohexane, mosses, GC-MS/MS method, contamination, persistent organic pollutants, bioindicator, biomonitoring, bioaccumulation

# Poděkování

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce Mgr. Martinu Slavíkovi Ph.D. a také svým konzultantům Mgr. Janě Steinové Ph.D. a Mgr. Pavlu Hrabákovi Ph.D. za odborné vedení, podporu, rady a trpělivost.

Dále bych chtěla poděkovat Mgr. Lukáši Jánošíkovi za určení mechorostů a Ing. Kláře Lískové a Martině Vaničkové za pomoc s praktickou částí v laboratoři.

# Obsah

<b>1 Úvod</b> .....	<b>11</b>
<b>2 Cíle práce</b> .....	<b>12</b>
<b>3 Teoretická část</b> .....	<b>13</b>
3.1 Organochlorované pesticidy jako faktor znečištění životního prostředí.....	14
3.1.1 Perzistentní organické látky (polutanty) .....	14
3.1.2 Hexachlorcyklohexan a jeho izomery.....	15
3.1.3 Toxicita .....	16
3.2 Bioakumulace organochlorovaných polutantů, HCH .....	17
3.3 Mechorosty (Bryophyta) .....	19
3.4 Mechorosty jako bioindikátory .....	23
3.5 Bryomonitoring.....	24
3.6 Popis lokality Hájek u Karlových Varů .....	25
3.6.1 Geologické poměry.....	26
3.6.2 Problematika ukládání odpadu .....	26
3.6.3 Spolana Neratovice .....	27
3.7 Teoretické základy použitých analytických metod .....	28
3.7.1 Metoda GC-MS/MS .....	28
3.7.2 Iontové zdroje.....	29
3.7.3 Spojení plynové chromatografie a hmotnostní spektrometrie.....	29
<b>4 Praktická část</b> .....	<b>31</b>
4.1 Odběr vzorků .....	31
4.2 Stanovení HCH izomerů a jejich metabolitů v mechorostech .....	33
4.2.1 Měření .....	40
4.3 Mapa odběru mechorostů .....	41
4.4 Druhy mechorostů určených v lokalitě Hájek.....	44
4.5 Biodiverzita ve vybrané lokalitě .....	47
<b>5 Výsledky měření</b> .....	<b>48</b>
5.1 Koncentrace HCH v jednotlivých vzorcích mechorostů .....	49
5.2 Koncentrace HCH naměřené ve vzorcích vody Ostrovského potoka.....	50
5.3 Diskuze .....	56
5.4 Závěr .....	57
5.5 Zdroje .....	58

# Seznam obrázků

Obrázek 1	Struktura izomerů HCH, (Nayyar et al. 2014).	16
Obrázek 2	Lom Hájek, <i>Mapy.cz</i> .	25
Obrázek 3	Obora Hájek, <i>Mapy. cz</i> .	26
Obrázek 4	Schéma plynového chromatografu. VŠB-TU Ostrava – IEI.	28
Obrázek 5	Přístroj pro analýzu GC-MS/MS	30
Obrázek 6	Odběr vzorků mechorostů	32
Obrázek 7	Ostrovský potok	33
Obrázek 8	Výpusť Ostrovského potoka	33
Obrázek 9	Příprava a rozdělení vzorků mechorostů pro stanovení sušiny	34
Obrázek 10	Vložení žíhacích misek s mechorosty do pece	35
Obrázek 11	Čištění mechorostů od sedimentů	35
Obrázek 12	Rozpipetování rozpouštědla Aceton/hexan do vialek	36
Obrázek 13	Vialky s rozpouštědlem a mechorosty na třepačce po dobu 48 hodin	36
Obrázek 14	Síran sodný bezvodý používaný pro vysoušení	37
Obrázek 15	Žíhaný síran bezvodý	37
Obrázek 16	Příprava vialek	38
Obrázek 17	Mikrostříkačka Hamilton pro manipulaci s interním standardem	38
Obrázek 18	Odběr vzorků mechorostů, <i>Mapy. cz</i> .	41
Obrázek 19	Odběr referenčních mechorostů nedaleko obory Hájek, <i>Mapy. cz</i> .	41
Obrázek 20	<i>Brachythecium Schimp.</i> Foto <i>BioLib.cz</i> , Lukáš Konečný	44
Obrázek 21	<i>Plagiomnium affine.</i> Foto <i>BioLib.cz</i> , Ondřej Zicha	44
Obrázek 22	<i>Plagiomnium cf. cuspidatum</i> Foto <i>BioLib.cz</i> , Lukáš Konečný	45
Obrázek 23	<i>Polytrichum formosum</i> Foto <i>BioLib.cz</i> , Lukáš Konečný	45
Obrázek 24	<i>Atrichum undulatum</i> Foto <i>British Bryological Society</i> .	45
Obrázek 25	<i>Hypnum cupressiforme.</i> Foto <i>BioLib.cz</i> , Vladimír Motyčka	46
Obrázek 26	<i>Dicranium scoparium.</i> Foto <i>BioLib.cz</i> , Lukáš Konečný	46



## Seznam tabulek

<i>Tabulka 1 Navážky jednotlivých vzorků mechorostů</i>	39
<i>Tabulka 2 Parametry nastavení GC</i>	40
<i>Tabulka 3 Parametry měření</i>	40
<i>Tabulka 4 Určení jednotlivých druhů mechorostů</i>	42
<i>Tabulka 5 Hmotnostní koncentrace HCH v sušině mechorostu změřené GC-MS/MS</i>	48
<i>Tabulka 6 Koncentrace HCH ve vzorcích vody Ostrovského potoka za srpen, 2021</i>	50
<i>Tabulka 7 Bioakumulace vztážená k profilu_13</i>	53
<i>Tabulka 8 Zastoupení zomeřů HCH v mechorostu <i>Brachythecium</i> sp. a ve vodě</i>	54

## Seznam grafů

<i>Graf 1 Ostrovský potok: nadmořská výška a koncentrace HCH.....</i>	43
<i>Graf 2 Koncentrace HCH v jednotlivých vzorcích mechorostů.....</i>	49
<i>Graf 3 Zastoupení jednotlivých HCH izomerů v mechorostu <i>Brachythecium</i> sp.....</i>	50
<i>Graf 4 Koncentrace HCH v jednotlivých profilech ve vodě Ostrovského potoka.....</i>	51
<i>Graf 5 Zastoupení jednotlivých izomerů HCH ve vodě Ostrovského potoka, srpen 2021.....</i>	52
<i>Graf 6 Porovnání koncentrací HCH v mechorostech a vodě Ostrovského potoka, 2021.....</i>	53
<i>Graf 7 Průměrný faktor bioakumulace izomerů HCH v mechorostech.....</i>	54
<i>Graf 8 Zastoupení HCH izomerů ve vodě a mechorostu <i>Brachythecium</i> sp.....</i>	55
<i>Graf 9 Průměrné zastoupení izomerů HCH na jejich sumě, (Hrabák et al., 2018).....</i>	55

## Seznam symbolů a zkratek

$\alpha$ -HCH	alfa izomer hexachlorcyklohexanu
$\beta$ -HCH	beta izomer hexachlorcyklohexanu
$\gamma$ -HCH	gama izomer hexachlorcyklohexanu
$\delta$ -HCH	delta izomer hexachlorcyklohexanu
$\epsilon$ -HCH	epsilon izomer hexachlorcyklohexanu
CB	chlorbenzeny
GC	plynová chromatografie
GC-MS/MS	plynový chromatograf s tandemovým hmotnostním spektrometrem
HCH	hexachlorcyklohexan
MS	hmotnostní spektrometrie
POPs	perzistentní organické látky
PVC	polyvinylchlorid

# 1 Úvod

Tato bakalářská práce studuje bioakumulaci hexachlorcyklohexanů u mechorostů, konkrétně v oblasti obory Hájek v Karlovarském kraji, nedaleko města Ostrov nad Ohří. Západně od obory, v prameništi Ostrovského potoka se vyskytuje skládka chemického odpadu ze Spolany Neratovice, kde byly vyráběny pesticidy (lindan a hexachlorcyklohexan).

V místě vývěru kontaminovaných drenážních vod probíhá od roku 2020 mezinárodní projekt financovaný EU v rámci programu LIFE. Lifepopwat je inovativní technologie založená na umělých mokřadních systémech pro čištění vod od pesticidních látek. Cílem projektu LIFE je minimalizovat rizika izomerů HCH a CB vytékajícího z výsypky bývalého lomu Hájek do okolního prostředí. Technologie čištění vod je založena na multikomponentním čistícím systému využívající přírodní procesy čištění.

Izomery ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ,  $\epsilon$ ) hexachlorcyklohexanu (HCH) a produkty jejich transformace jako např. chlorbenzeny (CB) jsou dlouhodobým environmentálním problémem v oblastech po celém světě.  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$  – HCH jsou na seznamu Stockholmské úmluvy o perzistentních organických látkách (POPs) a použití insekticidu lindanu ( $\gamma$  – HCH) je celosvětově zakázáno od roku 2009. Výroba lindanu v Evropě způsobila vznik minimálně čtyřiceti obřích skládek a jiných deponií, kde je celkové množství uložených HCH izomerů přes 250 tisíc tun (Program LIFE, 2022).

Teoretická část bakalářské práce se zabývá rešerší na téma mechorosty, mechorosty jako bioindikátory, bioakumulace hexachlorcyklohexanů a popisem použité metody měření. V praktické části byla zkoumána schopnost mechorostů akumulovat v sobě perzistentní organochlorované pesticidy jako jsou právě hexachlorcyklohexany a jejich izomery. v praktické části je popsán odběr mechorostů, poté následné čištění, stanovení navážky, sušiny a měření připravených extraktů metodou GC-MS/MS. v závěru je možné porovnat výskyt HCH v mechorostech nebo ve vodě Ostrovského potoka.

Původním cílem práce bylo zaměřit se kromě mechorostů i na lišejníky. Vzhledem k tomu, že v lokalitě se žádné lišejníky nenacházely, nebylo na nich možné provést praktickou část, a téma práce tak bylo zúženo.

## 2 Cíle práce

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo studium bioakumulace organochlorovaných pesticidů v mechorostech konkrétně v lokalitě Hájek nedaleko od města Ostrov nad Ohří. Vzorke mechorostů byly odebrány a následně analyticky změřeny pomocí plynového chromatografu s hmotnostním spektrometrem GC-MS/MS. Dalším cílem bylo stanovit koncentrace hexachlorcyklohexanů a jejich izomerů v mechorostech a zjistit, zda jsou mechorosty vhodným bioindikátorem znečištění životního prostředí. V závěrečné části práce se objevuje porovnání koncentrací HCH v mechorostech a vodě Ostrovského potoka. Původním cílem práce bylo zaměřit se kromě mechorostů i na lišejníky. Vzhledem k tomu, že v lokalitě Hájek kolem Ostrovského potoka se žádné lišejníky nenacházely, nebylo na nich možné provést praktickou část.

### 3 Teoretická část

Teoretická část bakalářské práce je zaměřena na základní charakteristiku organochlorovaných pesticidů, konkrétně hexachlorcyklohexanů a jejich izomerů ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ,  $\epsilon$ , ...). Dále práce obsahuje základní informace o mechorostech a také mechorostech jako bioindikátorech životního prostředí. Kapitola v teoretické části je věnována lokalitě Hájek, kde probíhaly odběry na praktickou část. Jako poslední je zde popsána metoda GC-MS/MS neboli metoda plynové chromatografie a hmotnostní spektrometrie, která byla použita při měření.

## 3.1 Organochlorované pesticidy jako faktor znečištění životního prostředí

### 3.1.1 Perzistentní organické látky (polutanty)

Mezi perzistentní polutanty se řadí tyto látky: polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU), polychlorované bifenyly (PCB), polychlorované fenoly (PCP) organochlorované pesticidy (OCP), polychlorované dibenzodioxiny (PCDD), polychlorované dibenzofurany (PCDF).

Znečištění životního prostředí perzistentními organickými látkami patří mezi závažné problémy současné doby (Prokeš a Univerzita Karlova 2005).

Vystavení organismu těmto látkám může vést ke zdravotním problémům jako je například iniciace nádorových onemocnění, vrozených vývojových vad či narušení reprodukčního cyklu nebo imunitního systému. U těchto látek dochází k šíření především na dálku. Jsou také velkým rizikem pro životní prostředí. v roce 2001 byla přijata tzv. Stockholmská úmluva o perzistentních organických polutantech a mezi země, které podepsaly tuto úmluvu patří i Česká republika (Anděl 2011).

Perzistentní organické polutanty jsou toxické stabilní látky schopné bioakumulace často v živých matricích. Výskyt těchto látek v ovzduší je zapříčiněn průmyslovými elektrárnami, teplárnami nebo spalovnami. Dalšími faktory, jak se tyto látky dostávají do prostředí mohou být domácí topeniště, doprava, používání zemědělských postřiků nebo vypařování z vodních ploch, půdy či skládek odpadů. O tom, jak dlouho tyto látky zůstanou v atmosféře rozhoduje především teplo a reakční podmínky na určitém místě. v oblastech tropů perzistentní organické polutanty vydrží maximálně několik dnů, naopak v polárních oblastech mohou vydržet až několik let. Důkazem transportu na dálku byla podle měření přítomnost těchto látek v ledu a sněhu kolem Severního pólu, i přesto že tam tyto látky nikdy nepoužívaly (Holoubek I. et al., 2001).

POPs jsou v životním prostředí velmi stálé, mají dlouhý poločas rozpadu v půdách, sedimentech, vzduchu nebo v živých organismech (Jones a de Voogt 1999). Není jasné, jak dlouhý poločas rozpadu je, ale ve studii se Webster et al., (1998) snaží definovat perzistenci v prostředí výpočtem celkové doby setrvání v ustáleném stavu v konkrétním prostředí.

### 3.1.2 Hexachlorcyklohexan a jeho izomery

Hexachlorcyklohexan je společný název, kterým se označuje celkem osm druhů izomerů pojmenovaných písmeny řecké abecedy ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ,  $\epsilon$ , ...) (Vijgen et al. 2005). Izomer alfa existuje ve dvou formách + a - (Willett et al. 1998). z celkem osmi izomerů je pouze pět stabilních ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$ ,  $\epsilon$ , ...). Jsou složkou vyrobeného technického hexachlorcyklohexanu, který se používal jako účinný insekticid (Lal et al. 2010, Li a Macdonald 2005).

Hexachlorcyklohexan byl v roce 1825 uměle vyroben Michaellem Faradayem a do roku 1942 nebyly zjištěny žádné pesticidní účinky této látky (Willett et al. 1998), (Waclawek et al. 2019). Dříve se hexachlorcyklohexan pojmenovával jako benzen hexachlorid. Později bylo toto označení považováno za nesprávné (Willett et al. 1998). Výroba HCH se provádí pomocí fotochlorace benzenu UV zářením. Vyrobene izomery HCH se liší prostorovým uspořádáním atomů chloru v cyklohexanovém řetězci (Nayyar et al. 2014).

Insekticidní účinky má pouze jeden z izomerů. Jedná se o gama izomer, který byl původně pojmenován jako ganarnexan. Název lindan dostal později po svém objeviteli Van der Lindenovi (Waclawek et al. 2019).

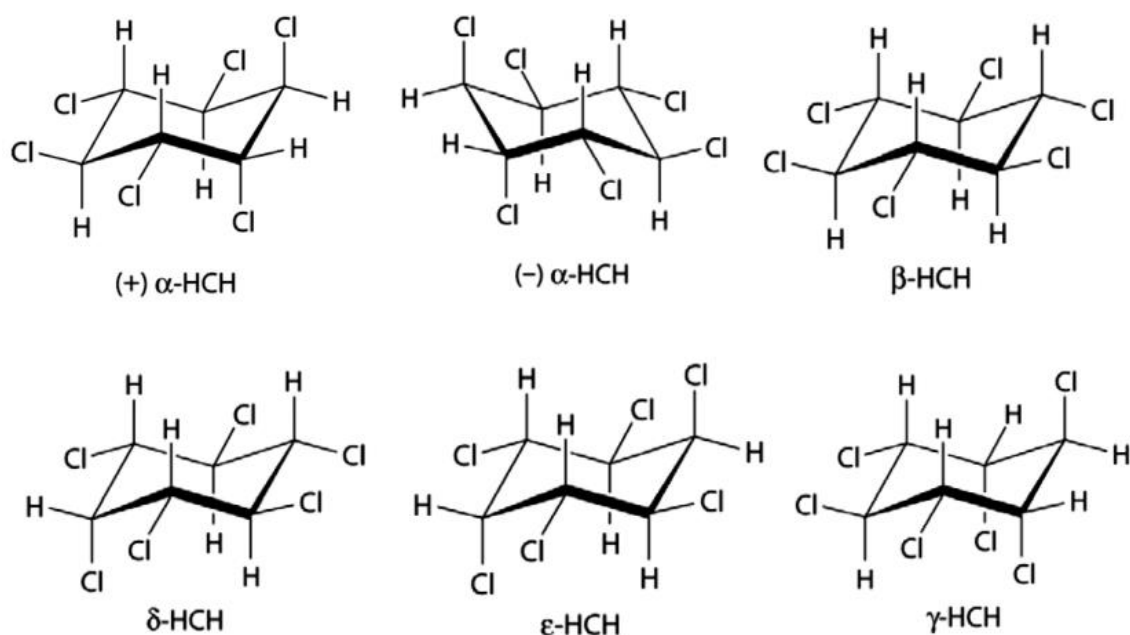
Vedlejší produkty HCH zapříčinily řadu problémů a staly se tak nebezpečným odpadem. Mnoho států ukládání odpadu nevzalo v potaz. Na každou tunu lindanu připadá 8-12 tun odpadu, kterým jsou izomery HCH. V současné době jsou tyto látky zapsány na seznamu Stockholmské úmluvy. Mezi země, kde docházelo k výrobě lindanu patřila: Albánie, Rakousko, Argentina, Brazílie, Čína, Chorvatsko, Česká republika, Francie, Německo (včetně bývalé Německé demokratické republiky), Maďarsko, Indie, Itálie, Japonsko, Makedonie (bývalá Jugoslávie), Nigérie, Polsko, Rumunsko, Slovensko, Jižní Afrika, Španělsko, Švýcarsko, Turecko, Nizozemsko, Velká Británie, USA a bývalý SSSR (Vijgen et al. 2011).

Technický HCH obsahuje  $\alpha$  (60 % až 70 %),  $\beta$  (5 % až 12 %),  $\gamma$  (10 % až 15 %),  $\delta$  (6 až 10 %), a  $\epsilon$  (3 % až 4 %) (Kutz et al. 1991).

Technický HCH byl využíván k ošetřování semen a půdy a dále na okrasné dřeviny, trávníky nebo skleníkové půdy. Následkem častého používání bylo rozšíření HCH do životního prostředí, a tím následná kontaminace v globálním ekosystému (F. Li, D. J. Cai, Z. J. Shan, Z. L. 2001).

Mezi hlavní spotřebitele technického HCH patřila Čína a dále Indie (Li a Macdonald 2005). v roce 1983 došlo v Číně k zákazu výroby a používání technického HCH (F. Li, D. J. Cai, Z. J. Shan, Z. L. 2001).

Mnoho dalších zemí v 70 letech 20. století přešlo po zákazu technického HCH na výrobu lindanu (Voldner a Li 1995). Technický HCH a lindan byly vyráběny až do 90. let 20. století (Breivik et al. 1999). Z výroby lindanu bylo nutné někde uložit vedlejší produkty. Ty byly ukládány na skládkách, odkud se dále šířily do prostředí (Vijgen et al. 2005).



Obrázek 1 Struktura izomerů HCH, (Nayyar et al. 2014).

### 3.1.3 Toxicita

Jedinec může být vystaven těmto látkám při přímém styku, například požitím léku na předpis, který se používá proti svrabu a vším, nebo při konzumaci znečištěné pitné vody nebo dýchání znečištěného vzduchu. Dalším zdrojem této látky může být půda nebo voda na skládkách odpadu (Anon. 2002).



Při zjišťování vlivu těchto izomerů na lidské zdraví se testy prováděly na zvířatech. Živočiškové, kteří cíleně dostávali tyto látky jako potravu, měli nízkou schopnost obrany proti infekci. Ti, kteří přijímali izomery alfa a beta měli poškozená varlata a vaječníky. Izomery alfa, beta a gama způsobují při dlouhodobém podávání rakovinu jater u laboratorních hlodavců. Podle mezinárodní agentury pro výzkum rakoviny (IARC) bylo zjištěno, že všechny izomery HCH mohou způsobit rakovinu i u lidí. (Anon. 2002).

U gama izomeru (lindanu) bylo zjištěno několik smrtelných otrav. Symptomy při požití gama izomery byly následující: závratě, neklid, bolesti hlavy, zvracení, porucha koordinace pohybu či třes (World Health Organization. Regional Office for South-East Asia 2020).

HCH izomery byly také naměřeny v tukové tkáni člověka. Jsou označovány za lipofilní sloučeniny, to znamená, že se snadno dostávají do lidské tkáně. Jednalo se o především o izomery gama (lindan) a beta (Kutz et al. 1991).

Ve Švýcarské společnosti vyrábějící lindan byly HCH naměřeny v kravském mléce (Yumpu.com [b.r.]).

## 3.2 Bioakumulace organochlorovaných polutantů, HCH

Podstatou bioakumulace je zvyšování koncentrace látek v biomase na vyšší hodnotu, v porovnání se zkoumanou látkou ve stejném organismu v čistém prostředí. Mnoho mikroorganismů, rostlin a živočichů je schopno kumulovat v těle nebezpečné látky. Tím, může dojít k poškození nebo smrti (Prokeš a Univerzita Karlova 2005).

Bioakumulace HCH byla zjištěna v řasách (Kováčik et al. 2018), rostlinách (Battisti et al. 2017), sedimentech, v bezobratlých (Kolaříková et al. 2013), v ledních medvědech (Wiberg et al. 2000) nebo v rybách (Guo et al. 2008).

Alam a Srivastava (2009) se věnovali znečištění těžkými kovy u mechorostu *Marchantia paleacea*, který se ukázal jako vhodný bioindikační druh.

Ve studii od Mouvet et al. (1985) došlo ke sběru vodních mechorostů, konkrétně *Cinclidotus danubicus*, aby se zjistilo, zda jsou schopny akumulace HCH a jejich izomerů. Vzorky byly odebrány z nekontaminovaného místa a následně byly transportovány do oblasti, kde dochází k vypustí odpadní vody z továrny na výrobu insekticidů. Studie potvrdila, že vodní mechorosty

Ize označit za indikátory chlorovaných polutantů ve sladkých vodách. v mechorostu byly naměřeny koncentrace PCB, alfa, beta a gama izomerů HCH (Mouvet et al. 1985).

Půda, mechy a kůra stromů jsou vhodnými materiály pro sledování bioakumulace, protože jsou v přímém kontaktu s atmosférou. Následkem bioakumulace se tyto látky dostávají nekontrolovaně do potravních řetězců (Tarcau et al. 2013). V této studii došlo k odběru vzorků mechorostu *Hypnum cupressiforme* na území Rumunska. Hlavními HCH izomery naměřenými v tomto mechorostu byly beta izomer (42 %) a gama izomer (38 %). Následoval alfa (12 %) a delta izomer (6 %). Takové výsledky jsou ve studii vysvětlovány bioakumulačními schopnostmi beta izomeru v biologických vzorcích (Tarcau et al. 2013).

Ve vodě bývají koncentrace POPs často nezjistitelné, protože ve vodě dochází k ředění. Pokud se organochlorované polutanty dostanou přímo do vodního toku, zředí se ve vodě a začnou se akumulovat v živých organismech (Augusto et al. 2013).

Podle studie od Borghini et al. (2005), která probíhala na Antarktidě byly nasbírány tyto druhy mechů: *Bryum argenteum*, *Pottia heimii* a *Ceratodon purpureus*. Spolu s nimi byly odebírány i vzorky půdy. Následně se umístili do hliníkové folie a byly skladovány při teplotě -20 °C. Před analytickou částí se vzorky homogenizovaly a lyofylizovaly. Další analýza probíhala za pomoci metody GC spojené s hmotnostní spektrometrií. v mechách byly naměřeny nejvyšší koncentrace u alfa a gama izomeru. Vyskytující se alfa izomer je způsoben používáním technických směsí s přídatkem alfa izomeru. v místech, které jsou z větší části ovlivňovány člověkem se vyskytuje spíše gama izomer, jako čistý lindan (Harner et al. 1999). Beta izomer má ze všech izomerů HCH nejdelší životnost. Bylo dokázáno, že zůstává ve vzorcích po velmi dlouhou dobu. Kvůli umístění atomů chloru v jeho izomeru do jedné roviny, je mnohem stabilnější než ostatní izomery a také velmi odolný vůči degradaci (Li et al. 1998, Willett et al. 1998).

Ve studii Lim et al. (2006) byly odebrány vzorky mechorostu *Isopterygium minutirameum* z ostrova Singapuru. Cílem studie bylo zjistit, zda akumulace organochlorovaných pesticidů souvisí s emisemi lodí. Nejvyšší koncentrace u hexachlorcyklohexanů byly naměřeny u beta izomeru. Tento tropický mech nebyl nikdy dříve zkoumán pro možné použití jako bioindikátor životního prostředí. Vzorky byly sesbírány z kůry stromů a k následné analýze byly použity jen zelené části rostliny (gametofyty). Pro měření byla použita metoda GC-MS/MS analýzy. v žádném vzorku nebyly naměřeny koncentrace gama izomeru. Vyskytovaly se zde pouze delta, beta a alfa izomery (Lim et al. 2006).

V porovnání se studií od Holoubka et al. (2000), která probíhala v České republice, konkrétně na střední Moravě, nedaleko továrny pro výrobu PAHs (polycyklických aromatických uhlovodíků) a dále také v oblasti závodu pro výrobu uhlí a plynových paliv v západní Čechách, byly mezi koncentracemi naměřených v mechorostech v Singapuru a v České republice značné rozdíly. V České republice se v roce 1989 odebíral mech *Hypnum cupressiforme*. v Singapuru se odběry konaly o několik let později, konkrétně v roce 2004. Studie vysvětluje, že v době odběrů mechorostů na území České republiky byly HCH stále používány, tedy tam byly dominujícími izomery alfa a gama izomery, zatímco v Singapuru byly dominující izomery beta a delta, protože jsou mnohem stabilnější (Holoubek et al. 2000, Lim et al. 2006).

### 3.3 Mechorosty (Bryophyta)

Mechorosty je možné charakterizovat jako mnohobuněčné zelené výtrusné rostliny většinou suchozemské. Některé druhy jsou vázány na vodní prostředí. V individuálním vývoji mají nápadnou heteromorfickou rodozměnu. Ve vývoji dochází ke střídání zeleného fotosyntetizujícího gametofytu s nezeleným a na gametofytu závislým sporofytem. Ten vyrůstá z gametofytu z oplozené vaječné buňky (Kalina et al. 2005). Funkcí diploidního sporofytu je reprodukce a rozptyl. Haploidní gametofyt funguje jako primární fáze pro fotosyntézu a růst (Rice 2009).

Pohlavní fázi (gametofyt) tvoří zelený prvoklíček, který je vláknitý, lupenitý nebo pentlicovitý. Někdy nemusí být vůbec přítomen, někde je redukován a někde je naopak vyvinutý. Gametofyt tvoří také samotná rostlina (gametofor), který může být rozdělen na více orgánů. Dělí se na rhizoidy, lodyžku (kauloid) a lístky (fyloidy). Kauloidy se vyskytují v různých tvarech a délkách. Pokud je gametofyt takto diferencovaný, nazývá se foliózní neboli listnatý. Některé skupiny mechorostů (hlevíky a játrovky) mohou mít gametofor do tvaru lupene nebo pentlice, ten se nazývá thalozní neboli lupenitý. K tvorbě pohlavních orgánů dochází na gametofytu, kde se vytváří samčí gametangia. Ty jsou většinou oválného či vejčitého tvaru. Dále se zde tvoří samičí gametangia, které mají lahvicovitý tvar. Nepohlavní fáze (sporofyt) vyrůstá ihned po oplození vaječné buňky, kdy dojde k rozdělení v diploidní zárodek. Sporofyt je nevětvený. Skládá se z nohy, ze které vyrůstá štět s tobolkou. Hlevíky štět nemají. Noha má funkci vyživovací. Tobolka u oddělení mechů je chráněna čepičkou (Kalina et al. 2005).

Pokud jsou na jedné rostlině dvě pohlaví, nazývá se jednodomá. Pokud je tam pouze jedno pohlaví, nazývá se dvoudomá. K šíření mechorostů dochází pomocí výtrusů, které jsou obvykle přenášeny větrem, nebo pomocí vegetativního způsobu. Vodu zachycují celým povrchem těla, nikoliv pomocí kořenů nebo cévních svazků. Voda je rozváděna pomocí přilnavosti a soudržnosti. K jejímu zachycení slouží listové laloky, záhyby listů, hyalinní chlupy nebo výrůstky na povrchu buněk (Kubešová et al. 2009).

Mechorosty rozdělujeme do tří kmenů: hlevíky (*Anthoceroophyta*), játrovky (*Marchantiophyta*) a mechy (*Bryophyta*) (Rice 2009, Kubešová et al. 2009).

Ve vodě jsou mechorosty schopné přijímat až 20 násobek své suché hmotnosti. Jako většina cévnatých rostlin mechorosty využívají C3-fotosyntetickou dráhu. Mechorosty jsou velmi odolné vůči vysychání pletiva. Gametofyty mechorostů nemají průduchy, a proto nelze kontrolovat krátkodobou ztrátu vody. Mechorosty tedy nemají vyvinut žádný mechanismus aktivně regulující příjem vody do stélky, což je vlastnost přímo související s jejich dobrými bioindikačními schopnostmi (Rice 2009). Jedná se o velmi významné zadržovače vody, a proto jsou velmi důležité pro vodní rovnováhu krajiny. Tato schopnost mechorostů je viditelná v rašeliništích. Mechorosty vodu přijímají a ztrácejí celým povrchem těla. Některé druhy mechorostů patří mezi ohrožené nebo vzácné druhy. Ohrožení mechorostů je často způsobeno člověkem, který některé druhy ničí například kácením lesů (Kubešová et al. 2009). Některé vodní mechorosty mohou být využívány jako indikátory množství vápníku a živin ve vodě. Další se využívají jako pH indikátory půdy, některé zabraňují erozi půdy. Jsou schopné v sobě zadržovat vodu, a tím jsou vhodné pro doplnění lesních porostů, protože stromům dodávají vlhkost, vhodnou teplotu, organickou hmotu a minerály po odumření mechorostů. Mechorosty jsou dále vhodnými indikátory kyselých dešťů (Saxena a Harinder 2004).

Mezi mechorosty představují mechy nejpočetnější skupinu. Celkový počet druhů mechů je přibližně 10 000. Výskyt mechů je ovlivněn podnebím. Velmi málo druhů se vyskytuje v suchých oblastech. Na místech, které jsou trvale pokryty ledem se mechy nevyskytují téměř vůbec. Mechorosty se nevyskytují také v mořích. Některé druhy je však možné najít na skalách, které jsou zaplavovány přílivem. Mechy poskytují prostředí mnoha bezobratlým, řasám nebo houbám. Některé druhy jako jsou například rašeliníky mají léčivé účinky v podobě rašeliny, kterou tvoří. Používají se především v lázeňství (Kalina et al. 2005). Některé rody mechů jako jsou *Atrichum*, *Dicranum*, *Minium*, *Polytrichum* či *Sphagnum* mají antibiotické účinky. V Indii používali lidé popel z mechů, který aplikovali na řezné rány nebo popáleniny.

Čínská medicína používá několik druhů mechorostů k léčbě například kardiovaskulárních onemocněních nebo k léčbě bronchitidy (Saxena a Harinder 2004).

V poslední době jsou velmi populární tzv. mechové zahrádky pocházející z Japonska. Dále je možné mechorosty využít jako podklad při pěstování orchidejí (Kalina et al. 2005).

Podle (Jones et. al 1994) jsou mechorosty považovány za inženýry ekosystémů. Mechrosty poskytují také vhodné prostředí novým druhům tím, že jsou schopny měnit podmínky prostředí a přítomnost některých zdrojů (Anon. 1999).

Mechrosty jsou značnými akumulátory těžkých kovů. To je způsobeno především absencí kutikuly, výskytem jednoduchých pletiv nebo výměnou kationtů mezi tkáněmi.

Některé mechorosty se v posledních letech využívaly jako měřiče rychlosti atmosférické depozice (Tyler 1990).

Suchozemské mechy přijímají vodu a živiny nadzemními částmi rostliny. Nepoužívají přichytné rhizoidy. Mechy a lupenité játrovky jsou schopné přijímat dusík od epifytických organismů, které ho získávají z atmosféry (Suchara I. & Sucharová J., 2005).

V roce 2012 proběhl na území České republiky průzkum jednotlivých druhů mechů. Bylo zjištěno, že se zde vyskytuje celkem 836 druhů a 28 vnitrodruhových taxonů. Mnoho druhů se již pokládá za vyhynulé (Kučera 2012).

#### Oddělení hlevíky (*Anthocerotophyta*)

Tato skupina patří pravděpodobně mezi nejstarší skupiny suchozemských rostlin. Hlevíky pokrývají půdu nebo skály. Často se vyskytují na vlhkých místech. Druhy vyskytující se v našem podnebí jsou jednoleté, a druhy tropického podnebí jsou vytrvalé. Třída Anthocerotopsida je rozdělena do 1–4 řádů (Kalina et al. 2005).

Stejně jako u ostatních oddělení převládá gametofyt nad sporofytem. Obsahují jediný chloroplast s pyrenoidem, který slouží pro ukládání škrobu. Mají také lupenitou stélku. Siličná tělíska zde nejsou přítomna. Anthocerotophyta mají sporofyt, který netvoří štět. v případě zralosti praskne a může připomínat rohy. (Glime 2013, Kalina et al. 2005).

### Oddělení játrovky (*Marchantiophyta*)

Játrovky můžeme nejčastěji nalézt na vlhkých místech jako je les, skály nebo dřevo. Mnoho z nich začalo obývat i vodní prostředí. Toto oddělení se rozděluje celkem do 350 rodů, které se vyskytují po celé zemi. Některé druhy se vyskytují i v oblastech, které jsou trvale pokryty ledem (Kalina et al. 2005).

U *Marchantiophyt* převládá stejně jako ostatní oddělení gametofyt nad sporofytem, který je závislý a má krátkou životnost (Glime 2013). Chybí zde prvoklíček. Stélka může být lupenitá, semifoliózní nebo listnatá. Lupenité stélky jsou ve tvaru lupene, pentlice nebo růže (Kalina et al. 2005).

### Oddělení mechy (*Bryophyta*)

Mechy (*Bryophyta*) jsou hned po krytosemenných rostlinách druhou nejpočetnější skupinou vyšších rostlin (Kalina et al. 2005). Mechy (*Bryophyta*) dělíme celkem do osmi tříd: *Takakiopsida*, *Sphagnopsida*, *Andreaeopsida*, *Andreaebryopsida*, *Oedipodiopsida*, *Polytrichopsida*, *Tetraphidopsida* a *Bryopsida* (Goffinet 2008).

U mechů je velmi časté nepohlavní rozmnožování za přítomnosti sekundárních protonemat, různých rozmnožovacích tělísek, větviček nebo hlízek. U několika druhů se sporofyt nevyskytuje (Kalina et al. 2005).

U mechů se po vyklíčení vytvoří vláknitá chloronema obsahující chloroplasty. Prvoklíček může být pentlicovitý, lupenitý a u mnoha druhů vytrvalý. Na kaulonematu rostou pupeny, ze kterých vyrůstá gametofor. Ten je diferencován na kauloid a fyloidy a nese rhizoidy, které jsou hladké. Některé mechy mají primitivní vodivé pletivo. U mnoha druhů se vyskytují i prázdné buňky zvané hyalocyty. Mimo fyloidů jsou někdy na kauloidech u některých druhů mechů vláknité či lupenité útvary zvané parafylie a pseudoparafylie (Kalina et al. 2005).

### 3.4 Mechorosty jako bioindikátory

Mechorosty jsou velmi citlivé na změnu prostředí, a proto jsou dobrými bioindikátory znečištění životního prostředí (Aceto et al. 2003). Jako bioindikátory prostředí jsou velmi často využívány vodní mechorosty. Jsou primárními producenty (autotrofy) a potřebují ke svému růstu světlo. Dále také umožňují na základě změny podmínek prostředí, připravit stanoviště pro další druhy mechorostů (Stream Bryophyte Group 1999), (Bowden et al. 2007).

Bioindikátor je označení pro organismus, který dokáže pomocí několika faktorů jako je například chování populační struktury nebo histologická a buněčná struktura zjistit informace o kvalitě prostředí (Subramanian a Iyengar 1997, Markert et al. 2008). Jsou vhodnými biomonitory, protože dokáží přijímat živiny přímo z atmosféry a mají velkou kapacitu pro příjem prvků (Berg et al. 1995). Suchozemské mechorosty tvoří rozsáhlé koberce a jsou kosmopolitně rozšířeny téměř na každém kontinentu. Hrají důležitou roli v prevenci erozi půdy a zachování velkého množství vody. Umí přežít v extrémních prostředích (Fernandez et al. 2006). Nejčastěji používanými mechorosty jako bioindikátory životního prostředí jsou *Hypnum cupressiforme*, *Hylocomium splendens* a *Pleurozium schreberi*. Tyto mechorosty se ve velkém množství vyskytují v různých částech Evropy (Onianwa, 2000).

Vodní mechy byly vhodné pro monitoring radioaktivních odpadů z jaderných elektráren (Beaugelin-Seiller et al. 1994). Mechorosty jsou také vhodným prostředkem pro monitoring obsahu kovů ve vzduchu. Jsou schopné přijímat prvky ve velmi vysokých koncentracích (Giordano et al., 2005). Některé druhy vodních mechorostů mohou být velmi tolerantní vůči znečišťujícím látkám, čím je následně způsobena bioakumulace (Gecheva a Yurukova 2014).

Bioakumulační indikátory jsou schopné akumulovat v sobě toxické látky, a proto se často používají pro chemické analýzy. To, jaké jsou výsledky naměřených koncentrací těchto látek, ukazuje hodnocení zátěže nějakou z toxických látek.

Při využívání bioakumulačních indikátorů je třeba dbát na tyto skutečnosti:

1. Jedná se o variabilní živý organismus.
2. jedná se o aktivní proces kumulace, jelikož je uskutečňován celým metabolismem.
3. Důležité je brát ohled na příjem, výdej, vznik, propad, nebo deponování mimo organismus.
4. Standardizace provedení musím mít na vědomí konkrétní podmínky toxikantu i organismu (Anděl 2011).

### 3.5 Bryomonitoring

Biomonitoring můžeme rozdělit na pasivní a aktivní. Aktivní biomonitoring obsahuje expozici přesně definovaných druhů za kontrolovaných podmínek. Pasivní biomonitoring se vztahuje ke sledování nebo chemické analýze původních rostlin. Aktivní biomonitoring dělíme na transplantaci, testování rostlin a metody ve zkušební komoře (Čeburnis a Valiulis 1999).

V roce 1990 se konal první bryomonitoring v rámci Evropy. V České republice se bryomonitoring uskutečňuje každých pět let a provádí se celkem na 33 lokalitách. Mechorosty akumulují těžké kovy ve vysokých koncentracích. To je způsobeno těmito příčinami: nepřítomnost pravých kořenů, omezený příjem živin. Mechorosty přijímají látky z atmosférického depozitu, které může být ovlivněno častými srážkami.

Bryomonitoring je důležitý pro rozpoznání imisní zátěže (Anděl 2011).

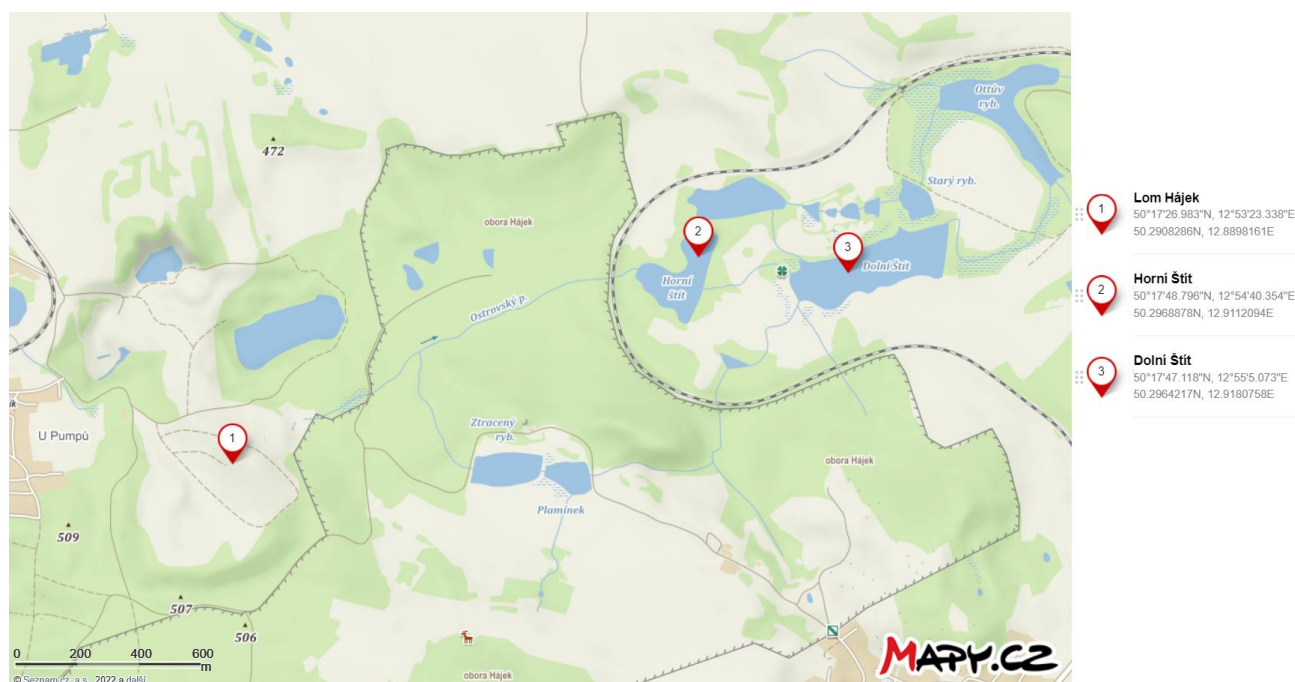
Mezi hlavní výhody mechorostů pro biomonitoring můžeme zařadit:

1. Mechorosty jsou rozšířené i v průmyslových nebo městských oblastech.
2. Nedisponují kutikulou, a tak mohou kovy snadno procházet buněčnou stěnou
3. Nemají kořenový systém, proto je příjem látek možný pouze z atmosféry.
4. Některé druhy mají vrstvenou strukturu a jsou schopné organických usazenin.
5. Chybějící cévní tkáň omezuje transport minerálních látek mezi segmenty.
6. Mechy v sobě akumulují kovy pasivním způsobem (Szczepaniak a Biziuk 2003).

Monitorovací metoda mechorostů se nazývá bryomonitoring. Používá se především pro stanovení úrovně atmosférické depozice prvků (Sucharová a Suchara 1998).



### 3.6 Popis lokality Hájek u Karlových Varů



Obrázek 2 Lom Hájek, Mapy.cz.

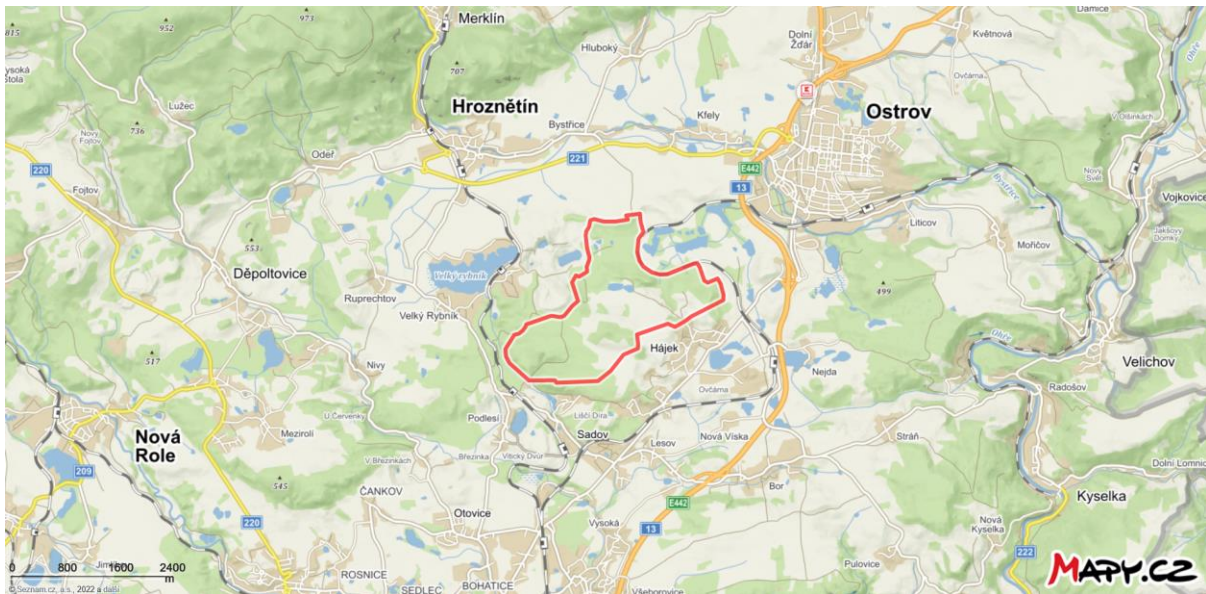
Zkoumaná lokalita Hájek, konkrétně obora Hájek se nachází nedaleko Karlových Varů u obce Hroznětín a Hájek. Lom byl využíván pro těžbu uranu, kaolínu a lomového kamene. Izomer gama (lindan) byl v 60. letech ukládán do výsypky lomu Hájek, kam byl dovážen ze Spolany Neratovice. V roce 2002 se lokalita Hájek stala nejrizikovější ekologickou zátěží v rámci Karlovarského kraje (Kořínek [b.r.]).

Chová se zde mufloní a divoká zvěř. Ostrovský potok s délkou přibližně 1200 m protéká celou oborou. Směrem na východ od toku Ostrovského potoka jsou situovány rybníky Ostrovské kaskády, které se využívají zejména pro chov ryb. Lokalita nespadá do oblasti se zvláštním režimem ochrany přírody a krajiny ve smyslu kategorie dle § 14 zákona č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny. V blízkosti se nachází chráněné území Ostrovské rybníky, které je na území ptačí oblasti Doupovské hory. Jižním směrem od lokality se rozprostírá chráněná krajinná oblast Slavkovský les (DIAMO, [b.r.]).

V letech 1966–1968 bylo do výsypky lomu Hájek navezeno 3000–5000 tun odpadu z výroby chlorovaných pesticidů, který pocházel ze Spolany Neratovice. Intenzivnější vymývání HCH nastalo po sesuvu svahu výsypky, kdy byl dočasně obnažen uložený odpad. Svah byl

následně sanován. Lokalita je od roku 1990 monitorována společností DIAMO, s.p., (Kořínek [b.r.]).

Severním směrem od výsypky leží bývalý lom Hájek, který je v současné době zatopen a bývá využíván jako neoficiální koupaliště (BRŮČEK P., [b.r.]).



Obrázek 3 Obora Hájek, Mapy. cz.

### 3.6.1 Geologické poměry

Popisovaná lokalita se nachází na okraji Hroznětínské pánve, která je tvořena vulkano-sedimentární terciérní sérií. Terciérní série obsahuje tufitické horniny, jílovce a uhelné jíly. Protože výsypka lomu Hájek leží těsně za hranou pánve, je její podloží tvořeno útržky kaolínové krusty žulového masivu.

Kaolin a bentonit byly zde společně nalezeny při skrývkových pracích na uranové zarudnění v roce 1968. Hlavním nalezištěm bentonitu na ložiscích byla oblast Hájek na severu (BRŮČEK P., [b.r.]).

### 3.6.2 Problematika ukládání odpadu

Pesticidy byly přepravovány v kovových sudech nebo v papírových obalech (BRŮČEK P., [b.r.]).

U výsypky dochází k odtoku drenážních vod. Výtok je složen ze spodních pramenných vývěřů, průsakových vod z výsypky a povrchových splachů. Dříve byl zjištěn výskyt HCH izomerů

v odtoku z výsypky. Je zde značný rozdíl v naměřených koncentracích HCH v jednotlivých ročních obdobích, hlavně letních a zimních měsících. V zimě byl pozorován útlum, zatímco v letních měsících dosahovaly hodnoty nejvyšších koncentrací. Může to být vysvětlené závislostí rozpustnosti krystalické látky v drenážní vodě (Hešnaur, L. & Jech, J. 2001).

V drenážní vodě se vyskytuje iontově rozpuštěné železo a mangan. V přítomnosti kyslíku dochází k oxidaci a kaly, které jsou vylučovány a usazují se v nánosech na sebe sorbují HCH izomery (Hešnaur, L. & Jech, J. 2001).

### 3.6.3 Spolana Neratovice

Jedná se o největší chemickou továrnu v České republice, která je známá výrobou hydroxidu sodného, chloru a produktů z chloru (kyseliny chlorovodíková). Dříve v továrně docházelo k výrobě dnes již zakázaných pesticidů jako jsou například DDT nebo lindan (gama izomer HCH) (ARNIKA, [b.r.]).

V roce 1968 došlo v továrně k prvotní výrobě kaprolaktamu. V roce 1977 odstartovala Spolana Neratovice výrobu granulovaného PVC (polyvinylchlorid) (SPOLANA, [b.r.]).

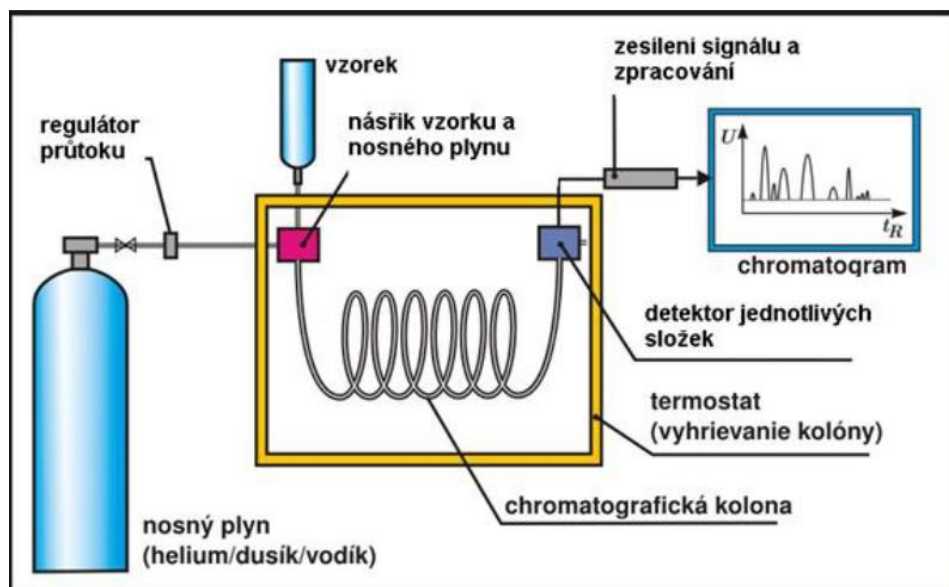
Prvek chlor se zde vyrábí několika procesy, mezi které patří například: amalgámový proces, diafragmový proces nebo membránový proces. Spolana Neratovice měla do roku 2014 přejít k jinému procesu výroby chloru než je amalgámový proces, ale nakonec k tomu došlo až v roce 2017 (ARNIKA, [b.r.]).

## 3.7 Teoretické základy použitých analytických metod

### 3.7.1 Metoda GC-MS/MS

Plynová chromatografie (GC) je separační metoda používaná k oddělení plynů, kapalin a tuhých látek, které mají bod varu do 400°C. Metoda je rozdělena do dvou fází. Jedna z fází je mobilní neboli pohyblivá. Druhá fáze je stacionární neboli nepohyblivá. Do mobilní fáze patří tzv. nosný plyn a fáze stacionární je umístěna v chromatografické koloně. Stacionární fázi může být pevná látka (silikagel,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , aktivní uhlí, polymerní sorbenty atd.) nebo vysokovroucí kapalina.

Princip této metody spočívá ve vstříknutí vzorku do vyhřívané nástřikové komory, kde dojde k jeho odpaření a dále je jako pára unášen do kolony pomocí nosného plynu. Ve stacionární fázi dochází se vzorky ze složky sorbují a následně desorbují přicházejícím čerstvým plynem. Jakákoliv složka vstupující kolonou má svou vlastní rychlost závislou na distribuční konstantě složky. Látky vycházejí z kolony postupně na základě rostoucích distribučních konstant. Poté všechny vstupují do detektoru, který je schopen zaznamenat koncentraci látky v nosném plynu. Výsledkem je grafický záznam závislosti signálu detektoru na čase nazývaný chromatogram (Zachař a Sýkora 2019).



Obrázek 4 Schéma plynového chromatografu. VŠB-TU Ostrava – IEI.

Hmotnostní spektrometrie (MS) je separační metodou, která probíhá v kapalině nebo plynu (Friedecký D., Lemr K., 2012).

Jedná se o metodu, která slouží k převedení molekul na ionty (Holčapek 2022).

Tam dochází k oddělení analytů, a to na základě vzájemného působení se stacionární nepohyblivou fází. Hmotnostní spektrometrie (Mass spectrometry) se zabývá interakcí nabitých částic s elektrickým nebo magnetickým polem ve vakuu. Hmotnostní spektrometr obsahuje tři základní části: iontový zdroj, analyzátor a detektor částic (Friedecký D, Lemr K., 2012).

Iontový zdroj slouží k převodu neutrálních molekul na analytu na nabitě částice. Jedná se o proces ionizace. Hmotnostní analyzátor rozděljuje ionty v plynné fázi za vysokého vakua podle poměru hmotnosti a náboje. Poslední částí hmotnostního spektrometru je detektor sloužící k rozpoznání iontů po jejich rozdělení. Mezi další důležité části přístroje patří: vakuový systém, iontová optika, která má funkci urychlovací a počítač na ovládání přístroje, sběr, ukládání a zpracování dat (Holčapek 2022).

### 3.7.2 Iontové zdroje

V iontovém zdroji dochází fragmentací původní molekuly k tvorbě iontů v plynné fázi. Následně vznikají kladné nebo záporné ionty, molekulární, aduktové nebo fragmenty ionizovaných molekul u látek, které jsou méně stabilní. Na základě množství dodané energie rozlišujeme dva typy iontových zdrojů: měkký a tvrdý (Friedecký D., Lemr K., 2012).

### 3.7.3 Spojení plynové chromatografie a hmotnostní spektrometrie

Ke spojení těchto dvou metod došlo jako poprvé v roce 1957 Hollmesem a Morrellem. V současné době se jedná o velmi využívanou metodu.

Plynová chromatografie (GC) dokáže oddělit těkavé sloučeniny, ale nemůže je identifikovat (Raheem 2019). Hmotnostní spektrometrie slouží jako jeden z možných způsobů detekce. Její největší výhodou oproti ostatním detektorům je poskytování strukturní informace, která může být využita k identifikaci neznámých látek (Holčapek 2022).



Obrázek 5 Příklad pro analýzu GC-MS/MS

## 4 Praktická část

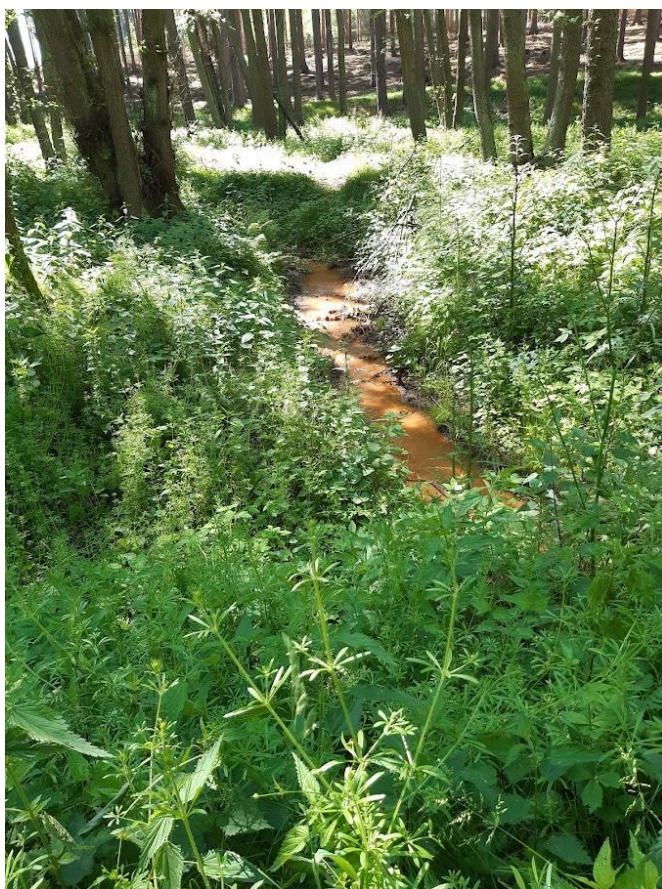
### 4.1 Odběr vzorků

Hlavním cílem praktické části bylo stanovit množství HCH izomerů a jejich metabolitů v mechorostech. Odběr vzorků probíhal v oboře Hájek nedaleko obce Ostrov nad Ohří. Odběry proběhly celkem dva. Jeden odběr se uskutečnil 14.6 2021 a druhý odběr 21.9 2021. Při prvním odběru byly vzorky odebrány podél Ostrovského potoka. Trasa začínala u rybníku Horní štít a končila u výsypky lomu Hájek. Důležitým faktorem bylo vzorek pečlivě očistit od sedimentů a poté ho vložit do uzavíratelných sáčků. Následně jsem všechny sáčky popsala číslem vzorku a datem odběru a vložila do cestovní lednice se suchým ledem. Vzorky bylo nutné odebírat v gumových rukavicích, aby nedošlo k případné kontaminaci mezi jednotlivými vzorky mechorostů. Na některých místech bylo velmi náročné vzorky odebrat, vzhledem k terénu, který zde byl. Množství odebraných vzorků bylo velmi malé, a to z důvodu, že podél Ostrovského potoka bylo nalezeno velmi málo mechorostů. Cílem bylo odebrat co nejvíce přírodní matrice. V některých částech Ostrovského potoka se žádné mechorosty nevyskytovaly. S větší vzdáleností od rybníku Horní štít klesala také čistota vody v Ostrovském potoku. Čím blíže jsem byla k výsypce, tím byla voda kontaminovanější. Všechny vzorky bylo nutné převést na Ústav pro nanomateriály, pokročilé technologie a inovace TUL, kde následně proběhla analytická část. Mechorosty v sáčcích jsem vložila do mrazáku a nechala je zde do doby, než došlo k první analytické části.

V rámci druhého odběru bylo cílem odebrat referenční neboli pozadřové vzorky. Odběr byl proveden u obce Merklín asi 12 km od obory Hájek. Bylo nutné dodržet stejný postup odběru jako při první návštěvě. Používala jsem gumové rukavice a uzavíratelné sáčky, které jsem hned po odběru nadepsala příslušným datem a místem odběru a následně vložila do cestovní lednice se suchým ledem. Tyto vzorky bylo nutné odebrat pro porovnání hodnot HCH akumulovaných mechorosty přímo u Ostrovského potoka a poté na referenční (pozadřové) lokalitě.



Obrázek 6 Odběr vzorků mechorostů





Obrázek 7 Ostrovský potok



Obrázek 8 Výpusť Ostrovského potoka

## 4.2 Stanovení HCH izomerů a jejich metabolitů v mechorostech

Celkově bylo pro analýzu připraveno 20 odebraných vzorků. Nejdříve bylo nutné vytáhnout vzorky mechorostů mimo mrazicí zařízení a nechat vzorky na filtračním papíře pomalu rozmraznout. Filtrační papír byl použit proto, že dokáže odvádět přebytečnou vlhkost ze vzorku. Následně jsem vzorky temperovala po dobu tří hodin. Dalším krokem bylo oddělit vrchní části mechorostů od balastních látek a následně rozdělit materiál pro stanovení sušiny a provedení extrakce.

Nejdříve bylo potřeba stanovit sušinu. Sušina je zbytek látky, který již není možné odpařit. Všechny odpařitelné látky se odpaří a u dalších k odpařování již nedochází. Po vysušení žihacích kelímků došlo k navážení materiálu. Hmotnost závisela na celkovém množství vzorků mechorostů, které byly během výjezdu do lokality Hájek odebrány. Vážení probíhalo na přesných analytických vahách. Sušení probíhalo celkem 3 hodiny při 105 °C. Následně byl zvážen suchý podíl.

Dalším krokem byla extrakce. Do 20 ml vialek jsem si postupně navážila vzorky mechorostů a použila rozpouštědlo aceton/hexan, které jsem po 5–10 ml přidávala do vialek. Extrakce probíhala přes noc na horizontální třepačce za laboratorní teploty. Další den po extrakci bylo nutné odebrat organickou fázi do 4 ml vialek a přidat žíhaný síran sodný pro odstranění zbytkové vody. Vialky se umístily opět na třepačku na cca 10 minut.

Posledním krokem před samotným měřením bylo rozpipetovat získaný extrakt do předem připravených vialek. Byl tak vytvořen duplikát.

a) 1 ml extraktu v 2ml vialce + interní standard A

b) 1 ml extraktu v 2ml vialce + interní standard B



Obrázek 9 Příprava a rozdělení vzorků mechorostů pro stanovení sušiny



Obrázek 10 Vložení žíhacích misek s mechorosty do pece



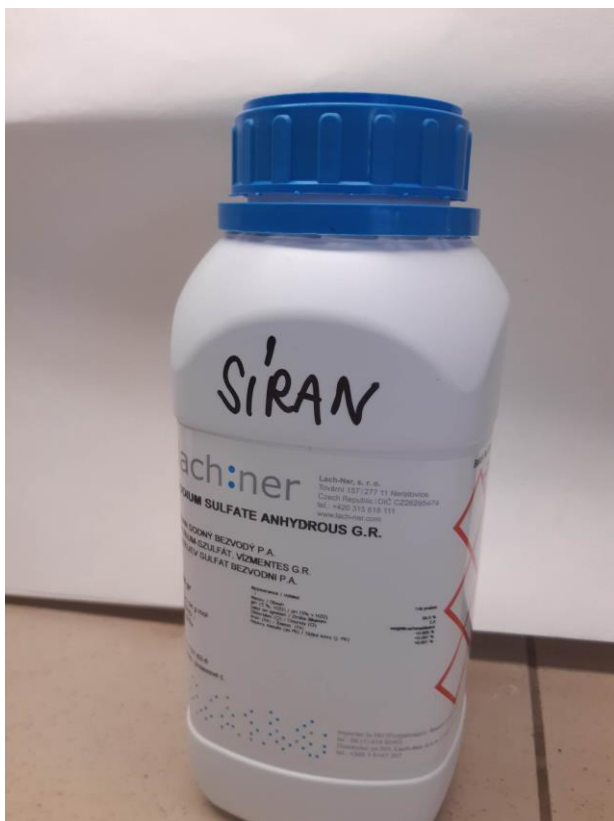
Obrázek 11 Čištění mechorostů od sedimentů



Obrázek 12 Rozpipetování rozpouštědla Aceton/hexan do vialek



Obrázek 13 Vialky s rozpouštědlem a mechorostry na třepačce po dobu 48 hodin



Obrázek 14 Síran sodný bezvodý používaný pro vysoušení



Obrázek 15 Žíhaný síran bezvodý



Obrázek 16 Příprava vialek



Obrázek 17 Mikrostríkačka Hamilton pro manipulaci s interním standardem

NÁZEV	NAVÁŽKA PRO ANALÝZU [g]	SUŠINA [%]
BOD R1	0,2869	41
BOD R2	0,3058	40
BOD R3	0,1700	43
BOD R4	0,5607	72
BOD R5	0,5222	49
BOD 1.	0,2200	90
BOD 2.	0,1978	84
BOD 3.	0,0730	91
BOD 4.	0,1376	60
BOD 5.	0,2113	89
BOD 6.	0,3156	89
BOD 7.	0,2014	91
BOD 8. 5ml Ac/hex	0,1512	88
BOD 9.	0,1077	88
BOD 10.	0,2725	90
BOD 11.	0,1962	89
BOD 12.	0,1867	90
BOD 13.	0,1870	83
BOD 14.	0,4092	80
BOD 15.	0,3577	91

*Tabulka 1 Navážky jednotlivých vzorků mechorostů*

U všech vzorků bylo použito 10ml rozpouštědla Aceton/hexan, vyjma bod 8., kde bylo použito 5ml rozpouštědla Aceton/hexan

#### 4.2.1 Měření

Pro analýzu byla použita metoda GC-MS/MS neboli metoda plynové chromatografie s hmotnostní spektrometrií. Všechny vzorky byly analyzovány pomocí přístroje Thermo trace 1310 s hmotnostním detektorem – trojitým kvadrupolem Thermo TSQ 8000 EVO. Tento systém je vybaven autosamplermem CTC Analytics AG, PAL LHX-xt a teplotně programovatelným injektorem (PTV). Pro analytické stanovení byla použita chromatografická kolona SCION 5ms (30 m x 0,25 mm x 0,25  $\mu$ m). Další parametry nastavení přístroje uvádí tabulka:

Parametry nastavení GC	Hodnota
Objem nástřiku vzorku	1 $\mu$ l
Teplota injektoru	260 °C
Teplota iont. zdroje	200 °C
Teplota transfer linie	250 °C
Průtok nosného plynu (helium 5.0)	1,5 ml/min

Tabulka 2 Parametry nastavení GC

Teplotní program chromatografické pece začínal na teplotě 60 °C, která byla udržována po dobu 2 minut, následně byl nastaven teplotní gradient 8 °C/min na teplotu 100 °C. Nakonec následoval teplotní gradient 15 °C/min. na konečnou teplotu 300 °C, která byla udržována po dobu 5 min.

Analyt	Retenční čas [min]	Prekurzorový ion [m/z]	Produktový ion [m/z]	Kolizní energie [eV]
$\alpha$ -HCH	14,65	181	145	22
$\beta$ -HCH	15,04	181	145	8
$\gamma$ -HCH	15,15	181	145	22
$\gamma$ - HCH D6 (ISTD)	15,15	224	150	20
$\delta$ -HCH	15,57	181	145	24
$\epsilon$ -HCH	15,70	217	181	8

Tabulka 3 Parametry měření

Měření bylo provedeno odbornými pracovníky Ústavu pro nanomateriály, pokročilé technologie a inovace.

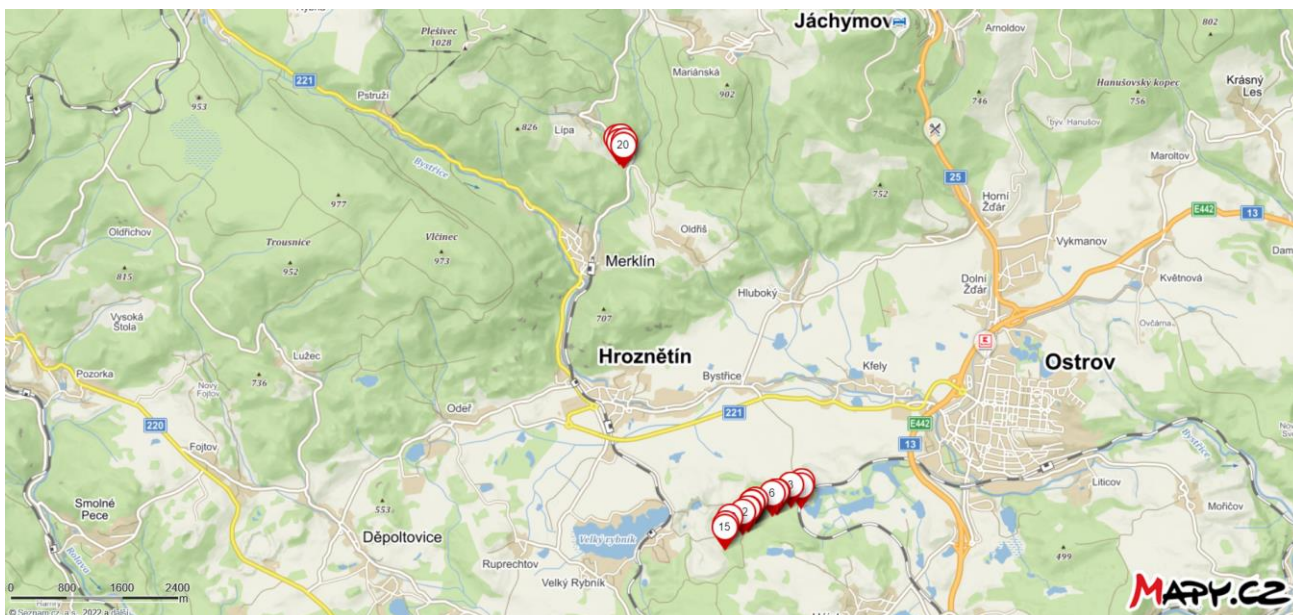


### 4.3 Mapa odběru mechorostů



Obrázek 18 Odběr vzorků mechorostů, Mapy. cz.

Mapa je dostupná na: <https://mapy.cz/s/mopojukone>



Obrázek 19 Odběr referenčních mechorostů nedaleko obory Hájek, Mapy. cz.

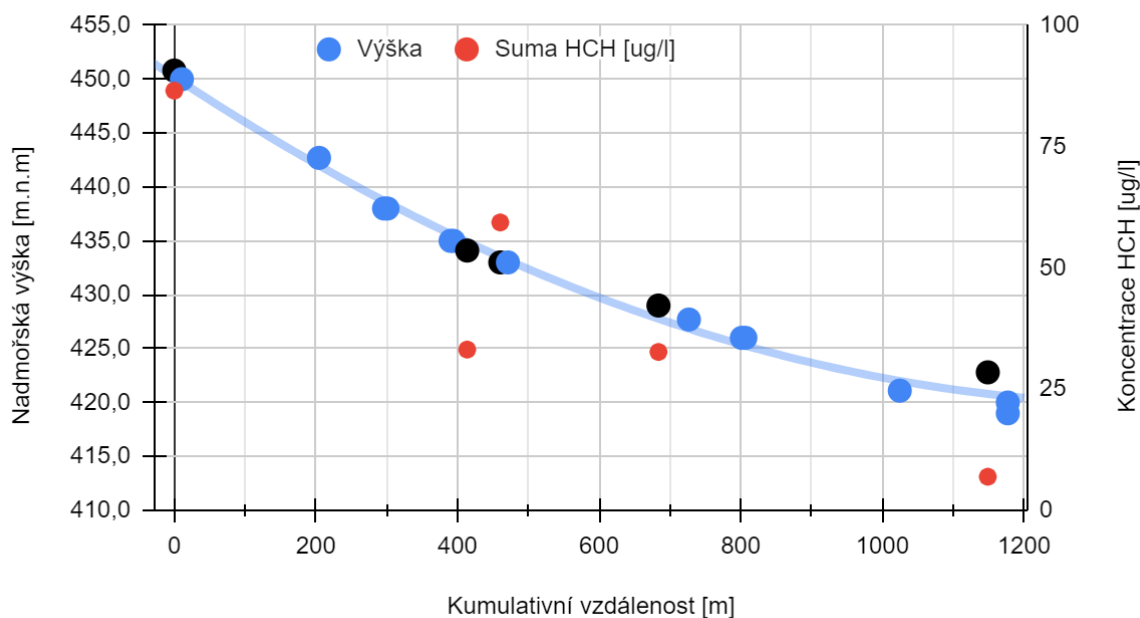
## Legenda

Poloha	Identifikace mechorostu	Souřadnice	Výška
Referenční mechorost_R1	<i>Plagiomnium undulatum</i>	50.3411258N, 12.8704694E	–
Referenční mechorost_R2	<i>Brachythecium</i> sp.	50.3412833N, 12.8710381E	–
Referenční mechorost_R3	<i>Plagiomnium</i> cf. <i>cuspidatum</i>	50.3407767N, 12.8708233E	–
Referenční mechorost_R4	<i>Dicranum scoparium</i>	50.3410081N, 12.8714133E	–
Referenční mechorost_R5	<i>Polytrichum formosum</i>	50.3407836N, 12.8713492E	–
Bod 1	<i>Brachythecium</i> sp.	50.2966614N, 12.9078519E	419,1
Bod 2	<i>Brachythecium</i> sp.	50.2962161N, 12.9077447E	420,0
Bod 3	<i>Brachythecium</i> sp.	50.2962811N, 12.9055936E	421,0
Bod 4	<i>Brachythecium</i> sp.	50.2954208N, 12.9027881E	425,0
Bod 5	<i>Plagiomnium</i> cf. <i>affine</i>	50.2954108N, 12.9027181E	426,0
Bod 6	<i>Brachythecium</i> sp.	50.2951642N, 12.9017581E	428,0
Bod 7	<i>Brachythecium</i> sp.	50.2942831N, 12.8984750E	433,0
Bod 8	<i>Brachythecium</i> sp.	50.2940094N, 12.8977989E	435,0
Bod 9	<i>Atrichum undulatum</i>	50.2939853N, 12.8977989E	436,0
Bod 10	<i>Brachythecium</i> sp.	50.2932156N, 12.8969808E	436,0
Bod 11	<i>Brachythecium</i> sp.	50.2932536N, 12.8969086E	437,5
Bod 12	<i>Plagiomnium undulatum</i>	50.2927869N, 12.8957819E	442,8
Bod 13	<i>Brachythecium</i> sp.	50.2921144N, 12.8932539E	450,0
Bod 14	<i>Brachythecium</i> sp.	50.2912519N, 12.8923889E	459,4
Bod 15	<i>Hypnum cupressiforme</i>	50.2907625N, 12.8921383E	469,7
Profil_2	P2	50.2962881N, 12.9073400E	422,8
Profil_6	P6	50.2949872N, 12.9011772E	429,0
Profil_7a	P7a	50.2949872N, 12.9011772E	433,0
Profil_7b	P7b	50.2940497N, 12.8982139E	434,1
Profil_13	P13	50.2921400N, 12.8931219E	450,8

Tabulka 4 Určení jednotlivých druhů mechorostů

Nejčastějšími mechorosty při odběrech kolem Ostrovského potoka byly *Brachythecium* sp. neboli Baňatka. Dále zde byly nalezeny také druhy: *Plagiomnium undulatum*, *Atrichum undulatum*, *Plagiomnium* sp. *affine* a *Hypnum cupressiforme*. Došlo i k odběru referenčních mechorostů, které jsem sbírala 12 km od obory Hájek.

## Ostrovský potok: nadmořská výška a koncentrace HCH



Graf 1 Ostrovský potok: nadmořská výška a koncentrace HCH

Z toho grafu je možné pozorovat sklon toku Ostrovského potoka. Potok začíná v nadmořské výšce 450 m n. m a mírně klesá až k 420 m n. m. Tím můžeme diskutovat nehomogenitu proudění vody Ostrovského potoka. Podle grafu je tedy možné, že akumulace HCH izomerů může být ovlivněna spádovými rozdíly. Koncentrace HCH ve vodě klesá s rostoucí vzdáleností od skládky. Graf kumulativní vzdálenosti a výšky ukazuje možné stoupání profilu Ostrovského potoka, což se mohlo projevit v naměřených koncentracích u některých mechorostů.

## 4.4 Druhy mechorostů určených v lokalitě Hájek

Determinace mechorostů byla provedena panem Mgr. Lukášem Jánošíkem a paní Mgr. Janou Steinovou, Ph.D.

### 1. *Brachythecium Schimp*, Baňatka

Jedná se o drobné zelené rostliny rostoucí v hustých kobercích. Lodyžní listy jsou za sucha přitisklé a za vlhka šikmo odstálé. Jedná se o kosmopolitně rozšířených druh, který má většinu svých zástupců na severní polokouli. V Evropě se nachází cca 28 druhů a v České republice se vyskytuje cca 16 (Kučera 2010).



Obrázek 20 *Brachythecium Schimp*. Foto BioLib.cz, Lukáš Konečný

### 2. *Plagiomnium affine*, Měřík příbuzný



Obrázek 21 *Plagiomnium affine*. Foto BioLib.cz, Ondřej Zicha

### 3. *Plagiomnium cf. cuspidatum*, Měřík bodlavý



Obrázek 22 *Plagiomnium cf. cuspidatum* Foto BioLib.cz, Lukáš Konečný

### 4. *Polytrichum formosum*, Ploník ztenčený

Tento mechorost roste na suchých místech a v lesích je častější než ploník obecný (*Polytrichum Commune Hedw.*) (Gutzerová 2009).



Obrázek 23 *Polytrichum formosum* Foto BioLib.cz, Lukáš Konečný

### 5. *Atrichum undulatum*, Bezvláska vlnkatá pravá



Obrázek 24 *Atrichum undulatum* Foto British Bryological Society.

## 6. *Hypnum cupressiforme*, Rokyt cypřišovitý

Zelené rostliny, středně velké, tvoří koberce nebo porosty. Vyskytují se na především na sušších místech v nižších polohách. V rámci České republiky se jedná o velmi rozšířený druh (Kučera 2020).



Obrázek 25 *Hypnum cupressiforme*. Foto BioLib.cz, Vladimír Motyčka

## 7. *Dicranum scoparium*, Dvouhrotec chvostnatý

Tento druh se nejčastěji vyskytuje na kyselém humusu v jehličnatých a listnatých lesích. Rostliny tvoří široké koberce (Botany, [b.r.]).



Obrázek 26 *Dicranum scoparium*. Foto BioLib.cz, Lukáš Konečný

## 4.5 Biodiverzita ve vybrané lokalitě

Biodiverzita je definována jako variabilita mezi živými organismy (Naeem et al. 2016).

Zkoumání biodiverzity probíhalo u mechorostů v lokalitě Hájek konkrétně podél Ostrovského potoka. U Ostrovského potoka jsou nejvíce zastoupeny druhy: *Brachythecium* sp., *Plagiomnium* cf. *affine*, *Atrichum undulatum*, *Plagiomnium undulatum*, *Hypnum cupressiforme*. Z důvodu zaměření práce nebyl proveden intenzivní bryologický výzkum. V popisovaném území se nacházelo mnoho druhů rostlin a živočichů. Mezi dřevinami byly nejčastěji zastoupeny borovice lesní (*Pinus silvestris*), které jsou velmi nenáročné na vlhkost a živiny obsažené v půdě. Dalším často vyskytujícím se jehličnanem je jedle bělokorá (*Abies alba*), která je naopak na vlhkost velmi náročná. Dalšími zástupci často se vyskytujícími jsou dub letní (*Quercus robur*) a douglaska tisolistá (*Pseudotsuga menziessi*).

Mezi typickou faunu můžeme zařadit výskyt prasete divokého (*Sus scrofa*) a muflon (*Ovis montanus*). Díky příznivým podmínkám má Česká republika jedny z nejkvalitnějších chovů muflonů. Dalšími typickými živočichy pro tuto oblast jsou jezevec lesní (*Meles meles*), káně lesní (*Buteo buteo*), veverka obecná (*Sciurus vulgaris*) a mravenec lesní (*Formica rufa*).

Koryto Ostrovského potoka je narušeno přítomností důlní výsypky a dále přítomností divočáků. Tím dochází ke zvýšenému pohybu sedimentů a ovlivňování biodiverzity břehových rostlin.

## 5 Výsledky měření

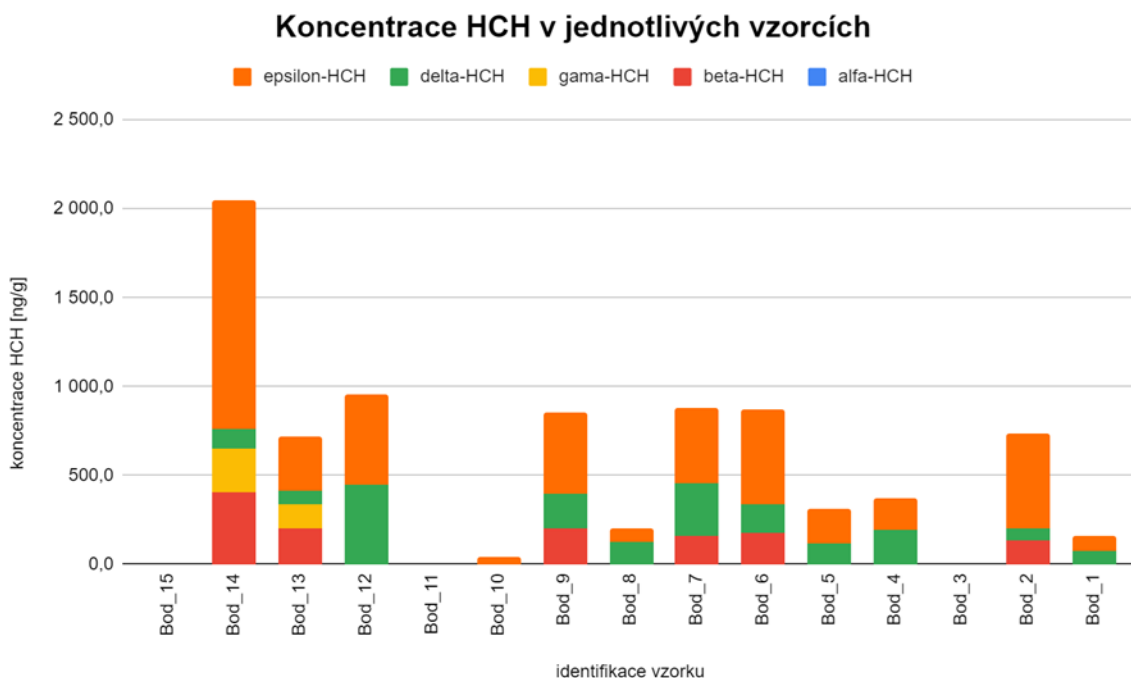
Identifikace místa	Hmotnostní koncentrace HCH [ng/g] sušiny					
	alfa-HCH	beta-HCH	gama-HCH	delta-HCH	epsilon-HCH	SUMA
Bod_1	<1,0	<1,0	<1,0	75,8	80,8	156,6
Bod_2	<1,0	132,4	<1,0	72,2	529,6	734,2
Bod_3	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	0
Bod_4	<1,0	<1,0	<1,0	193,8	177,6	371,4
Bod_5	<1,0	<1,0	<1,0	122,3	191,4	313,7
Bod_6	<1,0	174,5	<1,0	167,3	526,9	868,7
Bod_7	<1,0	163,7	<1,0	289,2	425,6	878,5
Bod_8	<1,0	<1,0	<1,0	127,8	78,9	206,7
Bod_9	<1,0	200,5	<1,0	200,5	453,7	854,7
Bod_10	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	44,9	44,9
Bod_11	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	0
Bod_12	<1,0	<1,0	<1,0	452,3	505,9	958,2
Bod_13	<1,0	206,2	135,3	70,9	309,3	721,7
Bod_14	<1,0	403,2	244,4	110	1286	2043,6
Bod_15	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	0
Bod_R1	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	0
Bod_R2	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	0
Bod_R3	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	0
Bod_R4	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	0
Bod_R5	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	0

Tabulka 5 Hmotnostní koncentrace HCH v sušině mechorostu změřené GC-MS/MS

Tabulka ukazuje hodnoty jednotlivých HCH izomerů naměřených v mechorostech pomocí metody GC/MS v laboratoři. U referenčních bodů R1–R5 nebyly naměřeny žádné koncentrace, přesně tak jako jsme předpokládali. Nejvyšší koncentrace HCH izomerů byly naměřeny ve vzorku číslo 14 a mechorostu *Brachythecium* sp. Nejmenší koncentrace byly naopak naměřeny u vzorku číslo 1 u mechorostu *Brachythecium* sp. Ve vzorcích 3 a 11. nebyly naměřeny žádné koncentrace. Do tabulky byla vložena také nadmořská výška odběru jednotlivých druhů mechorostů pro tvorbu grafů sklonu toku Ostrovského potoka.



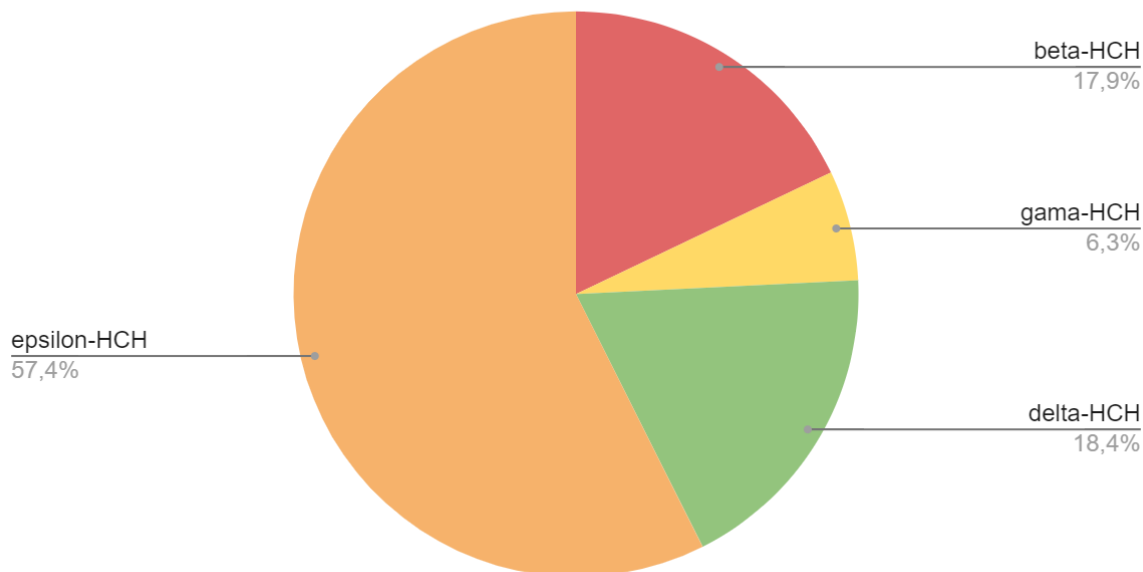
## 5.1 Koncentrace HCH v jednotlivých vzorcích mechorostů



*Graf 2 Koncentrace HCH v jednotlivých vzorcích mechorostů*

Z naměřených výsledků pomocí GC-MS/MS analýzy jednoznačně vyplývá, že odebrané mechorosty nejsou schopné akumulovat alfa izomer HCH. Ani jeden z odebraných mechorostů tento izomer do své matrice nepřijímá. Nejvíce je zastoupen izomer epsilon, který je akumulován téměř u všech druhů mechorostů. Výjimku tvoří bod 3, 11 a 15, kde nebyl detekován ani jeden z uvedených izomerů. Nejvyšší koncentrace HCH byly naměřeny v bodě 14, který leží přímo ve výsypce lomu Hájek, kde by mělo být největší znečištění. Nejmenší suma všech izomerů HCH byla naměřena v bodu 10.

## Zastoupení jednotlivých izomerů HCH v mechorostu *Brachythecium* sp.



Graf 3 Zastoupení jednotlivých HCH izomerů v mechorostu *Brachythecium* sp.

Z grafu vyplývá, že nejvíce akumulovaným HCH izomerem v mechorostu *Brachythecium* sp. je izomer epsilon s podílem 57,4 %. Nejméně zastoupen je gama izomer s podílem 6,3 %. Izomer alfa není v grafu uveden, protože nebyl detekován v tomto druhu mechorostu ani v žádném dalším mechorostu, tedy to znamená, že všechny odebrané mechorosty nejsou pravděpodobně schopny přijímat alfa izomer.

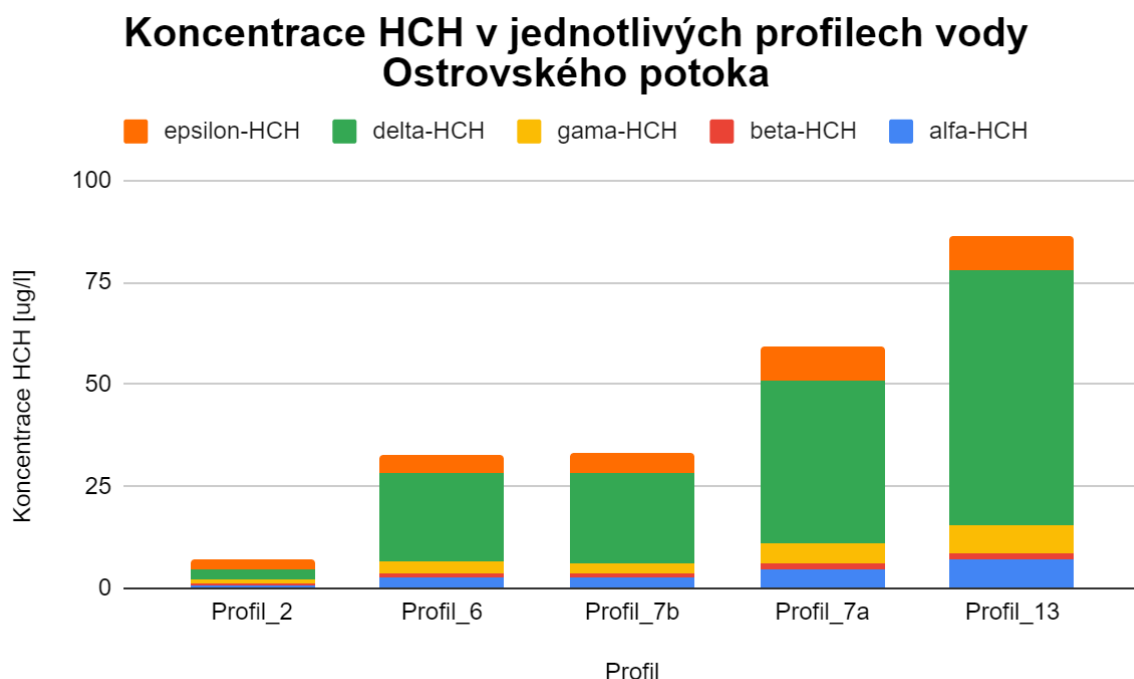
## 5.2 Koncentrace HCH naměřené ve vzorcích vody Ostrovského potoka

ug/l	alfa-HCH	beta-HCH	gama-HCH	delta-HCH	epsilon-HCH	SUMA [ug/l]
Profil_13	7,26	1,47	6,65	62,37	8,77	86,52
Profil_7a	4,81	1,55	4,85	39,85	8,29	59,35
Profil_7b	2,75	0,81	2,68	22,27	4,63	33,14
Profil_6	2,76	1,08	2,75	21,81	4,25	32,65
Profil_2	0,82	0,43	0,93	2,61	2,13	6,92

Tabulka 6 Koncentrace HCH ve vzorcích vody Ostrovského potoka za srpen, 2021

(data poskytnuta od Mgr. Pavel Hrabák, Ph.D. Ústav pro nanomateriály, pokročilé technologie a inovace TUL)

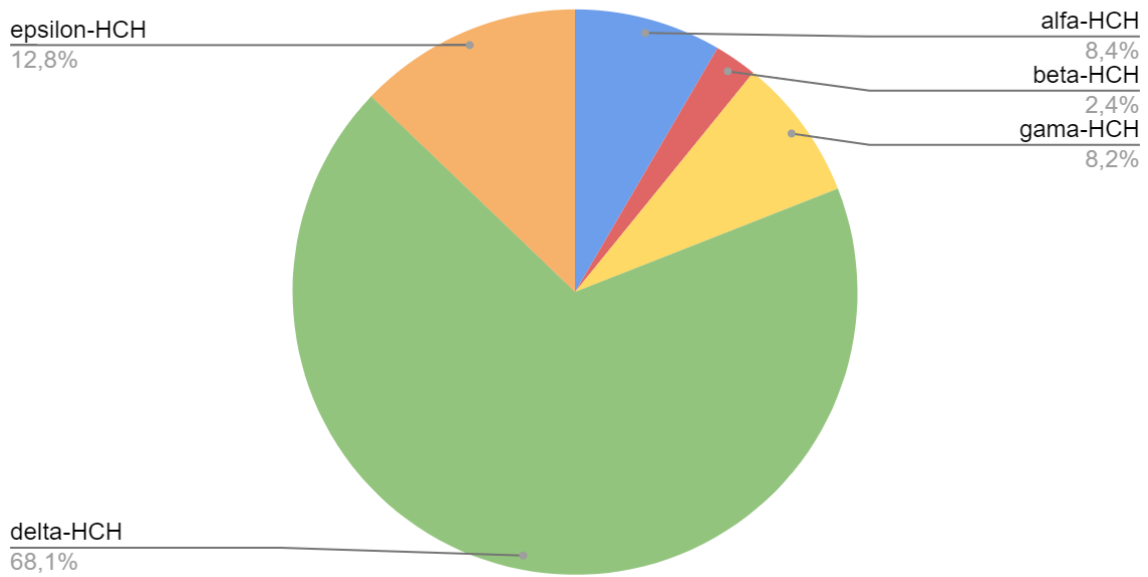
Nejvíce zastoupeným izomerem HCH je ve vzorcích vody Ostrovského potoka izomer delta. Koncentrace HCH izomerů se směrem k výsypce zvyšují. Profil 2 je nejbližší k rybníkům Horní a Dolní Štít. Naopak profil 13 je u výsypky lomu Hájek. Zajímavý bod je profil 7a, který byl odebrán nad soutokem Ostrovského potoka s pravobřežním přítokem. Tento přítok výrazně ředí koncentrace HCH ve vodě, což je viditelné i z tabulky. Před místem pravobřežního přítoku byly koncentrace velmi vysoké. Suma koncentrací v tomto profilu činí 59,35 ug/l. S porovnáním profilu 7b, který se nachází těsně pod přítokem (ve směru toku Ostrovského potoka) jsou koncentrace profilu 7a výrazně vyšší.



*Graf 4 Koncentrace HCH v jednotlivých profilech ve vodě Ostrovského potoka*

Podle mapy odběru jednotlivých vzorků vody můžeme vidět, jak se při odběru postupovalo. Začátek byl u rybníků Horní a Dolní Štít a postupně se pokračovalo proti proudu směrem k výsypce. Pro porovnání nám stačí pouze profily 2, 6, 7a, 7b a 13, jelikož i v těchto místech byly odebrány vzorky mechorostů. Při pohledu do tabulek můžeme vidět, že nejvíce organochlorovaných pesticidů HCH bylo naměřeno v místech u výsypky lomu Hájek a nejméně naopak u rybníků Horní a Dolní štít stejně tak ve vzorcích vody i v mechorostech. Nejvyšší suma HCH byla naměřena v profilu 13, který se nachází u výsypky lomu Hájek.

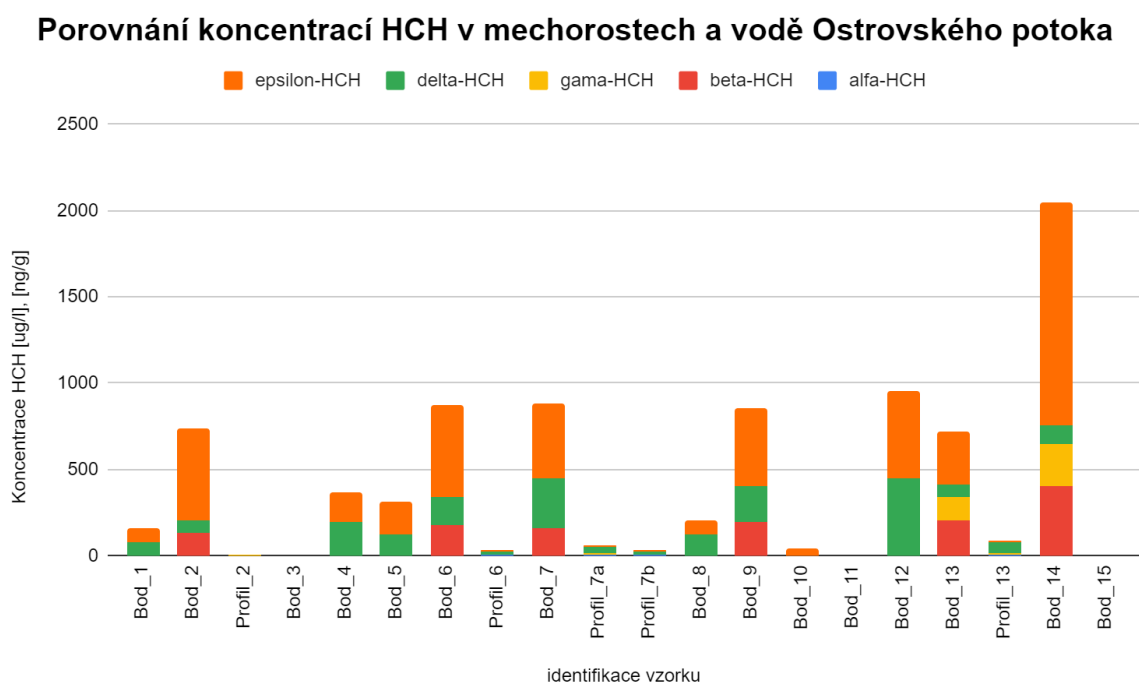
## Zastoupení jednotlivých izomerů HCH ve vodě Ostrovského potoka



Graf 5 Zastoupení jednotlivých izomerů HCH ve vodě Ostrovského potoka, srpen 2021

Z grafu vyplývá, že nejčastěji zastoupeným izomerem HCH je zde delta izomer s podílem 68,3 %. Nejméně je zastoupen beta izomer s podílem 2,4 %. Na rozdíl od Grafu 3 se zde objevuje i alfa izomer. Znamená to, že se konkrétně alfa izomer HCH nedostal z vody do biomasy mechorostů. Přítomnost všech izomerů ve vodě, je dána primárně jejich obsahem ve zdrojovém odpadu, dále jejich rozpustností ve vodě a perzistencí vůči sorpci, fotolýze a biodegradaci.

## Srovnání koncentrací vzorků mechorostů a vody Ostrovského potoka



Graf 6 Porovnání koncentrací HCH v mechorostech a vodě Ostrovského potoka, 2021

V celkovém shrnutí výsledků vzorků mechorostů a vody Ostrovského potoka se ukázalo, že nejvyšší koncentrace HCH izomerů byly naměřeny ve vzorku číslo 14, který se nachází nedaleko výpusti Ostrovského potoka.

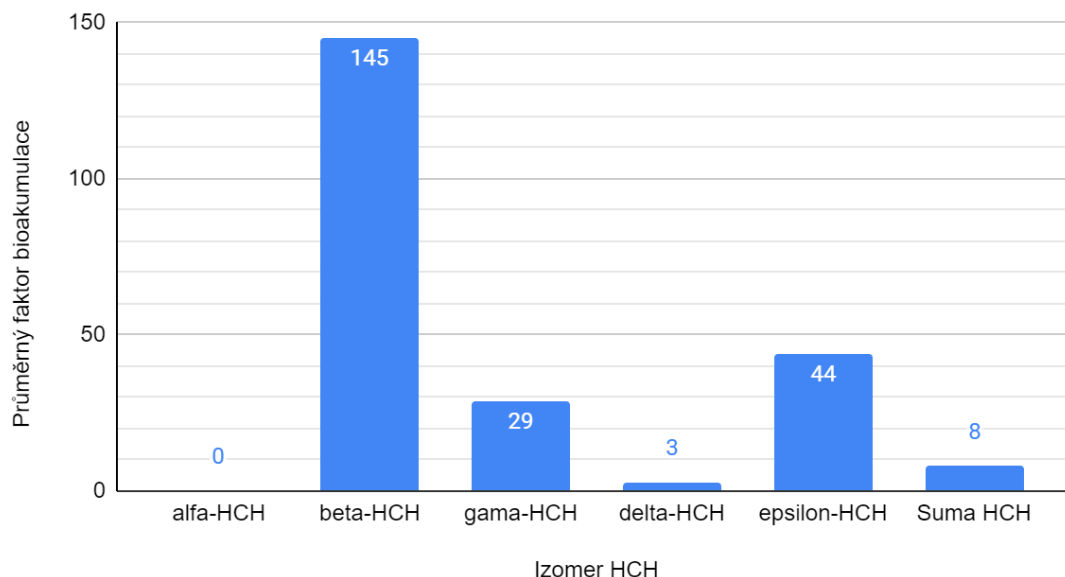
Následující tabulka uvádí faktor bioakumulace, který byl vypočítán jako podíl koncentrace HCH izomeru v mechorostu [ng/g] ku koncentraci daného izomeru [µg/l] v profilu\_13. Vypočtený faktor bioakumulace HCH byl nejvyšší u beta izomeru.

Izomer HCH	alfa-HCH	beta-HCH	gama-HCH	delta-HCH	epsilon-HCH	Suma HCH
<b>Maximální faktor bioakumulace [-]</b>	0	145	29	3	44	8
<b>Průměrný faktor bioakumulace [-]</b>	0	274	37	7	147	24

Tabulka 7 Bioakumulace vztažená k profilu\_13

Pro přehlednost je zde vytvořený graf průměrného faktoru bioakumulace.

### Průměrný faktor bioakumulace HCH v mechorostech



Graf 7 Průměrný faktor bioakumulace izomerů HCH v mechorostech

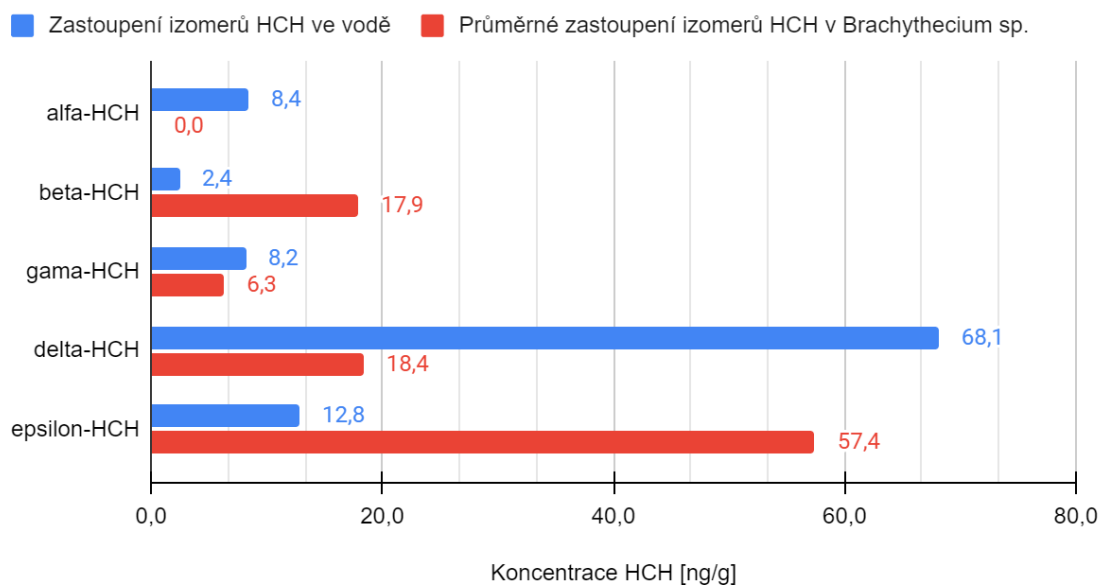
Z grafu jednoznačně vyplývá, že nejvyšší faktor bioakumulace má beta izomer (145) a nejmenší delta izomer (3). Bioakumulační faktor v Olši lepkavé na stejné lokalitě byl (500) (Hrabák, P. et al., 2018). Protože při výpočtu faktoru bioakumulace byla použita maximální koncentrace HCH izomerů ve vodě (Profil 13), lze očekávat, že reálná bioakumulace bude dosahovat vyšších hodnot.

Distribuce jednotlivých HCH izomerů ve vodě je odlišná od distribuce izomerů v mechorostech, což ukazuje následující tabulka a graf.

Izomer HCH	alfa-HCH	beta-HCH	gama-HCH	delta-HCH	epsilon-HCH
Zastoupení izomerů HCH ve vodě	8,4	2,4	8,2	68,1	12,8
Zastoupení izomerů HCH v <i>Brachythecium</i> sp.	0,0	17,9	6,3	18,4	57,4
Změna distribuce izomerů HCH mechorost/voda [%]	0	734	77	27	447

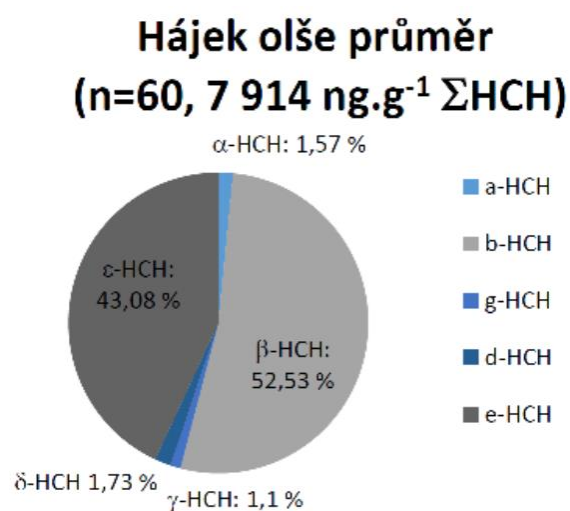
Tabulka 8 Zastoupení Izomerů HCH v mechorostu *Brachythecium* sp. a ve vodě

## Zastoupení HCH izomerů ve vodě a *Brachythecium* sp.



Graf 8 Zastoupení HCH izomerů ve vodě a mechorostu *Brachythecium* sp.

Pouze u beta izomeru (17,9 %) a epsilon izomeru HCH (57,4 %) dochází ke zvětšení jeho distribuce v mechorostu obdobně jako u olše, kde je nejvíce distribuovaným izomerem izomer beta (52,53 %) a epsilon (43,08 %) (Hrabák, P. et al., 2018). Distribucí se rozumí podíl koncentrace daného izomeru HCH k celkové koncentraci HCH.



Graf 9 Průměrné zastoupení izomerů HCH na jejich sumě, (Hrabák et al., 2018).

## 5.3 Diskuze

Z měření vyplývá, že akumulace izomerů HCH v mechorostech je rozdílná. Rozdíl v akumulaci izomerů HCH může být způsoben několika faktory. Jedním z důvodů může být poloha konkrétního mechorostu. Zda byl odebrán přímo v potoce či naopak nad korytem potoka. Lze předpokládat, že záleží i na daném druhu mechorostu. Je možné, že některé druhy mechorostů jsou schopné přijímat všechny izomery HCH a dále některé druhy, které nepřijímají některé izomery vůbec. Porovnání koncentrací mezi různými druhy mechorostů nemohlo být provedeno z důvodu malého počtu druhů i malého množství matrice.

Dalším faktorem je rozdílná perzistence neboli stabilita jednotlivých izomerů (Li et al. 1998, Willett et al. 1998). Perzistence izomerů beta a epsilon je v literatuře přisuzována ekvatoriální orientaci vazeb C–Cl (Willett et al. 1998).

V Rumunsku ve vzorku mechorostu *Hypnum cupressiforme* byly naměřeny nejvyšší koncentrace u beta a gama izomerů a následně alfa a delta izomerů HCH (Tarcau et al. 2013). V lokalitě Hájek v České republice ve vzorku mechorostu *Brachythecium* sp. byly naměřeny nejvyšší koncentrace u izomerů delta a epsilon a následně u beta a gama izomerů HCH. V lokalitě Hájek nebyl v žádném mechorostu naměřen izomer alfa, a naopak v Rumunsku byl ve velmi malých koncentracích naměřen izomer delta (Tarcau et al. 2013). Příčinou může být například jiné složení HCH izomerů při samotné výrobě. V článku není uvedena distribuce HCH izomerů ve vodě, protože byl proveden průzkum pouze v rostlinném materiálu. Nepřítomnost alfa izomeru v odebraných vzorcích může být způsobena nízkými koncentracemi HCH naměřených ve vodě Ostrovského potoka.



## 5.4 Závěr

Z provedených měření bylo zjištěno, že mechorosty jsou schopné akumulace izomerů HCH. Měření metodou GC-MS/MS bylo zjištěno, že všechny druhy mechorostů nepřijímají stejné HCH izomery, a dokonce je nepřijímají ani ve stejných koncentracích. Ve třech vzorcích bylo zjištěno, že zde nebyly akumulovány žádné HCH izomery. Nejvíce zastoupeným HCH izomerem v odebraných druzích mechorostů byl izomer epsilon. Izomer alfa nebyl naměřen v žádném vzorku mechorostu a ve velmi malém množství se vyskytoval ve vodě. Mechorosty přijímají vodu a živiny celým povrchem stélky. Výkyvy, které jsou v grafech patrné mohou být způsobeny různými faktory, které se během odběru mohly odehrát.

Koncentrace HCH v Ostrovském potoce klesá ve směru toku od výsypky (nejvyšší kontaminace) po rybníky Horní a Dolní Štít (nejnižší kontaminace). Nejvíce zastoupeným izomerem ve vzorku vody byl delta izomer.

Technická univerzita v Liberci se intenzivně zabývá studiem fytoakumulace HCH rostlinným materiálem. V dalším případném pokračování této práce by bylo dobré sledovat sezónní výkyvy a věnovat se bioakumulaci v mechorostech v závislosti na čase a prostudovat akumulaci HCH v různých druzích mechorostů nebo by bylo přínosné porovnat koncentrace v mechorostech a ve vzorku vody vždy ze stejného místa, aby bylo jasné, jak moc kontaminovaná voda dokáže být přijímána mechorosty. Vhodné by bylo odebrat vždy co největší možné množství biologické matrice z jednoho místa, aby byl výsledek věrohodný.

Zkoumané mechorosty na základě svých schopností akumulovat v sobě HCH izomery mohou být použity jako ukazatele kontaminace prostředí.

## 5.5 Zdroje

- ACETO, Maurizio, Ornella ABOLLINO, Raffaele CONCA, Mery MALANDRINO, Edoardo MENTASTI a Corrado SARZANINI, 2003. The use of mosses as environmental metal pollution indicators. *Chemosphere* [online]. **50**(3), 333–342. ISSN 00456535. Dostupné z: doi:10.1016/S0045-6535(02)00533-7
- ALAM A, SRIVASTAVA SC (2009). Marchantia paleacea Bert.- As an indicator of heavy metal pollution. *Indian Journal of Forestry*, 32(3): 465-470.
- ANDĚL, Petr, 2011. *Ekotoxikologie, bioindikace a biomonitoring*. Liberec: Evernia. ISBN 978-80-903787-9-7.
- ANON, 2002. *ATSDR's Toxicological Profiles: Web Version* [online]. B.m.: CRC Press [vid. 2022-04-03]. ISBN 978-1-4200-6188-8. Dostupné z: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp43.pdf>
- ANON., 1999. Roles of Bryophytes in Stream Ecosystems. *Journal of the North American Benthological Society* [online]. 18(2), 151–184. ISSN 0887-3593, 1937-237X. Dostupné z: doi:[10.2307/1468459](https://doi.org/10.2307/1468459)
- AUGUSTO, Sofia, Cristina MÁGUAS a Cristina BRANQUINHO, 2013. Guidelines for biomonitoring persistent organic pollutants (POPs), using lichens and aquatic mosses – a review. *Environmental Pollution* [online]. **180**, 330–338. ISSN 02697491. Dostupné z: doi:[10.1016/j.envpol.2013.05.019](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.05.019)
- BATTISTI, Sabrina, Carlo BOSELLI, Alessandro UBALDI, Cristina ROFFI ISABELLI, Tabita MAUTI, Ugo DELLA MARTA a Paola SCARAMOZZINO, 2017. Measurements of  $\beta$  and  $\alpha$  hexachlorocyclohexane in Juglans regia and Prunus spinosa trees in a contaminated area, central Italy. *Environmental Science and Pollution Research* [online]. **24**(26), 20876–20882. ISSN 0944-1344, 1614-7499. Dostupné z: doi:[10.1007/s11356-017-9680-3](https://doi.org/10.1007/s11356-017-9680-3)
- BEAUGELIN-SEILLER, K., J.P. BAUDIN a D. BROTTET, 1994. Use of aquatic mosses for monitoring artificial radionuclides downstream of the nuclear power plant of Bugey (River Rhone, France). *Journal of Environmental Radioactivity* [online]. 24(3), 217–233. ISSN 0265931X. Dostupné z: doi:[10.1016/0265-931X\(94\)90041-8](https://doi.org/10.1016/0265-931X(94)90041-8)
- BERG, Torunn, Oddvar RØYSET a Eiliv STEINNES, 1995. Moss (Hylocomium splendens) used as biomonitor of atmospheric trace element deposition: Estimation of uptake efficiencies. *Atmospheric Environment* [online]. 29(3), 353–360. ISSN 13522310. Dostupné z: doi:[10.1016/1352-2310\(94\)00259-N](https://doi.org/10.1016/1352-2310(94)00259-N)
- BORGHINI, Francesca, Joan O. GRIMALT, Juan C. SANCHEZ-HERNANDEZ a Roberto BARGAGLI, 2005. Organochlorine pollutants in soils and mosses from Victoria Land

- (Antarctica). *Chemosphere* [online]. **58**(3), 271–278. ISSN 00456535. Dostupné z: doi:[10.1016/j.chemosphere.2004.07.025](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.07.025)
- BOWDEN, William B., Janice M. GLIME a Tenna RIIS, 2007. Macrophytes and Bryophytes. In: *Methods in Stream Ecology* [online]. B.m.: Elsevier, s. 381–406 [vid. 2022-04-14]. ISBN 978-0-12-332908-0. Dostupné z: doi:[10.1016/B978-012332908-0.50025-5](https://doi.org/10.1016/B978-012332908-0.50025-5)
- BREIVIK, Knut, Jozef M. PACYNA a Jörg MÜNCH, 1999. Use of  $\alpha$ -,  $\beta$ - and  $\gamma$ -hexachlorocyclohexane in Europe, 1970–1996. *Science of The Total Environment* [online]. **239**(1–3), 151–163. ISSN 00489697. Dostupné z: doi:[10.1016/S0048-9697\(99\)00291-0](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(99)00291-0)
- BRŮČEK, P. LOM HÁJEK – komplexní řešení sanace výsypky kontaminované chlorovanými látkami (zpráva o průběhu výzkumu a přípravě technicko-ekonomické studie) [online]. Dostupné z: <https://slon.diamo.cz/hpvt/2014/Z/Z%2009.pdf>
- ČEBURNIS, D a D VALIULIS, 1999. Investigation of absolute metal uptake efficiency from precipitation in moss. *Science of The Total Environment* [online]. **226**(2–3), 247–253. ISSN 00489697. Dostupné z: doi:[10.1016/S0048-9697\(98\)00399-4](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(98)00399-4)
- DICRANUM SCOPARIUM Hedw. – dvouhrotec chvostnatý / dvojhrot chvostovitý | BOTANY.cz. *BOTANY.cz - Zajímavosti ze světa rostlin* [online]. Copyright © [vid. 14.04.2022]. Dostupné z: <https://botany.cz/cs/dicranum-scoparium/>
- FERNANDEZ, Catherine C., James R. SHEVOCK, Alexander N. GLAZER a John N. THOMPSON, 2006. Cryptic species within the cosmopolitan desiccation-tolerant moss *Grimmia laevigata*. *Proceedings of the National Academy of Sciences* [online]. **103**(3), 637–642. ISSN 0027-8424, 1091-6490. Dostupné z: doi:[10.1073/pnas.0510267103](https://doi.org/10.1073/pnas.0510267103)
- FRIEDECKÝ, B., LEMR, K., 2012. Úvod do hmotnostní spektrometrie. *Klinická biochemie a metabolismus: časopis České společnosti klinické biochemie* **20**, 152–157.
- GECHEVA, Gana a Lilyana YURUKOVA, 2014. Water pollutant monitoring with aquatic bryophytes: a review. *Environmental Chemistry Letters* [online]. **12**(1), 49–61. ISSN 1610-3653, 1610-3661. Dostupné z: doi:[10.1007/s10311-013-0429-z](https://doi.org/10.1007/s10311-013-0429-z)
- GIORDANO S, Admo P, Sorbo S, Vingiani S (2005). Atmospheric trace metal pollution in the Naples Urban Area based on results from Moss and Lichen Bags. *Environ. Pollut.* **136**: 431-442.
- GLIME, Janice M., "Volume 1, Chapter 2-3: Marchantiophyta" (2013). *Bryophyte Ecology Subchapters*. 4. <https://digitalcommons.mtu.edu/bryo-ecol-subchapters/4>
- GLIME, Janice M., "Volume 1, Chapter 2-8: Anthocerotophyta" (2013). *Bryophyte Ecology Subchapters*. 9. <https://digitalcommons.mtu.edu/bryo-ecol-subchapters/9>

- GOFFINET, Bernard, 2008. *Bryophyte Biology* [online]. 2. vyd. Cambridge: Cambridge University Press [vid. 2022-04-11]. ISBN 978-0-511-75480-7. Dostupné z: doi:[10.1017/CBO9780511754807](https://doi.org/10.1017/CBO9780511754807)
- GROUP, Stream Bryophyte, 1999. Roles of Bryophytes in Stream Ecosystems. *Journal of the North American Benthological Society* [online]. **18**(2), 151–184. ISSN 0887-3593. Dostupné z: doi:[10.2307/1468459](https://doi.org/10.2307/1468459)
- GUO, Lingli, Yaowen QIU, Gan ZHANG, Gene J. ZHENG, Paul K.S. LAM a Xiangdong LI, 2008. Levels and bioaccumulation of organochlorine pesticides (OCPs) and polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in fishes from the Pearl River estuary and Daya Bay, South China. *Environmental Pollution* [online]. **152**(3), 604–611. ISSN 02697491. Dostupné z: doi:[10.1016/j.envpol.2007.06.067](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.06.067)
- GUTZEROVÁ N., POLYTRICHUM COMMUNE Hedw. – ploník obecný / ploník obyčejný | BOTANY.cz. *BOTANY.cz - Zajímavosti ze světa rostlin* [online]. Copyright © [vid. 07.04.2022]. Dostupné z: <https://botany.cz/cs/polytrichum-commune/>
- HARNER, Tom, Henrik KYLIN, Terry F. BIDDLEMAN a William M. J. STRACHAN, 1999. Removal of  $\alpha$ - and  $\gamma$ -Hexachlorocyclohexane and Enantiomers of  $\alpha$ -Hexachlorocyclohexane in the Eastern Arctic Ocean. *Environmental Science & Technology* [online]. 33(8), 1157–1164. ISSN 0013-936X, 1520-5851. Dostupné z: doi:[10.1021/es980898g](https://doi.org/10.1021/es980898g)
- HEŠNAUR, L. & JECH, J. (2001): Řešení problematiky důlních vod z výsypky lomu Hájek, kontaminovaných uloženými odpady z výroby organochlorových insekticidů [online]. [vid. 2022-03-26]. Dostupné z: <https://slon.diamo.cz/hpvt/2001/sekce/sanace/18/S18.htm>
- HOLČAPEK M., Mass Spectrometry Group @ University of Pardubice Dostupné z: [https://holcapek.upce.cz/teaching/Mol\\_spek/Mol\\_spek\\_prednaska6\\_MS.pdf](https://holcapek.upce.cz/teaching/Mol_spek/Mol_spek_prednaska6_MS.pdf)
- HOLOUBEK, I., P. KOŘÍNEK, Z. ŠEDA, E. SCHNEIDEROVÁ, I. HOLOUBKOVÁ, A. PACL, J. TRÍSKA, P. CUDLÍN a J. ČÁSLAVSKÝ, 2000. The use of mosses and pine needles to detect persistent organic pollutants at local and regional scales. *Environmental Pollution* [online]. 109(2), 283–292. ISSN 02697491. Dostupné z: doi:[10.1016/S0269-7491\(99\)00260-2](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(99)00260-2)
- HOLOUBEK, I. et al. Edice planeta 2001 [online]. Ročník IX., číslo 2/2001. ISSN: 1213–3396. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/A0750BCC7925B390C1256FAF0048ADF9/\\$file/chlatky1.p](https://www.mzp.cz/web/edice.nsf/A0750BCC7925B390C1256FAF0048ADF9/$file/chlatky1.p)
- HRABÁK, P. et al., 2018. Phytoscreening dřevin jako instrument pro indikaci šíření organochlorovaných pesticidů v podzemní vodě. In: Skládkový workshop Liberec-Žitava

2018. Liberec, Česká republika, 15.–16. listopad 2018 [online]. Sborník příspěvků, s. 217–226. Liberec, Technická univerzita Liberec. Dostupné z: [https://skladky.tul.cz/skladky18/files/Sam.melband\\_Sbornik.pdf](https://skladky.tul.cz/skladky18/files/Sam.melband_Sbornik.pdf)
- JONES, Clive G., John H. LAWTON a Moshe SHACHAK, 1994. Organisms as Ecosystem Engineers. *Oikos* [online]. 69(3), 373. ISSN 00301299. Dostupné z: doi:[10.2307/3545850](https://doi.org/10.2307/3545850)
- JONES, K.C. a P. DE VOOGT, 1999. Persistent organic pollutants (POPs): state of the science. *Environmental Pollution* [online]. 100(1–3), 209–221. ISSN 02697491. Dostupné z: doi:[10.1016/S0269-7491\(99\)00098-6](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(99)00098-6)
- KALINA, Tomáš, Jiří VÁŇA, a UNIVERZITA KARLOVA, 2005. *Sinice, řasy, houby, mechorosty a podobné organismy v současné biologii*. Praha: Karolinum. ISBN 978-80-246-1036-8.
- KOLAŘÍKOVÁ, Kateřina, Wolf VON TÜMPLING a Peter BARTELS, 2013. Bioaccumulation of HCH isomers in selected macroinvertebrates from the Elbe River: sources and environmental implications. *Environmental Monitoring and Assessment* [online]. **185**(5), 4333–4346. ISSN 0167-6369, 1573-2959. Dostupné z: doi:[10.1007/s10661-012-2872-x](https://doi.org/10.1007/s10661-012-2872-x)
- KOŘÍNEK, Robert, [b.r.]. PROGRAMY PŘEDCHÁZENÍ VZNIKU ODPADŮ v PRAXI. 20.
- KOVÁČIK, Jozef, Vojtěch ANTOŠ, Giuseppe MICALIZZI, Sławomir DRESLER, Pavel HRABÁK a Luigi MONDELLO, 2018. Accumulation and toxicity of organochlorines in green microalgae. *Journal of Hazardous Materials* [online]. **347**, 168–175. ISSN 03043894. Dostupné z: doi:[10.1016/j.jhazmat.2017.12.056](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2017.12.056)
- KUBEŠOVÁ, Svatava, Zdenek MUSIL, Ivan NOVOTNÝ, Vitezslav PLASEK a Magda ZMRHALOVÁ, 2009. *Mechorosty – součást naší přírody*. ISBN 978-80-254-6057-3.
- KUČERA, J., 2010. Mechorosty České republiky. *Brachythecium Schimp* [online] [vid. 2022-04-15]. Dostupné z: <https://botanika.prf.jcu.cz/bryoweb/klic/genera/brachythecium.html>
- KUČERA, J., 2012. Mechorosty České republiky. *Živa*. Č. 4: 165–167 s. [vid. 2022-03-26].
- KUČERA, J., 2020. Mechorosty České republiky. *Hypnum cupressiforme* [online] [vid. 2022-04-14]. Dostupné z: <https://botanika.prf.jcu.cz/bryoweb/klic/families/hypnaceae.html>.
- KUTZ, Frederick W., Patricia H. WOOD a David P. BOTTIMORE, 1991. Organochlorine Pesticides and Polychlorinated Biphenyls in Human Adipose Tissue\*. In: George W. WARE, ed. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* [online]. New York, NY: Springer New York, Reviews of Environmental Contamination and Toxicology, s. 1–82 [vid. 2022-04-04]. ISBN 978-1-4612-7789-7. Dostupné z: doi:[10.1007/978-1-4612-3080-9\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4612-3080-9_1)

- LAL, Rup, Gunjan PANDEY, Pooja SHARMA, Kirti KUMARI, Shweta MALHOTRA, Rinku PANDEY, Vishakha RAINA, Hans-Peter E. KOHLER, Christof HOLLIGER, Colin JACKSON a John G. OAKESHOTT, 2010. Biochemistry of Microbial Degradation of Hexachlorocyclohexane and Prospects for Bioremediation. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* [online]. **74**(1), 58–80. ISSN 1092-2172, 1098-5557. Dostupné z: doi:[10.1128/MMBR.00029-09](https://doi.org/10.1128/MMBR.00029-09)
- LI, Shaolin, Daniel W. ELLIOTT, Stephen T. SPEAR, Luming MA a Wei-Xian ZHANG, 2011. Hexachlorocyclohexanes in the Environment: Mechanisms of Dechlorination. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* [online]. **41**(19), 1747–1792. ISSN 1064-3389. Dostupné z: doi:[10.1080/10643389.2010.481592](https://doi.org/10.1080/10643389.2010.481592)
- Lim, T.B., R. Xu, B. Tan, and J.P. Obbard, 'Persistent Organic Pollutants in Moss as Bioindicators of Atmospheric Pollution in Singapore', *Chemosphere*, 64.4 (2006), 596–602. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.11.007>
- LI, Y. F., D. J. CAI a A. SINGH, 1998. Technical Hexachlorocyclohexane Use Trends in China and Their Impact on the Environment. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* [online]. **35**(4), 688–697. ISSN 0090-4341, 1432-0703. Dostupné z: doi:[10.1007/s002449900432](https://doi.org/10.1007/s002449900432)
- LI, Y.F. a R.W. MACDONALD, 2005. Sources and pathways of selected organochlorine pesticides to the Arctic and the effect of pathway divergence on HCH trends in biota: a review. *Science of The Total Environment* [online]. **342**(1–3), 87–106. ISSN 00489697. Dostupné z: doi:[10.1016/j.scitotenv.2004.12.027](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.12.027)
- MARKERT, Bernd, Simone WUENSCHMANN, Stefan FRAENZLE, Olaf WAPPELHORST, Vera WECKERT, Gerhard BREULMANN, Rumjana DJINGOVA, Uwe HERPIN, Helmut LIETH, Winfried SCHRODER, Ulrich SIEWERS, Eiliv STEINNES, Bert WOLTERBEEK a Harald ZECHMEISTER, 2008. On the road from environmental biomonitoring to human health aspects: monitoring atmospheric heavy metal deposition by epiphytic/epigeic plants: present status and future needs. *International Journal of Environment and Pollution* [online]. **32**(4), 486. ISSN 0957-4352, 1741-5101. Dostupné z: doi: [10.1504/IJEP.2008.018412](https://doi.org/10.1504/IJEP.2008.018412)
- MOUVET, C., M. GALOUX a A. BERNES, 1985. Monitoring of polychlorinated biphenyls (PCBs) and hexachlorocyclohexanes (HCH) in freshwater using the aquatic moss *Cinclidotus danubicus*. *Science of The Total Environment* [online]. **44**(3), 253–267. ISSN 0048-9697. Dostupné z: doi:[10.1016/0048-9697\(85\)90099-3](https://doi.org/10.1016/0048-9697(85)90099-3)
- NAEEM, Shahid, Robin CHAZDON, J. Emmett DUFFY, Case PRAGER a Boris WORM, 2016. Biodiversity and human well-being: an essential link for sustainable development.

- Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* [online]. **283**(1844), 20162091. ISSN 0962-8452, 1471-2954. Dostupné z: doi:[10.1098/rspb.2016.2091](https://doi.org/10.1098/rspb.2016.2091)
- NAYYAR, Namita, Naseer SANGWAN, Puneet KOHLI, Helianthous VERMA, Roshan KUMAR, Vivek NEGI, Phoebe OLDACH, Nitish Kumar MAHATO, Vipin GUPTA a Rup LAL, 2014. Hexachlorocyclohexane: persistence, toxicity and decontamination. *Reviews on Environmental Health* [online]. **29**(1–2) [vid. 2022-04-03]. ISSN 2191-0308, 0048-7554. Dostupné z: doi:[10.1515/reveh-2014-0015](https://doi.org/10.1515/reveh-2014-0015)
- O LOKALITĚ | DIAMO, státní podnik. *Redirecting to <https://www.diamo.cz/cs>* [online]. Copyright © 2022 [vid. 06.04.2022]. Dostupné z: <https://www.diamo.cz/cs/projekty-life/lifepopwat/o-lokalite>
- ONIANWA, P. C. 2000. Monitoring atmospheric metal pollution: a review of the use of mosses as indicators. *Environmental Monitoring and Assessment* 71: 13–50.
- PROGRAM LIFE | DIAMO, státní podnik. *Redirecting to <https://www.diamo.cz/cs>* [online]. Copyright © 2022 [vid. 04.04.2022]. Dostupné z: <https://www.diamo.cz/cs/projekty-life/lifepopwat/program>
- PROKEŠ, Jaroslav a UNIVERZITA KARLOVA, 2005. *Základy toxikologie: obecná toxikologie a ekotoxikologie*. Praha: Galén : Karolinum. ISBN 978-80-7262-301-3.
- RAHEEM, Zainab, 2019. *Handbook Of Instrumental Techniques For Analytical Chemistry* [online]. [vid. 2022-04-04]. Dostupné z: <https://bit.ly/3Kc7b23>
- RICE, S. K., 2009. Mosses (Bryophytes). In: Gene E. LIKENS, ed. *Encyclopedia of Inland Waters* [online]. Oxford: Academic Press, s. 88–96 [vid. 2022-04-04]. ISBN 978-0-12-370626-3. Dostupné z: doi:[10.1016/B978-012370626-3.00219-2](https://doi.org/10.1016/B978-012370626-3.00219-2)
- SAXENA, D. K. a HARINDER, 2004. Uses of bryophytes. *Resonance* [online]. 9(6), 56–65. ISSN 0971-8044, 0973-712X. Dostupné z: doi:[10.1007/BF02839221](https://doi.org/10.1007/BF02839221)
- SPOLANA. *Spolana: historie* [online]. [vid. 2022-04-24]. Dostupné z: <https://www.spolana.cz/CZ/ONas/Stranky/Historie.aspx>
- SPOLANA NERATOVICE, [b.r.]. Toxické látky [online]. Arnika [vid. 2022-03-26]. Dostupné z: <https://www.arnika.org/toxicke-latky/nase-temata/prumyslove-znecistení/kauzy-v-cr/spolana-neratovice>
- SUBRAMANIAN, K. S. a G. V. IYENGAR, ed., 1997. *Environmental Biomonitoring: Exposure Assessment and Specimen Banking* [online]. Washington, DC: American Chemical Society. ACS Symposium Series [vid. 2022-04-11]. ISBN 978-0-8412-3477-2. Dostupné z: doi:[10.1021/bk-1997-0654](https://doi.org/10.1021/bk-1997-0654)

- SUCHARA, I. a SUCHAROVÁ, J. (2005): Mechový archiv. In.: Vesmír. P. 598-603. [vid. 2022-03-26].
- SUCHAROVÁ, J. a I. SUCHARA, 1998. Atmospheric deposition levels of chosen elements in the Czech Republic determined in the framework of the International Bryomonitring Program 1995. *Science of The Total Environment* [online]. 223(1), 37–52. ISSN 00489697. [vid. 2022-04-24]. Dostupné z: doi:[10.1016/S0048-9697\(98\)00306-4](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(98)00306-4)
- SZCZEPANIAK, K. a M. BIZIUK, 2003. Aspects of the biomonitoring studies using mosses and lichens as indicators of metal pollution. *Environmental Research* [online]. 93(3), 221–230. ISSN 00139351. Dostupné z: doi:[10.1016/S0013-9351\(03\)00141-5](https://doi.org/10.1016/S0013-9351(03)00141-5)
- TARCAU, Doina, Simona CUCU-MAN, Jana BORUVKOVA, Jana KLANOVA a Adrian COVACI, 2013. Organochlorine pesticides in soil, moss and tree-bark from North-Eastern Romania. *Science of The Total Environment* [online]. 456–457, 317–324. ISSN 0048-9697. Dostupné z: doi:[10.1016/j.scitotenv.2013.03.103](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.03.103)
- TYLER, Germund, 1990. Bryophytes and heavy metals: a literature review. *Botanical Journal of the Linnean Society* [online]. 104(1–3), 231–253. ISSN 00244074. Dostupné z: doi:10.1111/j.1095-8339.1990.tb02220.x
- ÚVOD | DIAMO, státní podnik. *Redirecting to <https://www.diamo.cz/cs>* [online]. Copyright © 2022 [vid. 04.04.2022]. Dostupné z: <https://www.diamo.cz/cs/projekty-life/lifepopwat/uvod>
- VIJGEN, John, P. C. ABHILASH, Yi Fan LI, Rup LAL, Martin FORTER, Joao TORRES, Nandita SINGH, Mohammad YUNUS, Chongguo TIAN, Andreas SCHÄFFER a Roland WEBER, 2011. Hexachlorocyclohexane (HCH) as new Stockholm Convention POPs—a global perspective on the management of Lindane and its waste isomers. *Environmental Science and Pollution Research* [online]. 18(2), 152–162. ISSN 1614-7499. Dostupné z: doi:[10.1007/s11356-010-0417-9](https://doi.org/10.1007/s11356-010-0417-9)
- VIJGEN, John, Yi-Fan LI, Martin FORTER, Rup LAL a Roland WEBER, 2005. The legacy of lindane and technical HCH production. *Organohalogen Comp.* 68.
- VOLDNER, Eva C. a Yi-Fan LI, 1995. Global usage of selected persistent organochlorines. *Science of The Total Environment* [online]. 160–161, 201–210. ISSN 00489697. Dostupné z: doi:[10.1016/0048-9697\(95\)04357-7](https://doi.org/10.1016/0048-9697(95)04357-7)
- WACŁAWEK, Stanisław, Daniele SILVESTRI, Pavel HRABÁK, Vinod V.T. PADIL, Rafael TORRES-MENDIETA, Maria WACŁAWEK, Miroslav ČERNÍK a Dionysios D. DIONYSIOU, 2019. Chemical oxidation and reduction of hexachlorocyclohexanes: a review. *Water Research* [online]. 162, 302–319. ISSN 00431354. Dostupné z: doi:10.1016/j.watres.2019.06.072



- WEBSTER, Eva, Don MACKAY a Frank WANIA, 1998. Evaluating environmental persistence. *Environmental Toxicology and Chemistry* [online]. 17(11), 2148–2158. ISSN 07307268, 15528618. Dostupné z: doi:[10.1002/etc.5620171104](https://doi.org/10.1002/etc.5620171104)
- WIBERG, Karin, Robert J. LETCHER, Courtney D. SANDAU, Ross J. NORSTROM, Mats TYSKLIND a Terry F. BIDLAMAN, 2000. The Enantioselective Bioaccumulation of Chiral Chlordane and  $\alpha$ -HCH Contaminants in the Polar Bear Food Chain. *Environmental Science & Technology* [online]. 34(13), 2668–2674. ISSN 0013-936X, 1520-5851. Dostupné z: doi:[10.1021/es990740b](https://doi.org/10.1021/es990740b)
- WILLETT, Kristine L., Elin M. ULRICH a Ronald A. HITES, 1998. Differential Toxicity and Environmental Fates of Hexachlorocyclohexane Isomers. *Environmental Science & Technology* [online]. 32(15), 2197–2207. ISSN 0013-936X, 1520-5851. Dostupné z: doi:[10.1021/es9708530](https://doi.org/10.1021/es9708530)
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. REGIONAL OFFICE FOR SOUTH-EAST ASIA, 2020. *Regional Strategic Directions for strengthening Midwifery in the South-East Asia Region 2020–2024* [online]. New Delhi: World Health Organization. Regional Office for South-East Asia [vid. 2022-04-03]. ISBN 978-92-9022-755-7. Dostupné z: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/331694>
- YUMPU.COM, [b.r.]. Umweltnutzung durch die chemische Industrie am - Martin Forter. *yumpu.com* [online] [vid. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://www.yumpu.com/de/document/read/51507073/umweltnutzung-durch-die-chemische-industrie-am-martin-forter>
- ZACHAŘ, P.; SÝKORA, D. 2019. Plynová chromatografie [online]. [vid. 2020-01-29]. Dostupné z: <http://old.vscht.cz/anl/lach2/GC.pdf>

## Zdroje obrázků

- Atrichum undulatum*. British Bryological Society [online]. [vid. 2022-03-26]. Dostupné z: <https://www.britishbryologicalsociety.org.uk/learning/species-finder/atrichum-undulatum/>
- Brachythecium Schimpf* (baňatka). BioLib [online]. Fotografie: Lukáš Konečný. [vid. 2022-03-26]. Dostupné z: <https://www.biolib.cz/en/taxonimage/id11491/>
- Dicranium scoparium* (dvouhrotec chvostnatý). BioLib [online]. Fotografie: Lukáš Konečný. [vid. 2022-03-26]. Dostupné z: <https://www.biolib.cz/cz/taxonimage/id26895/?taxonid=61372&type=1>
- Hypnum cupressiforme* (rokyt cypřišovitý). BioLib [online]. Fotografie: Vladimír Motyčka. [vid. 2022-03-26]. Dostupné z: <https://www.biolib.cz/cz/taxonimage/id350459/?taxonid=507419&type=1>

- Lokalita lomu Hájek. Mapy.cz [online]. © Seznam.cz, a.s., [vid. 2022-03-26]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=12.8918044&y=50.2914008&z=17>
- Obora Hájek. Mapy.cz [online]. © Seznam.cz, a.s., [vid. 2022-03-26]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=12.9020899&y=50.2898827&z=14&q=obora%20h%C3%A1jek&source=base&id=2177551&ds=2>
- Odběr referenčních (požadových) mechorostů nedaleko obory Hájek. Mapy.cz [online]. © Seznam.cz, a.s., [vid. 2022-03-26]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?vlastni-body&x=12.8891610&y=50.3173383&z=13&dim=623a2c80233184ec1d3b96e0>
- Odběr vzorků mechorostů. Mapy.cz [online]. © Seznam.cz, a.s., [vid. 2022-03-26]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?vlastni-body&x=12.8945388&y=50.2922614&z=18&sid=625acedb2909a2178a2f396a>
- Plagiomnium affine* (měřík příbuzný). BioLib.cz [online]. Fotografie: Ondřej Zicha. [vid. 2022-03-26]. Dostupné z: <https://www.biolib.cz/cz/taxonimage/id476/?taxonid=61399&type=1>
- Plagiomnium cf. Cuspidatum* (měřík bodlavý). BioLib [online]. Fotografie: Lukáš Konečný. [vid. 2022-03-26]. Dostupné z: <https://www.biolib.cz/cz/taxonimage/id26900/?taxonid=90740&type=1>
- Polytrichum formosum* (ploník ztenčený). BioLib [online]. Fotografie: Lukáš Konečný. [vid. 2022-03-26]. Dostupné z: <https://www.biolib.cz/cz/taxonimage/id11500/?taxonid=61352&type=1>
- Schéma plynového chromatografu. Návody k praktiku z instrumentálních analýzy a organických kontaminantů [online]. Fotografie: VŠB-TU Ostrava - IEI. [vid. 2022-03-26]. Dostupné z: [https://www.hgf.vsb.cz/export/sites/hgf/546/.content/galerie-souboru/Studijni-materialy/Navody\\_k\\_praktiku.pdf](https://www.hgf.vsb.cz/export/sites/hgf/546/.content/galerie-souboru/Studijni-materialy/Navody_k_praktiku.pdf)
- Struktura izomerů HCH [online]. [vid. 2022-03-26]. Dostupné z: doi:[10.1515/reveh-2014-0015](https://doi.org/10.1515/reveh-2014-0015)