

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V
PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ**



**Česká
zemědělská
univerzita
v Praze**

**KATEDRA PEDOLOGIE A OCHRANY PŮD
ESTROGENNÍ HORMONY A JEJICH
VLIV NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

VEDOUCÍ PRÁCE: DOC. ING. LENKA PAVLŮ, PH.D.

KONZULTANTKA: ING. MARIA MURSAIKOVA

BAKALANT: TEREZA BOUŠKOVÁ

2024

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Tereza Boušková

Územní technická a správní služba v životním prostředí

Název práce

Estrogenní hormony a jejich vliv na životní prostředí

Název anglicky

Environmental impact of estrogens

Cíle práce

Tato bakalářská práce se zabývá vlivem hormonů ze skupiny estrogenů na kvalitu a znečištění životního prostředí a organismy v něm.

Prvotními cíli navržené práce jsou porozumění problému znečištění životního prostředí skupinou hormonů estrogenů, vytvoření přehledu o hormonech v této kategorii a seznámení s legislativou týkající se nakládání s estrogeny a jejich likvidací.

V metodické části je cílem analyzovat dostupná data a informace z předešlých výzkumů, vyhodnotit výsledky a navrhnout řešení, jakými způsoby by se daly eliminovat negativní vlivy na složky životního prostředí.

Metodika

Práce bude psána formou literární rešerše, ve které budou zpracovány informace z veřejně dostupných odborných článků a vědeckých publikací k tématu a analýza již existujících dat z výzkumů znečištění životního prostředí touto skupinou hormonů.

Postup analýzy vybraného tématu:

1. Úvod – základní informace o hormonech z řady estrogenů, rozdělení, základní chemické složení, jeho použití a účinky, likvidace;
2. Legislativní stránka – nakládání s hormony při likvidaci, limity;
3. Životní prostředí – jaké složky životního prostředí ovlivňuje, vliv na vodní prostředí a jeho organismy, vliv na půdní prostředí a jeho organismy, následky znečištění;
4. Rozbor vědeckých článků na toto téma, rozbor předešlých výzkumů, odborná literatura;
5. Výsledek, zhodnocení situace znečištění a případné návrhy na změnu.

Doporučený rozsah práce

30 normostran

Klíčová slova

hormony, estrogény, kontaminace, životní prostředí

Doporučené zdroje informací

- Atkinson, S., et al., 2003: Estrogens from Sewage in Coastal Marine Environments. *Environmental Health Perspectives* 111(4). S 531 – 535.
- Hanč, O., 1953: Hormony: úvod do jejich chemie a biologie. Nakladatelství Československé akademie věd, Praha, 469 s.
- Lüllman, H., Mohr, K., 2002: Farmakologie a toxikologie. Nakladatelství Grada, Praha, 725 s.
- Plutzer, J. et al., 2018: Investigation of estrogen activity in the raw and treated waters of riverbank infiltration using a yeast estrogen screen and chemical analysis. *Journal of Water and Health* 16(4). S 635 – 645.
- Williams, T. R., 2005: Human Pharmaceuticals: Assessing the Impacts on Aquatic Ecosystems. Nakladatelství Allen Press/ACG Publishing, Utah, USA, 368 s.
- Wojnarowski, K., et al., 2021: Impact of estrogens present in environment on health and welfare of animals. *Animals* 11(7). 2152

Předběžný termín obhajoby

2023/24 LS – FŽP

Vedoucí práce

doc. Ing. Lenka Pavlů, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra pedologie a ochrany půd

Elektronicky schváleno dne 6. 10. 2023

prof. Dr. Ing. Luboš Borůvka

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 30. 10. 2023

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 22. 02. 2024

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma ‚Estrogenní hormony a jejich vliv na životní prostředí‘ vypracovala samostatně a citovala jsem veškeré informační zdroje, které jsem v práci použila a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědoma, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědoma, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č.111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne

Podpis

Poděkování

Poděkování patří mojí konzultantce paní inženýrce Marii Mursaikove za pomoc a rady při vzniku této bakalářské práce. Další obrovské děkuji věnuji paní docentce Lence Pavlů, bez které bych neměla možnost svou práci dokončit a obhájit.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá vlivem hormonů ze skupiny estrogenů na kvalitu a znečištění životního prostředí a organismy v něm. Rešeršní část je zaměřena na všeobecné informace o skupině estrogenů, užití a účinky, toxikologie. Legislativní část se týká zákonů a vyhlášek vztahující se k nakládání s těmito hormony, jejich likvidaci a separaci ze životního prostředí. Dále jsou analyzována již existující data z odborných článků zaměřené na výzkumy znečištění těmito hormony. V závěru jsou zhodnoceny dostupné informace vyplývající z výzkumů, míra znečištění a případné řešení, jak zmírnit důsledky na životní prostředí užívání tohoto hormonu.

Abstract

The Bachelor thesis studies the impact of hormones from the estrogen group on quality and pollution of the environment and the organisms in it. The research part is focused on general information about group of estrogens, use and effects and toxicology. Legislation part concerns handling of this hormones, laws and regulations relating to its disposal and separation from the environment. Furthermore, the existing data from professional articles focused on research on pollution by these hormones are analysed. In conclusion are evaluated the available information resulting from research, the degree of pollution and possible solution to mitigate the environmental impact of the use of this hormone.

Klíčová slova

hormony, estrogeny, znečištění, životní prostředí

Keywords

hormones, estrogens, pollution, environment

Obsah

1. Úvod do problematiky estrogenních hormonů na životní prostředí	1
2. Cíle práce	1
3. Metodika práce	2
4. Teoretická část estrogenních hormonů a jejich výskyt v životním prostředí.....	3
4.1 <i>Základní informace o estrogenech</i>	<i>3</i>
4.2 <i>Rozdělení estrogenů</i>	<i>4</i>
4.3 <i>Exogenní estrogeny</i>	<i>4</i>
4.3.1 <i>Fytoestrogeny</i>	<i>5</i>
4.3.2 <i>Xenoestrogeny</i>	<i>8</i>
4.3.3 <i>Mykoestrogeny</i>	<i>10</i>
4.3.4 <i>Estrogeny sinic</i>	<i>11</i>
4.3.5 <i>Metaloestrogeny</i>	<i>12</i>
4.4 <i>Chemická struktura a složení estrogenů.....</i>	<i>12</i>
4.4.1 <i>Endogenní estrogeny</i>	<i>12</i>
4.4.2 <i>Exogenní estrogeny</i>	<i>14</i>
4.4.3 <i>Xenoestrogeny</i>	<i>17</i>
4.4.4 <i>Mykoestrogeny</i>	<i>20</i>
4.4.5 <i>Estrogeny sinic</i>	<i>20</i>
4.4.6 <i>Metaloestrogeny</i>	<i>21</i>
4.5 <i>Použití a účinky estrogenů</i>	<i>21</i>
4.6 <i>Metody detekce estrogenů v životním prostředí</i>	<i>22</i>
4.6.1 <i>Imunoanalytické metody</i>	<i>22</i>
4.6.2 <i>Biologické metody</i>	<i>23</i>
4.6.3 <i>Separace a sedimentace</i>	<i>23</i>
4.6.4 <i>Chemický monitoring</i>	<i>23</i>
4.7 <i>Kontaminace životního prostředí estrogenními hormony</i>	<i>24</i>
4.8 <i>Likvidace estrogenních hormonů</i>	<i>26</i>
5. Legislativa v rámci nakládání s hormony a stanovené limity	27
5.1 <i>Nařízení č. 850/2004 o perzistentních organických polutantech.....</i>	<i>27</i>
5.2 <i>Nařízení Evropské rady a parlamentu č. 528/2012 o dodávání biocidních přípravků na trh a jejich používání</i>	<i>27</i>
5.3 <i>Nařízení ‚REACH‘</i>	<i>28</i>
5.4 <i>Směrnice ‚SEVESO‘</i>	<i>28</i>
5.5 <i>Stockholmská úmluva.....</i>	<i>28</i>

5.6	<i>Vyhláška č. 153/2016 Sb. o stanovení podrobností ochrany kvality zemědělské půdy a o změně vyhlášky č. 13/1994 Sb., kterou se upravují některé podrobnosti ochrany zemědělského půdního fondu</i>	30
5.7	<i>Vyhláška č. 252/2004 Sb. kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody</i>	31
5.8	<i>Zákon č. 114/1992 Sb. o ochraně přírody a krajiny</i>	32
5.9	<i>Zákon č. 184/2016 Sb. o ochraně zemědělského půdního fondu</i>	32
5.10	<i>Zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší</i>	32
5.11	<i>Zákon č. 254/2001 Sb. o vodách</i>	32
6.	Působení endokrinních disruptorů na životní prostředí	33
6.1	<i>Vliv na vodní prostředí a jeho organismy</i>	33
6.1.1	<i>Povrchové vody</i>	35
6.1.2	<i>Podzemní vody</i>	37
6.2	<i>Vliv na půdní prostředí a jeho organismy</i>	37
6.3	<i>Výskyt estrogenů v atmosféře</i>	38
7.	Dostupná prevence a ochrana před působením endokrinních disruptorů	38
8.	Zhodnocení situace a diskuze	39
9.	Závěr	41
10.	Použité zdroje	42
11.	Seznam obrázků	49
12.	Seznam tabulek	50
13.	Přílohy	51

1. Úvod do problematiky estrogenních hormonů na životní prostředí

Estrogenní hormony jsou v aktuální době velmi sledované téma. Přítomnost jak syntetických, tak přírodních estrogenů představuje ve větším množství velkou hrozbu. Ne vždy tomu ale tak bylo, první zmínka o tomto „novodobém problému“ je článek z roku 1965, kde se Stumm-Zollinger a Fair zabývají biodegradací steroidních hormonů a zdůrazňují důležitost tohoto tématu pro další výzkumy dopadů látek na životní prostředí (Stumm-Zollinger & Fair, 1965).

Znečištění těmito látkami je přítomné všude kolem nás, jsou vylučovány jak organismy, tak i lidmi nepřetržitě a v takovémto množství je není reálné likvidovat z životního prostředí.

Obecně hormony negativně působí na životní prostředí a organismy v něm, ale jejich každodenní působení může mít v budoucnu velký vliv na jejich zdraví, vývoj orgánů, kvalitu života a nemluvě o tom, že může způsobit nevratné změny a poškození na složkách životního prostředí. Jsou známy způsoby, jakým je možné z velké části hormony degradovat ze životního prostředí, ale stále nejsou známy dostupné způsoby, kterými je lze z životního prostředí stoprocentně vyfiltrovat.

Tato práce se zabývá estrogenními hormony, důsledky dlouhodobého působení endokrinních disruptorů na organismy a jednotlivé složky životního prostředí, kontaminaci půdy a vody, dále metodami detekce těchto látek v životním prostředí a zhodnocení výsledků dostupných studií.

2. Cíle práce

Cílem této práce je zpracování literární rešerše a přehledu o estrogenních hormonech, objasnění problematiky kontaminace životního prostředí endokrinními disruptory a zpracování informací o legislativě týkající se této problematiky. V další části budou interpretovány základní informace o nařízeních a směrnicích týkající se problému a poslední část je zaměřena na prevenci před těmito kontaminanty a případnými návrhy na změnu, která by ulevila zátěži kladené na složky životního prostředí. V závěrečné diskuzi budou porovnány dostupné metody detekce a odbourávání hormonů ze životního prostředí a navrženo řešení dle výsledků účinnosti těchto metod.

3. Metodika práce

Práce je psána formou literární rešerše. Jsou zde zpracovány informace z veřejně dostupných odborných článků a vědeckých publikací k tématu estrogenních hormonů a analýza již existujících dat z výzkumů znečištění životního prostředí touto skupinou hormonů.

Postup analýzy vybraného tématu je následující:

Úvod probírá základní informace ohledně problematiky endokrinních disruptorů, v teoretické část jsou zpracovány základní informace o hormonech z řady estrogenů, jejich rozdělení, chemická struktura, využití a účinky zmíněných hormonů, možné způsoby kontaminace životního prostředí, dostupné metody detekce a v neposlední řadě způsoby likvidace. Legislativní stránka okrajově uvádí zákony týkající se nakládání s hormony při likvidaci a stanovené limity pro výskyt těchto látek.

Kapitola zabývající se působením disruptorů na životní prostředí zmiňuje složky životního prostředí, které jsou látkami nejvíce ovlivňovány a důsledky tohoto druhu znečištění na ekosystémy a organismy v nich žijící. V následující kapitole jsou zmíněny způsoby, jak se chránit před působením hormonů a možné návrhy na změnu. Diskuze se zabývá porovnáváním metod detekce a degradace hormonů dle informací dostupných z vědeckých článků a výzkumů a závěr hodnotí problematiku a poskytuje návrh na zlepšení.

4. Teoretická část – estrogenní hormony a jejich výskyt v životním prostředí

4.1 Základní informace o estrogenech

Na úvod si objasníme původ estrogenů, protože v této práci se budeme zabývat výhradně steroidními hormony. Estrogeny se syntetizují z androgenů díky enzymům. Jsou primárně složené z 17-ketosteroidu a testosteronu. Konkrétně estradiol, nejúčinnější z estrogenů, je hormon odvozen z testosteronu při procesu steroidogeneze z cholesterolu. Druhý estrogen, estriol, vzniká syntetizací v placentě a estron je syntetizován z androstendionu (Silbernagl & Despopoulos, 2016; Kolík, 2019).

Hormony obecně jsou látky, které se tvoří ve žlázách a pokračují do oběhu, kde mají vliv na cílové tkáně. Toto je velmi obecná definice hormonů, zároveň ale mají také funkci stimulační či regulační, čímž pomáhají k tělesnému i psychickému vývoji člověka. Hormony mají opravdu velké rozpětí působení, co se týče vlivů na různé orgány a procesy v lidském těle, proto je dělíme dle jejich funkcí v těle na regulační, morfogenetické a integrační, dále podle chemické struktury a biosyntézy na hydrofilní peptidové hormony, steroidní hormony a deriváty tyrozinu (Silbernagl & Despopoulos, 2016).

Základní stavební jednotkou estrogenů je tedy cholesterol, což znamená, že při potřebě musí být tento hormon nejdříve syntetizován z buněčné zásoby cholesterolu, kde se také ukládá. Mimo to má schopnost ovlivňovat hladinu HDL a LDL, tzv. dobrého a špatného cholesterolu. Při vysoké hladině LDL cholesterolu dochází ke kornatění cév a tepen, tento proces může být zpomalen vyšší hladinou estrogenů. Má také pozitivní vliv na paměť, proto bývají estrogeny součástí léčby Alzheimerovy choroby. Hormony jsou v místě své produkce skladovány pouze v minimálním množství. Látky, ze kterých steroidní hormony mohou eventuálně syntetizovat jsou přítomné ve všech žlázách, ale při vzniku záleží na dvou okolnostech, jaký hormon bude syntetizovat a kde. První okolností jsou přítomné enzymy a druhou proměnnou jsou strukturální enzymy (Silbernagl & Despopoulos, 2016; Kolík, 2019; Franclová, 2019, Halusková, 2023).

Celkově estrogen je velmi důležitý pro fungování především ženského organismu a jeho funkcí, ale do určité míry i toho mužského (Hanč, 1953; Nezbeda, 2018).

4.2 Rozdělení estrogenů

Existují dva typy estrogenů, které jsou vázány buď na receptor α (17 β -estradiol, 17 α -ethynylestradiol a diethylstilbestrol) nebo na receptor β (Kujalová, et. al, 2007). Xenoestrogeny a fytoestrogeny jsou zpravidla stejně afinitní k oběma receptorům. Některé xenoestrogeny působí na receptory chemicky a aktivují je, naopak některé je inaktivují nebo naruší jejich metabolismus, reakce bývají různé (Holoubek & Čadová, 2000).

Estrogeny dále dělíme dle svého původu na endogenní a exogenní. Endogenní estrogeny jsou takové hormony, které vznikly uvnitř lidského organismu, tzn., že se vytvoří v ovariu, nadledvinkách a tukových tkání. Tyto estrogeny dělíme na tři hlavní druhy – estradiol, jinak zvaný E2 (chemický vzorec C₁₈H₂₄O₂), estriol E3 (chem. vzorec C₁₈H₂₄O₃) a estron E1 (chem. vzorec ke C₁₈H₂₂O₂). Další méně zmiňované estrogeny jsou estetrol (C₁₈H₂₄O₄) a také syntetický estrogen – ethynylestradiol (C₂₀H₂₄O₂) (Kujalová, et. al., 2007).

Naopak exogenní estrogeny neboli environmentální, pocházejí ze životního prostředí. Ty pak dále dělíme na estrogeny přírodního původu, kde jsou zahrnuty estrogeny vyskytující se přírodně v rostlinách nebo houbách (Šaríková, 2021).

Další skupina estrogenů antropogenního původu jsou takové látky, které vznikly lidskou činností, to znamená pesticidy, léky, průmyslové látky a poslední skupina, která obsahuje původem jak přírodní, tak antropogenní látky (Holoubek & Čadová, 2000).

4.3 Exogenní estrogeny

Exogenní estrogeny je skupina látek strukturou napodobující estrogen. Tuto skupinu estrogenů nazýváme endokrinními disruptory, jelikož mohou ovlivnit nebo narušit hormonální fungování endokrinního systému. Zmíněné látky nejsou tělu vlastní, přestože dokážou napodobit fungování estrogenu. Nejsou biologicky odbouratelné, což znamená, že se uloží v tukových zásobách a vývojem času se mohou podílet na velmi závažných onemocněních (Kujalová, 2007).

Exogenní estrogeny jsou rozdělené do 5 skupin: fytoestrogeny, xenoestrogeny, mykoestrogeny, syntetické estrogeny a estrogeny sinic. Poslední skupina je relativně nově vzniklá, nicméně je podložena nezvratitelnými studiemi (Oziol & Bouaicha, 2009).

Heger a spol. ve svém článku (2014) zmiňuje, že se v poslední dekádě objevila další skupina nazývaná **metaloestrogeny**, zde je ale prozatím zařazeno pouze kadmium a jeho míra estrogenity a důsledků není zcela objasněna. Nicméně i v takto počáteční fázi výzkumu jsou potvrzené určité hodnoty, které způsobují dlouhodobé důsledky. (Heger, et. al., 2014; Silva, et. al., 2011).

4.3.1 **Fytoestrogeny**

Tato skupina environmentálních estrogenů je rostlinného původu a váže se na endogenní receptory a vykazují pak aktivitu podobnou endogennímu 17- β estradiolu (Kujalová, et. al., 2007).

Fytoestrogeny mají menší estrogení účinek na organismus než estrogeny produkované přímo v těle jedince. Kromě toho dle zjištění Jane Higdon z Oregonské univerzity mohou fytoestrogeny dokonce blokovat účinky některých endogenních estrogenů. Vědci se domnívají, že právě antiestrogení účinky vedou ve tkáni ke snížení rizika rakoviny spojené s hormony, tzn. rakovina štítné žlázy, vaječníků, varlat. Naopak estrogení aktivita v kostech může pomoci udržet minerály a tím i zabránit řídnutí kostí (Higdon, 2004).

Opletal a Šimerda ve svém výzkumu naznačují, že se ženské pohlaví dožívá výrazně vyššího věku než mužské pohlaví právě díky hladinám estrogenům v organismu. Vyšší úroveň estrogenu totiž dokáže buňky do určité míry ochránit před stárnutím tvořením většího množství antioxidantních látek. Nadměrnému množství fytoestrogenů jsou vystaveni jak lidé, tak zvířata. U zvířat je na vině převážně pastva, kde množství zelených píceň produkují isoflavony. Hodnoty příjmu se zde pohybují cca 907 – 1195 mg/kg krmiva. V tabulce č.1 je zobrazeno množství fytoestrogenů ve vybraných potravinách (Opletal & Šimerda, 2013).

Tabulka č. 1: Koncentrace fytoestrogenů v potravinách (Verger & Leblanc, 2003).

Food category	Number of samples	Daidzein $\mu\text{g/g}$	Genistein $\mu\text{g/g}$	Coumestrol $\mu\text{g/g}$	Formononetin $\mu\text{g/g}$	Biochanin A $\mu\text{g/g}$
Tofu	15	76	166	nd	nd	nd
Soy sauce	3	8	5	nd	nd	nd
Soy milk	10	18	26	nd	nd	nd
Soy based formula	3	<1	3	nd	nd	nd
Alfafa sprouts	1	nd	nd	47	3	nd
Mung bean sprouts	1	nd	nd	nd	trace	nd
Soybean sprouts	3	138	230	7	nd	nd
Soybean green	1	546	729	na	na	na
Tempeh	3	190	320	na	na	na
Soybean paste	6	159	171	nd	nd	nd
Miso paste	2	266	376	na	na	na
Miso paste (rice or barley)	3	79	260	na	na	na
Soy hot dog, tempeh burger	2	49	139	na	na	na

Legenda: nd = nebyl detekován; na = nebyl analyzován; trace = stopy

Fytoestrogeny se dále vyskytují ve vínu, pivu, celozrnném pečivu, ale i ve velkém množství různých bobulí (Harrath & Sirotkin, 2014). Některé zdroje uvádí rozdělení na 6 podskupin, ale většina pramenů se shodnou na 4 podskupinách, které jsou hlavní (Harrath & Sirotkin, 2014; Opletal & Šimerda, 2013; Kujalová, et. al., 2007).

Jedná se o: 1) isoflavony

2) kumestany

3) lignany

4) stilbeny

4.3.1.1 Flavonoidy

Je to nejběžněji využívaná skupina fytoestrogenů, je jich známo přes 4 000 druhů. Dále se dělí na flavanol, flavon, flavonol, flavanon, isoflavon a antokyanidin, nejčastěji se však v potravinách vyskytují flavony, flavonoly a isoflavony. Nejznámějšími isoflavony jsou genistein a biochinin A (Hájková & Navrátilová, 2019; Horáková, 2023).

Tyto zmíněné látky vykazují nejvíce estrogenních vlastností, ale samozřejmě má tato skupina spoustu dalších zástupců. Isoflavony jsou obsaženy zejména v luštěninách jako je hrách, čočka, fazole, v sóji se však nachází největší obsah genisteinu, který má antioxidační účinky. (Hájková & Navrátilová, 2019; Opletal & Šimerda, 2010). Zajímavostí je, že obsah těchto hormonů závisí především na půdních a klimatických podmínkách. Dalším důležitým faktorem je také stáří rostliny. Dle článku 2.LF UK a FN Motol je aktivita isoflavonoidů asi 10 000x menší než účinky estradiolu (Heresová & Vrzáňová, 2003).

Flavonoidy mají známý pozitivní a ochranný účinek na játra, jsou totiž schopné snížit peroxidaci jaterních lipidů a chrání před tzv. ztučněním jater. (Horáková, 2023).

4.3.1.2 Kumestany

Z této skupiny vykazují estrogenní vlastnosti jen některé hormony, estrogenní aktivitu mají však mnohem silnější než skupina isoflavonů. Je to proto, že kumestany vznikají v rostlině ze stresu z již zmíněných isoflavonů. Jedná se o deriváty kumarinu a hlavním zástupcem je kumestrol. Největší množství tohoto hormonu nalezneme v rostlině zvané Tolice vojtěška, což je velmi významná pícnina. Dále je obsažen v jeteli, ale i fazolích nebo hrachu (Hájková & Navrátilová, 2019).

4.3.1.3 Lignany

Tato skupina je zařazena do polyfenolických sloučenin, nejvýznamnější zástupci jsou syringiresinol, pinoresinol a enterodiol (Higdon, 2004). Vyskytují se zejména ve lněném semínku, odkud je také zjištěn dle Opletala a Šimerdy nejvyšší příjem lignanů pro skot pasoucí se na pastvě (Opletal & Šimerda, 2013).

V této skupině se nachází dvě sloučeniny, které nevykazují estrogenní aktivitu, a tím je matairesinol a secoisolariciresinol. Při průchodu střev a působením místních bakterií se ale mění na enterolakton a enterodiol, které už estrogenní účinky mají. Nejvyšší koncentrace lignanů byla nalezena v pravidelné stravě v zemích a regionech, kde byl zjištěn nejnižší výskyt rakoviny (Holoubek & Čadová, 2000).

Lignany jsou spojovány s prevencí kardiovaskulárních chorob, vyjma dvou již zmíněných lignanů, které tyto účinky nemají ani ve spojení se střevními bakteriemi (Higdon, 2004).

4.3.1.4 Stilbeny

Jsou to chemické látky nacházející se převážně v tělech rostlin. Můžeme se setkat i s názvem *fytoalexiny*, dle jejich schopnosti obrany proti býložravcům. Mezi nejvýznamnější je řazen stilben, resveratrol, pterostilben a pinosylvin. Převážná většina stilbenů jsou deriváty trans-resveratrolu, u nichž se modifikace biosyntéze nazývá glykosylace (Bioprospekt, 2015).

Tyto látky nejvíce napodobují ženský pohlavní hormon estrogen. Syntetizují se v rostlinách jako obranný mechanismus proti stresu. Je známo přes 40 čeledí a téměř 200 druhů rostlin, které obsahují stilbeny (Teka, et. al., 2022). Nachází se především ve slupce červené vinné révy, v arašídech a brusinkách (Hájková & Navrátilová, 2019).

Lüllman a Mohr se domnívají, že stilbeny mohou po delší době vystavení jejich estrogenním účinkům vyvolat karcinomy (Lüllman & Mohr, 2002).

4.3.2 Xenoestrogeny

Jsou to estrogeny pocházející z antropogenních zdrojů. Je to skupina chemických látek, které se nacházejí téměř všude. Jejich hlavní problém je, že je nelze biologicky odbourat, tudíž se velmi dobře ukládají do tukových zásob v organismu a časem bývají příčinou závažnějších onemocnění (Halusková, 2023).

Jsou obsažené v potravinách, kosmetice, čistících prostředcích a plastech. Poslední dobou se hojně využívá v zemědělském průmyslu, dalo by se říct, že bez zmíněných pesticidů a herbicidů se tento průmysl neobejde. Ve velkém množství se používá k pěstování ovoce a zeleniny. Vlivem těchto chemikálií je ničena půda a organismy v ní, díky čemuž může tato potravina vyrůst. Z půdy se chemikálie postupně dostávají až k spodním vrstvám do podzemní vody, která jde dále do oběhu (Halusová, 2023).

V plastech je pak obsažen v syntetické formě ftalátů, bisfenolů, derivátů stilbenů, alkylfenolů, polybromovaných bifenyletherů a polychlorovaných bifenyly. Zmíněné alkylfenoly jsou vysoce toxické pro vodní organismy (Kleger & Válek, 2022).

Řadí se sem také látky 4-methylbenzyliden kafr (4-MBC), který se používá výhradně při výrobě opalovacích prostředků s ochranným faktorem.

4.3.2.1 Ftaláty

Ftaláty jsou skupina nehalogenovaných sloučenin kyseliny ftalové. Využívají se jako změkčovadla polymerů, převážně polyvinylchloridu (PVC). Při jeho výrobě se z něj uvolňují částičky ve formě par a aerosolů, při kontaktu s lipidy je uvolňování rychlejší (vylučované množství je mezi 10 – 50%) a při kontaktu s kůží nebo vdechnutí většího množství způsobují narušení endokrinního systému (Šota, 2008; Koutková, 2020).

Používají se při výrobě plastů, hraček, potravinářských ale i dalších plastových obalů, avšak hlavně pro zdravotnické potřeby jsou dostupné i varianty neobsahující ftaláty (Koutková, 2020).

4.3.2.2 Polychlorované bifenyly

Jiným názvem dioxiny, jsou polychlorované bifenyly prokázanými karcinogeny. Řadí se mezi perzistentní průmyslové chemikálie, které se uvolňují do prostředí při výrobě specifických materiálů. Mají schopnost hromadit se v životním prostředí a organismech (Šota, 2008).

4.3.2.3 Alkylfenoly

Alkylfenoly jsou látky nehalogenované a velmi toxické pro vodní organismy a mají výraznou bioakumulaci, proto se řadí k nejzávažněji působícím endokrinním disruptorům s estrogenními účinky (Kujalová, et. al., 2007).

Používají se převážně v průmyslu při výrobě emulgátorů pro povrchovou úpravu různých materiálů, přísada do pesticidů, zvlhčovačů a jiných spotřebitelských aplikací. Patří mezi ně alkylfenoletoxylát (APE), etoxyláty nonylfenolu (NPE) a oktylfenol (OPE). Deriváty nonylfenolu se přidávají do plastových výrobků jako antioxidanty (Šota, 2008).

4.3.2.4 Bisfenyly

Mezi nejrozšířenějšími alkylfenoly patří bisfenol A, bisfenol S a bisfenol AF. Je to ve vodě nerozpustný materiál. Bisfenoly se používají při výrobě plastových nádob, lahví, potrubí, ale i zubařských materiálů, kancelářských papírů nebo bankovek, kvůli zvýšení jejich tvrdosti a odolnosti. Právě z těchto materiálů se uvolňuje do vodního prostředí a do vzduchu, odkud se může dostat do organismu vdechnutím nebo vstřebáním do kůže (Lazúrová & Lazúrová, 2013).

V EU je bisfenol A pro tyto účely použití zakázán od roku 2011, naneštěstí bývá často nahrazován bisfenolem S, který se do kůže vstřebává až 19krát rychleji. Další možnou náhražkou je bisfenol AF, který ale mnohem více působí na nervový systém a narušuje ho (Lazúrová & Lazúrová, 2013).

V poslední době se dokonce odborníci přiklání k přesvědčení, že bisfenol je karcinogenní látka a může být souvislost mezi jeho výskytem a rakovinou (Jánišová, 2013; Holoubek & Čadová, 2000).

4.3.2.5 Polybromované bifenylethery

Polybromované bifenylethery jsou používány jako zpomalovače hoření a uvolňují se z nich chemikálie škodící životnímu prostředí a zdraví organismů v něm žijících. Do této skupiny jsou zařazeny také parabeny jako methylparaben, ethylparaben, propylparaben, butyl paraben. Tyto parabeny jsou běžně používány jako konzervační prostředky (Haničincová & Válek, 2010; Šota, 2008).

4.3.2.6 Syntetické estrogeny

Syntetické estrogeny jsou poměrně velký zdroj xenoestrogenů. Látky obsažené v hormonální léčbě nebývají perzistentní, dobře se rozpouštějí ve vodě, ale problémem bývají místa, na který je takový přísun látek zajištěn pravidelně, tzn. čističky odpadních vod a místa s nimi spojená (Jánišová, 2013).

Řadí se sem také syntetické estrogeny, avšak látky zařazené mezi syntetické estrogeny nemusí mít vždy povahu steroidů. V léčivech se obvykle vyskytují v kombinaci s progestiny. Do této skupiny patří známý a často používaný ethynylestradiol. Tento syntetický estrogen se hojně využívá při výrobě antikoncepčních pilulek právě v kombinaci s dalšími látkami (Holoubek & Čadová, 2000).

Další využívanou látkou v souvislosti s ethynylestradiolem je mestranol (MeEE2), který se v organismu štěpí na pozici kyslíku na C3 a výsledná účinná látka je opět ethynylestradiol. Obě látky se vstřebávají bez vedlejších účinků, jsou tedy bezpečné a mají dobrou systémovou účinnost. V oblasti perorálních antikoncepčních přípravků s obsahem estrogeneru se využívají pouze tyto dvě sloučeniny (Lüllman, H. & Mohr, K., 2002).

4.3.3 Mykoestrogeny

Mykoestrogeny jsou produkty některých plísní či hub. Tento název není běžně používán a zástupci mykoestrogenů jsou mimo jiné zařazovány mezi fytoestrogeny,

protože to jsou estrogény rostlinného původu. Nejznámějšími látkami produkoványými mykoestrogény jsou mykotoxiny a hlavním zástupcem mykoestrogenů je Zearalenon s jeho deriváty α - a β -zearalanol, neboli toxiny produkované plísněmi rodu *Fusarium*, *Aspergillus* a *Gibberella*, které napadají převážně obilniny. Jejich produkce je závislá na teplotě a vlhkosti při sklizni. Požití mykotoxinů nesprávnou tepelnou úpravou hub produkující tyto toxiny může vést k trvalému poškození jater a trávicího traktu, při menším množství se mohou vyskytnout halucinace a svalové křeče (Dvoržáková, 2020; Lazúrová & Lazúrová, 2013; Bioprospect, 2015).

Zároveň má ale také využití jako růstový hormon pro hospodářská zvířata (Kujalová, et. al., 2007; Dvoržáková, 2020).

Hladina mykoestrogenů se pohybuje od 14 do 215 ng/kg krmiva, závisí na geografické poloze pastviny a na typu pícniny (Opletal & Šimerda, 2013).

4.3.4 Estrogény sinic

Sinice jsou jednoduché organismy, které jsou schopny fotosyntézy a jsou významnými organismy vodního prostředí. Nadměrný výskyt sinic na jednom místě je tzv. vodní květ sinic. V uzavřených vodních nádržích je to značný ekologický problém. Jimi produkoványé látky se nazývají cyanotoxiny (Centrum pro cyanobakterie a jejich toxiny, 2024).

K přemnožení sinic dochází při eutrofizaci vod a klimatických změnách a jimi produkoványé toxiny mohou způsobit řadu zdravotních obtíží jako průjmové onemocnění, akutní dermatitidu nebo respirační problémy. V Evropě jsou nejčastěji produkoványé cyanotoxiny z rodu *Microcystis* a *Planktothrix*. Produkoványé cyanotoxiny dokonce potlačují růst konkurenčních řas (Polášková, et.al., 2011).

Sinice se mohou vyskytovat jak ve slaných vodách, tak ve sladkých, ale i na souši i v extrémních podmínkách. Nejznámější vyskytující se cyanotoxiny jsou microcystin (MC-LR) a nodularin (NOD-R) (Oziol & Bouaicha, 2009).

4.3.5 Metaloestrogeny

Silva a spol. ve své studii uvádí, že kadmium, jakožto metaloestrogen, je zodpovědný za zvýšené riziko onemocnění rakoviny prsu a endometriózu, ve svém výzkumu však uvádí nutnost dalších podložených studií. Nicméně tato studie dokazuje estrogenní účinky kadmia podobné estradiolu. (Silva, et. al., 2011).

4.4 Chemická struktura a složení estrogenů

Jak již bylo zmíněno, estrogeny se syntetizují z androgenů za pomoci enzymů (Nussey & Whitehead, 2001).

Jsou to látky hydrofobní, což znamená, že se v molekulách neváží na vodu, nýbrž se váží na plazmatické transportní globuliny tzv. SHBG (sex hormon binding globulin). Tento protein se tvoří v játrech, přičemž jejich tvorba může být urychlena při některých nemocích, například při jaterní cirhóze nebo při stavu, kdy jsou hormony štítné žlázy na abnormálně vysoké hladině, tzv. tyreotoxikóza (NEUMM, 2008; Opletal & Šimerda, 2010).

Obecně jsou to látky lipofilní, což znamená, že se vážou na tuky a jsou velmi odolné vůči rozkladu (Nussey & Whitehead, 2001). Na obrázku č.1 jsou přehledně uvedeny zkratky názvů hormonů, jejich názvy a celé názvy zmíněných sloučenin.

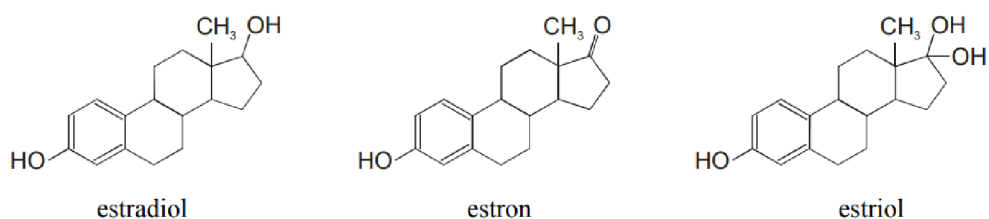
abbrev	common name	full name
E1 ^b	estrone	1,3,5(10)-estratriene-3-ol-17-one
aE2 ^b	17 α -estradiol	1,3,5(10)-estratriene-3,17 β -diol
bE2 ^b	17 β -estradiol	1,3,5(10)-estratriene-3,17 β -diol
EE2 ^b	17 α -ethinylestradiol	17 α -ethinyl-1,3,5(10)-estratriene-3,17 β -diol
<i>n</i> -NP ^d	4- <i>n</i> -nonylphenol	4- <i>n</i> -nonylphenol
NP ^a	technical nonylphenol	technical 4-nonylphenol (mixture of branched isomers)
OP ^a	4- <i>tert</i> -octylphenol	4-(1,1',3,3'-tetramethylbutyl)phenol
BPA ^c	bisphenol A	2,2'-bis-(4-hydroxyphenyl)propane
BPA ^d 16 ^a	bisphenol A- <i>d</i> ₁₆	2,2'-bis-(4-hydroxyphenyl)propane- <i>d</i> ₁₆
BND ^e	binaphthylidol	(<i>R</i>)-(+)-1,1'-binaphthyl-2,2'-diol
BPFBB ^a	bispentafluorobenzylbenzene	1,4-bis(pentafluorobenzyl)benzene

Obr.1: Implementované zkratky pro sloučeniny (Kuch & Ballschmiter, 2001)

4.4.1 Endogenní estrogeny

Ve struktuře endogenních estrogenů, které jsou organismu vlastní, je různý počet hydroxylových skupin označených v chemickém vzorci jako **OH**. Estradiol má dvě hydroxylové skupiny, proto je mu přiřazováno označení E2, estron (E1) má pouze jednu skupinu a poslední estriol (E3) se skládá ze tří skupin (Kolík, 2019).

Na obrázku č.2 jsou vykresleny chemické vzorce tří základních typů endogenních estrogenních hormonů.



Obr.2 – Chemický vzorec tří základních druhů estrogenních hormonů (Kujalová, et al., 2007)

V tabulce č.2 a tabulce č.3 jsou zobrazeny základní vlastnosti endogenních hormonů. Fyzikální a chemické vlastnosti těchto hormonů se poměrně liší, přestože mají podobné základní vazby a funkce. Z tabulky lze vyčíst, že sloučenina ethynylestradiolu má o mnoho delší čas rozkladu než endogenní estrogény, a to především díky nízkým hydrofobním vlastnostem a vysoké rezistenci vůči degradaci.

Tabulka č.2: Fyzikální a chemické vlastnosti steroidních hormonů (Briciu, et.al., 2009).

Substance	Molecular Weight (g/mol)	Melting point (°C)	H ₂ O solubility (g/L)	Half-life (h)	Hydrophobicity
Estron	270,36	254 - 256	3	19	4,6
Estradiol	272,38	173 - 179	3,6	36	3,5
Estriol	288,39	282	NA*	NA	2,3
Ethynylestradiol	296,4	183	0,1	36±13	3,7

NA* = Not Available

Tabulka č.3: Sorpční schopnost a doba rozpadu steroidních hormonů (Ying, et. al., 2002).

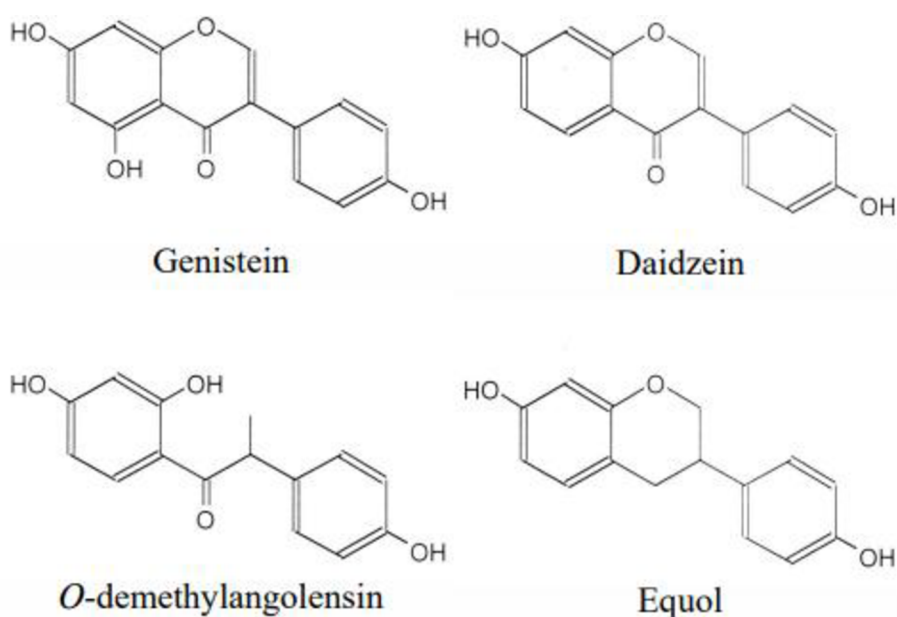
Chemical name	Sorption constant a (K oc)	Half-life b (days)
Estrone (E1)	4882	2-3
17β-estradiol (E2)	3300	2-3; 0,2-9 c
Estriol (E3)	1944	NR
17α-ethynylestradiol (EE2)	4770	4-6
Mestranol (MeEE2)	16542	NR

4.4.2 Exogenní estrogeny

Chemická struktura exogenních estrogenů je lehce odlišná od endogenních, ale strukturální rysy jako přítomnost fenylu a vazba na estrogení receptor jsou u všech látek s estrogeními účinky stejné (Heresová & Vrzáňová, 2003).

4.4.2.1. Flavonoidy

Chemická struktura flavonoidů je zakládána na dvou aromatických kruzích, které jsou spojeny třemi atomy uhlíku, které jsou zobrazeny na obrázku č. 3. Toto spojení kromě jiných látek obsahuje také kyslík a dusík. Díky hydroxylovým skupinám (OH) mohou interagovat s proteiny v organismu (Opletal & Šimerda, 2010).

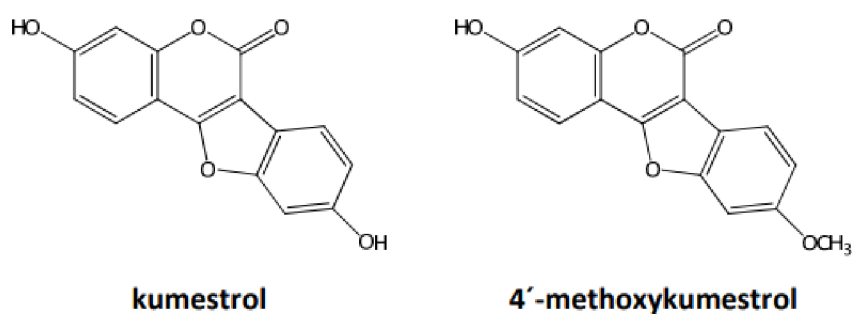


Obr.3 – Chemické vzorce vybraných hormonů ze skupiny Isoflavonoidů (Kujalová, et. al., 2007)

4.4.2.2. Kumestany

Kumestany vycházející biogeneticky z isoflavonů, tudíž mají podobné chemické složení i vlastnosti. Přírozené účinky estrogenů mají oxidačně redukční potenciál a pozorováním bylo zjištěno, že mají tendenci hrát výraznou roli ve vývoji nádorů závisících na hladině hormonů. Z této skupiny je to především hormon kumestrol (Opletal, 2010).

Na obrázku č.4 jsou znázorněny chemické vzorce nejběžněji využívaných hormonů ze skupiny kumestanů (Opletal & Šimerda, 2010).

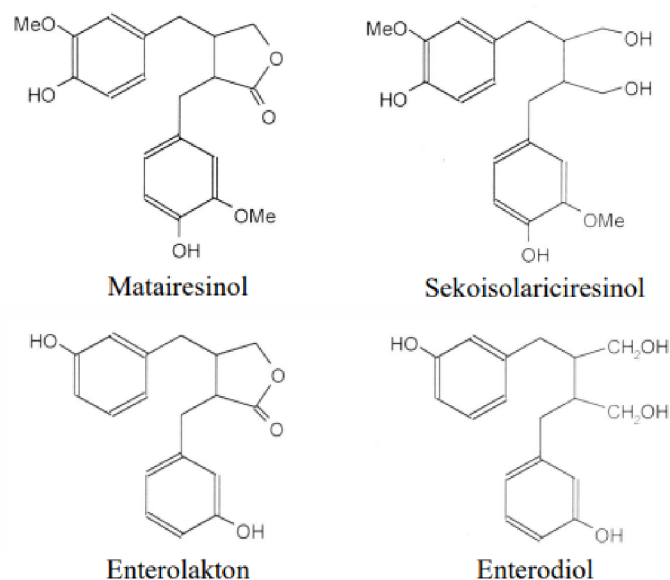


Obr.4 – Chemický vzorec kumestrolu a 4 'methoxykumestrolu - hlavních zástupců skupiny Kumestanů (Kujalová, et. al., 2007)

4.4.2.3. Lignany

Lignany v organismu vznikají buď metabolicky ve střevech, nebo při vnesení do trávicího ústrojí z jiného zdroje, nemohou se vytvářet uvnitř organismu. Jsou to deriváty fenylypropanových jednotek a jejich strukturu uvádí obrázek č.5 (Opletal & Šimerda, 2010).

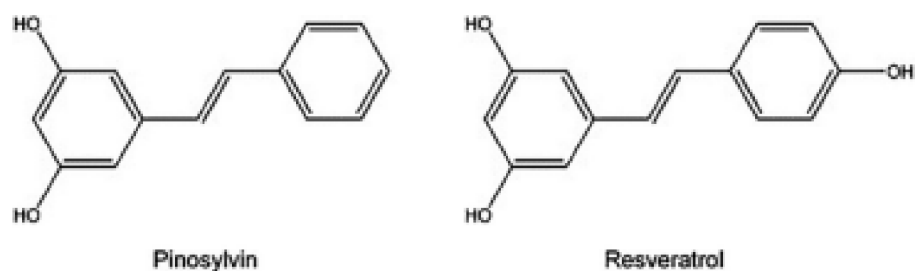
Tyto estrogenní látky mají velmi nízkou estrogení aktivitu. Dostupné informace potvrzují snížené riziko kardiovaskulárních chorob při vyšším příjmu lignanů v potravě, ovšem fytochemikálie rovněž obsažené a vyskytující se při pěstování plodin s obsahem lignanů může mít účinek přispívající ke kardioprotekci (Higdon, 2004).



Obr.5 – Chemické vzorce látek ze skupiny Lignanů (Kujalová, et. al., 2007)

4.4.2.4. Stilbeny

Stilbeny jsou fenolové deriváty zařazené do skupiny neflavonoidních látek. Chemická struktura stilbenů je založena na dvou geometrických izomerech E (trans) a Z (cis), převažuje E, jak zobrazuje obrázek č.6. Jejich biosyntéza buněk je založena na výskytu několika polyketidů. Jejich hlavní funkcí je podíl na obraně proti rostlinným patogenům, býložravcům a ochrana proti abiotickému stresu. Naopak na organismy mají blahodárny účinek v podobě ochrany proti kornatění tepen a tím následujícím kardiovaskulárním onemocněním. Má také protizánětlivé a antioxidační účinky (Biopropect, 2015).



Obr.6 – Chemická struktura dvou zástupců stilbenů (Biopropect, 2015)

4.4.3 Xenoestrogeny

Xenoestrogeny jsou látky převážně chemického původu, nicméně jsou mezi ně zařazeny i estrogeny syntetického původu jako je semisyntetický derivát ethynylestradiol (EE2), který se používá při výrobě antikoncepce. Tento derivát je velmi odolný vůči degradaci a velmi dobře sedimentuje, dle Arise a spol. byla zjištěna koncentrace EE2 až 100krát vyšší v sedimentu proti výskytu ve vodním sloupci (Aris, et.al., 2014).

V současné době mezi nejzkoumanější xenoestrogeny patří ftaláty, polychlorované bifenyly, alkyfenoly, bisfenoly a polybromované bifenyly.

4.4.3.1 Ftaláty

Ftaláty jsou nejčastěji používaná změkčovadla při výrobě PVC, dodávají materiálu pružnost a usnadňují práci například s tvrdším plastem. Při likvidaci se z něj naopak uvolňují do životního prostředí (Šota, 2008).

Nejpoužívanější a zároveň nejnebezpečnější zástupci ftalátů jsou dibutylester kyseliny ftalové (DBP) a di(2-ethylhexyl) ftalát (DEHP). Koncentrace těchto dvou disruptorů je vyšší například v mléce, másle a celkově tučných potravinách, jelikož se nejlépe rozpouštějí v tucích. Obě sloučeniny jsou velmi toxické pro vodní organismy i hospodářská zvířata, při výrazných koncentracích způsobují selhání jater a ledvin (Jánišová, 2013).

Limit ftalátů vyskytujících se ve vodě byl stanoven na 8 µg/l, v sedimentech se však vyskytují až ve stovkách mg/kg (Koutková, 2020).

4.4.3.2 Polychlorované bifenyly

Jsou to syntetické sloučeniny vyráběné a využívané převážně kolem 50. let minulého století, v dnešní době jsou již nahrazené jinými sloučeninami. Jsou to látky omylem vznikající při průmyslové výrobě, převážně spalování odpadů a hoření benzínu. Při vdechnutí většího množství může způsobit otravu, poškození jater a reprodukční problémy. Tyto látky jsou řazeny mezi karcinogenní (Petrлік & Válek, 2010).

Limity u těchto látek jsou řádně stanovené a rozdělené dle prostředí kontaminace, co se týče vod tak pro pitnou vodu je to dle Směrnice Rady 2000/60 ES z roku 2000, 80/778EHS 0,1 mg/l. Pro povrchové vody činí limit 0,012 µg/l (nařízení č. 61/2003 Sb., příloha č. 3, kategorie nebezpečné a zvláště nebezpečné látky) a pro podzemní

vody je důležité, či je to samostatná látka, limit je tak stanoven na 0,017 µg/l, při směsi více látek je to 0,17 µg/l (Petrlík & Válek, 2010).

Limity pro půdu, tzv. preventivní, činí dle vyhlášky 153/2016 Sb. 0,02 mg/kg sušiny. Hodnota, při jejímž překročení již může být ohroženo zdraví organismů je 1,5 mg/kg sušiny (Petrlík & Válek, 2010).

4.4.3.3 Alkylfenoly

Alkylfenoly jsou perzistentní organické sloučeniny, používají se jako hlavní přísada pesticidů na výrobu a obarvení textilu a kůže. Dva hlavní zástupci alkylfenolů jsou nonylfenol ethoxylát (NPE) a oktylfenol (OFE) (Kleger & Válek, 2010).

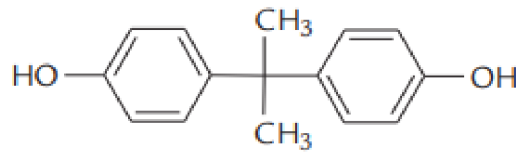
Jejich hodnota ve vodním prostředí je stanovena na 0,5 µg/l dle vyhlášky 252/2004 Sb. (Kleger & Válek, 2010).

4.4.3.3.1 Bisfenoly

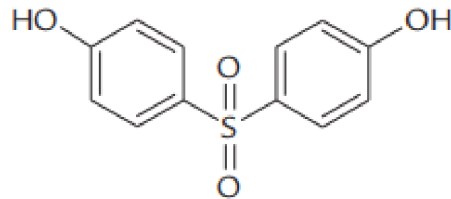
Bisfenol A, S a AF (zobrazené na obrázku č.7) jsou ve vodě nerozpustné látky a do plastů se přidávají hlavně kvůli zvýšení jejich odolnosti a tvrdosti (Lazúrová & Lazúrová, 2013).

Konkrétně bisfenol A je endokrinní disruptor usazující se v tukové tkáni, dále je klasifikován jako teratogen, což znamená, že je to látka způsobující při větším vstřebaném množství vrozené vady kvůli schopnosti narušení během vývoje plodu (Koutková, 2020).

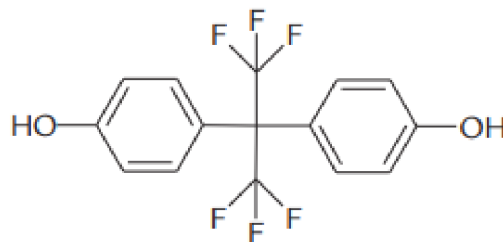
Pryskyřice s obsahem bisfenolu A se používá jako ochrana v konzervách proti kovové pachuti jídla uvnitř. Naopak při výrobě plastových lahví je výslovně zakázán, tento zákaz se liší dle jednotlivých nařízení EU (Koutková, 2020).



bisfenol A [4,4'-(propane-
-2,2-diyl)diphenol]



bisfenol S (4,4'-sulfonyldiphenol)



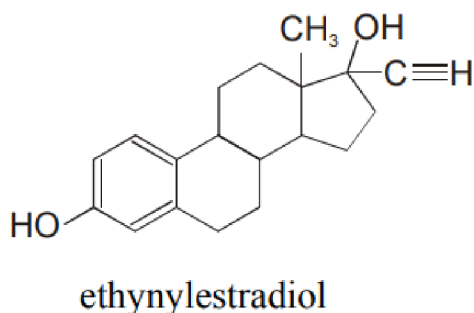
bisfenol AF {4-[1,1,1,3,3,3-hexafluoro-2-
-(4-hydroxyphenyl)propan-2-yl]phenol}

Obr.7: Chemické vzorce bisfenolů (Lazúrová & Lazúrová, 2013)

4.4.3.5 Syntetické estrogeny

Nejvyžívanější syntetický estrogen je ethynylestradiol, tzv. EE2, který je zobrazen na obrázku č.8. Tento derivát je velmi odolný vůči degradaci a velmi dobře sedimentuje, dle Arise a spol. byla zjištěna koncentrace EE2 v sedimentu až 100krát vyšší oproti výskytu ve vodním sloupci, jelikož má hydrofobní vlastnosti (Aris, et.al., 2014).

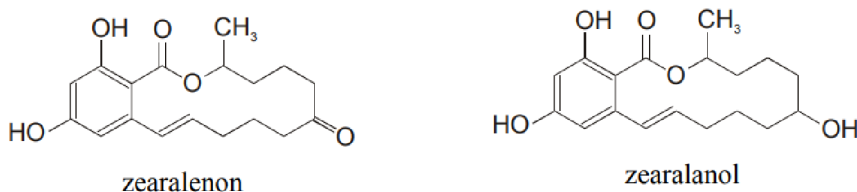
Tato sloučenina je vysoce rezistentní vůči inaktivaci v trávicím ústrojí a játrech, projde jimi bez změny podoby, a proto je účinný i v menších dávkách (Lüllman, H., Mohr, K., 2002).



Obr.8: Chemický vzorec syntetického hormonu ethynylestradiolu (Kujalová, et. al., 2007)

4.4.4 Mykoestrogeny

Mykoestrogeny jsou zařazeny mezi přírodní estrogény a nejpoužívanější jsou dva typy vyobrazené na obrázku č. 9.. Mají vazbu LBD receptoru, což je receptor se schopností navazovat ligand-doménu (Heger, et.al., 2014). Jejich buněčná stěna se skládá převážně z polysacharidů a jádro z glukanu, kde probíhají kovalentní vazby chitinu (Bioprospect, 2015).



Obr.9 – Chemický vzorec dvou typů Mykoestrogenů (Kujalová, et. al., 2007)

4.4.5 Estrogeny sinic

Látky produkované sinicemi, tzv. cyanotoxiny způsobují alergie, záněty sliznic, zvracení a při dlouhodobém působení mohou mít na svědomí selhávání ledvin nebo dokonce vznik rakoviny. Tyto toxiny narušují endokrinní systém v nižších koncentracích, než v jakých se přirozeně nacházejí v prostředí (Oziol & Bouaicha, 2009).

Young a spol. ve své studii uvádí, že cyanotoxiny vznikají až po 24hodinové době působení, z čehož vyplývá, že lidský organismus je vůči těmto toxinům po krátkou dobu imunní. Krátká expozice 2–6 hodin neměla na vystavené buňky žádný vliv (Young, et. al., 2008).

4.4.6 Metaloestrogeny

Stoica a jeho výsledky studie dokazují, že kadmium je schopné i při velmi nízkých koncentracích aktivovat alfa receptor, navázat se na něj a zároveň tak blokovat vázání estradiolu. Tímto napodobuje jeho účinky na organismus a představuje tedy stejné potenciální riziko při vzniku nemocí (Stoica, et. al., 2000).

4.5 Použití a účinky estrogenů

Zmíněné endogenní hormony jsou primárně ženskými pohlavními hormony, ovšem v malé míře se vyskytují i u mužů (Hanč, 1953).

U člověka je hlavním hormonem estradiol a pro lepší efekt je vhodné použít semisyntetických derivátů (nejčastěji se používá ethynylestradiol) (Kujalová, et. al., 2007).

Výzkum z roku 2013 prokázal účinnost estradiolu při léčbě roztroušené sklerózy a revmatoidní artritidy díky své schopnosti zvyšování hustoty kostní hmoty. Zároveň je považovaný za velmi bezpečný, nejsou zatím hlášeny žádné vedlejší účinky při dlouhodobém užívání léků s obsahem estradiolu (Lommen & Mead, 2013).

Syntetické estrogeny (především EE2) se užívají primárně při výrobě antikoncepčních přípravků, léků a vitamínů pro ženy a do životního prostředí se dostávají především z průmyslových odpadních vod a odpadem hospodářských zvířat (Aris, et.al., 2014).

Při použití těchto estrogenů v kosmetice, čistících přípravcích, hnojivech, určitých typech plastu a v neposlední řadě v zemědělském průmyslu, je pro ně používán název *ftaláty*, *polychlorované bifenyly* či *pesticidy*. Tyto toxické látky se při používání uvolňují do životního prostředí, odkud je lze jen velmi těžko odbourat. Největší zátěž pro životní prostředí však představuje použití neošetřeného hnoje, který obsahuje vyšší koncentraci vyloučených hormonů hospodářských zvířat (Abdellah, et.al., 2020).

Odpadní látky nacházející se ve vodě mají dle provedených výzkumů zásadní vliv na vývoj organismů. Vystavením těmto škodlivým látkám se organismům rozvíjí kromě samčích pohlavních znaků, díky působení estrogenů, i samičí pohlavní znaky (Bartošek, 2017).

Tabulka č.4: Účinky environmentálních estrogenů na lidský organismus (Lazúrová & Lazúrová, 2013).

imunologické	imunosupresia
	autoimunitné ochorenia
endokrinné	abnormality pohlavných orgánov
	Ca prsníka, endometria
	PCOS
	poruchy spermatogenézy
	Ca testes, prostaty
	autoimunitná tyreoiditída, Ca štítnej žľazy
	metabolický syndróm
	diabetes mellitus 2.typu
kardiovaskulárne	ateroskleróza a ICHS
	hypertenzia
nervový systém	poruchy pamäti a učenia
	poruchy koncentrácie
	návykovosť

Účinky environmentálních estrogenů na lidský organismus, které uvádí tabulka č.4., se dokážou projevit již při nepatrném množství látek ve vodě. Koncentrace endokrinních disruptorů (17 alfa – ethynyl estradiolu) se v povrchových vodách pohybuje okolo 10 nanogramů na litr, u ftalátů jsou to desítky µg/l (Kujalová, et. al., 2007; Koutková, 2020).

Naopak Caldwell a spol. v jejich výzkumu z roku 2010 uvádí, že hodnoty estrogenů v potravě jsou mnohem vyšší než v pitné vodě. Přestože jsou tyto hodnoty trvale vysoké, není známo, že by měly znatelný vliv ani na citlivější organismy (Caldwell, et.al., 2010).

4.6 Metody detekce estrogenů v životním prostředí

Na detekci přítomnosti estrogenů ve vodě je spousta biologických metod, mezi nejužívanější patří použití určitého typu látky jako bioindikátoru, dále aktivace genu nebo proliferační kontrola. Jako vhodný bioindikátor se ukázal druh *Tilapia nilská* (*Oreochromis niloticus*) při výzkumu pro detekci kontaminovaných vod vedený Marcíou Marquezem a Andrém Salomao (Marquez & Salomao, 2015).

4.6.1 Imunoanalytické metody

K detekci těchto látek ve vodách lze použít imunoanalytické metody, které jsou založeny na reakci protilátky. Tyto metody můžeme dále rozdělovat podle principu

na kompetitivní a nekompetitivní, dle počtu fází na homogenní a heterogenní. Heterogenní se dále dělí na vázané a volné podle typu reakce a poslední typ rozdělení je dle způsobu značení a měření zkoumané složky (HAMPL, et.al., 2013).

Pro vyhodnocování přítomnosti estrogenů převážně v půdním prostředí se používají enzymové imunotesty (Bux, et.al., 2014).

4.6.2 Biologické metody

Fyzickými metodami pro odběr látek z vodního prostředí je adsorpce a filtrace. Hojně jsou také využívány biologické metody, při kterých se použijí určité druhy mikroorganismů, které jsou schopné degradace estrogenů. Jako poslední z nejvyužívanějších metod jsou oxidační procesy jako fotolýza, fotokatalýza a používání antioxidantů (Ramírez-Sánchez, et.al., 2015).

4.6.3 Separace a sedimentace

Pro filtraci látek z vodního prostředí je možné využít metodu sedimentace, avšak ta nemusí být dostatečně účinná, jelikož hormony jsou hydrofobní. Lipofilní látky sice dokáží určitě množství hydrofilních látek zadržet, ale na sedimentaci hormonů s tak nízkou absorpcí, jako jsou estrogény, je to nedostatečné (Boobis, et.al., 2008).

Separční metody jsou využívány kvůli své spolehlivosti, přesnosti a vlastnosti rozeznat složité chemické složky. Patří mezi ně plynová chromatografie s vysokým rozlišením s negativní chemickou ionizací hmotnostní spektrometrickou detekcí, což je velmi citlivá metoda vhodná ke stanovení nižších hodnot naměřených látek (Dragoi, et.al., 2019; Kuch & Ballschmiter, 2001).

4.6.4 Chemický monitoring

Chemickou metodou stanovení je chemický monitoring sedimentu, který je vhodnější spíše pro dlouhodobý přehled stavu kvality vody. Pro odběr estrogenů z vodního prostředí jsou nejvyužívanější techniky metodou extrakce pevnou fází nebo kapalnou fází. Metoda kapalnou fází má však mnoho nevýhod, především je nelze využívat u všech vzorků a je to nákladnější metoda odběru (Czarny, et.al., 2017).

Pro určení hladiny hormonu se jako vzorky pro odběr využívají ryby, nejčastěji samci. Ti mají nižší přirozenou hladinu estrogenu, zkoumaná je především hladina vitellogeninu a laktoferrinu, což je látka transportující protein (Lai et., al, 2002; Kujalová, et. al., 2007). Vzorky se odebírají v jednotkách ng/l (Czarny, et.al., 2017).

Pro detekci estrogenů v atmosférickém prostředí se používá jedna ze dvou dostupných metod, a to metoda extrakce tlakovou kapalinou nebo kapalinovou chromatografií-tandemovou hmotnostní spektrometrií (Alda, et.al., 2013).

4.7 Kontaminace životního prostředí estrogenními hormony

Není daleko od pravdy tvrzení, že nejvyšší podíl znečištění městských odpadních vod je z lidské moči, moč žen totiž obsahuje nejvíce estradiolu, estriolu a estronu vyloučeného organismem, v případě užívání hormonální antikoncepce je to pak ethynylestradiol. V současné době užívá více jak polovina žen hormonální antikoncepci a predikce do budoucna založené na tomto tvrzení se bude kvalita vody neustále zhoršovat (Jánišová, 2013).

Při měření kontaminantů v prostředí jsou výsledky rozdělené dle hodnot do tří kategorií dle směrnice SEVESO III nařízení (ES), č.1272/2008, oddíl E – nebezpečnost pro ŽP (viz. obrázek č. 10). E1 je označována jako akutní toxicita pro vodní organismy a E2 jako chronická toxicita 1 – vysoce toxický pro vodní organismy s dlouhodobými účinky a 2 – toxický pro vodní organismy, s dlouhodobými účinky (Nařízení č. 1272/2008, oddíl E).

TABULKA I KATEGORIE NEBEZPEČNÝCH LÁTEK (kvalifikační množství NL dle SEVESO III) – zdroj H – vět: nařízení (ES) č. 1272/2008						
Kategorie nebezpečnosti v souladu s nařízením (ES) č. 1272/2008		Kategorie nebezpečnosti	Klasifikační kód	H - věta	Množství nebezpečné látky [t]	
Sloupec 1	Sloupec 2				Sloupec 3	
Třída nebezpečnosti					A	B
	ORGANICKÉ PEROXIDY	Typ C, D, E, F	Org. Perox.			
P7	SAMOZÁPALNÉ KAPALINY	Kategorie 1	Pyr. Liq. 1	H250 Při styku se vzduchem se samovolně vznítí.	50	200
P8	SAMOZÁPALNÉ TUHÉ LÁTKY OXIDUJÍCÍ KAPALINY	Kategorie 1	Pyr. Sol. 1	H271 Může způsobit požár nebo výbuch; silný oxidant. H272 Může zesílit požár; oxidant. H272 Může zesílit požár; oxidant.	50	200
		Kategorie 2	Ox. Liq. 2			
		Kategorie 3	Ox. Liq. 3			
	Kategorie 1	Ox. Sol. 1				
	OXIDUJÍCÍ TUHÉ LÁTKY	Kategorie 2	Ox. Sol. 2	H272 Může zesílit požár; oxidant.		
		Kategorie 1	Ox. Sol. 3	H272 Může zesílit požár; oxidant.		
Oddíl „E“ – NEBEZPEČNOST PRO ŽP						
E1	NEBEZPEČNOST PRO VODNÍ PROSTŘEDÍ	Akutní toxicita 1	Aquatic Acute 1	H400 Vysoce toxický pro vodní organismy.	100	200
		Chronická toxicita 1	Aquatic Chronic 1	H410 Vysoce toxický pro vodní organismy, s dlouhodobými účinky.		
E2	NEBEZPEČNOST PRO VODNÍ PROSTŘEDÍ	Chronická toxicita 2	Aquatic Chronic 2	H411 Toxický pro vodní organismy, s dlouhodobými účinky.	200	500
Oddíl „O“ – JINÁ NEBEZPEČNOST						
O1	LÁTKY NEBO SMĚSI se standardní větou o nebezpečnosti	–	–	EUH014 Pro látky a směsi, které prudce reagují s vodou (např. acetylchlorid, alkalické kovy nebo	100	500

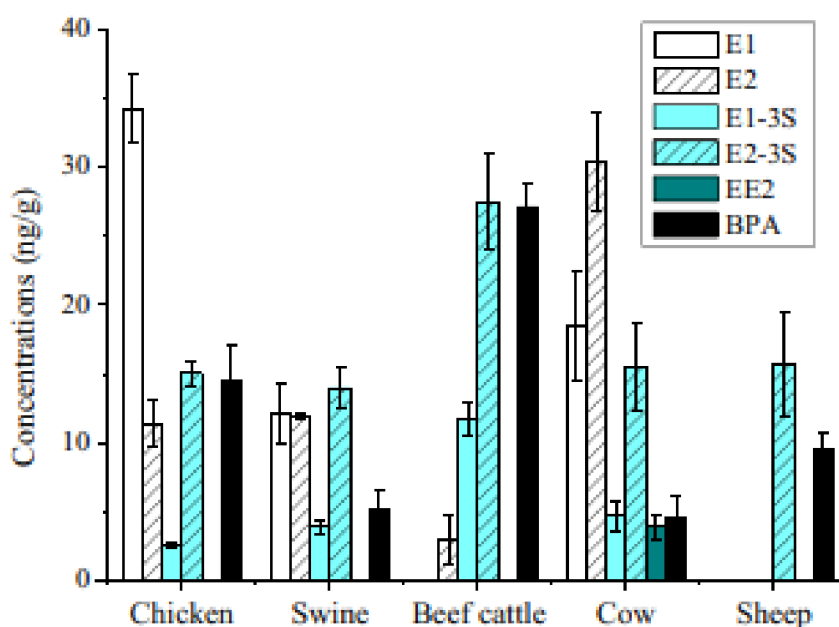
Obr.10: Příloha směrnice 2003/105/ES (SEVESO III), oddíl E – nebezpečnost pro ŽP

Estrogeny navíc zůstávají aktivní i po vyloučení z lidského organismu, jejich filtrace je velmi náročná jak časově, tak finančně (Bartošek, 2017).

Odpadní vody dále obsahují značné množství syntetických chemikálií s estrogení aktivitou, které mají původ u detergentů, dále PPCP, kosmetických přípravků, ale třeba i potravin (Jánišová, 2013).

Dalším velkým zdrojem vodního znečištění má původ u chovu hospodářských zvířat, která vylučují převážně steroidní estrogeny jako jsou již zmíněný 17α -estradiol, 17β -estradiol, estron a estriol. Tyto látky často znečistí i nádrže s užitkovou vodou v blízkosti farem (Wojnarowski, et. al., 2021).

V roce 2014 byl v severní Číně proveden výzkum, dle kterého je znečištění hormony od hospodářských zvířat vypouštěno do životního prostředí v různých formách, neboť bylo zjištěno, že převážně stolicí vylučuje hormony hovězí dobytek a prasata ho vylučují močí. Na obrázku č.11 je znázorněn graf s naměřenými hodnotami estrogenních hormonů zjištěných z odebraných vzorků kompostu podle druhu hospodářských zvířat.



Obr.11: Graf znázorňující výskyt jednotlivých typů estrogenů ve vzorcích kompostu různých typů (Liu, et. al., 2014)

Výzkum Kucha a Ballschmitera naopak tvrdí, že steroidy byly nalezeny ve vodním prostředí v nižších hodnotách (pikogramy) než fenoly (nanogramy) (Kuch & Ballschmitter, 2001).

Bux a spol. v jeho další studii provedl biotesty, které ukázalo a potvrdilo akutní toxicitu ve vodních zdrojích, přesnější analýza ukázala větší toxicitu u estradiolu oproti syntetickému estrogenu EE2. Ve studii byl však hodnocen i vliv chloru jakožto dezinfekce a bylo zjištěno, že pokud je z odtoků odstraněn chlor, toxicita se snižuje i za přítomnosti estrogenních hormonů (Bux, et.al., 2014).

4.8 Likvidace estrogenních hormonů

Je možné použít metodu biodegradace nebo adsorpce. Biodegradace by mohla být cesta úplné eliminace těchto látek jak z vodního prostředí, tak i z půdního prostředí. Některé mikroorganismy jsou schopné biologického rozkladu kontaminantů, jelikož jejich jediný přísun uhlíku je právě z těchto steroidních hormonů. K biodegradaci jsou zapotřebí houby s vysokým obsahem extracelulárních enzymů. (Heger, et. al., 2014).

Dle výzkumu z roku 1965 tyto mikroorganismy dokáží naprosto eliminovat látky z odpadní vody během 10 dnů, ovšem pouze za podmínek, že zde není neustálý přísun estrogenů (Stumm-Zollinger & Fair, 1965).

Biodegradace tohoto hormonu jsou schopny některé druhy mikroorganismů, například bakterie *Novosphingobium sp.*, jejíž biodegradace spočívá v oxidaci (ztráta elektronů a zvyšování oxidačního čísla prvku) na estron, dále hydroxilace (chemická reakce, která zvyšuje rozpustnost látky ve vodě) a štěpení aromatického kruhu (střídání jednoduché chemické vazby s dvojnou). Tato reakce zřejmě pokračuje i po opuštění látky ČOV (Wojnarowski, et. al., 2021).

Luo a spol. ve svém výzkumu z loňského roku zdůrazňuje, že na anaerobní digesci má výrazný vliv množství huminové kyseliny, která svými strukturami estrogen absorbuje. Nejvhodnější pro tento způsob likvidace jsou bakterie z rodu *Rhodococcus*, *Sphingomonas* a *Pseudomonas* (Luo, et. al., 2023).

Díky tomu, že estrogeny jsou látky silně hydrofobní, což znamená, že rozpustnost ve vodě mají velmi nízkou, jejich účinné odstranění z odpadních vod je možné dosáhnout metodou kapalina-kapalina (Fredj, et.al., 2014).

Průzkum čističek odpadních vod z roku 2017 (myšleno české, dle tuzemského průzkumu) nejsou schopny vyfiltrovat veškeré napáchané znečištění hormony, tudíž tyto látky zůstávají ve vodě a pokračují dále do oběhu. Čističky by se dokázaly tohoto druhu znečištění zbavit, byla by to však velmi nákladná investice a bylo by zapotřebí přistavět za každou čističku ještě úpravnu pitné vody, která by toto dokázala. Jediná úpravna vody v ČR, která dokáže vodu úplně zbavit hormonů, se nachází v Plzni, kde zdroj pitné vody začal být znečištěný pesticidy a hormony, jinak v České republice má každá obec zdroj pitné vody přísně chráněný, tudíž se tyto látky v pitné vodě vyskytují zřídka (Bartošek, 2017).

Odpadní vody, které však putují do zmíněných čističek, jsou jimi přímo zamořené. Nejčastější metodou filtrace je především přidání aktivního uhlí do filtru nebo membránová filtrace, která využívá rozdíly tlaku a propustné brány (Kotyza, et. al., 2009).

Čističky mají několik procesů čištění, které jsou rozdělené do skupin dle jejich systému: mechanické procesy, chemické a fyzikálně chemické procesy, biologické procesy aerobní a anaerobní. Pro filtraci hormonů jsou nejvýznamnější metody aerobní a z části mechanické (Synáčková, 2014).

5. Legislativa v rámci nakládání s hormony a stanovené limity

Je důležité, aby kontaminanty životního prostředí měli stanovené limity svých hodnot na základě výzkumů, aby tak bylo chráněno lidské zdraví a zároveň složky životního prostředí a jeho ekosystémy.

5.1 Nařízení č. 850/2004 o perzistentních organických polutantech

Nařízení č. 850/2004 o perzistentních organických polutantech je nyní v platnosti jako nařízení komise EU 2019/1021, kterým zde byly zavedeny závazky dané ve Stockholmské úmluvě a přílohy byly změněny zákonem 2019/636.

(Zdroj: Zákony pro lidi, Právo Evropské unie (online) [cit. 2024.02.21])

5.2 Nařízení Evropské rady a parlamentu č. 528/2012 o dodávání biocidních přípravků na trh a jejich používání

Nařízení o dodávání biocidních přípravků na trh a jeho používání je v souladu s dalším nově schváleným rozhodnutím komise EU 2023/458 ze dne 1. března 2023 o neschválení některých účinných látek přidávaných do biocidních přípravků.

(Zdroj: Zákony pro lidi, Právo Evropské unie (online) [cit. 2024.02.24])

5.3 Nařízení ‚REACH‘

Dalším legislativním dokumentem regulujícím hodnoty vypouštěných chemických látek do životního prostředí se zabývá nařízení pod zažitou zkratkou REACH (dále jen ‚nařízení‘). Cílem tohoto nařízení je chránit lidské zdraví a životní prostředí před účinky chemických látek. Toto nařízení se vztahuje na látky vyráběné nebo dovážené v minimálním množství 1 tona za rok.

Tato zkratka zahrnuje vícero nařízení: nařízení 1907/2006 o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek, aktuálně je v platnosti pod označením 2021/2045, změna přílohy XIV týkající se schvalování některých ftalátů proběhla dne 24. listopadu 2021, dále o změně směrnice 1999/45/ES a o zrušení nařízení Rady (EHS) č. 793/93, nařízení Komise (ES) č. 1488/94, směrnice Rady 76/769/EHS a směrnic Komise 91/155/EHS, 93/67/EHS, 93/105/ES a 2000/21/ES.

(Zdroj: Ministerstvo průmyslu a obchodu, (online) [cit. 2024.03.11])

5.4 Směrnice ‚SEVESO‘

Tato směrnice nese název podle známé havárie v italském Sevesu a tehdy spustila legislativní proces pod totožným názvem a vyústila ve směrnici pod názvem Seveso I (Směrnice 82/501/EHS). Postupem času byla směrnice aktualizována, v roce 1966 byla přijata pod názvem Seveso II (Směrnice Rady 96/82/ES, v aktuálním znění jako směrnice Evropského parlamentu a Rady 2003/105/ES ze dne 16. prosince 2003), měla za účel poskytovat prevenci a opatření před dalšími ekologickými haváriemi. Poslední aktualizace proběhla v roce 2003 pod názvem Seveso III. Aktuálně je ve znění ve vyhlášce 244/2023 Sb. a změny spočívají v upřesnění a doplnění požadavků v bezpečnostních dokumentech. Nová podoba zákona nabyla účinnosti 23.srpna 2023.

(Zdroj: Ministerstvo životního prostředí, (online) [cit. 2024.02.21])

5.5 Stockholmská úmluva

Jako hlavní a nejdůležitější úmluva týkající se této problematiky je Stockholmská úmluva o perzistentních organických polutantech. Úmluva byla přijata v květnu roku 2001 v rámci programu OSN pro životní prostředí a v platnost vstoupila 17. května 2004. Podstatou této úmluvy je předběžná opatrnost, dále upřesňuje výrobu, použití, dovoz a vývoz perzistentních organických polutantů (POPs), které jsou uvedeny v úmluvě. Je zde uvedeno také bezpečné nakládání a likvidace a má za cíl snížení úniků polutantů zde neuvedených.

K této úmluvě se vztahuje nařízení 850/2004 Sb. o perzistentních organických látkách. V roce 2019 byl přepracován v aktuálním znění pod novým číslem 2019/1021.

Původní seznam zahrnuje 12 látek, tzv. ‚dirty dozen‘, kde je zahrnuto nejnebezpečnějších osm látek používaných jako pesticidy, polychlorované dibenzodioxiny a dibenzofurany vznikající při chemické výrobě a dvě průmyslové sloučeniny. Tyto látky je zakázáno vyrábět a používat a jsou zde v průběhu návrhy na jejich eliminaci.

Tento seznam se postupně rozšiřuje o další látky, na kterých se shodne zasedání konference smluvních stran každé dva roky.

V roce 2009 se na seznam přidalo 9 látek, mezi nimi byly především chemické sloučeniny určené na zpomalení hoření pentaBDE a oktaBDE, dále sloučeniny HBB, což je silně lipofilní bílkovina a v neposlední řadě PFOS a jeho soli. Tyto soli jsou vypsány i v příloze B, která pojednává o povoleném používání pro vyjmenované činnosti.

V roce 2011 byl po odhlasování na seznam přidán endosulfan, v roce 2013 byl do přílohy A, tedy pro úplný zákaz, přidán další zpomalovač hoření – HBCD a jeho soli PCP, dále PCN a PCB transformován v olejích. V roce 2015 byl seznam přílohy A (zcela zakázaných látek) doplněn o hexachlorbutadien (HCB), pentachlorfenol (PCP) a polychlorované naftanely (PCN). V roce 2017 byly odhlasované další tři látky do přílohy C, což je uznaný vedlejší produkt při výrobě – PBDE, dekaBDE, SCCP. V roce 2019 byla přidána látka vznikající při výrobě teflonu a Goretexu – PFOA a pesticid dicofol.

V současné době je projednáván návrh aktualizace NIP Stockholmské úmluvy o perzistentních organických polutantech v ČR na léta 2024–2029.

(Zdroj: Stockholmská úmluva o perzistentních organických polutantech, 2001. MŽP; Arnika.org. (online) [cit. 2024.02.21])

5.6 Vyhláška č. 153/2016 Sb. o stanovení podrobností ochrany kvality zemědělské půdy a o změně vyhlášky č. 13/1994 Sb., kterou se upravují některé podrobnosti ochrany zemědělského půdního fondu

Vyhláška č. 153/2016 Sb. o stanovení podrobností ochrany kvality zemědělské půdy stanovuje maximální hodnoty obsahu škodlivých a rizikových látek a prvků v zemědělské půdě, které by mohly ohrozit nezávadnost potravin, lidské zdraví nebo zdraví zvířat. Tyto prvky a jejich hodnoty jsou vyobrazeny v tabulce č. 5 a v tabulce č.6 Navazuje na původní vyhlášku č. 13/1994 Sb. vyhlášku Ministerstva životního prostředí, která upravuje některé podrobnosti ochrany zemědělského půdního fondu. Vyhláška v tomto znění byla zrušena k 15.11.2019 a plně nahrazena vyhláškou č. 271/2019 Sb. o stanovení postupů k zajištění ochrany zemědělského půdního fondu (dále jen ‚vyhláška‘). Vyhláška v platném znění stanovuje způsob vyhodnocení důsledků na zemědělský půdní fond a navrhuje řešení při zpracovávání územní plánovací dokumentace. V neposlední řadě pak určuje postupy k ochraně zemědělského půdního fondu při těžební a stavební činnosti, geologickém průzkumu a uvádí způsob rekultivace půdy.

Tabulka č.5: Preventivní hodnoty obsahů rizikových prvků v zemědělské půdě zjištěné extrakcí lučavkou královskou (mg.kg-1 sušiny) dle přílohy č.1 zákona 153/2016 Sb. o stanovení podrobností ochrany kvality zemědělské půdy (Zdroj: Zákony pro lidi, Právo Evropské unie, online).

Kategorie půd	Preventivní hodnota (1.)										
	As	Be	Cd	Co	Cr	Cu	Hg (2.)	Ni	Pb	V	Zn
Běžné půdy (3.)	20	2,0	0,5	30	90	60	0,3	50	60	130	120
Lehké půdy (4.)	15	1,5	0,4	20	55	45	0,3	45	55	120	105

Vysvětlivky k tabulce:

- Hodnoty se netýkají půd geogenně anomálních, na které mají být použity sedimenty podle právních předpisů o používání sedimentů na zemědělské půdě.
- Celkový obsah.
- Běžné půdy: písčito-hlinité, hlinité, jílovitohlinité a jílovité půdy, které zaujmají převážnou část zemědělsky využívaných půd. Jedná se o půdy s normální variabilitou prvků, s normálním půdním vývojem v různých geomorfologických podmínkách včetně půd na karbonátových horninách.
- Lehké půdy: půdy vzniklé na velmi lehkých a chudých matečních horninách jako jsou písky a štěrkopísky. Při vymezení těchto půd se vychází ze zastoupení jemných částic (do 0,01 mm), které tvoří maximálně 20 %. Tyto půdy se vyznačují velmi nízkou absorpční kapacitou.

Tabulka č.6: Preventivní hodnoty obsahů rizikových látek v zemědělské půdě (mg.kg-1 sušiny) dle přílohy č.1 zákona 153/2016 Sb. o stanovení podrobností ochrany kvality zemědělské půdy (Zdroj: Zákony pro lidi, Právo Evropské Unie, online).

Látka	Preventivní hodnota
Polycyklické aromatické uhlovodíky	
∑ PAU 1)	1,0
Chlorované uhlovodíky	
∑ PCB 2)	0,02
∑ DDT 3)	0,075
HCB 4)	0,02
HCH (∑α+β+γ) ⁴⁾	0,01
PCDD/F ⁴⁾	5,0 5)
Nepolární uhlovodíky	
Uhlovodíky C 10 – C 40 ⁴⁾	100

Vysvětlivky k tabulce:

- 1) ∑PAU - polycyklické aromatické uhlovodíky (antracen, benzo(a)antracen, benzo(b)fluoranthen, benzo(k)fluoranthen, benzo(a)pyren, benzo(ghi)perylen, fenantren, fluoranthen, chrysen, indeno(1,2,3-cd)pyren, naftalen, pyren)
- 2) ∑ PCB kongenerů – 28+52+101+118+138+153+180
- 3) ∑ DDT, DDE, DDD (o',p - a p',p' - izomerů)
- 4) HCB, HCH (∑α+β+γ), PCDD/F a uhlovodíky C 10 – C 40 se sledují při důvodném podezření z jejich výskytu (např. předchozí znečištění půdy z výroby).
- 5) Hodnota mezinárodního toxického ekvivalentu I-TEQ PCDD/F (ng.kg⁻¹ sušiny)

(Zdroj: Zákony pro lidi, Právo Evropské unie (online) [cit. 2024.03.19])

5.7 Vyhláška č. 252/2004 Sb. kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody

Dalším zákonem upravující legislativu pitných vod je vyhláška 252/2004 Sb., která stanovuje hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu, četnost kontrol kvality vody a metody jejich kontroly.

Odběr vzorků pitné vody se provádí podle technické normy ČSN EN ISO 19458 (757801) Jakost vod – odběr vzorků pro mikrobiologickou analýzu, která je účinná od dubna roku 2007 a je stále v platnosti.

(Zdroj: Zákony pro lidi, Právo Evropské unie (online) [cit. 2024.02.21])

5.8 Zákon č. 114/1992 Sb. o ochraně přírody a krajiny

Účelem zákona č. 114/1992 Sb. o ochraně přírody a krajiny je přispět k rovnováze přírody a krajiny a jejího udržení, obnově a vytvoření souladu s právem Evropských společenství soustavu Natura 2000. Zároveň neomezit kulturní a společenské potřeby obyvatel.

(Zdroj: Zákony pro lidi, Právo Evropské unie (online) [cit. 2024.02.21])

5.9 Zákon č. 184/2016 Sb. o ochraně zemědělského půdního fondu

Zákon č. 184/2016 Sb. o ochraně zemědělského půdního fondu změnil zákon České národní rady pod označením č.334/1992 Sb. o ochraně zemědělského půdního fondu dále jen ‚zákon‘). Zákon pojednává o používání sedimentů na zemědělské půdě, upřesňuje způsob vedení evidence o kvalitě a odnětí zemědělské půdy, postupy při zjištění znečištění zemědělské půdy a případnou nápravu a zásady plošné ochrany zemědělského půdního fondu. Stanovuje maximální hodnoty obsahu škodlivých a rizikových látek a prvků v zemědělské půdě, které by mohly ohrozit nezávadnost potravin, lidské zdraví nebo zdraví zvířat. Nevztahuje se na látky používané na zemědělskou půdu schválenou zvláštním právním předpisem. Tento zákon také změnil a upravil znění zákona č.41/2015 Sb. o ochraně zemědělského půdního fondu, který upřesňuje zásady o ochraně zemědělské půdy.

(Zdroj: Zákony pro lidi, Právo Evropské unie (online) [cit. 2024.03.18])

5.10 Zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší

Zákon č. 201/2012 Sb., (dále jen ‚zákon‘), pojednává o ochraně ovzduší před znečišťujícími složkami a jejich snižování tak, aby zároveň bylo chráněno lidské zdraví. V tomto zákoně je mimo jiných složek stanoven limit pro jediný známý metaloestrogen – kadmium. Nachází se v příloze č.1 odstavec 3 - Imisní limity pro celkový obsah znečišťující látky v částicích PM₁₀ vyhlášené pro ochranu zdraví lidí.

(Zdroj: Zákony pro lidi, Právo Evropské unie (online) [cit. 2024.02.21])

5.11 Zákon č. 254/2001 Sb. o vodách

Další zákon vztahující se k této problematice je Zákon 254/2001 Sb. o vodách, (dále jen ‚zákon‘) a o změně některých zákonů, tzv. vodní zákon. Účelem je chránit povrchové i podzemní vody před znečištěním a stanovit podmínky pro využívání těchto vodních zdrojů a zároveň zachovat jakost vody, zároveň vše v souladu

s právem Evropského společenství. Taktéž je ve znění zákona zmíněno zásobování obyvatelstva pitnou vodou a ochrana ekosystémů, na nichž převážně závisí i zdraví suchozemských živočichů a jejich ekosystémů. Příloha zákona obsahuje tabulku (tabulka č.7) udávající imisní limity vybraných látek, mezi nimi je i kadmium, u kterého je prokázána estrogenní aktivita uvolňující se do ovzduší.

Tabulka č.7: Imisní limity stanovené dle zákona 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší, příloha 1 (Zákony pro lidi, Právo Evropské unie, online).

Znečišťující látka	Doba průměrování	Imisní limit
Arsen	1 kalendářní rok	6 ng*m ⁻³
Kadmium	1 kalendářní rok	5 ng*m ⁻³
Nikl	1 kalendářní rok	21 ng*m ⁻³
Benzo(a)pyren	1 kalendářní rok	1 ng*m ⁻³

(Zdroj: Zákony pro lidi, Právo Evropské unie (online) [cit. 2024.02.21])

6. Působení endokrinních disruptorů na životní prostředí

Látky znečišťující a ovlivňující životní prostředí mohou mít až devastující vliv na jeho budoucí revitalizaci. Znečištění všech složek životního prostředí je provázáno, kontaminace vzduchu částicemi endokrinních disruptorů se následně usadí v půdě, odkud putují do podzemních vod a následně se vypaří zpět do atmosféry. Právě výpar z půdy do atmosféry je nejčastější způsob znečištění ovzduší. Látky znečišťující prostředí jsou kumulativní, což znamená, že i malé množství má dlouhodobé účinky (Klein, et. al., 2006).

Koncentrace znečištění z látek, které se každodenně uvolňují do složek životního prostředí může být až alarmující, vzhledem k množství přípravků, ve kterém se endokrinní disruptory nacházejí. Jedná se převážně o průmyslové produkty, chemické přípravky obsahující pesticidy a hojně využívané plastové výrobky.

6.1 Vliv na vodní prostředí a jeho organismy

Vliv estrogenu na vodní prostředí a živočichy zde žijící je zkoumán již delší dobu, výsledky jsou však pouze v rádech desetiletí a není tak dané jasné stanovisko těchto účinků, názory jednotlivých badatelů se výrazně liší. Je také důležité upozornit na rozdíl mezi akutní toxicitou a dlouhodobými účinky při pravidelné expozici těmto endokrinním disruptorům.

Koutková ve svém článku uvádí, že nebyla prokázána závažná akutní toxicita v oblasti působení uvolňovaných ftalátů do vodního prostředí na vodní organismy, riziko spočívá především v dlouhodobém vystavení těmto látkám (Koutková, 2020).

Účinky látek jsou zkoumány převážně na lidské populaci, přestože fauna, která je taktéž vystavena těmto látkám a jejím nepříznivým účinkům je velmi rozmanitá. Nicméně vystavení endokrinního systému těmto látkám jak lidí, tak i zvířat má podobné účinky. Největším problémem není ani tak množství hormonu, kterým jsou živočichové vystaveni, ale doba, po kterou na ně působí. Ve vodě tyto látky neustále kolují, nějaké množství odeče, vyfiltruje se, ale další opět přibude a toto dlouhodobé a neustálé působení estrogenu na živočichy stále ještě aktivními látkami z neustálého koloběhu má velký vliv na jejich vývoj a zdraví (Centrum vody: Voda z kohoutku).

Jedná se o jasný proces feminizace, disregulace přirozených procesů, které snižují zdraví a osobní pohodu zvířat. Především ryby tyto látky vstřebávají přes kůži, žábry, potravu a narušují tak reprodukční cyklus. Jako hlavní indikátor hladiny hormonů ve vodním prostředí se používá syntéza vitellogeninu přítomná u samců ryb (Koutková, 2020).

Vystavení těchto živočichů nadměrnému množství estrogenu po vyloučení z lidského organismu a následného putování této látky do odpadních vod, přes čističku, která nedokáže úplně vyfiltrovat hormony zpět do pitné vody, vodních toků a nádrží byl zpozorován nezvyklý vývoj u těchto živočichů. Samci začali vykazovat jak samčí, tak i samičí pohlavní znaky, některé organismy se začaly vyvíjet jako hermafroditi (Bartošek, 2017; Koutková, 2020).

Shor a Shemesh ve svém výzkumu v roce 2003 vyhodnotil vystavení vysoké hladině estradiolu dokonce jako smrtelné pro lososa obecného a bylo doporučeno stanovit neškodnou hladinu těchto hormonů pro bližší sledování a eliminaci těchto škod na vodních ekosystémech (Shore & Shemesh, 2003).

Již v 80. letech s výrazným nástupem užívání hormonální antikoncepce u žen byly zpozorovány změny ve vývoji vodních živočichů, především ryb, žab a raků (Wojnarowski, et. al., 2021).

Největší podíl na znečišťování odpadních vod estrogeny mají právě vyloučené hormony využívané při výrobě antikoncepčních látek a léků pro ženy. Nejdříve to bylo přikládáno ekologické havárii, ale až měření hladiny těchto látek ve vodách ukázalo opak. I dle výzkumu geologa, pana Tomáše Pačese, z roku 2011 bylo

zjištěno vyšší množství hormonu estrogeneru v přítoku Berounky do Vltavy (Pačes, 2011; Centrum vody: Voda z kohoutku).

Dle státního zdravotnického ústavu je to však zanedbatelné množství a nepředstavuje žádné zdravotní riziko, avšak nejsou stále výsledky žádného výzkumu z hlediska dlouhodobého působení a vystavení těmto hormonům. Jediný doložený fakt je nárůst onkologických onemocnění dle mnohačetných výzkumů kvůli dlouhodobému působení endokrinních disruptorů na lidský organismus. Na stejném názoru se shodne i výzkum Kožíška a Pumanna, kteří ve svém článku tvrdí, že problém znečištění je sice založen na původní pravdivé informaci. Rizika spojená s tím jsou však velmi zkreslená a nelze je doložit naměřenými hodnotami ve vodním prostředí (Kožíšek & Pumann, 2013).

K degradaci ve vodním prostředí dochází při působení aerobních mikroorganismů, anaerobních podmínkách je to pak hydrolýza a fotodegradace, což jsou ale procesy probíhající zvláště pomalu. V sedimentu se hormony poutají na organické částice (Koutková, 2020).

6.1.1 Povrchové vody

Znečištění povrchových vod má na svědomí výrazný úbytek biodiverzity vlivem endokrinních disruptorů narušující převážně správně fungování rozmnožovací soustavy vodních živočichů.

Do povrchových vod se znečištění dostává nejčastěji z oběhu vody, která již prošla čistícím procesem, kde ji technologie nedokázala dostatečně vyfiltrovat (Bartošek, 2017).

V České republice je pouze jedna čistička, která hormony dokáže vyfiltrovat z vody na 100 %. (Viz. Kapitola 4.5). Instalace takových čistících mechanismů do více ČOV v zemi by byla velmi nákladná investice.

Veškeré použité zdroje se shodují na tvrzení, že koncentrace hormonů byly naměřeny ve všech zdrojích povrchových vod. V následující tabulce č.8 jsou zobrazeny výsledky výzkumu Kucha a Ballschmitera z roku 2001, zobrazující naměřené hodnoty ze 31 odebraných vzorků z říček v jižním Německu – Dunaj, Iller, Blau, Nau, Bodamské jezero (Kuch & Ballschmitter, 2001).

Tabulka č.8: Koncentrace hormonů naměřené v říčkách v Německu při výzkumu v roce 2001 (Kuch & Ballschmiter, 2001).

	LOD	n> LOD	min	max	median	mean	RSD (%)
4-nonylphenol	0,05	31	6,7	134	23	32	72
4- <i>tert</i> -octylphenol	0,05	31	0,8	54	3,8	7,3	52
bisphneol A	0,04	31	0,5	14	3,8	4,7	81
estrone	0,10	29	0,1	4,1	0,40	0,70	125
17 α -estradiol	0,15	8	0,15	2,0	0,40	0,60	70
17 β -estradiol	0,15	14	0,15	3,6	0,30	0,60	34
17 α -ethinylestradiol	0,10	15	0,1	5,1	0,40	0,80	52

Concentration in ng/L; n=31 samples

Kuch a Ballschmiter v následující tabulce č.9 uvádí i výsledky naměřených hodnot v odpadních vodách ze stejné oblasti a při provádění výzkumu se potvrdilo, že odpadní voda již byla několikrát naředěna příslušnou řekou či potokem, která obsahovala určité množství hormonů z horního toku.

Tabulka č.9: Koncentrace naměřené v odpadních vodách v Německu (Kuch & Ballschmiter, 2001).

	LOD	n> LOD	min	max	median	mean	RSD (%)
4-nonylphenol	0,05	15	25	770	111	199	110
4- <i>tert</i> -octylphenol	0,05	15	2,2	73	14	22	96
bisphneol A	0,04	15	4,8	47	10	16	62
estrone	0,10	15	0,35	18	1,5	3,4	140
17 α -estradiol	0,15	13	0,15	4,5	0,5	1,0	120
17 β -estradiol	0,15	14	0,15	5,2	0,4	0,9	140
17 α -ethinylestradiol	0,10	14	0,1	8,9	0,7	1,4	50

Concentration in ng/L; n=16 samples

Naproti Bux a spol. tvrdí, že pokud je z vodního prostředí odstraněn chlór, toxicita se sníží, přestože jsou zde nadále obsaženy zbytky estrogenních látek (Bux, et.al., 2014).

V tabulce č.10 jsou hodnoty naměřené v pitné vodě pro porovnání toxicity před procesem čištění odpadních vod a hodnocení účinnosti metody extrakce pevnou fází, která zde byla použita (Kuch & Ballschmiter, 2001).

Tabulka č.9: Koncentrace naměřené v pitné vodě v Německu (Kuch & Ballschmiter, 2001).

	LOD	n> LOD	min	max	median	mean	RSD (%)
4-nonylphenol	0,05	10	2,50	16	6,6	8,0	58
4-tert-octylphenol	0,04	10	0,20	4,9	1,8	2,0	94
bisphneol A	0,02	10	0,50	2,0	1,1	1,1	52
estrone	0,05	4	0,20	0,60	0,40	0,40	
17 α -estradiol	0,10	1	0,30	0,30	0,30	0,30	
17 β -estradiol	0,10	5	0,20	2,1	0,30	0,70	
17 α -ethinylestradiol	0,05	4	0,15	0,50	0,35	0,35	

Concentration in ng/L; n=10 samples

6.1.2 Podzemní vody

Znečištění podzemních vod je nedostatečně prozkoumáno, avšak těch pár provedených výzkumů naznačuje, že znečištění podzemní vody pochází převážně z blízko vyskytující se skládky nebo dalších zdrojů, jako je například kanalizace (Jánišová, 2013).

Odpadní vody jsou znečištěny nejen výměšky lidí, ale jakýmkoliv činnostmi, při kterém používáme toxické látky, které následně putují do odpadních vod a čističek.

Tato malá propustnost mezi povrchovými a podzemními vodami je zřejmě dána dobrou sorpční schopností zeminy a dobrou izolací, ovšem časem může nastat situace, kdy zemina bude úplně nasycená a začne propouštět vodu a s ní i toxické látky v ní obsažené (Kotyza, et. al., 2009).

Ty pak dále mohou putovat do povrchových vod, odkud se dostanou zpět do pitné vody. Khanal a spol ve své literární rešerši potvrzuje hlavní zdroj kontaminace podzemních vod jakožto drůbeží podestýlku a chlévskou mrvu, dále však zdůrazňuje větší potřeby prozkoumání tohoto tématu, jelikož není jasné, zda tyto látky mají stejné účinky na říční vody jako na mořské vody a jejich sedimenty. Dále uvádí, že syntetické estrogení hormony mají nižší rozpustnost a vykazují mírnou sorpci na sedimentech, krom toho jsou to hydrofobní látky s nízkou těkavostí (Khanal, et. al., 2006).

6.2 Vliv na půdní prostředí a jeho organismy

Toxické látky se do půdy dostávají po použití pesticidů na zemědělské půdě, při hnojení nebo různém ošetření plodin, především při pěstování kukuřice a řepky (Bartošek, 2017).

Dalším způsobem je působení vody, deště, při kterém se pesticidy dostávají hlouběji do půdy a mohou tímto způsobem znečistit i podzemní vody.

Látky ovlivňující vodní prostředí, především podzemní vody, mají samozřejmě vliv i na půdu, ale i naopak. Ve chvíli, kdy je povrch půdy natolik nasycen, že nedokáže pojmout více vody, tak začne vodu propouštět a s ní i obsažené toxiny. Toxické látky pak dále putují půdou do vodních prvků, potoků, jezer nebo tůní a přirozeným oběhem se dostávají zpět do organismů žijících v tomto prostředí. Tento proces je dobře popsán a vysvětlen v knize ‚Ekologie pro život‘ od Kotyzy a spol. z roku 2009 (Kotyza, et al., 2009).

Nejen že půda je jako prostředník přenášející toxiny zpět do vodního prostředí, ale výrazně ovlivňuje mikroorganismy zde žijící. Vstřebávání toxických látek do organismu může probíhat mnoha způsoby, nejčastější je však vstřebávání skrz kůži a sliznice, které jsou v kontaktu s kontaminovanou zemínou (Khanal, et. al., 2006).

6.3 Výskyt estrogenů v atmosféře

Tento způsob přenosu estrogenů jako vzduchových částic je prozkoumaný prozatím velmi málo, ale očekává se, že je možný přenos estrogenů jako částic například při výparu z vodního povrchu nebo z půdy. Znečištění vzduchu těmito hormony potvrzuje výzkum z roku 2013, kde byly potvrzeny stopové prvky ftalátů ve vzduchu při uvolňování výparů z čistících prostředků. Výsledky naznačují, že při takto malém množství nemusí být věnována zvláštní pozornost při každodennímu vystavení a nepředstavuje zdravotní riziko pro lidský organismus (Alda, et.al., 2013).

Estrogeny se ve vzduchu nenacházejí v částicích, ale především v plynné fázi (Klein, et. al., 2006).

Polychlorované bifenyly jsou jako jedny z mála schopné se přenášet jak vodou, tak i vzduchem a představují velké nebezpečí pro všechny složky životního prostředí. Větrm jsou přenášeny do velkých vzdáleností. V půdě jsou nemobilní, nicméně se mohou vypařovat zpět do vzduchu a opět kolovat v atmosféře (Petrлік & Válek, 2010).

7. Dostupná prevence a ochrana před působením endokrinních disruptorů

V dnešním světě existuje nespočet možností, jak ochránit, nebo alespoň významně omezit množství látek negativně působících nejen na životní prostředí, ale také na správné fungování organismů živočichů a jejich jednotlivých ekosystémů. Jeden typ

prevence a ochrany je zajištěn regulacemi nebo úplným zákazem používání vybraných látek (viz. 5. kapitola).

Prevence je důležitá jak dobrovolná, tedy z vlastní iniciativy, tak ze strany dodržování zákona a nařízení. V této oblasti je důležité vzdělávání a veřejné povědomí. Informování veřejnosti by mohlo teoreticky zvýšit poptávku po ekologických produktech.

Situace vyžaduje přísnější opatření a zavedení komplexního regulačního plánu, důslednější monitoring situace a přísnější limity.

Díky pravidelnému monitorování vodních zdrojů a průmyslového vypouštění by pomohlo odhalit zdroj kontaminace a vést tak cílené strategie na jejich redukci.

Halusková ve svém článku z roku 2023 uvádí hned několik způsobů, jak se vyhnout především xenoestrogenům, ale i dalším nežádoucím skupinám endokrinních disruptorů. Používáním BIO prostředků v kosmetice, stravováním se organickými potravinami, filtrace vody z kohoutku přes speciální filtr, ale především vyhýbat se jednorázovým a plastovým obalům obsahující bisfenoly (které při ohřátí v mikrovlnce zvýší svou účinnost vyzařování toxických látek a vstřebávání do organismu až o 95%!) (Halusková, 2023).

8. Zhodnocení situace a diskuze

V současnosti je tato problematika teprve na počátku zkoumání, což znamená, že stále je tu mnoho informací, které nejsou rozšířené v populaci natolik, aby byla možná viditelná změna k lepšímu z hlediska snížení znečištění složek životního prostředí.

Přestože způsoby prevence a možnosti ochrany, které ve svém článku z loňského roku uvádí Halusková, jsou bezpochyby dobře zpracovány a prezentovány i s odůvodněným vysvětlením pro laiky, tak tato problematika a možnosti k ochraně nejsou dostatečně prezentovány veřejnosti (Halusková, 2023).

Část diskuze věnována řešení hlavní otázky, která je cílem této práce, je porovnání metod detekce a vyhodnocení dle spolehlivosti. Jako nejméně účinná metoda detekce se ukázala být metoda sedimentace, jíž nelze spolehlivě využít při odběru hydrofobních látek, jako jsou právě estrogení hormony (Boobis, et.al., 2008), naproti tomu metoda plynové chromatografie s vysokým rozlišením s negativní chemickou ionizací hmotnostní spektrometrickou detekcí je schopna spolehlivě detekovat hydrofobní látky i v minimálním množství a zdá se být tedy nejvhodnější

na odběr estrogenních látek z vodního prostředí (Dragoi, et.al., 2019). Za spolehlivou metodu ve svém výzkumu Marquez a Salomao považuje také použití určité látky jako bioindikátoru (Marquez & Salomao, 2015).

Pro odběr látek v půdním prostředí je nejvhodnější enzymatický test (Bux, et.al., 2014) nebo, jak zmiňuje ve svém výzkumu Ramírez a Sánchez, použití mikroorganismu, který je schopen degradace látky z půdního prostředí, jako bioindikátoru (Ramírez-Sánchez, et.al., 2015).

Co se týče relativně nového směru působení hormonů, disruptory vyskytující se v atmosféře, jsou výzkumy teprve na samém počátku. Avšak některé prameny se i v této rané fázi shodují na tvrzení, že vdechování částic není zdaleka tak nebezpečné jako vstřebávání hormonů skrz kůži a sliznice do těla. Například Klein a spol. ve svém výzkumu zaměřený na kontaminaci atmosféry uvádí, že naměřené hodnoty kontaminantů ve vzduchu byly mnohonásobně vyšší ve srovnání s pevnými částicemi, co se týče množství, tak i účinků na zdraví organismů (Klein, et. al., 2006), naproti tomu Alda a spol. uvádí, že endokrinní disruptory vyskytující se v atmosféře nepředstavují žádné riziko pro zdraví organismů vzhledem k naměřené koncentraci (Alda, et.al., 2013). Je ale nutno podotknout, že z dlouhodobého hlediska nejsou k dispozici žádné prokazatelné výsledky působení těchto látek na organismus prostřednictvím vzduchu. Metody pro odběr kontaminantů z atmosféry jsou známy zatím dvě: metoda extrakce tlakovou kapalinou nebo kapalinovou chromatografií-tandemovou hmotnostní spektrometrií a obě se zdají být, vzhledem k množství provedených výzkumů, relativně spolehlivé (Alda, et.al., 2013).

Druhá část otázky týkající se účinnější degradace látek z životního prostředí by měla být zaměřena na získávání novější a účinnější technologie pro čištění odpadních vod a úplné odstranění estrogenů z vodního prostředí, aby bylo předejito dlouhodobějším problémům vinou přemíry estrogenů. S tímto problémem znečištění souvisí i kontaminace půd, která je v případě podzemních vod nevyhnutelná. Půdní mikroorganismy jsou této degradace schopné v určitém množství (Ramírez-Sánchez, et.al., 2015), proto myslím, že investování financí do výzkumů novějších a účinnějších technologií pro filtraci vod a snahou o eliminaci znečištění ze strany obyvatel by tyto látky mohly být v životním prostředí sníženy na úplné minimum.

Bartošek ve svém článku z roku 2017 uvádí, že inovace čistíren vod tak, aby technologie byly schopné kompletně vyfiltrovat kontaminanty, jsou finančně i časově velmi nákladné, ale i přesto dodává, že podobný plán eliminace tohoto problému a

jeho řešení je aktuální a rozvržený s postupnými změnami s datem dokončení kolem roku 2030 (Bartošek, 2017).

Bylo by tedy velkým přínosem pro obnovu ekosystémů investování do výzkumů věnující se problematice z dlouhodobějšího hlediska a zaměřit se na dostupnější způsoby eliminace účinků na zdraví a životní prostředí a jeho ekosystémy.

9. Závěr

Téma je velmi aktuální, co se týče výzkumů a zjišťování dopadů na budoucí generace, jejich zdraví, na kvalitu životního prostředí a jeho ekosystémů za neustálého znečišťování hormony. Dostupné informace o této problematice jsou teprve na samém začátku oproti faktu, jak moc velký problém tyto endokrinní disruptory mohou znamenat pro životní prostředí. Situace vyžaduje přísnější opatření a zavedení komplexního regulačního plánu a metod, jak eliminovat množství těchto látek, které pronikají do vod a půd, důslednější monitoring situace a přísnější limity, naše dosavadní zákony jsou k tomuto tématu poněkud shovívavé, jelikož látky nejsou dostatečně regulovány ani kontrolovány.

Tato bakalářská práce poskytuje přehlednou rešerši o estrogenních látkách, metodách jejich detekce i dostupných způsobů likvidace. Látky jsou regulovány příslušnými zákony a nařízeními, které jsou přehledně zpracovány v kapitole č.4. V teoretické části jsou zpracovány dostupné studie, které jednoznačně dokazují, že kontaminace hormony představuje do budoucna velkou zátěž pro životní prostředí, především pro organismy v něm žijící vzhledem ke schopnosti narušení jejich endokrinního systému. Cílem této práce bylo porovnat způsoby detekce a odstranění látek z životního prostředí, splnění tohoto cíle se věnuji v diskuzi (kapitola č.8).

Tomuto zajímavému a aktuálnímu tématu bych se ráda více věnovala ve své diplomové práci na navazujícím studiu.

10. Použité zdroje

Odborné tištěné publikace:

Dvoržáková, M., 2020: FAKTA o pesticidech aneb co o nich asi nevíte. Publikace Výboru o bezpečnost potravin a důvěru spotřebitele České technologické platformy pro potraviny, Potravinářská komora ČR, Praha, 38 s.

Hampl, R., [eds.], 2013: Hormony a jejich působení. Investice do rozvoje vzdělávání, Plzeň, 100 s.

Hanč, O., 1953: Hormony: úvod do jejich chemie a biologie. Nakladatelství Československé akademie věd, Praha, 469 s.

Koutková, Z., 2020: Látky kontaminující vodní prostředí a možnosti jejich odstranění: studijní materiály pro zkvalitnění výuky předmětu Toxikologie. Veterinární a farmaceutická univerzita Brno, 66 s.

Lüllman, H., Mohr, K., 2002: Farmakologie a toxikologie. Nakladatelství Grada, Praha, 725 s.

Nussey, S., Whitehead, S., © 2001: Endocrinology: An Integrated Approach. Oxford BIOS Scientific Publishers Limited, London. Dostupné online z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK22/>

Opletal, L., Šimerda, B., 2010: Přírodní látky a jejich biologická aktivita. Výzkumný ústav živočišné výroby, Praha, 62 s.

Polášková, A., [eds.], 2011: Úvod do ekologie a ochrany životního prostředí. Praha, Karolinum, 283 s.

Silbernagl, S., Despopoulos, A., 2016: Atlas fyziologie člověka. Nakladatelství Grada, Praha, 448 s.

Synáčková, M., 2014: Základy vodního hospodářství. Praha, ČZU, Fakulta životního prostředí. 96 s.

Šuta, M., 2008: Chemické látky v životním prostředí a zdraví. ZO ČSOP Veronika, Brno, 68 s.

Články v odborném periodiku:

Abdellah, Y. [eds.], 2020: Steroidal Estrogens During Composting of Animal Manure: Persistence, Degradation, and Fate, a Review. *Water Air Soil Pollut*, Vol 231:547. Springer Nature Switzerland.

Alda, M. [eds.], 2013: Determination of 13 estrogenic endocrine disrupting compounds in atmospheric particulate matter by pressurised liquid extraction and liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *Anal Bioanal Chem*, Vol 405. P 8913 – 8923.

Aris, A. [eds.], 2014: Occurrence of 17 α -ethynylestradiol (EE2) in the environment and effect on exposed biota: a review. *Environment International*, Vol 69. P 104 – 119.

Bartošek, P., 2017: Čistírny vod propouštějí hormony. Titulní strana Lidové noviny.

Bioprospect, 2015, Institute of Chemical Technology. Praha. Vol. 25, 4/2015.

Boobis, A. [eds.], 2008: Treatment and Removal Strategies For Estrogens From Wastewater. *Environmental Technology*, Vol 29:3. P 245 – 267.

Briciu, R. [eds.], 2009: Analytical Challenges and Recent Advances in the Determination of Estrogens in Water Environments. *Journal of Chromatographic Science* 4. P 127 – 139.

Bux, F. [eds.], 2014: Evaluating the Acute Toxicity of Estrogen Hormones and Wastewater Effluents Using *Vibrio fischeri*. *Human And Ecological Risk Assessment* 21: An International Journal. Vol 21:4. P 1094 – 1108.

Caldwell, D. [eds.], 2010: An Assesment of Potential Exposure and Risk from Estrogens in Drinking Water. *Environmental Health Perspectives* 118(3). P 338 – 344.

Czarny, K. [eds.], 2017: The impact of estrogens on aquatic organisms and methods for their determination. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, Vol 47:11. P 909 – 963.

Čadová, L., Holoubek, I., 2000: Estrogeny v životním prostředí. *Klinik Onkol* 2000(13). P 25 – 30.

Dragoi, E. [eds.], 2021: The concentration of estrogen in water resources: a systematic review and meta-analysis. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, Vol 101:15. P 2937 – 2946.

Fredj, S. [eds.], 2014: Removal of estrone (E1), 17 β -estradiol (E2), and 17 α -ethinylestradiol (EE2) from wastewater by liquid–liquid extraction. *Chemical Engineering Journal*, Vol 262. P 417 – 426.

Harrath, A., Sirotkin, A, 2014: Phytoestrogens and their effects. *European Journal of Pharmacology*, 741. P 230 – 236.

Heger, Z. [eds.], 2014: Rizika spojená s expozicí estrogenům a sloučeninám s estrogení aktivitou a možností jejich eliminace z vodního prostředí. *Creative Commons*. P 44 – 51.

Heresová, J., Vrzáňová, M., 2003: Fytoestrogeny. *Interní medicína pro praxi* 2003/9. P 448 – 451.

Jánišová, M., 2013: Hormonální látky ve vodách. *Lipka – školské zařízení pro environmentální vzdělávání*, Brno, 23 s.

Khanal, S., [eds.], 2006: Fate, Transport, and Biodegradation of Natural Estrogens in Environment and Engineered Systems. *Environmental Science and Technology*. Vol. 40, No. 21. P 6537 – 6546.

Klein, G., [eds.], 2006: Gas-Phase Ambient Air Contaminants Exhibit Significant Dioxin-like and Estrogen-like Activity in Vitro. *Environmental Health Perspectives*, Vol 114. P 697 – 703.

Kotyza, J. [eds.], 2009: Léčiva – Nový environmentální polutant. *Chemické listy* 103. P 540 – 547.

Kožíšek, F., Pumann, P., 2013: Léčiva v pitné vodě a vliv médií. *Envigogika* 8(3). P 1 – 14.

Kuch, H., Ballschmiter, K., 2001: Determination of Endocrine-Disrupting Phenolic Compounds and Estrogens in Surface and Drinking Water by HRCG-(NCI)-MS in Picogram per Liter Range. *Environmental Science Technology*. P 3201 – 3206.

Kujalová, H. [eds.], 2007: Látky s estrogením účinkem ve vodách. *Chemické listy* 101. P 706 – 712.

Lai, K. [eds.], 2002: The Effects of Natural and Synthetic Steroid Estrogens in Relation to their Environmental Occurrence. *Critical Reviews in Toxicology*, Vol 32(2). P 113 – 132.

Lazúrová, Z., Lazúrová, I., 2013: Environmentálny estrogén bisfenol A a jeho účinky na organizmus človeka. I. interná klinika Lekárskej fakulty UPJŠ a UN L. Pasteura Košice, Slovenská republika. *Vnitřní lékařství*, Vol. 59(6). P 466 – 471.

Liu, X. [eds.], 2014: Occurrence of free estrogens, conjugated estrogens, and bisphenol A in fresh livestock excreta and their removal by composting in North China. *Environ Sci Pollut Res*, vol 21. P 9939 – 9947.

Lommen, E., Mead, J., 2013: Estriol; The ‚Good‘ Estrogen, Advances and Updates in its Clinical Uses. *Journal of Restorative Medicine*. P 45 – 52.

Luo, X. [eds.], 2023: Degradation Performance of Estrogen During Anaerobic Digestion of Pig Mature, Waste and Biomass Valorization. Springer Nature B.V.2023.

Marques, M., Salomao, A., 2015: Estrogenicity and Genotoxicity Detection in Different Contaminated Waters. *Human And Ecological Risk Assessment* 21: An International Journal. Vol 21:7. P 1793 – 1809.

Oziol, L., Bouaicha, N., 2009: First Evidence of estrogenic potential of the cyanobacterial heptotoxins the nodularin-R and the microcystin-LR in cultured mammalian cells. *Journal of Hazardous Material* 174 (2010). P 610 – 615.

Ramírez-Sánchez, M. I. [eds.], 2015: Efectos de los estrogénos como contaminantes emergentes en la salud y el ambiente. *Tecnología y ciencias del agua* 6(5). P 31 – 42.

Shore, L., Shemesh, M., 2003: Naturally produced steroid hormones and their release into the environment. *Pure and Applied Chemistry*, Vol. 75, No. 11-12. P 1859 – 1871.

Silva, N., [eds.], 2011: Cadmium a metalloestrogen: are we convinced? *Journal of Applied Toxicology*. © 2011 John Wiley & Sons, Ltd. Vol. 32. P 318 – 332.

Stoica, A., [eds.], 2000: Activation of Estrogen Receptor- α by the Heavy Metal Cadmium. *Molecular Endocrinology*. Vol 14, No. 4. P 545 – 553.

Stumm-Zollinger, E., Fair, G., 1965: Biodegradation of Steroid Hormones. *Journal Water Pollution Control Federation*, Vol. 37. P 1506 – 1510.

Teka, T. [eds.], 2022: Stilbenes: Source plants, chemistry, biosynthesis, pharmacology, application and problems related to their clinical Application-A comprehensive review. *Phytochemistry, ScienceDirect*, Vol. 197. P 1 – 28.

Verger, P., Leblanc, J., 2003: Concentration of phytohormones in food and feed and their impacts on human exposure. *Pure and Applied Chemistry*, Vol. 75, © IUPAC. P 1873 – 1880.

Wojnarowski, K. [eds.], 2021: Impact of estrogens present in environment on health and welfare of animals. *Animals* 11(7). 2152.

Ying, G., [eds.], 2002: Occurrence and fate of hormone steroids in environment. *Environment International*, Vol. 28. P 545 – 551.

Young, F., [eds.], 2008: Effects of blue-green algal toxin cylindrospermopsin (CYN) on human granulosa cells in vitro. *Reproductive Toxicology* 25 (2008). P 374 – 380.

Internetové zdroje – články na webových portálech:

Franclová, K. 2019: Estrogenní hormony (online) [cit. 2024.01.02]. Dostupné z: <https://botanic.cz/slovník-pojmu/estrogenni-hormony>

Hájková, E., Navrátilová, M., 2019: Jaký vliv mají fytoestrogeny na naše zdraví. (online) [cit. 2024.01.15]. Dostupné z: <https://www.evahajkova.com/cs/jaky-vliv-maji-fytoestrogeny-na-nase-zdravi/>

Halusková, V., 2023: Co jsou xenoestrogeny a jaký je jejich dopad na naše zdraví? (online) [cit. 2023.12.20]. Dostupné z: <https://www.brainmarket.cz/nase-novinky/co-jsou-xenoestrogeny-a-jaky-je-jejich-dopad-na-nase-zdravi/>

Haničincová, I., Válek, P., 2010: Hexabrombifenyl (HBB). Arnika. (online) [cit. 2024.03.04]. Dostupné z: <https://arnika.org/toxicke-latky/databaze-latek/hexabrombifenyl-hbb>

Higdon, J., 2004: Lignany. Linus Pauling Institute, Oregon State University, Institut Linuse Paulinga. (online) [cit. 2024.01.16]. Dostupné z: <https://lpi.oregonstate.edu/mic/dietary-factors/phytochemicals/lignans>

Horáková, M., 2023: Co jsou to flavonoidy, jejich rozdělení a výskyt v potravinách? Jaké jsou jejich účinky? (online) [cit. 2024.01.05]. Dostupné z: <https://medicspark.cz/magazin/co-jsou-to-flavonoidy-jejich-rozdeleni-a-vyskyt-v-potravinach-jake-jsou-jejich-ucinky/>

Kleger, L., Válek, P., 2022: Alkylfenoly. Arnika. (online) [cit. 2024.01.23]. Dostupné z: <https://arnika.org/toxicke-latky/databaze-latek/alkylfenoly>

Kolík, L., 2019: Zajímavosti ze světa organické chemie – deriváty: Estradiol. (online) [cit. 2024.01.23]. Dostupné z: <https://www.lukaskolik.cz/zajimavosti-z-organiky-estradiol/>

Nezbeda, P., 2018: Klinická biochemie a laboratorní medicína. (online) [cit. 2024.01.15]. Dostupné z: <https://postudium.cz/course/view.php?id=416>

Pačes, T., 2011: Ženské hormony v povrchových vodách, čistíčkách a pitné vodě v Praze. Česká geologická služba. (online) [cit. 2024.01.18]. Dostupné z: <https://veverrka.signaly.cz/1110/zenske-hormony-v-povrchovych-vodach>

Petrлік, J., Válek, P., 2010: Polychlorované bifenyly. Arnika. (online) [cit. 2024.01.30]. Dostupné z: <https://arnika.org/toxicke-latky/databaze-latek/polychlorovane-bifenyly-pcb>

Šaríková, M., 2021: Nejdůležitější ženský hormon estrogen: Funkce a jak ho doplnit přírodní cestou. (online) [cit. 2024.01.08]. Dostupné z: <https://www.bezhladoveni.cz/nejdulezitejsi-zensky-hormon-estrogen-funkce-a-jak-ho-doplnit-prirodni-cestou/>

Internetový zdroj – webové stránky institucí:

NEUMM, © 2008: Estrogeny – metabolismus a tkáňové účinky, odborný časopis o Evropské medicíně. 2:2008. (online) [cit. 2024.03.04]. Dostupné z: <http://neumm.cz/archiv/436/estrogeny-metabolismus-a-tkanove-ucinky.html>

Centrum vody, ©2024: Voda z kohoutku (online) [cit. 2024.01.15]. Dostupné z: https://www.centrumvody.cz/Voda-z-kohoutku-c10_22_2.htm

Sinice, ©2024: Centrum pro cyanobakterie a jejich toxiny (online) [cit. 2024.02.13]. Dostupné z: <http://www.sinice.cz/>

Ministerstvo průmyslu a obchodu, ©2024: Základní informace o povinnostech vyplývajících z nařízení REACH (online) [cit. 2024.03.11]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/>

Ministerstvo životního prostředí, ©2023: Stockholmská úmluva o perzistentních organických polutantech (online) [cit. 2024.03.11]. Dostupné z: <https://www.mzp.cz/>

Zákony pro lidi, ©2024: Aktuální znění zákonů. (online) [cit. 2024.03.11]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/>

Legislativní materiály:

Nařízení č. 850/2004 o perzistentních organických polutantech, v platném znění pod číslem 2019/636 a 2019/1021.

Nařízení č.1907/2006 o registraci, hodnocení, povolování a omezování chemických látek a o zřízení Evropské agentury pro chemické látky, v platném znění pod číslem 2021/2045.

Nařízení Evropské rady a parlamentu č. 528/2012 o dodávání biocidních přípravků na trh a jejich používání, v platném znění.

Nařízení Komise 1488/94/ES, v platném znění.

Nařízení REACH zahrnující směrnice a nařízení v platném znění.

Rozhodnutí komise EU 2023/458 o neschválení některých účinných látek přidávaných do biocidních přípravků, v platném znění.

Rozhodnutí Rady 2006/507/ES o uzavření Stockholmské úmluvy o perzistentních organických znečišťujících látkách jménem Evropského společenství v platném znění.

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2003/105/ES, v platném znění.

Směrnice Komise 91/155/EHS, 93/67/EHS, 93/105/ES a 2000/21/ES, v platném znění.

Směrnice Rady 1999/45/ES a o zrušení nařízení Rady (EHS) č. 793/93, v platném znění.

Směrnice Rady 76/769/EHS, v platném znění.

Směrnice Rady 82/501/EHS, v platném znění.

Směrnice Rady 96/82/ES, v platném znění, úprava směrnice ve vyhlášce 244/2023 Sb. a změny spočívají v upřesnění a doplnění požadavků v bezpečnostních dokumentech.

Vyhláška 153/2016 Sb., o stanovení podrobností ochrany kvality zemědělské půdy a o změně vyhlášky č. 13/1994 Sb., kterou se upravují některé podrobnosti ochrany zemědělského půdního fondu, v platném znění.

Vyhláška č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody, v platném znění.

Vyhláška č. 271/2019 Sb. o stanovení postupů k zajištění ochrany zemědělského půdního fondu, v platném znění.

Zákon č. 114/1992 Sb. o ochraně přírody a krajiny, v platném znění.

Zákon č. 184/2016 Sb. o ochraně zemědělského půdního fondu, v platném znění.

Zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší, v platném znění.

Technické normy:

ČSN EN ISO 19458 (757801) Jakost vod – Odběr vzorků pro mikrobiologickou analýzu

11. Seznam obrázků

Obr.1: Implementované zkratky pro sloučeniny (Kuch & Ballschmiter, 2001)

Obr.2: Chemický vzorec tří základních druhů estrogenních hormonů (Kujalová, et. al., 2007)

Obr.3: Chemické vzorce hormonů skupiny Isoflavonoidů (Kujalová, et. al., 2007)

Obr.4: Chemický vzorec kumestrolu, hlavního zástupce ze skupiny Kumestanů (Kujalová, et. al., 2007)

Obr.5: Chemické vzorce látek ze skupiny Lignanů (Kujalová, et. al., 2007)

Obr.6: Chemická struktura dvou zástupců stilbenů (Biopropect, 2015)

Obr.7: Chemické vzorce bisfenolů (Lazúrová & Lazúrová, 2013)

Obr.8: Chemický vzorec syntetického hormonu ethynylestradiolu (Kujalová, et. al., 2007)

Obr.9: Chemický vzorec dvou typů Mykoestrogenů (Kujalová, et. al., 2007)

Obr.10: Příloha směrnice 2003/105/ES (SEVESO III), oddíl E – nebezpečnost pro ŽP

Obr.11: Graf znázorňující výskyt jednotlivých typů estrogenů ve vzorcích kompostu různých typů (Liu, et. al., 2014)

12. Seznam tabulek

Tabulka č.1: Koncentrace fytoestrogenů v potravinách (Verger & Leblanc, 2003).

Tabulka č.2: Fyzikální a chemické vlastnosti steroidních hormonů (Briciu, et.al., 2009).

Tabulka č.3: Sorpční schopnost a doba rozpadu steroidních hormonů (Ying, et. al., 2002).

Tabulka č.4: Účinky environmentálních estrogenů na lidský organismus (Lazúrová & Lazúrová, 2013).

Tabulka č.5: Preventivní hodnoty obsahů rizikových prvků v zemědělské půdě zjištěné extrakcí lučavkou královskou (mg.kg⁻¹ sušiny) dle přílohy č.1 zákona 153/2016 Sb. o stanovení podrobností ochrany kvality zemědělské půdy (Zdroj: Zákony pro lidi, Právo Evropské unie, online).

Tabulka č.6: Preventivní hodnoty obsahů rizikových látek v zemědělské půdě (mg.kg-1 sušiny) dle přílohy č.1 zákona 153/2016 Sb. o stanovení podrobností ochrany kvality zemědělské půdy (Zdroj: Zákony pro lidi, Právo Evropské Unie, online).

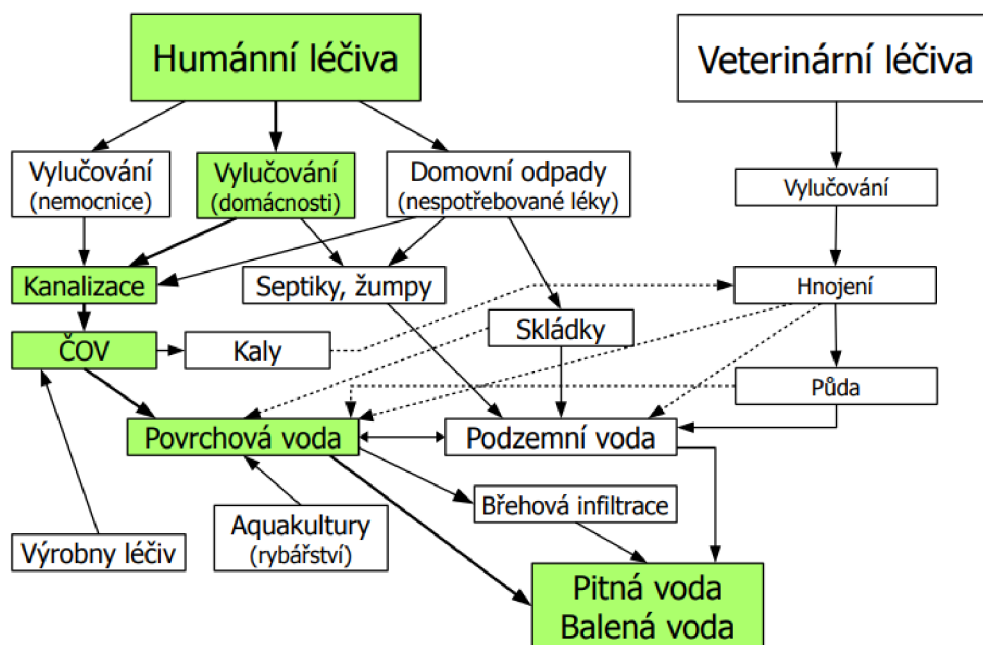
Tabulka č.7: Imisní limity stanovené dle zákona 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší, příloha 1 (Zákony pro lidi, Právo Evropské unie, online).

Tabulka č.8: Koncentrace hormonů naměřené v říčkách v Německu při výzkumu v roce 2001 (Kuch & Ballschmiter, 2001).

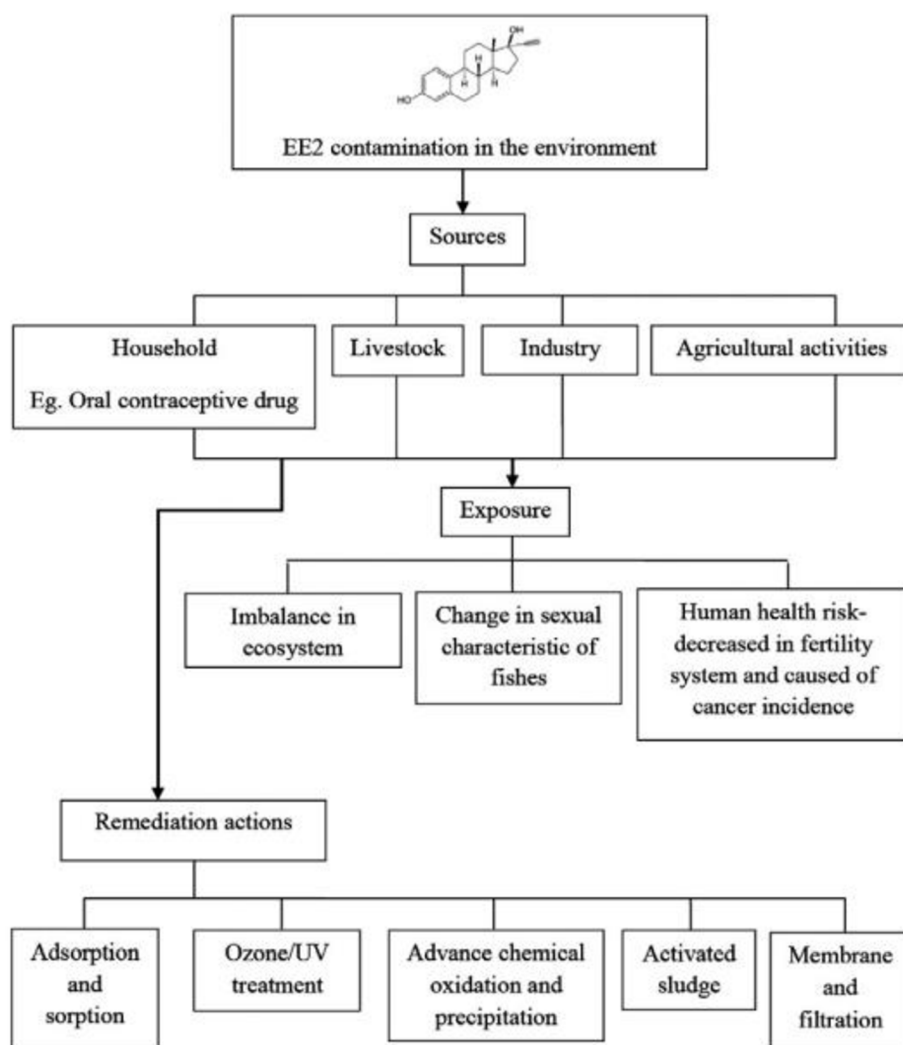
Tabulka č.9: Koncentrace naměřené v odpadních vodách v Německu (Kuch & Ballschmiter, 2001).

Tabulka č.10: Koncentrace naměřené v odpadních vodách v Německu (Kuch & Ballschmiter, 2001).

13. Přílohy



Příloha 1 – Schéma možných cest výskytu léčiv ve vodě (Kožíšek & Pumman, 2013)



Příloha 2 – Diagram výskytu a odstranění ethinyestradiolu ze složek životního prostředí (Aris, et.al., 2014)