

Drogy v komunálních odpadních vodách

Hana Lapšanská

Bakalářská práce
2025



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav inženýrství ochrany životního prostředí

Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Hana Lapšanská
Osobní číslo: T23789
Studijní program: B0711A130009 Materiály a technologie
Specializace: Ochrana životního prostředí
Forma studia: Kombinovaná
Téma práce: Drogy v komunálních odpadních vodách

Zásady pro vypracování

Zpracujte literární rešerši na výskyt nejčastěji užívaných psychoaktivních látek a jejich metabolitů v komunálních odpadních vodách.
Provedte studii vlivu metabolitů těchto látek na vodní ekosystém.

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

Hubená, P.; Horký, P.; Grabic, R.; Grabicová, K.; Slavík, O.; Randák, T. Environmentally Relevant Levels of Four Sancho Santos, M. E.; Grabicová, K.; Steinbach, C.; Schmidt-Posthaus, H.; Šálková, E.; Kolářová, J.; Vojs Staňová, A.; Grabic, R.; Randák, T. Environmental Concentration of Methamphetamine Induces Pathological Changes in Brown Trout (*Salmo Trutta Fario*). Chemosphere 2020, 254, 126882.

Další vědecké databáze

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Marie Dvořáčková, Ph.D.**
Ústav inženýrství ochrany životního prostředí

Oponent bakalářské práce: **Mgr. Petra Jančová, Ph.D.**
Ústav inženýrství ochrany životního prostředí

Datum zadání bakalářské práce: **2. ledna 2025**

Termín odevzdání bakalářské práce: **16. května 2025**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

doc. Ing. Jaroslav Filip, Ph.D.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 17. února 2025

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že

- odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., v platném znění bez ohledu na výsledek obhajoby;
- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a bude dostupná k nahlédnutí;
- jedno vyhotovení bakalářské práce v listinné podobě bude ponecháno Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně k uložení;
- 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 (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – bakalářskou práci – nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá; neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji, že

- jsem na bakalářské práci pracoval(a) samostatně a použitou literaturu jsem řádně citoval(a); v případě publikace výsledků budu uveden(a) jako spoluautor;
- odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne

.....
podpis autora

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce přibližuje problematiku přítomnosti nelegálních drog a jejich metabolitů v komunálních odpadních vodách. Práce je zaměřena na vybrané psychoaktivní látky a jejich metabolické přeměny v lidském těle, jež se dostávají do kanalizačního systému a mohou být využity k odhadu spotřeby drog v populaci pomocí metody analýzy odpadních vod. Práce dále poukazuje na výskyt těchto látek v evropských městech, jejich chování a stabilitu v kanalizačním systému a účinnost jejich odstranění v čistírnách odpadních vod. Důležitá část je věnována vlivu drog na vodní organismy a možným ekologickým i zdravotním rizikům.

Ze studií vyplývá, že analýza odpadních vod je významným prvkem pro sledování spotřeby drog v populaci, který zároveň slouží jako nástroj pro rychlou identifikaci potenciálních ekologických i zdravotních rizik. Vzhledem k rostoucímu výskytu nelegálních drog se do budoucna očekávají pokroky jak v oblasti analýzy a čistících technologií, tak i v prevenci, a tedy celkovém snižování dopadů drog na životní prostředí.

Klíčová slova: nelegální drogy, metabolit, odpadní voda

ABSTRACT

This bachelor's thesis explores the issue of the presence of illicit drugs and their metabolites in municipal wastewater. The work focuses on selected psychoactive substances and their metabolic transformations in the human body, which enter the sewage system and can be used to estimate drug consumption in the population through the method of wastewater analysis. The thesis further addresses the occurrence of these substances in European cities, their behavior and stability within the sewer system, and the effectiveness of their removal in wastewater treatment plants. A significant part of the thesis is dedicated to the impact of drugs on aquatic organisms and the potential ecological and health risks associated with their presence.

According to various studies, wastewater analysis is a key component in monitoring drug consumption in the population and also serves as a tool for the rapid identification of potential environmental and public health risks. Given the increasing occurrence of illicit drugs, future progress is expected in the fields of analysis and wastewater treatment

technologies, as well as in prevention efforts, ultimately aiming to reduce the overall environmental impact of these substances.

Keywords: illicit drugs, metabolite, wastewater

Děkuji paní Ing. Marii Dvořáčkové, Ph.D. za vedení mé bakalářské práce. Dále bych ráda poděkovala své rodině za jejich trpělivost a podporu v průběhu celého studia.

OBSAH

ÚVOD.....	13
1 VYBRANÉ NELEGÁLNÍ DROGY V ODPADNÍCH VODÁCH.....	14
1.1 KOKAIN.....	14
1.1.1 Charakteristika kokainu	14
1.1.2 Historie kokainu	15
1.2 KANABINOIDY.....	16
1.2.1 Charakteristika konopí	16
1.2.2 Historie konopí.....	17
1.3 METAMFETAMIN	17
1.3.1 Charakteristika metamfetaminu	17
1.3.2 Historie metamfetaminu.....	18
1.4 AMFETAMIN	19
1.4.1 Charakteristika amfetaminu	19
1.4.2 Historie amfetaminu.....	20
1.5 MDMA (EXTÁZE)	20
1.5.1 Charakteristika MDMA	20
1.5.2 Historie MDMA	21
1.6 LSD	22
1.6.1 Charakteristika LSD	22
1.6.2 Historie LSD	23
2 METABOLISMUS DROG.....	24
2.1 METABOLICKÁ PŘEMĚNA KOKAINU.....	24
2.2 METABOLICKÁ PŘEMĚNA KONOPÍ	25
2.3 METABOLICKÁ PŘEMĚNA METAMFETAMINU A AMFETAMINU	26
2.4 METABOLICKÁ PŘEMĚNA MDMA	27
2.5 METABOLICKÁ PŘEMĚNA LSD.....	28
3 SOUČASNÁ DROGOVÁ PROBLEMATIKA.....	31
3.1 TESTOVÁNÍ ODPADNÍCH VOD V EVROPSKÝCH MĚSTECH.....	31
3.2 VÝVOJ SLEDOVANÝCH DROG.....	31
3.2.1 Výskyt kokainu v odpadních vodách evropských měst	33
3.2.2 Výskyt konopí v odpadních vodách evropských měst.....	34
3.2.3 Výskyt amfetaminu a metamfetaminu v odpadních vodách evropských měst	35
3.2.4 Výskyt MDMA v odpadních vodách evropských měst	37
4 STANOVENÍ A OSUD DROG V ODPADNÍCH VODÁCH.....	39
4.1 ANALÝZA DROG V ODPADNÍCH VODÁCH	39
4.1.1 Metody stanovení drog v odpadních vodách	40

4.2	STABILITA DROG V ODPADNÍCH VODÁCH	41
4.3	ÚČINNOST ČISTÍREN ODPADNÍCH VOD PŘI ODSTRAŇOVÁNÍ DROG	41
4.3.1	Proces a fáze čištění odpadních vod při odstraňování drog	43
5.1	Ekotoxikologické účinky na vodní organismy	46
5.2	RIZIKA DROG V ODPADNÍCH VODÁCH PRO ČLOVĚKA	48
5.3	MOŽNOSTI OMEZENÍ A PREVENCE VÝSKYTU DROG V ODPADNÍCH VODÁCH	49
ZÁVĚR.....		50
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY		52
SEZNAM OBRÁZKŮ		59
SEZNAM TABULEK.....		60
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK		61

ÚVOD

V současné době dochází k důraznější sledovanosti zhoršující se situace drogové problematiky. Vzhledem k rostoucí spotřebě psychoaktivních látek je i stále častější jejich výskyt i ve vodních tocích, konkrétně v komunálních odpadních vodách, kde mohou představovat riziko pro vodní organismy i člověka. Jedním z inovativních způsobů, jak se dané problematice přiblížit, je analýza odpadních vod, jež umožňuje sledovat užívání drog na základě přítomnosti jejich metabolitů v odpadních vodách. Tato metoda poskytuje důležité informace o spotřebě nelegálních látek v jednotlivých oblastech, jejich změnách v reálném čase, ale i jaké mohou být při jejich užívání dopady na životní prostředí.

Tato práce se zabývá problematikou výskytu drog a jejich metabolitů v odpadních vodách. Nejprve je v práci popsána charakteristika vybraných drog, jejich účinky na organismus a metabolické procesy probíhající v lidském těle. Dále se práce zabývá současnou problematikou užívání drog v evropských zemích, kde je přehled nejčastěji užívaných drog a vývoj této problematiky v posledních letech. Následně se práce zabývá analýzou drog v odpadních vodách a možnostmi jejich odstranění v čistírnách odpadních vod. Důležitou součástí práce je také zhodnocení dopadů drog na vodní organismy a lidské zdraví, stejně jako návrhy možných řešení a preventivních opatření.

Cílem práce bylo přiblížit aktuální problematiku přítomnosti drog a jejich metabolitů v komunálních odpadních vodách, poukázat na význam jejich monitorování a zhodnotit ekologické i zdravotní rizika s jejich přetrváváním ve vodním prostředí.

1 VYBRANÉ NELEGÁLNÍ DROGY V ODPADNÍCH VODÁCH

Tato kapitola se zaměřuje na vybrané nelegální látky detekované v komunálních odpadních vodách, jejich obecnou charakteristiku a také historický vývoj. Konkrétně byly do práce vybrány následující drogy: kokain, konopí, amfetamin, metamfetamin, MDMA a LSD. Výběr těchto látek vychází z jejich častého výskytu ve studiích analýzy odpadních vod a jejich dopadu na lidské zdraví a životní prostředí. Psychoaktivní drogy jsou látky, které po přijetí organismem ovlivňují centrální nervovou soustavu, tedy celkové vědomí, vnímání, náladu i emoce. Drogy mají stimulační (zrychlení srdečního tepu, zvýšení energie), tlumivé (zpomalují reakce, snižují úzkost) či halucinogenní účinky (zkreslení vnímání reality, halucinace). Mohou způsobovat psychickou i fyzickou závislost. [1]

1.1 Kokain

1.1.1 Charakteristika kokainu

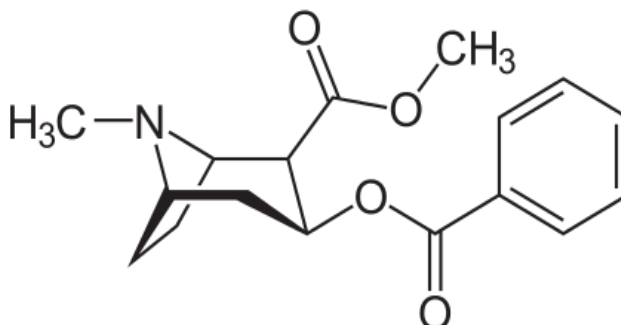
Jedná se o alkaloid, který se získává z listů keře *Erythroxylon koka* (koka pravá). Nejčastěji se vyskytuje v podobě bílého prášku, proto je označován jako cukr, sníh či pudr. V krystalické podobě se nazývá crack, což je koncentrovaná směs vzniklá z kokainu, jedlé sody a vody. [2]

Kokain patří mezi stimulancia, tzn. látky s povzbuzujícím účinkem na mozek a nervovou soustavu. Nástup účinku se tělesně projevuje vzestupem krevního tlaku, zrychlením pulsu, rozšířením zornic a pocením. Při prvním užití jsou pocity většinou spíše nepříjemné, k euforii dochází až po opakovaném užívání. Krátkodobý uživatel je velmi energický, vitální, a nepocítuje únavu. Kokain vyvolává pohodu, veselost a příjemný pocit duševní i tělesné síly a energie. [3]

Kokain se řadí mezi nejnávykovější drogy na světě. Nejčastější způsob užívání kokainu je tzv. sniffing (šňupání), kdy je prášek vstřebán do krve prostřednictvím tkání uvnitř nosu. Může být také pozřen, vetřen do dásní či injekčně aplikován. Množství přijaté drogy se pohybuje od desetin gramů až po několik gramů denně. Po požití se účinky dostaví během několika sekund a ustupují po cca 30 minutách. [4]

Dlouhodobé užívání kokainu je spjato s nespavostí, nechutenstvím, výrazným úbytkem váhy, svalovými křečemi, úzkostí a vznikem psychické závislosti. Hrozí zde snadné předávkování, hyperaktivita, paranoia, agresivita, halucinace i poruchy paměti.

Užívání kokainu může dále vést i ke smrti, a to z důvodu selhání dýchacího systému, mrtvice, krvácení do mozku či infarktu. [5]



Obrázek 1: Strukturální vzorec kokainu (zdroj: Dvořák, 2022)

1.1.2 Historie kokainu

Stimulační účinky kokainu jsou známy už více než 1000 let. Původně byl získáván z keře koky (*Erythroxylum coca*), který roste v Jižní Americe. Domorodé jihoamerické kultury, jako například Inkové, žvýkaly listy koky ke zvýšení energie, potlačení únavy a snížení pocitu hladu, což bylo užitečné zejména ve vysokohorských oblastech And.

V 19. století se kokain dostal do Evropy a Severní Ameriky a jeho popularita rychle vzrostla. V roce 1860 jej izoloval německý chemik Albert Niemann, čímž umožnil jeho širší studium a použití. Ve druhé polovině 19. století se stal populárním jako lokální anestetikum a byl propagován v medicíně. Mezi slavné zastánce kokainu patřil například Sigmund Freud, který jej doporučoval k léčbě deprese a závislosti na morfiu.

Koncem 19. století byl kokain běžně obsažen v komerčních produktech, včetně v raných verzích Coca-Coly, která původně obsahovala malé množství kokainu z listů koky. Vzhledem k jeho návykovým účinkům byl kokain v roce 1914 zařazen mezi regulované látky v USA. Od té doby kokain prošel několika vlnami popularity a epidemií užívání, zejména v 70. a 80. letech 20. století. V této době vznikla kouřitelná forma drog (crack), která měla silnější účinky a vedla k masovému nárůstu závislosti. [6]

1.2 Kanabinoidy

1.2.1 Charakteristika konopí

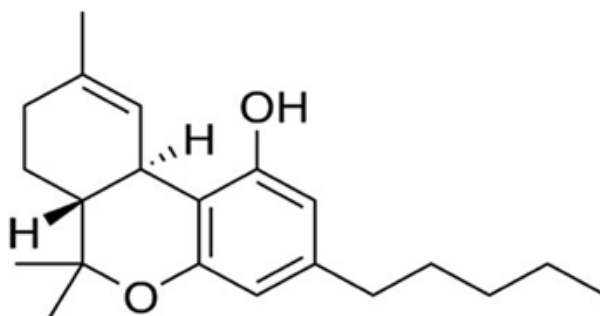
Kanabinoidy se řadí mezi látky s halucinogenním účinkem a jsou obsažené v rostlinách konopí (*Cannabis*). Konopí obsahuje mnoho chemických látek, hlavní složkou je však THC (delta-9-tetrahydrokanabinol), který je nositelem halucinogenních účinků. Účinek drogy vždy závisí na množství THC v konopném přípravku, to se však v jednotlivých dávkách může podstatně lišit. [7]

Mezi konopné drogy patří především marihuana a hašiš. Marihuana představuje označení pro sušené květenství samičí rostliny konopí, lidově se označuje například jako tráva, joint, hulení a další. Zatímco hašiš je konopná pryskyřice tmavě zelené až hnědé či černé barvy. Je lidově označován například jako haš, šit nebo bahno a je přibližně šestkrát silnější než marihuana. [8]

Marihuana je nejrozšířenější nelegální drogou na světě. Užívá se převážně kouřením, a to ve formě cigarety (jointa), také se ale přidává do pokrmů či nápojů. Kouřením se dostavuje účinek většinou během několika minut a trvá přibližně 3 hodiny. Při konzumaci jídla či nápoje nastupuje účinek pomaleji a později (i po několika hodinách), ale trvá podstatně déle, a to 4-12 hodin. THC způsobuje změny nálady, chování i vnímání. Dochází k porušení kontaktu s realitou, objevuje se mírná euforie, halucinace (nejčastěji zrakové), emoční změny (nepřirozená veselost, rozjařenost). Uživatel pociťuje sucho v ústech, výrazně vyšší chuť k jídlu a pocit hladu. [7]

Konopné drogy jsou označovány jako iniciační drogy s tím, že jejich efekt užívání po čase uživateli nestačí a přechází na drogy s razantnějším efektem. Dlouhodobé, frekventované užívání marihuany negativně ovlivňuje kognitivní schopnosti, především paměť, koncentraci a učení se. Kouř marihuany obsahuje o 50 až 70 % více karcinogenních látek než tabákový kouř. [9]

Dlouhodobé kouření marihuany způsobuje zánětlivé onemocnění dýchacích cest, bronchitidu či až rakovinu plic. Z důvodu zvýšeného tepu a krevního tlaku je marihuana velmi riziková pro uživatele s problémy se srdcem a krevním oběhem. Dále může docházet ke vzniku psychické závislosti, přičemž se někdy objevuje odvykací stav, který doprovází projevy jako úzkost, deprese, podrážděnost, agresivita, bolest svalů, poruchy spánku a soustředění, nechutenství, třesy a záchvaty. [10]



Obrázek 2: Strukturální vzorec THC (zdroj: Busardò, 2021)

1.2.2 Historie konopí

Léčebné využití konopí sahá až do starověké Číny kolem roku 2800 př. n. l., kde se používal prostředek ke ztišení bolesti a léčbě nemocí. V moderní medicíně se začalo opět využívat v 19. století díky irskému lékaři W. B. O'Shaughnessymu, který studoval a popsal jeho účinky při léčbě různých nemocí. V 19. století proběhla výrazná změna v lékařství směrem k využívání rostlinných látek jako léčiv, včetně konopí.

Ve 20. století se situace zásadně změnila, kdy bylo konopí postupně regulováno a zařazeno mezi nejpřísněji kontrolované látky, což znamenalo také zákaz jejich léčebného využití. Dnes je léčebné konopí legální v mnoha zemích, například v Kanadě, Německu, Austrálii a dalších. Navzdory rostoucímu uznání zůstává léčebné konopí předmětem kontroverzí, od nedostatečné vědecké shody, přes legislativu, až po dostupnost pro pacienty. [11]

1.3 Metamfetamin

1.3.1 Charakteristika metamfetaminu

Metamfetamin (MA) je jednou z nejrozšířenějších nelegálních drog po celém světě, řadí se do stejné třídy jako kokain a další účinné drogy distribuované na ulici. Jeho popularita je dána především dobrou dostupností a relativně nízkou cenou. [12]

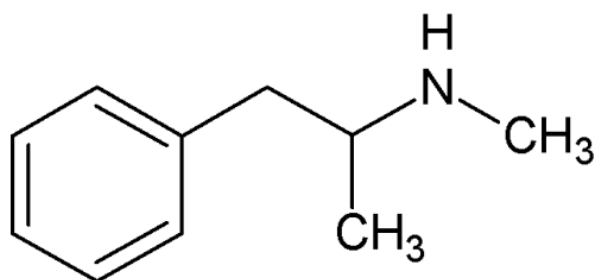
V čisté podobě má formu mikrokrystickkého bílého prášku, bez zápachu, hořké chuti. Na černém trhu bývá často zbarven do žluta či fialova, protože obsahuje zbytky látek používaných při domácí výrobě. Je známý pod celou řadou přezdívek jako perník, péčko, peří a další. Jedná se o nebezpečnou a účinnou chemickou látku a jako je tomu i u jiných drog, jde v podstatě o jed, který nejprve působí jako stimulant, ale pak začne systematicky

ničit tělo. Účinek pervitinu je velmi silný a řada uživatelů se stává závislými od prvního užití. Z hlediska léčení se tedy jedná o jednu z nejtěžších drogových závislostí. [13]

Tuto drogu lze užívat šňupáním, kouřením, nitrožilně či orálně v kapslích. Běžné dávky se pohybují od 50 do 250 mg. Nástup účinku se dle způsobu užití liší, při nitrožilním podání se dostavuje účinek ihned, kouřením do 2 minut, u šňupání to trvá v rozmezí 5 až 10 minut a při orální aplikaci do 1 hodiny. Účinky po podání pervitinu obvykle trvají 6 až 8 hodin, mohou ale trvat klidně až 24 hodin. [4]

Pervitin se řadí mezi stimulanty. Užití vede k euforii, snižuje únavu, urychluje tok myšlenek, zvyšuje pozornost a koncentraci. Zvyšuje se výkonnost celého organismu, pocit sebejistoty a schopnost empatie. Avšak po odeznění účinku se dostavuje fáze deprese, hluboké pocity vyčerpání a celková skleslost. [4]

Opakované užívání této drogy snižuje přirozený pocit hladu, závislí se obvykle potýkají s extrémním úbytkem váhy. Další negativní zahrnují nespavost, hyperaktivitu, zmatení, halucinace, úzkost i paranoii. Při dlouhodobém užívání může pervitin způsobit nevratná poškození. Zvyšuje krevní tlak a srdeční tep, poškozuje cévy v mozku, v důsledku toho pak často dochází k mrtvici. Dále způsobuje nepravidelnost srdečního rytmu, který může mít za následek srdeční kolaps i smrt. Častými poškozenými orgány bývají také játra, ledviny a plíce. [14]



Obrázek 3: Strukturální vzorec metamfetaminu (zdroj: Dvořák, 2022)

1.3.2 Historie metamfetaminu

Historie metamfetaminu sahá do roku 1885, kdy byl poprvé izolován efedrin, aktivní alkaloid z rostliny *Ephedra sinica*, který se stal významnou látkou pro vývoj syntetických stimulantů. V roce 1919 japonský chemik Akira Ogata jako první syntetizoval metamfetamin z efedrinu, čímž vytvořil látku s výrazně silnějším účinkem na centrální nervový systém.

Ve 30. a 40. letech 20. století se metamfetamin začal používat v medicíně jako součást inhalátorů proti nachlazení, později formou tablet na únavu, deprese, poruchy soustředění či hubnutí. Během 2. světové války byl běžně podáván vojákům pro zvýšení výkonnosti a potlačení spánku a hladu.

Od 60. let docházelo k rostoucím obavám o zdravotních a psychických rizicích, došlo tak k omezení legální výroby a nasazení přísnější regulace. V 80. letech se objevil nový kouřitelný typ (crystal meth), který vedl ke větší vlně zneužívání. Dnes představuje metamfetamin jednu z nejnebezpečnějších návykových látek a globálním rozsahem. [15]

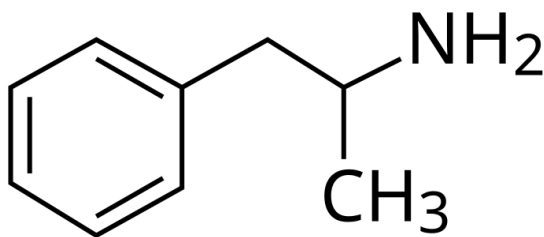
1.4 Amfetamin

1.4.1 Charakteristika amfetaminu

Amfetaminy se používá jako označení pro skupinu drog zahrnující benzedrin, dexedrin a metyl amfetamin. Amfetaminy jsou uměle vyrobené látky, dle jejich působení na psychiku se řadí mezi stimulační látky. Na černém trhu se amfetamin objevuje ve formě bílého prášku či krystalků, lidově je označován pod pojmem speed. Svou chemickou strukturou je příbuzný adrenalinu, zvyšuje srdeční tep i krevní tlak, a tím zvyšuje výkonnost lidského organismu. [4]

Při požití amfetaminu dochází ke změně myšlení a psychiky, ke vznětlivosti, agresivitě, násilným projevům i kolísání nálad. Uživatelé doprovází nízké sebevědomí, nespavost, hluboké deprese, úzkosti i paranoidní psychóza doprovázená halucinacemi. Obecně je užívání amfetaminů velmi rizikové, největší hrozba se váže k injekční aplikaci. Prostřednictvím sdílení jehel se uživatelé vystavují vysokému riziku přenosu a nakažení virovým onemocněním jako je HIV nebo žloutenka typu C. [16]

Konzumace amfetaminů může vést k anorexii a poškození zubů, následkem toho je pak sucho v ústech a dochází ke vzniku vředů. Velmi vysoké dávky způsobují poruchu srdečního rytmu, slinění, přehřátí, křeče. U injekční aplikace může docházet k mrtvici, kómatu i smrti. [17]



Obrázek 4: Strukturální vzorec amfetaminu (zdroj: Dvořák, 2022)

1.4.2 Historie amfetaminu

Amfetamin byl poprvé syntetizován v roce 1887 rumunským chemikem Lazarem Edeleanuem, který ale nezaznamenal jeho farmakologické účinky, protože cílem jeho výzkumu byly syntetické barviva. Skutečný farmakologický význam amfetaminu se ukázal až v roce 1929, kdy americký chemik Gordon Alles provedl první systematické testy jeho účinků a zaznamenal fyzické ale i psychické reakce, jako pocity euforie a zvýšenou bdělost.

V roce 1933 byl amfetamin uveden na trh pod názvem Benzedrin a získal lékařské využití při léčbě deprese, narkolepsie, poruch pozornosti i redukce hmotnosti. Brzy se však ukázalo, že dlouhodobé užívání vede k vyčerpání, impulzivité a závislosti. V důsledku nelegálního užívání a lékařských nadužívání došlo v 70. letech k jeho regulaci a útlumu v lékařství. Přesto se amfetaminy jako léky udržely a jsou stále předepisovány a opět hojně užívány, i když s přísnější kontrolou [17]

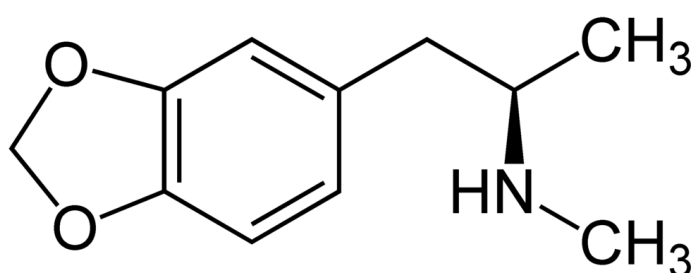
1.5 MDMA (extáze)

1.5.1 Charakteristika MDMA

Jedná se o nelegální látku, která je však jednou z nejpopulárnějších drog u dnešní mládeže. K sehnání je v podobě krystalků, má typickou vůni, silnou hořkou chuť a narůžovělou až nahnědlou barvu. Na trhu je dostupná ve formě různě barevných tabletek s vyraženým logem firmy, smajlíky či srdíčky. Lidově se nazývá například éčko, smajlík či pilulka lásky. Extáze svým účinkem spadá na hranici mezi stimulancia a psychedelika. Obsahuje halucinogeny, které působí na mysl tak, že uživatel vidí a cítí věci, které nejsou skutečné. [18]

Dávkování této drogy se pohybuje mezi 80 až 150 mg. Na trhu se však začínají více objevovat tablety, které v sobě mají nebezpečné množství MDMA (200 - 300 mg), což se stává riskantní pro uživatele, kteří si nemohou složení látky ověřit. Po podání drogy nastupuje účinek přibližně po 30 minutách, poté ustupuje po 5 až 7 hodinách. [4]

Extáze tlumí přirozené varovné signály, které jsou tělem vysílané do mozku. V důsledku toho uživatel podstupuje riziko, že překoná své fyzické meze a výdrž. Také zpomaluje myšlení, může také docházet k nevolnosti a zmatenosti, v některých případech mají uživatelé problém vymoci se. K tělesným účinkům patří dále křeče v čelistech a napětí kosterního svalstva. Mezi nejzávažnější komplikace při požití extáze patří hypertermie, tedy přehřátí organismu, ke kterému dochází při zvýšené fyzické aktivitě (celonoční tančení). Uživatel nepocítuje žízeň, zvyšuje se u něj krevní tlak, teplota a pocení. V tomto stavu většinou dochází ke ztrátě vědomí a při nedostatečné pomoci následuje smrt. [19]



Obrázek 5: Strukturální vzorec MDMA (zdroj: Sprega, 2024)

1.5.2 Historie MDMA

MDMA bylo poprvé syntetizováno v roce 1912 chemikem Dr. Antonem Köllischem ve firmě Merck v Německu. Cílem studie nebyla syntéza nové psychoaktivní látky, ale MDMA vzniklo jako vedlejší produkt při pokusu syntetizovat hydrastidin, který se využívá ke stažení cév a zastavení krvácení. V roce 1914 si Merck nechal patentovat výrobní proces MDMA, ale k žádnému farmakologickému testování ani využití nedošlo.

Větší zájem o MDMA přišel až ve 40. a 50. letech 20. století, kdy bylo několikrát resyntetizováno, také v rámci vojenského výzkumu USA při pokusu o vývoj tzv. „truth drug“ pro výslechy. Ke skutečnému zlomu však nastalo až v 70. letech, kdy se o MDMA začal zajímat americký chemik Alexander Shulgin, který ho nejen znovu syntetizoval, ale také navrhl jeho využití v psychoterapii pro jeho schopnost prohlubovat empatii a otevřenost. Od 80. let se MDMA masivně rozšířilo jako rekreační a taneční droga, díky čemuž je stále velmi populární i dnes. [20]

1.6 LSD

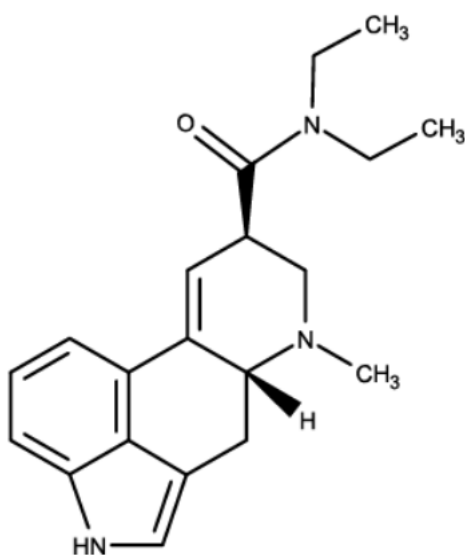
1.6.1 Charakteristika LSD

LSD je jednou z nejúčinnějších chemických látek měnících stav vědomí, řadí se do skupiny halucinogenních drog. Vyskytuje se formě krystalů a častěji v podobě tzv. tripů, což jsou malé čtverečky s potiskem napuštěné tekutinou či gelem. Méně časté jsou pak barevné pilulky napuštěné LSD. Účinnou látkou je diethylamid kyseliny lysergové (LSD-25). Na českém černém trhu se LSD vyskytuje převážně ve formě čiré tekutiny. Ta se dá na rozdíl od napuštěných tripů lépe a přesněji dávkovat. [4]

Pro tuto drogu je charakteristické jen příležitostné užívání, jako jednotlivé experimenty. Nejčastějším způsobem užití je rozpuštění látky v dutině ústní, poměrně dobře se také vstřebává kůží, injekční aplikace je výjimečná. Běžná rekreační dávka se pohybuje kolem 50 až 400 µg. První účinky jsou pociťovány 30 až 90 minut po požití drogy a mohou trvat 10 až 12 hodin, i při velmi malém množství. [21]

Nástup účinku doprovází rozšířené zorničky, mírné chvění, neschopnost ovládat své pohyby, střídání změny teploty lidského těla, závratě či nevolnost. Vyšší dávky mohou způsobovat extrémní změny nálad, a to od stavů naprosté blaženosti až po děsivé stavy strachu o život. Uživatel pak není schopen rozeznat, zda se jedná o realitu nebo jde o účinek drogy. Specifickým rizikem u halucinogenů je tzv. bad trip, což je mimořádný stav intenzivní hororové halucinace. Tento stav nelze často zastavit a může trvat i více než 12 hodin. Proto je rizikové vstupovat do intoxikace LSD s úzkostí či dalšími psychickými problémy. Dalším rizikem jsou také tzv. flashbacks, jedná se o návrat stavu prožitého při intoxikaci s určitým časovým odstupem. [22]

U dlouhodobých uživatelů LSD se mohou projevit dlouhotrvající psychózy a těžké deprese. Protože se tato droga ukládá v těle, uživatelé si vytvářejí určitou odolnost a při každém dalším užití si zvyšují dávky, aby dosáhli stejně silného účinku. To ale pak zvyšuje riziko špatného tripu. Doposud nebyl u LSD popsán případ předávkování s následkem smrti, nevyvolává totiž takovou závislost, jakou známe u jiných psychoaktivních látek. [23]



Obrázek 6: Strukturální vzorec LSD (zdroj: Dvořák, 2022)

1.6.2 Historie LSD

LSD bylo poprvé syntetizováno v roce 1938 švýcarským chemikem Albertem Hofmannem ve farmaceutické firmě Sandoz. Původně se snažil získat deriváty námelových alkaloidů pro léčbu migrény, ale vytvořil látku známou jako LSD-25 (dřívější označení), avšak nepovažoval ji za zajímavou. Až o 5 let později, v roce 1943, Hofmann znovu syntetizoval LSD a při manipulaci s ní nechtěně absorboval malé množství látky přes kůži. Následovala první popsaná zkušenost s psychedelickými účinky LSD, která vedla k detailnějšímu výzkumu.

V 50. letech se LSD testovalo jako nástroj v psychoterapii, konkrétně při léčbě deprese, úzkosti, závislostí a posttraumatických poruch a také jako prostředek, který umožňuje lépe porozumět duševním poruchám. V 60. letech bylo LSD rozšířeno mimo vědeckou komunitu, nejprve mezi umělci a intelektuály, později získalo kultovní status v rámci kontrakulturního hnutí. Jeho popularita však vyvolala obavy z nekontrolovaného užívání a v roce 1968 bylo užívání LSD ve Spojených státech zakázáno. Přesto však výzkum psychedelik nebyl nikdy úplně zastaven a dnes je využíván jako slibný nástroj při léčbě duševních poruch. [21]

2 METABOLISMUS DROG

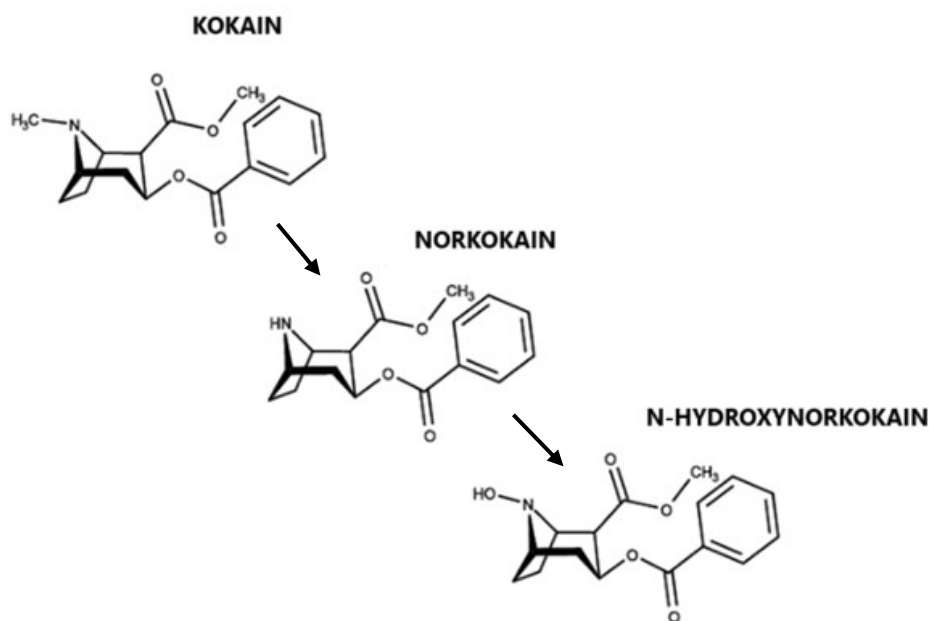
Metabolismus drog je soubor biochemických procesů, kterými dochází k přeměně léčiv a cizorodých látek v těle na vhodnější formy k vyloučení. Principem metabolismu je změna struktury látky s cílem omezit vstup do dalších orgánů a tkání, snížit její potenciální toxicitu a usnadnit její eliminaci. Takto vznikají nové látky (metabolity), které mají odlišné vlastnosti, jinou biologickou aktivitu i jiné chování v organismu. Metabolismus se odehrává především v játrech, protože se zde nachází nejvíce enzymů odpovědných za biotransformaci. Látky jsou vylučovány především močí či žlučí. [24]

2.1 Metabolická přeměna kokainu

Metabolismus kokainu se skládá z několika klíčových biochemických kroků, během kterých se kokain přeměňuje na aktivní a neaktivní metabolity. Kokain je primárně metabolizován v játrech pomocí enzymů, především esteráz a cytochromu P450 (CYP3A4). Právě tyto enzymy rozkládají kokain na různé metabolity. Kokain je hydrolyzován na ekgonin methylester (EME) a benzoylekgonin (BE), což jsou neaktivní metabolity kokainu a jsou vylučovány močí. [25]

Benzoylekgonin je hlavním neaktivním metabolitem kokainu a využívá se pro detekci kokainu v moči, jelikož se vylučuje ve vyšších koncentracích než samotný kokain a má dlouhý poločas vylučování, a to až několik dní. Ekgonin methylester se využívá také jako biomarker pro detekci kokainu, ale v podstatně nižších koncentracích. [25]

Aktivním metabolitem kokainu je norkokain (NOR), který vzniká při biotransformaci kokainu enzymem cytochromu P450. Má podobnou strukturu jako kokain a může mít stimulující účinky a zvyšovat toxické účinky kokainu. Oxidací norkokainu poté vzniká sekundární metabolit N-hydroxynorkokain, který také přispívá toxicitě kokainu. [26]

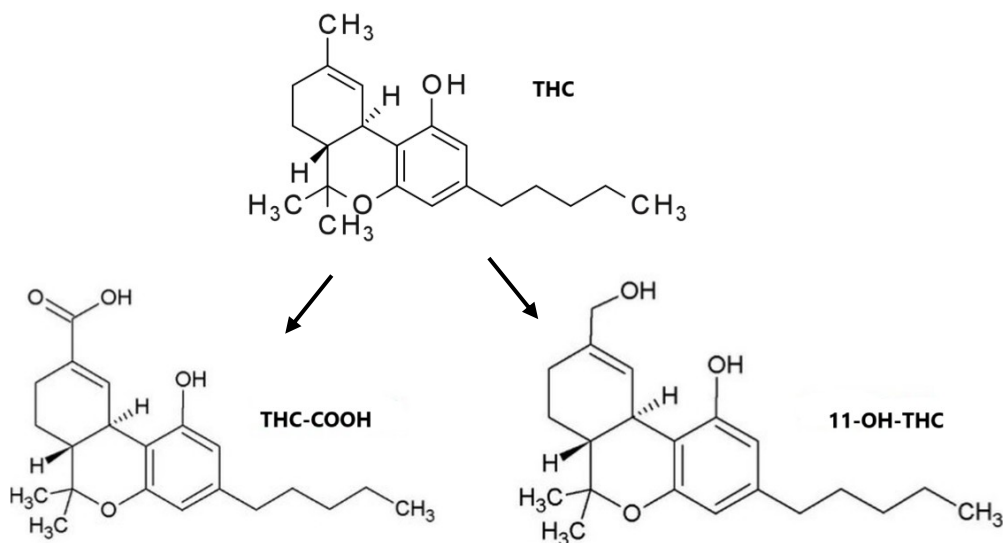


Obrázek 7: Struktura výchozí formy a metabolitů kokainu, převzato, upraveno (zdroj: Dvořák, 2022)

2.2 Metabolická přeměna konopí

Přírodní kanabinoidy a jejich metabolity jsou rozpustné v tucích a po užití se na dlouhou dobu v organismu ukládají v tukových tkáních, včetně mozkové. Hlavní psychoaktivní složkou marihuany je THC (delta-9-tetrahydrokanabinol), který se v těle metabolizuje na různé aktivní i neaktivní metabolity. Hlavním metabolitem je THC-COOH (kyselina 11-nor-delta-9-tetrahydrokanabinol-karboxylová), jenž je nejdůležitějším močovým markerem užívání marihuany. Dalším důležitým metabolitem je 11-OH-THC (kyselina 11-hydroxy-delta-9-tetrahydrokanabinol-karboxylová), což je aktivní metabolit s ještě silnějšími psychoaktivními účinky než samotné THC, jelikož rychleji prostupuje hematoencefalickou bariérou. Dále se 11-OH-THC oxiduje na THC-COOH, který je už neaktivní.

Metabolity kanabinoidů nacházíme v krvi, žluči a moči. V moči lze jejich přítomnost zjistit během několika hodin po užití, protože se ukládají v tucích, odkud jsou pomalu uvolňovány do moče po dobu několika dnů, týdnů nebo dokonce i měsíců po posledním užití v závislosti na intenzitě a frekvenci. Eliminační poločas THC a THC-COOH je u chronických kuřáků v průměru 116,8 minut, 5,2 dne a 6,8 dne. Během tří dnů je vyloučeno průměrně 70 % podané dávky THC (40 % stolicí, 30 % močí) a po pěti dnech je vyloučeno 80-90 % podané dávky. [27]



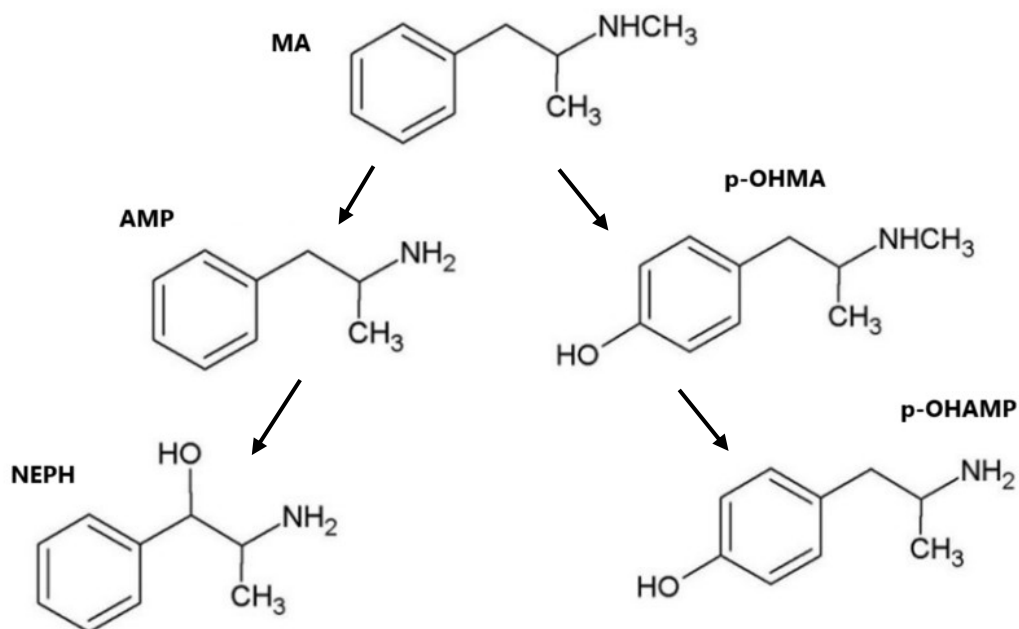
Obrázek 8: Struktura výchozí formy a metabolitů THC, převzato, *upraveno* (zdroj: Busardò, 2021)

2.3 Metabolická přeměna metamfetaminu a amfetaminu

Po požití je metamfetamin (MA) rychle absorbován do krevního oběhu, vylučuje se primárně ledvinami po metabolismu v játrech, což vede k primárním metabolitům. Po N-demethylačním procesu se MA metabolizuje na amfetamin (AMP) a po para-hydroxylaci na para-hydroxymetarmfetamin (p-OHMA). Po perorálním podání činí biologický poločas 3 až 6 hodin. Močí je eliminováno cca 37-54 % dávky v nezměněné formě. Zbytek je metabolizován a vylučován především jako AMP, p-OHMA a další sekundární metabolity. Moč je primární biologickou tekutinou, která se využívá pro detekci zneužívání MA, můžeme jej však nalézt také ve slinách, krvi či potu. [28]

Amfetamin (AMP) je buď přímá droga, nebo vzniká metabolizací MA. Mechanismus absorpce je podobný, ale biologický poločas AMP je delší (8 až 12 hodin). Primární metabolity AMP jsou p-hydroxyamfetamin (p-OHAMP) a norefedrin (NEPH), které vznikají hydroxylací a fenylaceton, vznikající oxidací. Fenylaceton se dále metabolizuje na kyselinu benzoovou a následně na glukoronidy a sulfáty. Moč je primárním substrátem pro detekci, v nezměněné podobě se močí vyloučí cca 30 - 40 %. Vylučování je však ovlivněno pH moči, v kyselé moči se AMP vylučuje rychle, zatímco a alkalické je doba detekce delší.

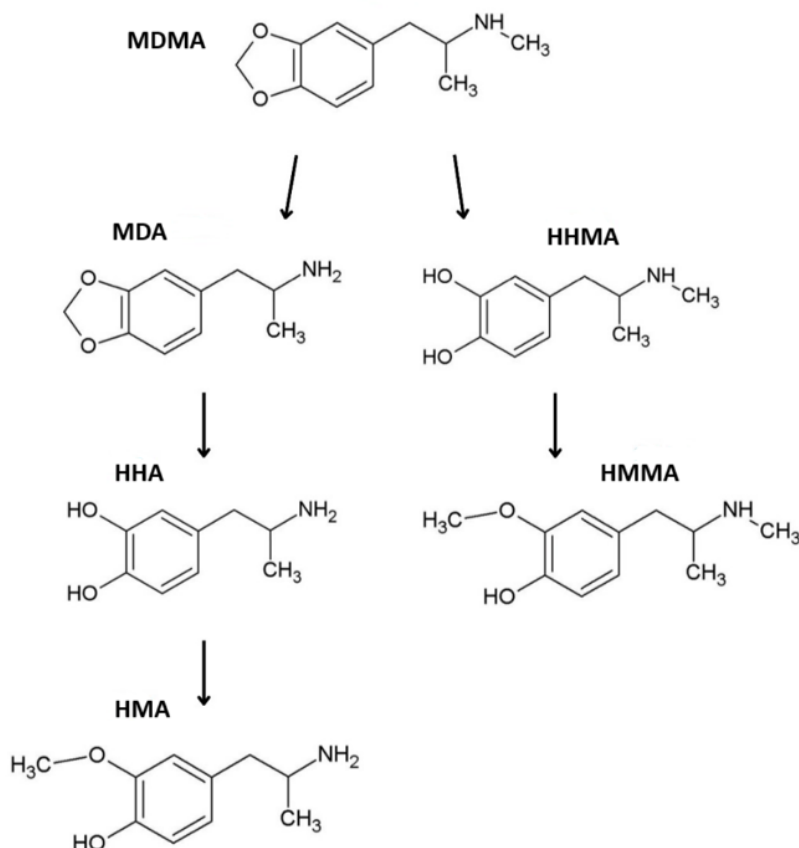
Detekce MA v biologických tekutinách je spárována s detekcí AMP jako jednoho z jeho primárních metabolitů. Typické hodnoty koncentrace pro MA a AMP v moči, slinách a plazmě se pohybují od 0,12 μM do 20 μM pro MA a 48 μM až do 2,6 μM pro AMP. [28]



Obrázek 9: Struktura výchozí formy a metabolitů MA (zdroj: Dvořák, 2022)

2.4 Metabolická přeměna MDMA

Po požití je MDMA (3,4-methylenedioxy-N-metamfetamin) metabolizován v játrech, primárně enzymy cytochromu P450, především CYP2D6, který je zodpovědný za jeho biotransformaci. Primárním metabolitem je 3,4-dihydroxymetamfetamin (HHMA), který vzniká O-demethylací. Prostřednictvím O-methylace z HHMA vzniká 4-hydroxy-3-methoxymetamfetamin (HMMA), dále pak může být MDMA deaminován a redukován na 3,4-methylenedioxyamfetamin (MDA), který může být následně metabolizován na 3,4-dihydroxyamfetamin (HHA) a poté na 4-hydroxy-3-methoxyamfetamin (HMA). [29]



Obrázek 10: Struktura výchozí formy a metabolitů MDMA (zdroj: Sprega, 2024)

Všechny tyto metabolity mohou být následně vylučovány močí, a to jak v konjugované formě, tak i jako volné látky. Moč se využívá jako primární substrát pro detekci, jelikož se vylučuje až 22,5 % nezměněného MDMA a metabolity jsou datovatelné také v relativně vysokých koncentracích. Dále se detekuje také ve slinách a krvi, i když v podstatně nižších hladinách než v moči. [29]

Tabulka 1: Průměrné vylučování MDMA a jeho metabolitů močí

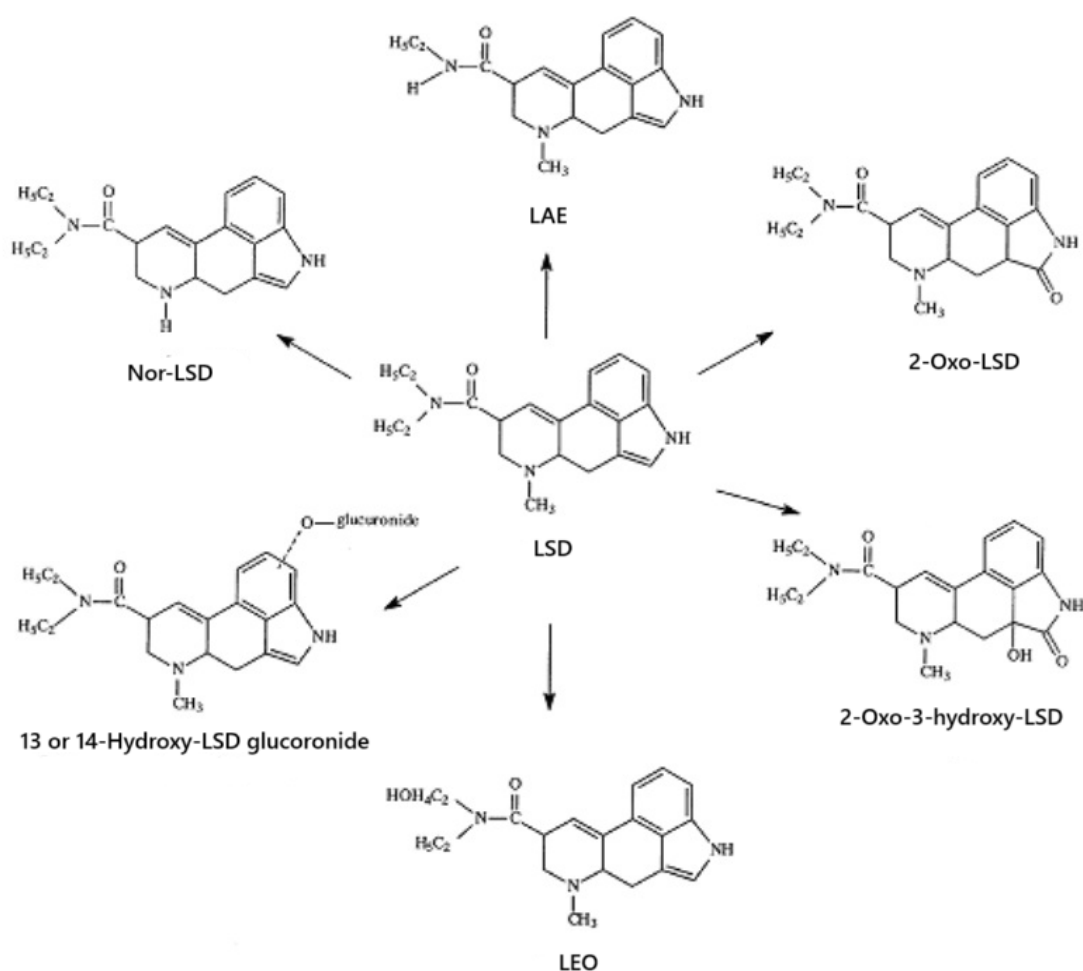
Metabolit	Nezměněné MDMA	HHMA	HMMA	MDA	HMA
Průměrné % vylučování	22,5 %	19 %	18,2 %	1,8 %	1,2 %

2.5 Metabolická přeměna LSD

Po užití se LSD (diethylamid kyseliny lysergové) v těle rychle metabolizuje, primárně v játrech. Metabolity LSD mohou být detekovány v moči i po několik dní po užití, avšak

v nezměněné podobě se LSD vyloučí méně než 1 %. Primárním metabolitem LSD je N-demethylamid-LSD (nor-LSD), který je přítomen v krvi i moči. Dalším metabolitem je 2-oxo-3-hydroxy-LSD (OH-LSD), považuje se za hlavní metabolit LSD pro detekci v moči. V těle je přítomen v koncentracích 16 - 43krát vyšší než LSD ve své původní nezměněné podobě.

Dalšími metabolity jsou ethyl-2-hydroxyethylamid kyseliny lysergové (LEO), ethylamid kyseliny lysergové (LAE), 2-oxo-LSD a 13 a 14 hydroxy-LSD jako glukuronidové konjugáty. LSD v nezměněné podobě lze v moči detekovat 12 - 24 hodin po podání, zatímco metabolity LSD až 96 hodin po užití látky. [30]



Obrázek 11: Struktura výchozí formy a metabolitů LSD (zdroj: Nelson, 1992)

Tabulka 2: Metabolismus drog, hlavní metabolity, jejich aktivita a doba vylučování.

Látka	Zkratka	Metabolit	Zkratka metabolitu	Aktivita	Poločas vylučování
kokain	CO	benzoylekgonin	BE	NE	6 hod. - 6 dní
		ekgonin methylester	EME	NE	4 hod.
		norkokain	NOR	ANO	4 - 6 hod.
tetrahydrokanabinol	THC	kyselina 11-nor-delta-9-tetrahydrokanabinol-karboxylová	THC-COOH	NE	5 - 13 dní
		kyselina 11-hydroxy-delta-9-tetrahydrokanabinol-karboxylová	11-OH-THC	ANO	0,5 - 2 hod.
metamfetamin	MA	amfetamin	AMP	ANO	9 - 14 hod.
		para-hydroxymetarmfetamin	p-OHMA	ANO	3 - 6 hod.
		norefedrin	NEPH	ANO	5 - 8 hod.
extáze	MDMA	3,4-dihydroxymetamfetamin	HHMA	ANO	3 - 6 hod.
		4-hydroxy-3-methoxymetamfetamin	HMMA	NE	10 - 12 hod.
		3,4-methylendioxyamfetamin	MDA	ANO	8 - 9 hod.
		3,4-dihydroxyamfetamin	HHA	ANO	3 - 5 hod.
		4-hydroxy-3-methoxyamfetamin	HMA	NE	4 - 8 hod.
diethylamid kyseliny lyserové	LSD	N-demethylamid-LSD	nor-LSD	ANO	6 - 12 hod.
		2-oxo-3-hydroxy-LSD	OH-LSD	NE	12 hod.

3 SOUČASNÁ DROGOVÁ PROBLEMATIKA

V současnosti lze dopady užívání nelegálních drog vnímat v životě na denní bázi, a to nejen osobně, ale i nepřímo prostřednictvím médií, jako jsou noviny, internet či sociální sítě, které pravidelně informují o případech spojenými s drogami. Vlivem drog dochází ke značným problémům v oblasti zdraví i bezpečnosti. Nelegální látky jsou po celé Evropě snadno dostupné a jejich nabídka je rozmanitější než dříve, například kokain je nyní historicky nejdostupnější. Na trhu se také objevují nové psychoaktivní látky a nepřesně označené produkty, čím se zvyšuje riziko zdravotních komplikací. S rostoucím užíváním drog také dochází ke zvýšenému výskytu infekčních nemocí, duševních poruch i úmrtí. Zvyšující se drogová problematika je také v současnosti stále častěji předmětem výzkumu, z důvodu rostoucího výskytu zbytků drog a jejich metabolitů ve vodních zdrojích. [31]

3.1 Testování odpadních vod v evropských městech

V roce 2010 byla zřízena celoevropská síť, skupina pro analýzu odpadních vod CORE-Europe (SCORE), a to s cílem standardizovat přístupy používané pro analýzu odpadních vod a koordinovat mezinárodní studie prostřednictvím vytvoření společného protokolu činnosti. První aktivitou skupiny SCORE bylo celoevropské šetření provedené v roce 2011 v 19 evropských městech, které umožnilo vůbec první studii odpadních vod regionálních rozdílů v užívání nelegálních drog v Evropě.

Po úspěšné počáteční studii byly v následujících letech provedeny srovnatelné studie, které v roce 2021 zahrnovaly 104 měst a 21 zemí Evropské Unie, Norska a Turecka. Ve všech lokalitách byl použit standardní protokol a společné cvičení kontroly kvality, které umožnilo přímo porovnávat zatížení nelegálními drogami v Evropě po dobu jednoho týdne během deseti po sobě jdoucích let.

Surové 24hodinové vzorky byly odebrány během jediného týdne od března do května 2022. Tyto vzorky byly analyzovány na močové biomarkery (měřitelné charakteristiky) mateřské drogy (primární látky) na amfetamin, metamfetamin, ketamin a MDMA. Kromě toho byly vzorky analyzovány na močové metabolity kokainu a konopí, kterými jsou BE (benzoylekgonin) a THC-COOH (11-nor-9-karboxy-delta-9-tetrahydrocannabinol). [32]

3.2 Vývoj sledovaných drog

Studie provedená roku 2022 odhalila odlišné geografické a časové vzorce užívání drog v evropských městech. Každoroční prezentované vzorkování odpadních vod SCORE ze 104

měst ukázalo, že se množství různých stimulačních drog zjištěných v odpadních vodách celkově značně lišilo v různých místech studie. Avšak všechny zkoumané nezákonné drogy byly nalezeny téměř v každém městě, které se projektu zúčastnilo.

Pozorování odpadních vod ukázalo, že užívání kokainu zůstává nejvyšší ve městech západní a jižní Evropy, zejména tedy v Belgii, Nizozemsku, Portugalsku a Španělsku. Nízké úrovně byly zjištěny ve většině východoevropských měst, i když novější údaje vykazují známky nárůstu. Při novějším evropském projektu o odpadních vodách (EUSEME) byly nalezeny zbytky cracku ve všech 13 zúčastněných zemích a ve všech dnech odběru vzorků, přičemž nejvyšší zatížení bylo nahlášeno v Amsterdamu a Antverpách.

Zátěže amfetaminu zjištěné v odpadních vodách se v různých lokalitách studie značně lišily, přičemž nejvyšší úrovně byly stejně jako v předchozích letech hlášeny v městech na severu a východě Evropy. Amfetamin byl nalezen v mnohem nižších hladinách ve městech na jihu Evropy. Nejnovější údaje však ukazují určité známky nárůstu. Nejvyšší zatížení bylo zjištěno ve Švédsku, Belgii, Německu, Nizozemsku a Finsku. Naproti tomu užívání metamfetaminu, obecně vysoké a historicky koncentrované v Česku a na Slovensku, bylo přítomno také v Belgii, Španělsku, Turecku, na východě Německa a severní Evropě. Pozorovaná zátěž metamfetaminem v ostatních lokalitách byla velmi nízká, ačkoli nejnovější údaje ukazují signály o nárůstu ve městech střední a jižní Evropy.

Nejvyšší hmotnostní zátěže MDMA byly zjištěny v odpadních vodách ve městech v Belgii, Česku, Španělsku, Nizozemsku a Portugalsku. V případě konopí byly nejvyšší hmotnostní zátěže zjištěny ve městech Česka, Španělska, Nizozemska a Portugalska. [32]

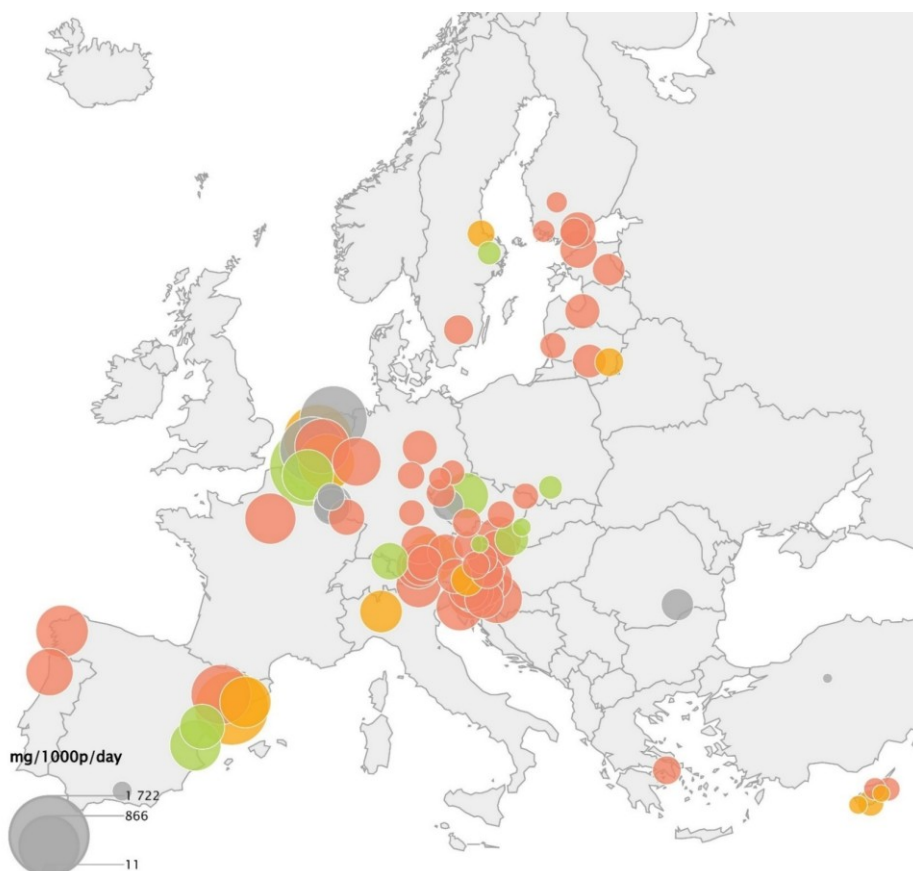
V roce 2021 se 16 zemí zúčastnilo monitorovací kampaně, kde bylo zahrnuto dvě nebo více studijních lokalit každé země (Rakousko, Belgie, Kypr, Česko, Německo, Dánsko, Estonsko, Finsko, Itálie, Litva, Nizozemsko, Portugalsko, Španělsko, Slovensko, Slovinsko, Švédsko a Turecko). Studie zdůraznila rozdíly mezi těmito městy v rámci stejné země, které lze částečně vysvětlit různými sociálními a demografickými charakteristikami měst. Ve většině zemí s více studijními místy byla zátěž kokainu, metamfetaminu a MDMA vyšší ve velkých městech ve srovnání s menšími lokalitami. U amfetaminu a konopí nebyly zjištěny tak výrazné rozdíly.

Kromě geografických vzorců může analýza odpadních vod odhalit výkyvy v týdenních vzorcích užívání nelegálních drog. Více než tři čtvrtiny měst vykazují vyšší zatížení kokainu, ketaminu a MDMA v odpadních vodách během víkendu než během pracovních dnů. Naopak

se zjistilo, že užívání amfetaminu, konopí a metamfetaminu bylo během celého týdne rozloženo rovnoměrněji. [32]

3.2.1 Výskyt kokainu v odpadních vodách evropských měst

Pozorovaná zatížení benzoylekgoninu (metabolit kokainu) v odpadních vodách naznačují, že užívání kokainu zůstává nejvyšší ve městech západní a jižní Evropy, a to zejména ve městech Belgie, Nizozemska, Portugalska a Španělska. Nízké hladiny byly zjištěny ve většině východoevropských měst, avšak nejnovější údaje vykazují známky nárůstu. Relativně stabilní obraz užívání kokainu byl ve většině měst pozorován v letech 2011 až 2015. Roku 2016 došlo ke zlomu a od té doby byl ve většině měst každý rok zaznamenán nárůst. Údaje z roku 2023 odhalily nárůst reziduí kokainu ve srovnání s údaji z roku 2022, přičemž 49 z 72 měst hlásilo nárůst, zatímco 13 měst nehlásilo žádnou změnu a 10 měst hlásilo pokles. Obrázek 1 znázorňuje hmotnostní výskyt metabolitů kokainu na 1000 osob za den a změny v průměrných týdenních hodnotách metabolitů kokainu pro daná analyzovaná města. [32]

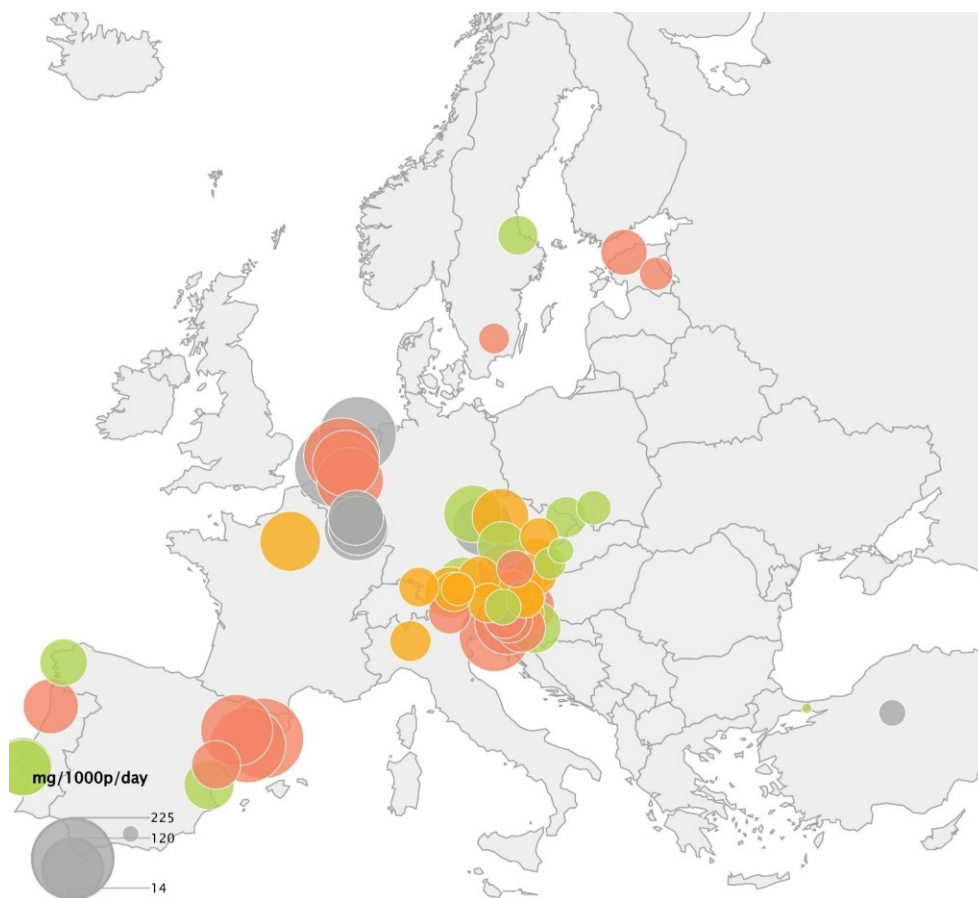


Obrázek 12: Hmotnostní výskyt metabolitů kokainu na 1000 osob za den a změny v průměrných týdenních hodnotách metabolitů kokainu z analýz odpadních vod ve

vybraných evropských městech v letech 2022 až 2023, červená = zvýšení, zelená = snížení, žlutá = stabilní (zdroj: EUDA, 2023)

3.2.2 Výskyt konopí v odpadních vodách evropských měst

Konopí je nejběžnější užívanou nelegální drogou v Evropě s odhadovaným počtem 22,6 milionu uživatelů v roce 2021. V odpadních vodách se užívání konopí odhaduje měřením jeho hlavního metabolitu THC-COOH, který je jediným dosud nalezeným vhodným biomarkerem. Přestože se vylučuje v nízkém procentu a je stále zapotřebí více výzkumu, běžně se používá k podávání zpráv o užívání konopí v literatuře. Zátěže THC-COOH pozorované v odpadních vodách ukazují, že užívání konopí bylo nejvyšší v západoevropských a jihoevropských městech. V roce 2023 hlásilo zvýšení zátěže THC-COOH ve vzorcích odpadních vod 20 měst z 51 a 15 měst hlásilo pokles. [32]



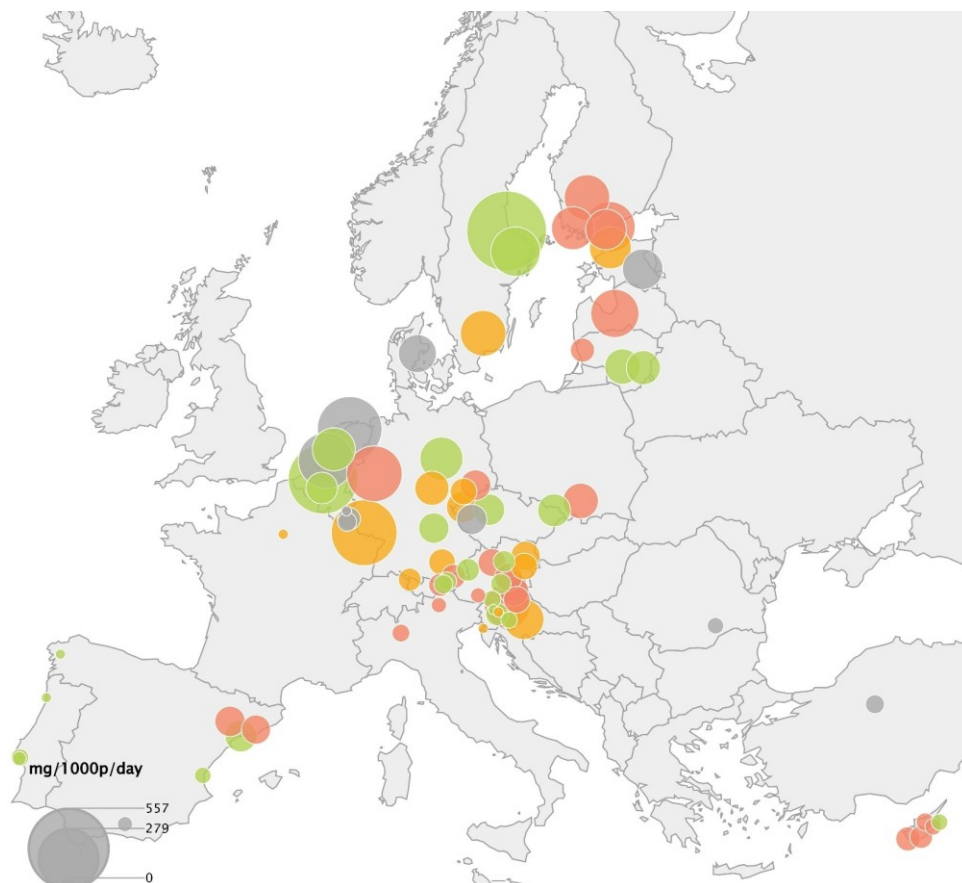
Obrázek 13: Hmotnostní výskyt metabolitů konopí na 1000 osob za den a změny v průměrných týdenních hodnotách metabolitů konopí z analýz odpadních vod ve vybraných

evropských městech v letech 2022 až 2023, červená = zvýšení, zelená = snížení, žlutá = stabilní (*zdroj: EUDA, 2023*)

3.2.3 Výskyt amfetaminu a metamfetaminu v odpadních vodách evropských měst

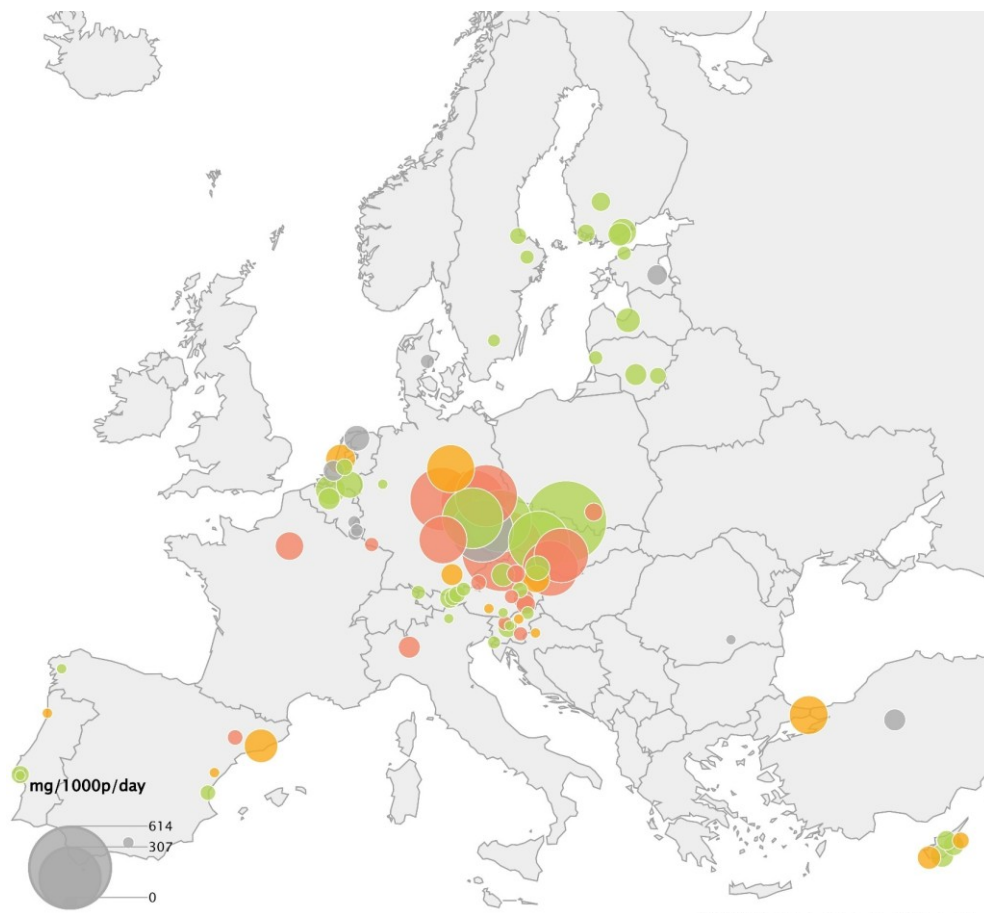
Obě tyto látky patří k nejrozšířenějším drogám konzumovaným v Evropě, ačkoli amfetamin se používá mnohem častěji. Nejvyšší zátěže byly hlášeny ve městech na severu a východě Evropy. Celkové výsledky amfetaminu a metamfetaminu z 11 monitorovacích kampaní neprokázaly žádné zásadní změny v obecných pozorovaných vzorcích užívání, ačkoli od roku 2021 byl v několika městech pozorován nárůst u obou látek v regionech, kde je užívání tradičně nízké až zanedbatelné.

Zjištěné zátěže amfetaminu v odpadních vodách byly různorodé, nejvyšší úrovně však byly hlášeny ve městech na severu a východě Evropy, a to v Belgii, Švédsku, Nizozemsku a Finsku. Naopak nízké hladiny byly nalezeny na jihu Evropy. Z 65 měst s údaji o reziduích amfetaminu v komunálních odpadních vodách za roky 2022 a 2023 hlásilo 26 nárůst, 13 stabilní stav a 26 pokles. [32]



Obrázek 14: Změny v průměrných týdenních hodnotách metabolitů amfetaminu z analýz odpadních vod ve vybraných evropských městech v letech 2022 až 2023, červená = zvýšení, zelená = snížení, žlutá = stabilní (zdroj: EUDA, 2023)

Užívání metamfetaminu, které bylo dříve především orientované na Česko a Slovensko, se nyní dostalo také do Belgie, Španělska, Nizozemska a také do měst na severu Evropy. Nejnovější údaje ukazují nárůst užívání metamfetaminu ve městech střední a jižní Evropy. Z 67 měst, která mají údaje o reziduích metamfetaminu v komunálních odpadních vodách za roky 2022 a 2023, 15 hlásilo nárůst, 13 stabilní stav a 39 pokles. 2 města s nejvyšším zatížením se nacházejí v Česku, konkrétně se jedná o Ostravu a Ústí nad Labem, které se v analýze objevilo poprvé roku 2023 a obsadilo hned první místo mezi evropskými městy.[32]



Obrázek 15: Hmotnostní výskyt metabolitů metamfetaminu na 1000 osob za den a změny v průměrných týdenních hodnotách metabolitů metamfetaminu z analýz odpadních vod ve vybraných evropských městech v letech 2022 až 2023, červená = zvýšení, zelená = snížení, žlutá = stabilní (zdroj: EUDA, 2023)

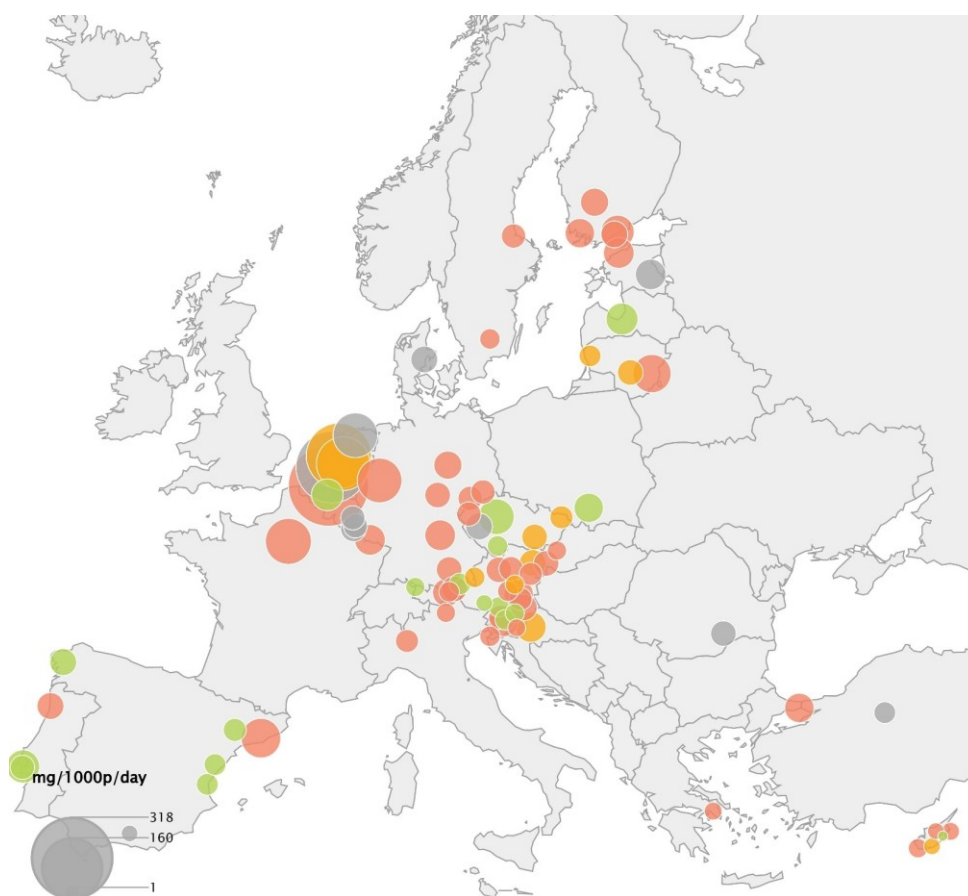
V roce 2023 bylo zjištěno, že užívání amfetaminu a metamfetaminu bylo během celého týdne rozloženo rovnoměrněji než v předchozích letech, což pravděpodobně odráží užívání těchto drog spojenou s pravidelnější konzumací komunity rizikových uživatelů. [32]

3.2.4 Výskyt MDMA v odpadních vodách evropských měst

Průzkumy populace v mnoha zemích ukázaly, že prevalence MDMA klesala z nejvyšších úrovní dosažených na počátku až do poloviny 21. století. V posledních letech však obraz zůstal smíšený bez jasných trendů. Tam, kde je prevalence vysoká, to může odrážet, že MDMA již není specializovanou nebo subkulturní drogou omezenou na taneční kluby a večírky, ale nyní ji používá širší okruh mladých lidí v prostředí hlavního proudu nočního

života, včetně barů a domácích večírků. Podíváme-li se na dlouhodobější trendy v analýze odpadních vod, ve většině případů se zatížení mezi lety 2011-16 zvýšilo a poté kolísalo.

V roce 2020, pravděpodobně kvůli skutečnosti, že ve většině zemí byl noční život z velké části na dlouhou dobu omezen, téměř polovina měst (28 ze 49) hlásila pokles a 18 měst hlásilo nárůst. V roce 2022 hlásilo nárůst 28 z 62 měst a 27 pokles. Z 69 měst, která mají údaje o reziduích MDMA v komunálních odpadních vodách za roky 2022 a 2023, 42 hlásilo nárůst (převážně v severní Evropě), 11 hlásilo stabilní situaci a 16 pokles (převážně města v jižní a střední Evropě). [32]



Obrázek 16: Hmotnostní výskyt metabolitů MDMA na 1000 osob za den a změny v průměrných týdenních hodnotách metabolitů MDMA z analýz odpadních vod ve vybraných evropských městech v letech 2022 až 2023, červená = zvýšení, zelená = snížení, žlutá = stabilní (zdroj: EUDA, 2023)

4 STANOVENÍ A OSUD DROG V ODPADNÍCH VODÁCH

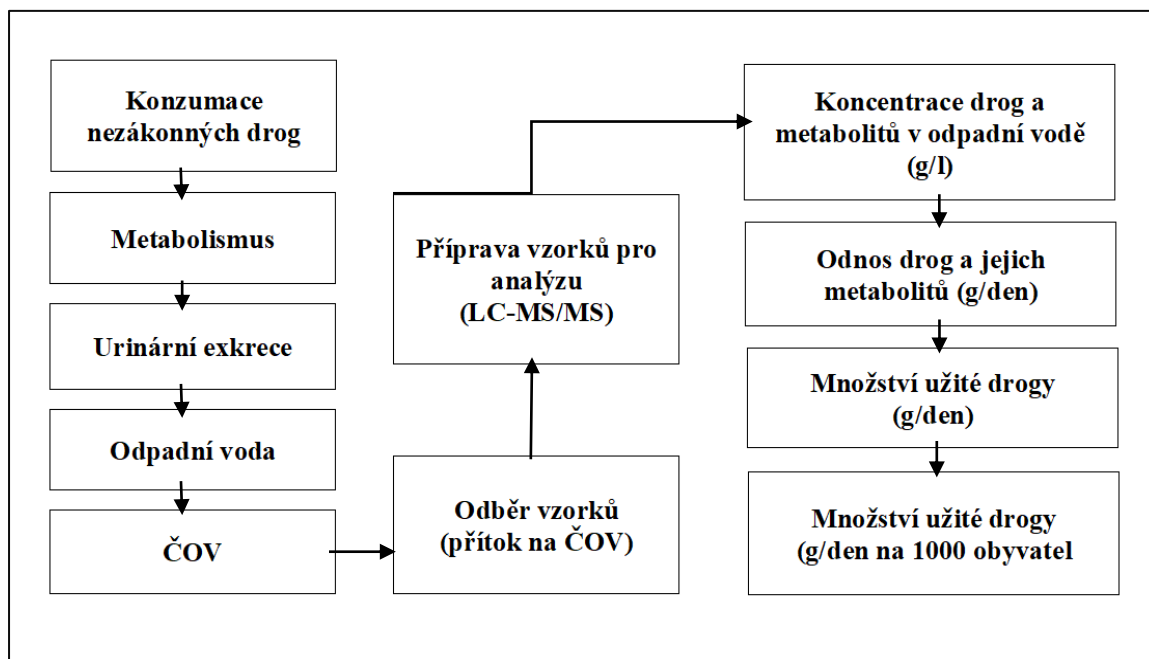
Ke zjištění odhadu spotřeby komunity se využívá analýza komunálních odpadních vod na drogy a jejich metabolické produkty. Jedná se o rozvíjející se obor, který zahrnuje vědce pracující v různých oblastech výzkumu, jako analytická chemie, fyziologie, biochemie, odpadní inženýrství, prostorové a konvenční drogové epidemiologie a další.

4.1 Analýza drog v odpadních vodách

V roce 2001 byla navržena epidemiologie odpadních vod (wastewater-based epidemiology, WBE) jako nástroj ke sledování koncentrací nelegálních drog a jejich metabolitů v odpadních vodách, které přitékají do komunálních čistíren odpadních vod. V praxi se poprvé využila v roce 2005 v Itálii ke sledování kokainu. Postupně byla metoda rozšířena na heroin, kanabis, a stimulanty na bázi amfetaminu. [33]

Analýza odpadních vod umožňuje sledovat geografické a časové trendy v užívání nelegálních látek v téměř v reálném čase. Tato metoda se původně využívala v 90. letech 20. století ke sledování tekutého odpadu a jeho dopadu na životní prostředí. Metoda spočívá v odběru vzorků z kanalizačního přítoku do čistírny, kde se měří hladiny drog a jejich metabolitů vylučovaných močí. Na základě těchto dat lze poté odhadnout spotřebu drogy v dané oblasti. Celý proces zahrnuje odběr vzorků, analýzu látek a výpočet denního zatížení kanalizace. Díky korekčním faktorům se odhaduje celková spotřeba látky, která se následně přepočítává na obyvatele. Výsledky však mohou být ovlivněny mnoha různými faktory, jako nesprávně provedený odběr či vhodné biomarkery. [32]

Denní hmotnostní dávky nelegálních drog (mg/den) spotřebované komunitami lze odhadnout zpětným výpočtem vynásobením koncentrace drogy naměřené v odpadních vodách (ng/l) průtokem odpadních vod (l/den nebo m³/den), který se dále vydělí populací připojenou ke kanalizaci v tisících, a tím se získá konečných 1000 dávek/den. [34]



Obrázek 17: Schématický přehled epidemiologického přístupu k odpadním vodám (zdroj: VÚV TGM)

4.1.1 Metody stanovení drog v odpadních vodách

Hlavní metodou využívanou k analýze drog v odpadních vodách je metoda LC-MS/MS, která je kombinací kapalinové chromatografie (LC) a hmotnostní spektrometrie (MS) v tandemu. Vzorek se nejprve aplikuje na LC, kde dochází k oddělování složek dle jejich chemických vlastností. Důležité je, že se mohou separovat jednotlivé sloučeniny, které jsou v odpadních vodách přítomny v komplexních směsích, jako jsou právě drogy a jejich metabolity. Po separaci je vzorek ionizován a analyzován na hmotnostním spektru, kde dochází k určení poměru mezi hmotností a nábojem fragmentů, čímž je umožněna detekce a identifikace jednotlivých sloučenin. V tandemovém režimu MS/MS může být vybraný vzorek fragmentován na specifické ionty a na základě intenzity signálů z iontů se určuje množství detekovaných drog či jejich metabolitů ve vzorku.

Výhodami LC-MS/MS je vysoká citlivost, dokáže detekovat i velmi nízké koncentrace drog. Dále selektivita, přesnost a spolehlivost, které jsou klíčové pro monitorování kontaminace odpadních vod. [35; 36]

4.2 Stabilita drog v odpadních vodách

Stabilita drog v odpadních vodách je klíčovým faktorem při hodnocení výsledků odpadové epidemiologie (WBE). Při analýze koncentrace drog ve vzorcích odpadních vod je třeba brát v úvahu, že tyto látky mohou během transportu kanalizační sítí procházet řadou degradačních procesů. Mezi hlavní faktory, které ovlivňují stabilitu drog, patří zejména teplota, přítomnost mikroorganismů v biofilmech, typ kanalizačního systému, pH prostředí a doba zdržení odpadní vody v potrubí.

Nejvýznamnějším faktorem ovlivňující degradaci drog je teplota. Se zvyšováním teploty dochází ke zrychlení chemických i biologických transformačních procesů. V rámci studie Ramin et al. (2018) byla provedena analýza deseti dříve publikovaných výzkumů, které zkoumaly stabilitu biomarkerů kokainu a jeho metabolitů a potvrdila se silná teplotní závislost. Například při zvýšení teploty z 15 °C na 25°C může docházet a ke čtyřnásobnému nárůstu degradační účinnosti. Důležité je také zohlednění teplotních rozdílů mezi regiony či ročními obdobími, což by mohlo vést ke zkreslení výsledků. [37]

Další významným aspektem při degradaci drog je biologická aktivita mikroorganismů, především těch, které tvoří biofilmy na stěnách kanalizačních potrubí. Studie Thai et al. (2014) prokázala, že biofilmy hrají klíčovou roli v urychlení rozkladu drog. Při laboratorních pokusech se simulací kanalizačního systému se ukázalo, že přítomnost biofilmů vedla k mnohem rychlejší degradaci některých látek. Například kokain byl v přítomnosti biofilmu degradován až o 60 % během 12 hodin, zatímco bez biofilmů byl rozklad pouze 20 %. Naproti tomu metabolity, jako benzoylekgonin, byly velmi stabilní a k významné degradaci nedocházelo. [38]

Výzkumy jednoznačně potvrzují, že stabilita drog v odpadních vodách je proměnlivá a silně závislá na podmínkách prostředí. Zohlednění těchto faktorů je nezbytné pro správnou interpretaci dat odpadní epidemiologie. Opomenutí těchto vlivů může vést k nesprávným hodnotám spotřeby drog v populaci, což má důsledky jak na veřejné zdraví, tak pro rozhodování v oblasti protidrogových opatření.

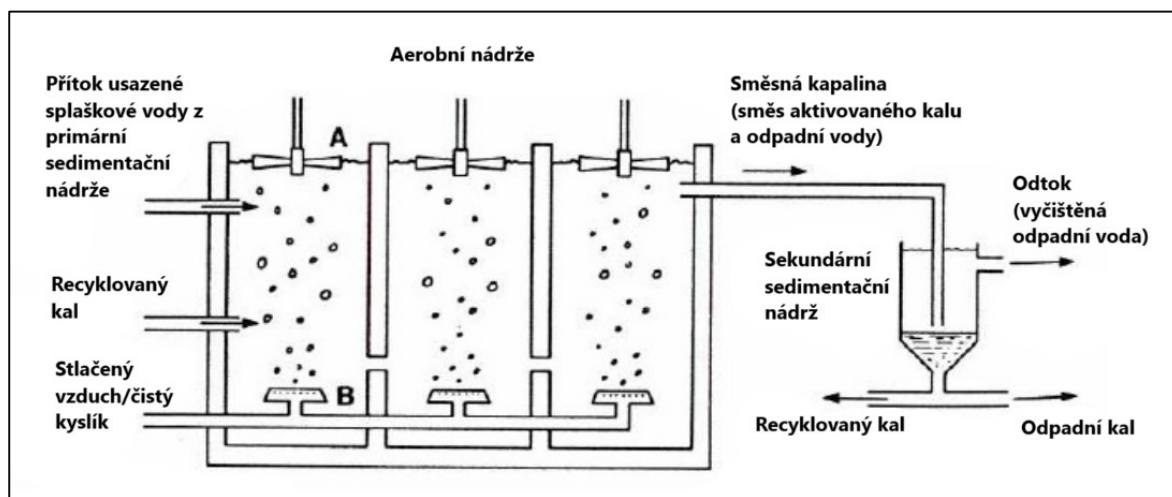
4.3 Účinnost čistíren odpadních vod při odstraňování drog

Po vyloučení do kanalizační sítě jsou drogy a jejich metabolity transportovány do čistírny odpadních vod (ČOV), kde jsou následně vystaveny různým fyzikálně-chemickým a biologickým čistícím procesům, kterými jsou v různé míře z odpadních vod odstraňovány. Dále pak jakékoli setrvávající neupravené drogy, které v odpadních vodách zůstanou, jsou

nakonec převedeny do přijímajícího vodního prostředí (řeky, jezera, podzemní vody), kde se mohou potenciálně dostat do zdrojů pitné vody, a tak ovlivňovat vodní ekosystém. Zvýšená chemická zátěž v surové odpadní vodě či nedostatečné retenční časy během čistících procesů může mít za následek nižší účinnost odstranění nežádoucích látek. Tím se zvyšuje také pravděpodobnost jejich výskytu ve vyčištěných odpadních vodách a přenos do přijímajícího prostředí. [34]

Technologie používané při čištění odpadních vod se celosvětově značně liší, přičemž i jednotlivé procesy mohou být různě konfigurovány a provozovány s ohledem na klima, odbornost, náklady, teplotu či dané místo. ČOV mohou využívat různé konfigurace procesu, jako čištění aktivovaného kalu, skrápěcí filtry či membránové bioreaktory. [39]

Nedávné studie však dospěly k závěru, že úprava aktivovaného kalu (AK) je při čištění odpadních vod (OV) účinnější než skrápěcí filtry. To je pravděpodobně z důvodu, že AK obsahuje větší aktivní biomasy a využívá mechanické provzdušňování, a tím zajišťuje větší přívod kyslíku, což podporuje efektivnější rozklad chemických kontaminantů. Dalším faktorem přispívající účinnosti je kontinuální odstraňování pevných částic ve formě odpadního aktivovaného kalu, a to umožňuje odstraňování drogy prostřednictvím adsorpce na pevnou fázi. [34]



Obrázek 18: Schématické znázornění procesu aktivovaného kalu v ČOV, převzato, upraveno (zdroj: Masarykova univerzita, 2012)

Studie Baker a Kasprzyk-hordern (2013) porovnála úpravu aktivovaného kalu se skrápěcími pro odstranění různých nelegálních drog a zjistilo se, že aktivovaný kal odstraňuje 91 %

kokainu, 99 % AMP a 39 % MA, zatímco účinnost skrápěcích filtrů byla 37 % pro kokain, 89 % pro AMP a 25 % pro MA. [39]

Jelikož je většina vyčištěných odpadních vod na celém světě vypouštěna do přijímacích vodních toků, je důležité pochopit účinnost odstraňování těchto látek při čistících procesech. Přestože upravené vody vypouštěné z ČOV obsahují podstatně nižší koncentrace drog než odpadní vody, nelze je ignorovat, jelikož se koncentrace těchto látek může do budoucna nadále zvyšovat. [34]

4.3.1 Proces a fáze čištění odpadních vod při odstraňování drog

Klasické čistírny odpadních vod jsou primárně navrhovány pro odstranění organických látek, avšak jejich jednotlivé technologické kroky částečně přispívají při odstranění vyskytujících se drog a jejich metabolitů. Celý proces čištění je rozdělen do tří hlavních fází – primární (mechanické), sekundární (biologické) a terciární, přičemž má každá fáze svou specifickou funkci a vliv při odstraňování různých kontaminantů.

Mechanická fáze

Primární čištění představuje vstupní fázi, kde dochází především k mechanickému odstraňování hrubých nečistot a sedimentujících látek. Odpadní voda nejprve protéká česlemi, kde se zachytávají velké pevné předměty jako větve, plasty či textilie. Voda nejprve protéká česlemi a lapákem písku, kde se sedimentují těžší minerální částice, především písek a štěrky. Následně odpadní voda vstupuje do usazovacích nádrží, ve kterých se vlivem gravitace odděluje nerozpuštěná frakce (kal) od kapalně složky, v této fázi se odstraní zhruba 30 – 40 % nerozpuštěných látek a znečištění. Odstraněný kal z mechanického čištění následně postupuje ke zpracování v kalovém hospodářství. Účinnost primárního čištění vůči drogám a jejich metabolitům je však velmi omezená, mechanické procesy totiž působí zejména na částice, zatímco většina drog se odpadní vodě vyskytuje v rozpuštěné formě. Vliv na účinnost má například tvar nádrže, doba zdržení, teplota či pH. [40; 41; 42]

Biologická fáze

Sekundární čištění, označované jako biologické, představuje technologické jádro při čistírenských procesech. V této fázi vstupuje předčištěná voda do aktivačních nádrží, kde je intenzivně provzdušňována a vystavena působení aktivovaného kalu, směsi organismů, která rozkládá organické látky za přítomnosti kyslíku. Tento proces vede ke značnému snížení organického znečištění a zároveň podporuje nitrifikaci a denitrifikaci. Co se týče

farmaceutik a drog, je účinnost sekundárního čištění výrazně proměnlivá a silně závisí na biologické odbouratelnosti dané látky. Například látky jako ibuprofen a paracetamol jsou biologicky snadno rozložitelné a mohou být v této fázi účinně eliminovány. Naproti tomu některé amfetaminy či metabolity kokainu jsou biologicky vysoce stabilní a procesem procházejí prakticky beze změny. Důležitými parametry ovlivňující účinnosti tohoto procesu jsou doba zdržení vody v systému, doba zdržení kalu, teplota, koncentrace kyslíku a složení aktivovaného kalu. [41; 43; 44]

Terciární fáze

Posledním krokem je terciární čištění, jehož účelem je odstraňování zbytkových nerozpuštěných látek, které nebyly eliminovány v předchozích fázích, především právě mikropolutantů, tedy i drog. Tato fáze není standardní součástí všech čistíren, ale bývá zařazována v případech, kdy je vyžadována vysoká kvalita vypouštěné vody, například do chráněných oblastí, rekreačních lokalit či míst, kde dochází k recyklaci vody. V této fázi se používají fyzikálně-chemické pokročilé technologie jako filtrace přes pískové a membránové filtry, adsorpce na aktivním uhlí, chemické srážení, iontová výměna či pokročilé oxidační procesy. Právě pokročilé procesy oxidace jsou schopny rozkládat i stabilní molekuly drog na méně škodlivé látky. Adsorpce na aktivním uhlí je považována za jednu s neúčinnějších metod, která se uplatňuje hlavně u sloučenin s vysokou afinitou k uhlíkovým povrchům, což jsou typicky psychofarmaka. V terciární fázi může být odstraněna široká škála látek, které předchozími fázemi prošly beze změny a může tak výrazně přispět ke snížení environmentálního rizika z přítomnosti nelegálních látek v odpadních vodách.

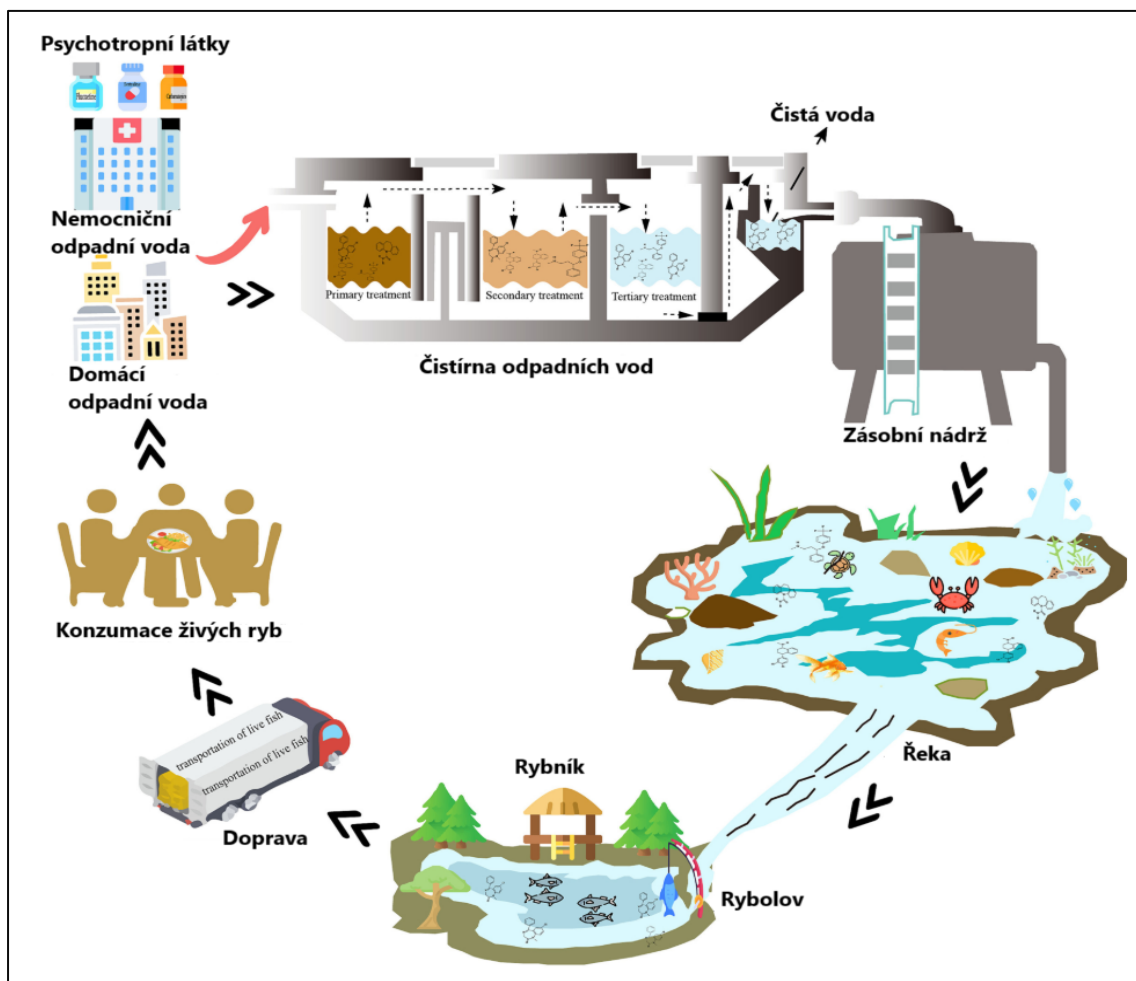
Je zřejmým faktem, že žádná jednotlivá fáze čištění není schopna spolehlivě odstranit všechny typy drog a jejich metabolitů. Skutečně účinná je kombinace působení všech fází, přičemž je terciární fáze klíčovým faktorem rozhodující o eliminaci znečišťujících látek. S rostoucími nároky na ochranu vodních zdrojů se očekává, že terciární fáze přestane být výjimečným prvkem při technologickém procesu čištění s tím se standardní součástí provozu všech čistíren odpadních vod. [41; 42]

5 VLIV DROG NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ

Významným průlomem ve výzkumu výskytu drog v životním prostředí byla studie Zuccato et al. (2008), která jako první představila systematický výzkum přítomnosti reziduí nelegálních drog v evropských povrchových vodách. V této práci byla potvrzena přítomnost zbytků kokainu, amfetaminu, opiátů, metamfetaminu a konopí ve vzorcích odebraných z řek v Itálii, Švýcarsku a Velké Británii. Studie poukázala na to, že tyto látky si zachovávají svou biologickou aktivitu i po průchodu čistírnami odpadních vod, a tedy přetrvává v životním prostředí. [45]

Hlavním zdrojem nelegálních drog v povrchových vodách jsou právě odpadní vody z ČOV. Je důležité si uvědomit, že se farmaceutické látky nechovají jako perzistentní organické polutanty či těžké kovy, které se v průběhu času akumulují v živých organismech. Léčiva jsou navržena právě tak, aby byla metabolizována a vylučována jejich uživateli a očekává se, že k tomu bude docházet také u většiny ostatních obratlovců. [46]

Mezi nejčastěji detekované látky ve vodních organismech jsou zahrnuty právě kokain, metamfetamin a další psychoaktivní sloučeniny. Vodní organismy mohou drogy a jejich metabolity přijímat přímo z vody nebo prostřednictvím potravy. Například kokain a jeho metabolity byly nalezeny ve svalech a játrech ryb a sladkovodních měkkýšů. Stopy kokainu byly také detekovány u mořských řas, což znamená, že drogy mohou být absorbovány i vodními rostlinami a následně vstupovat do potravního řetězce až k predátorům, včetně ryb konzumovaných člověkem. Drogy mohou mít nejen velké dopady na jednotlivé organismy, ale také na fungování celého ekosystému. Studie také prokázaly, že se u ryb může vyvinout drogová závislost, a dokonce mohou vykazovat abstinenční příznaky. [47]



Obrázek 19: Schématické znázornění řetězce psychotropních látek (zdroj: Zhu X, 2023)

5.1 Ekotoxikologické účinky na vodní organismy

Mnoho drog je bioaktivních, což znamená, že mohou ovlivnit biologické procesy organismů, a to i při velmi nízkých koncentracích. Mezi hlavní toxické účinky patří genotoxické, kde se ukázalo, že kokain, benzoylekgonin, a další metabolity mohou způsobit poškození DNA, což vede k mutacím, riziku rakoviny či snížené plodnosti organismů. K dalším účinkům patří neurologické a behaviorální změny, kdy může u vodních organismů docházet ke snížené aktivitě (opioidy), k hyperaktivitě (metamfetamin) a změnám pohybu či orientace ve vodě (kokain). Dalšími účinky jsou cytotoxické, kdy mohou drogy způsobovat poškození i smrt buněk a narušení metabolických funkcí, především v játrech a ledvinách ryb i dalších vodních organismů. Na úrovni populací a společenstev dochází k narušení potravních sítí a omezení ekosystémových funkcí jako je fotosyntéza, rozklad organické hmoty nebo koloběh živin. [47; 45]

Jedním z nejvýraznějších účinků drog v odpadních vodách, který byl experimentálně prokázán, je narušení přirozeného prostředí ryb. Těmito účinky se zabývala studie Horký et al. (2021), která testovala vliv metamfetaminu na pstruha obecného (*Salmo trutta*). Pstruzi byli po dobu osmi týdnů vystaveni koncentraci metamfetaminu 1 µg/l, což odpovídá běžným koncentracím naměřeným ve střední Evropě. Po expozici byly ryby podrobeny behaviorálním testům, ve kterých měly možnost volby mezi dvěma proudy, jeden obsahoval stopy metamfetaminu a druhý byl čistý. Výsledky jednoznačně prokázaly, že ryby přednostně vyhledávaly proud s přítomností drogy, a to i přesto, že v tomto proudu již metamfetamin nebyl přítomen. Tento jev byl interpretován jako projev závislostního chování, a kromě toho se u ryb objevila zvýšená pohybová aktivita v období bez přístupu k droze, což odpovídá abstinenčním příznakům. Tento výzkum poukazuje na to, jak mohou být ryby ovlivněny drogami a jak může docházet k přenášení civilizačních problémů do přirozených ekosystémů, s ekologickými důsledky. [48]

Účinky drog se však nevztahují pouze na jednotlivce, ale zasahují do celkového fungování ekosystémů. Dopady drog na úrovni celých společenstev (mikrobiální, řasová, hmyzí) prokázala studie Snow et al. (2016), která zkoumala účinky amfetaminu při koncentraci 1 µg/l na strukturu a funkci celého sladkovodního ekosystému v laboratorních podmínkách pomocí osmi umělých toků. Výsledky ukázaly zásadní narušení ekosystémových funkcí, kdy došlo ke snížení produkce kyslíku fotosyntetizujících organismů až o 85 %, což znamená zásadní snížení fotosyntetické aktivity organismů. Dále došlo ke snížení obsahu chlorofylu o 45 % a ke změně v bakteriální a rozsivkové komunitě, což jsou primární producenti ve vodních ekosystémech. Významné byly také změny v sestonu, kdy se zvýšila biomasa, ale zároveň se snížila respirační aktivita o 30 %, což svědčí o zásahu do základních metabolických procesů v ekosystému. [49]

Souvislosti všech těchto zjištění potvrzuje přehledová práce Pala et al. (2013), která shrnuje desítky studií a potvrzuje dopady nelegálních drog na vodní ekosystémy. Je důležité zmínit, že i když návykové látky často vykazují biologickou aktivitu i ve velmi nízkých koncentracích mohou být jejich účinky často zesíleny tzv. koktejlovým efektem, tedy kombinací více biologicky aktivních látek zároveň. V odpadních vodách bývají přítomny nejen drogy, ale i zbytky antibiotik, antidepresiv, hormonů či analgetik, což vede k dalším dopadům na vodní organismy. U ryb byly zaznamenány změny v reprodukci, vývoji gonád, chování či metabolických drahách. V případě bezobratlých docházelo ke změnám ve vývoji a mortalitě. Zásadní je i fakt, že drogy mohou bioakumulovat v tkáních vodních živočichů a dále se přenášet potravními sítěmi. [50]

5.2 Rizika drog v odpadních vodách pro člověka

Přestože se většina výzkumů zaměřuje na vliv drog a farmaceutik na vodní organismy, roste množství studií upozorňujících také na jejich potenciální rizika pro lidské zdraví. Vzhledem k tomu, že tyto látky nebyly dlouhodobě považovány za prioritní znečišťující látky, chybí v mnoha zemích standardizované limity jejich výskytu ve vodním prostředí, včetně pitné vody. Lidská populace může být těmito látkám vystavena různými cestami, nejčastěji prostřednictvím právě kontaminované pitné vody, potravních řetězců, kontaktu s půdou či vodním prostředím. Přestože jsou koncentrace reziduí drog v životním prostředí často nízké (v řádu ng/l až µg/l), nelze vliv dlouhodobé expozice na lidské zdraví zcela vyloučit, zejména u zranitelných skupin obyvatelstva. [45; 51]

Jedním z hlavních rizikových faktorů je již dříve zmiňovaná nedostatečná účinnost ČOV při odstraňování těchto látek. Riziko představuje především možnost návratu těchto látek do oběhu prostřednictvím úpravy vod na pitnou, především v oblastech, kde se povrchová voda využívá jako primární zdroj pitné vody. Běžné technologie úpravy pitné vody část těchto látek zachytí, ale studie ukazují, že stopová množství mohou zůstat i ve finálním produktu. [52]

Závažným problémem je bioakumulace těchto látek v potravních sítích a následná konzumace ryb, ve kterých se nachází rezidua drog. Tato situace může představovat chronické zdravotní riziko, zejména u dětí, těhotných žen nebo osob s oslabenou imunitou, zvláště antidepresiva a hormonálně aktivní látky, které mohou ovlivňovat endokrinní systém, reprodukční funkce či kognitivní schopnosti. [51]

Dalším neméně závažným problémem je využití čistírenských kalů v zemědělství, které jsou aplikovány jako hnojivo na zemědělskou půdu i přes to, že často obsahují vysoké koncentrace sorbovaných organických látek. Studie Grabic et al. (2022) prokázala, že při různých pH dochází k výraznému uvolňování farmaceutik a drog z kalů do okolního prostředí. Tyto látky se pak mohou dostat do podzemních vod a následně zpět do pitné vody. Při dlouhodobém hromadění mohou ohrožovat kvalitu půdy, bezpečnost potravin i lidské zdraví. [53]

Z provedených studií je zřejmé, že přítomnost drog v odpadních vodách představuje určité riziko pro lidské zdraví zahrnující narušení biologické rovnováhy či dlouhodobé vystavení zdravotním problémům, a proto je důležité věnovat pozornost této problematice v rámci dalších vědeckých výzkumů, legislativních opatření či preventivních strategií.

5.3 Možnosti omezení a prevence výskytu drog v odpadních vodách

Narůstající koncentrace zbytků nelegálních látek v odpadních vodách představuje rostoucí ekologickou a zdravotní hrozbu. Řešení této problematiky nespočívá v pouze v technologickém pokroku v oblasti čištění vod, ale vyžaduje také legislativní nástroje, odpovědný přístup výrobců léčiv, mezinárodní spolupráci a zapojení veřejnosti.

Evropská unie se problematikou znečištění vod farmaceutickými látkami zabývá prostřednictvím Rámcové směrnice (2000/60/ES), která zavádí cíle pro dosažení dobrého stavu povrchových a podzemních vod. Přestože tato směrnice stanovuje důležité standardy, praxi se často nedaří propojit jednotlivé dílčí sektory (zdravotnictví, zemědělství, průmysl, ochrana životního prostředí) do jednoho celistvého systému řízení této problematiky, což výrazně oslabuje účinnost směrnice. [54]

Důsledkem přetrvávající neefektivnosti dosavadních opatření představila Evropská komise směrnici o čištění městských odpadních vod, která zavádí princip rozšířené odpovědnosti výrobce. Cílem této směrnice je přenést část nákladů na odstranění mikropolutantů na výrobce a distributory léčiv, čímž by mělo dojít podpoře vývoje šetrnějších přípravků a zodpovědnějších výrobních procesů. [55; 56]

Ačkoli jsou evropské směrnice závazné, záleží na vůli jednotlivých států a jejich důslednosti v preventivních opatřeních. Například v České republice stále chybí systematický monitoring výskytu farmaceutik ve vodním prostředí, stejně tak právně závazné limity pro jejich koncentraci v odpadních a pitných vodách. Tato skutečnost ztěžuje vymáhání odpovědnosti a oslabuje ochranu vodních zdrojů proti těmto látkám.

Významnou součástí prevence je také osvěta veřejnosti prostřednictvím environmentálního vzdělání. Zvyšování povědomí o dopadech léčiv a drog v životním prostředí je také nezbytným krokem ke změně chování spotřebitelů. Dlouhodobě udržitelný přístup musí být postaven na komplexní legislativní strategii, důsledné prevenci a informované veřejnosti a kombinací těchto aspektů je možné chránit vodní zdroje, biodiverzitu a lidské zdraví. [54]

ZÁVĚR

Tato bakalářská práce se zaměřila na současnou problematiku přítomnosti nelegálních drog a jejich metabolitů v komunálních odpadních vodách. Cílem bylo přiblížit způsob analýzy odpadních vod ve sledování spotřeby drog v populaci, možnosti detekce a eliminace těchto látek v čistírnách odpadních vod a jaké dopady může mít jejich přítomnost na vodní ekosystémy a lidské zdraví.

Nejprve se práce věnovala popisu vybraných nelegálních drog, které se nejčastěji vyskytují v evropských odpadních vodách, konkrétně tedy kokainu, konopí, amfetaminu, metamfetaminu, MDMA a LSD. Byla popsána jejich historický vývoj, chemická charakteristika, způsoby užívání a účinky na lidské zdraví. Na tuto kapitolu navázala část práce popisující metabolické přeměny jednotlivých látek v lidském těle. Znalost metabolických drah těchto látek je klíčová pro správnou identifikaci biomarkerů, které se v odpadních vodách vyskytují a díky kterým je možné odhadovat reálnou spotřebu drog v populacích.

Následující část práce se zaměřila na vývoj spotřeby nelegálních drog v evropských městech, kdy tvořila hlavní zdroj dat mezinárodní studie SCORE využívající metodu WBE. Výsledky studií ukazují, že výskyt drog v odpadních vodách se liší v závislosti na regionu, velikosti města, denní době či ročním období. Například nejvyšší koncentrace kokainu či MDMA byla ve velkých městech a během víkendů, což potvrzuje především rekreační charakter užívání.

Dále se práce věnovala analýze přítomnosti drog v odpadních vodách z hlediska jejich stability a chování. Důležitou součástí této kapitoly bylo zhodnocení účinnosti čistíren odpadních vod při odstraňování drog a popis jednotlivých fází čištění. Studie ukazují, že i přes pokročilé technologické vybavení čistíren není zajištěna úplná eliminace všech drog a mohou tak přetrvávat ve vodním prostředí.

Jedna z hlavních částí práce se věnovala dopadům drog na vodní organismy a celý ekosystém. Bylo prokázáno, že i nízké koncentrace drog, především kokainu a metamfetaminu, mohou výrazně ovlivnit chování a povahu ryb z různých hledisek. Tyto změny mohou mít dlouhodobé důsledky pro stabilitu vodních ekosystémů, narušení potravních sítí či biodiverzity. Zároveň bylo poukázáno na možná rizika pro lidské zdraví, ať už prostřednictvím kontaminace pitné vody, nebo vlivem celkového znečištění životního prostředí.

Analýza odpadních vod se prokázala jako cenný nástroj při monitoringu drogové situace a její význam bude v budoucnu pravděpodobně narůstat. Do budoucna je důležité zaměřit se na zdokonalení analytických metod, rozšíření monitoringu na nově se objevující psychoaktivní látky a zlepšení účinnosti čistících procesů. Dále jsou nezbytná legislativní opatření, ale také prevence a osvěta v oblasti užívání nelegálních látek, které by mohly přispět k omezení jejich výskytu ve vodním prostředí

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] WHO WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Drugs (psychoactive)*. Online. Dostupné z: https://www.who.int/health-topics/drugs-psychoactive#tab=tab_1. [cit. 2024-01-03].
- [2] Drake LR, Scott PJH. DARK Classics in Chemical Neuroscience: Cocaine. *ACS Chem Neurosci*. 2018 Oct 17;9(10):2358-2372. doi: 10.1021/acscchemneuro.8b00117. Epub 2018 Apr 24. PMID: 29630337; PMCID: PMC6197930.
- [3] SANANIM - DROGOVÁ PORADNA. *Stimulační drogy – kokain*. Online. 2009 Dostupné z: <https://drogovaporadna.cz/stimulacni-drogy/kokain.html>. [cit. 2024-01-30].
- [4] KALINA, Kamil. *Drogy a drogové závislosti I*. Praha: Úřad vlády ČR, 2003. ISBN 80-86734-05-6.
- [5] ŠVIHOVEC, Jan. *Farmakologie*. Praha: Grada, 2018. ISBN 978-80-247-5558-8.
- [6] Farrar HC, Kearns GL. Cocaine: clinical pharmacology and toxicology. *J Pediatr*. 1989 Nov;115(5 Pt 1):665-75. doi: 10.1016/s0022-3476(89)80640-7. PMID: 2681634.
- [7] Grotenhermen F. Pharmacokinetics and pharmacodynamics of cannabinoids. *Clin Pharmacokinet*. 2003;42(4):327-60. doi: 10.2165/00003088-200342040-00003. PMID: 12648025.
- [8] BONACCORSI A, GARATTINI S, JORI A. HASHISH. *Br Med J*. 1964 Nov 28;2(5421):1348-9. doi: 10.1136/bmj.2.5421.1348. PMID: 14208199; PMCID: PMC1817279.
- [9] Sewell RA, Ranganathan M, D'Souza DC. Cannabinoids and psychosis. *Int Rev Psychiatry*. 2009 Apr;21(2):152-62. doi: 10.1080/09540260902782802. PMID: 19367509.
- [10] EXTC.CZ - INTERNETOVÁ DROGOVÁ PORADNA. *Marihuana*. Online. Dostupné z: <https://www.extc.cz/informace/marihuana>. [cit. 2024-01-30].
- [11] Johnson JK, Colby A. History of Cannabis Regulation and Medicinal Therapeutics: It's Complicated. *Clin Ther*. 2023 Jun;45(6):521-526. doi: 10.1016/j.clinthera.2023.04.011. PMID: 37414502.
- [12] Romanelli F, Smith KM. Clinical effects and management of methamphetamine abuse. *Pharmacotherapy*. 2006 Aug;26(8):1148-56. doi: 10.1592/phco.26.8.1148. PMID: 16863490.

- [13] SANANIM - DROGOVÁ PORADNA. *Stimulační drogy – pervitin*. Online. 2009. Dostupné z: <https://www.drogovaporadna.cz/stimulacni-drogy/pervitin.html>. [cit. 2024-01-30].
- [14] Vearrier D, Greenberg MI, Miller SN, Okaneku JT, Haggerty DA. Methamphetamine: history, pathophysiology, adverse health effects, current trends, and hazards associated with the clandestine manufacture of methamphetamine. *Dis Mon*. 2012 Feb;58(2):38-89. doi: 10.1016/j.disamonth.2011.09.004. PMID: 22251899.
- [15] Vearrier D, Greenberg MI, Miller SN, Okaneku JT, Haggerty DA. Methamphetamine: history, pathophysiology, adverse health effects, current trends, and hazards associated with the clandestine manufacture of methamphetamine. *Dis Mon*. 2012 Feb;58(2):38-89. doi: 10.1016/j.disamonth.2011.09.004. PMID: 22251899.
- [16] Fu YP, Wang Y. Amphetamines abuse and depression: Focus on TRPC channels. *Exp Neurol*. 2023 Jun;364:114391. doi: 10.1016/j.expneurol.2023.114391. Epub 2023 Mar 28. PMID: 36996966.
- [17] Rasmussen N. Amphetamine-Type Stimulants: The Early History of Their Medical and Non-Medical Uses. *Int Rev Neurobiol*. 2015;120:9-25. doi: 10.1016/bs.irn.2015.02.001. Epub 2015 Mar 17. PMID: 26070751.
- [18] PREVCENTRUM. *Informace o drogách - extaze*. Online. Dostupné z: <https://www.prevcentrum.cz/informace-o-drogach/extaze/>. [cit. 2024-01-30].
- [19] Costa G, Gołmbiowska K. Neurotoxicity of MDMA: Main effects and mechanisms. *Exp Neurol*. 2022 Jan;347:113894. doi: 10.1016/j.expneurol.2021.113894. Epub 2021 Oct 13. PMID: 34655576.
- [20] Benzenhöfer U, Passie T. Zur Frühgeschichte von "Ecstasy" [The early history of "Ecstasy"]. *Nervenarzt*. 2006 Jan;77(1):95-6, 98-9. German. doi: 10.1007/s00115-005-2001-y. PMID: 16397805.
- [21] Nichols DE, Walter H. The History of Psychedelics in Psychiatry. *Pharmacopsychiatry*. 2021 Jul;54(4):151-166. doi: 10.1055/a-1310-3990. Epub 2020 Dec 7. PMID: 33285579.
- [22] SANANIM - DROGOVÁ PORADNA. *LSD*. Online. 2009. Dostupné z: <https://www.citacepro.com/dokument/2TYFwXY8Q2IFtdFB>. [cit. 2024-01-30].
- [23] Gashi L, Sandberg S, Pedersen W. Making "bad trips" good: How users of psychedelics narratively transform challenging trips into valuable experiences. *Int J Drug Policy*. 2021

Jan;87:102997. doi: 10.1016/j.drugpo.2020.102997. Epub 2020 Oct 17. Erratum in: Int J Drug Policy. 2021 Jul;93:103183. doi: 10.1016/j.drugpo.2021.103183. PMID: 33080454.

[24] SKÁLOVÁ, Lenka. *Metabolismus léčiv a jiných xenobiotik*. Praha: Karolinum, 2018. ISBN 978-80-246-3733-4.

[25] Stewart DJ, Inaba T, Lucassen M, Kalow W. Cocaine metabolism: cocaine and norcocaine hydrolysis by liver and serum esterases. Clin Pharmacol Ther. 1979 Apr;25(4):464-8. doi: 10.1002/cpt1979254464. PMID: 428191.

[26] DVOŘÁK, Ondřej. *Já, droga*. 2022. Praha: Grada, 2023. ISBN 978-80-271-3759-6.

[27] MIOVSKÝ, Michal. *Konopí a konopné látky*. Praha: Grada, 2008. ISBN 978-80-247-0865-2.

[28] Dokuzparmak E , Brown K , Dennany L . Electrochemiluminescent screening for methamphetamine metabolites. Analyst. 2021 May 21;146(10):3336-3345. doi: 10.1039/d1an00226k. Epub 2021 Apr 16. PMID: 33999061.

[29] GONZÁLEZ-MARIÑO, Iria; ZUCCATO, Ettore; SANTOS, Miquel M.; CASTIGLIONI, Sara. Monitoring MDMA metabolites in urban wastewater as novel biomarkers of consumption. *Water Research*, 2017, roč. 115, s. 1–8. DOI: 10.1016/j.watres.2017.01.063.

[30] Libânio Osório Marta, Rui Filipe. 2019. “Metabolism of Lysergic Acid Diethylamide (LSD): An Update.” *Drug Metabolism Reviews* 51 (3): 378–87. doi:10.1080/03602532.2019.1638931.

[31] EUDA EUROPEAN UNION DRUGS AGENCY. *Drogová situace v Evropě do roku 2023 – přehled a hodnocení vznikajících hrozeb a nového vývoje (Evropská zpráva o drogách 2023)*. Online. 2023, 16.6.2023. Dostupné z: https://www.euda.europa.eu/publications/european-drug-report/2023/drug-situation-in-europe-up-to-2023_cs. [cit. 2024-03-03].

[32] EUDA EUROPEAN UNION DRUGS AGENCY. *Wastewater analysis and drugs — a European multi-city study*. Online. 2023, 20.3.2024. Dostupné z: https://www.euda.europa.eu/publications/html/pods/waste-water-analysis_en#section2 [cit. 2024-05-30].

- [33] Huizer M, Ter Laak TL, de Voogt P, van Wezel AP. Wastewater-based epidemiology for illicit drugs: A critical review on global data. *Water Res.* 2021 Dec 1;207:117789. doi: 10.1016/j.watres.2021.117789. Epub 2021 Oct 21. PMID: 34731667.
- [34] Yadav MK, Short MD, Aryal R, Gerber C, van den Akker B, Saint CP. Occurrence of illicit drugs in water and wastewater and their removal during wastewater treatment. *Water Res.* 2017 Nov 1;124:713-727. doi: 10.1016/j.watres.2017.07.068. Epub 2017 Jul 26. PMID: 28843086.
- [35] Coelho MM, Lado Ribeiro AR, Sousa JCG, Ribeiro C, Fernandes C, Silva AMT, Tiritan ME. Dual enantioselective LC-MS/MS method to analyse chiral drugs in surface water: Monitoring in Douro River estuary. *J Pharm Biomed Anal.* 2019 Jun 5;170:89-101. doi: 10.1016/j.jpba.2019.03.032. Epub 2019 Mar 15. PMID: 30909058.
- [36] Berset JD, Brenneisen R, Mathieu C. Analysis of illicit and illicit drugs in waste, surface and lake water samples using large volume direct injection high performance liquid chromatography--electrospray tandem mass spectrometry (HPLC-MS/MS). *Chemosphere.* 2010 Nov;81(7):859-66. doi: 10.1016/j.chemosphere.2010.08.011. PMID: 20801487.
- [37] Ramin P, Polesel F, Brock AL, Plósz BG. The impact of temperature on the transformation of illicit drug biomarkers in wastewater. *Sci Total Environ.* 2018 Dec 10;644:1612-1616. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.06.307. Epub 2018 Jul 23. PMID: 30743873.
- [38] Thai PK, Jiang G, Gernjak W, Yuan Z, Lai FY, Mueller JF. Effects of sewer conditions on the degradation of selected illicit drug residues in wastewater. *Water Res.* 2014 Jan 1;48:538-47. doi: 10.1016/j.watres.2013.10.019. Epub 2013 Oct 16. PMID: 24169511.
- [39] Yadav MK, Short MD, Gerber C, Awad J, van den Akker B, Saint CP. Removal of emerging drugs of addiction by wastewater treatment and water recycling processes and impacts on effluent-associated environmental risk. *Sci Total Environ.* 2019 Aug 25;680:13-22. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.05.068. Epub 2019 May 7. PMID: 31100664.
- [40] Sklenář P, Válková D. Čistírenské technologie – procesní fáze a jejich účinnost. Brno: Mendelova univerzita v Brně; 2019.
- [41] Černín L. Procesy čištění odpadních vod. Brno: Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta; 2009 [cit. 2025-02-31]. Dostupné z: https://is.muni.cz/el/sci/podzim2009/Bi7520/11_COV.pdf

- [42] Čištění odpadních vod v ČR. Vodní hospodářství [internet]. 2022 [cit. 2025-02-31]. Dostupné z: <https://vodnihospodarstvi.cz/cisteni-odpadnich-vod-cr/>
- [43] Kolaříková L. Biologické procesy v čištění komunálních vod. Brno: Ústav techniky a automatizace; 2020.
- [44] Meng X, Huang Z, Ge G. Upgrade and reconstruction of biological processes in municipal wastewater treatment plants. *Desalination Water Treat.* 2024;297:116–123. doi: 10.5004/dwt.2024.30231.
- [45] Zuccato E, Castiglioni S, Bagnati R, Chiabrando C, Grassi P, Fanelli R. Illicit drugs, a novel group of environmental contaminants. *Water Res.* 2008 Feb;42(4-5):961-8. doi: 10.1016/j.watres.2007.09.010. Epub 2007 Sep 21. PMID: 17935751.
- [46] Červený D, Grabic R, Grabicová K, Randák T, Larsson DGJ, Johnson AC, Jürgens MD, Tysklind M, Lindberg RH, Fick J. Neuroactive drugs and other pharmaceuticals found in blood plasma of wild European fish. *Environ Int.* 2020;136:106188. doi: 10.1016/j.envint.2020.106188.
- [47] Chen L, Guo C, Sun Z, Xu J. Occurrence, bioaccumulation and toxicological effect of drugs of abuse in aquatic ecosystem: A review. *Environ Res.* 2021 Sep;200:111362. doi: 10.1016/j.envres.2021.111362. Epub 2021 May 26. PMID: 34048744.
- [48] Horký P, Grabic R, Grabicová K, Brooks BW, Douda K, Slavík O, Hubená P, Sancho Santos EM, Randák T. Methamphetamine pollution elicits addiction in wild fish. *J Exp Biol.* 2021 Jul 1;224(13):jeb242145. doi: 10.1242/jeb.242145. Epub 2021 Jul 6. PMID: 34229347.
- [49] Lee SS, Paspalof AM, Snow DD, Richmond EK, Rosi-Marshall EJ, Kelly JJ. Occurrence and Potential Biological Effects of Amphetamine on Stream Communities. *Environ Sci Technol.* 2016 Sep 6;50(17):9727-35. doi: 10.1021/acs.est.6b03717. Epub 2016 Aug 25. PMID: 27513635.
- [50] Pal R, Megharaj M, Kirkbride KP, Naidu R. Illicit drugs and the environment--a review. *Sci Total Environ.* 2013 Oct 1;463-464:1079-92. doi: 10.1016/j.scitotenv.2012.05.086. Epub 2012 Jun 21. PMID: 22726813.
- [51] Royano S, Navarro I, Torre A, Martínez MÁ. Investigating the presence, distribution and risk of pharmaceutically active compounds (PhACs) in wastewater treatment plants, river sediments and fish. *Chemosphere.* 2024 Nov;368:143759. doi: 10.1016/j.chemosphere.2024.143759. Epub 2024 Nov 22. PMID: 39551192.

- [52] Carnevale Miino M, Macsek T, Halešová T, Chorazy T, Hlavínek P. Pharmaceutical and narcotics monitoring in Brno wastewater system and estimation of seasonal effect on the abuse of illicit drugs by a wastewater-based epidemiology approach. *Sci Total Environ*. 2023 Sep 15;891:164386. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.164386. Epub 2023 May 30. PMID: 37263433.
- [53] Grabic R, Ivanová L, Kodešová R, Grabicová K, Vojs Staňová A, Imreová Z, Drtil M, Bodík I. Desorption of pharmaceuticals and illicit drugs from different stabilized sludge types across pH. *Water Res*. 2022 Jul 15;220:118651. doi: 10.1016/j.watres.2022.118651. Epub 2022 May 24. PMID: 35635925.
- [54] Voulvoulis N, Arpon KD, Giakoumis T. The EU Water Framework Directive: From great expectations to problems with implementation. *Sci Total Environ*. 2017 Jan 1;575:358-366. doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.09.228. Epub 2016 Oct 13. PMID: 27744201.
- [55] Huerta-Fontela M, Galceran MT, Ventura F. Occurrence and removal of pharmaceuticals and hormones through drinking water treatment. *Water Res*. 2011 Jan;45(3):1432-42. doi: 10.1016/j.watres.2010.10.036. Epub 2010 Nov 5. PMID: 21122885.
- [56] Eniola JO, Mazumder P, Tyagi VK, Chaminda T, An A, Kumar M. A review on conventional and advanced hybrid technologies for the removal of pharmaceuticals from wastewater. *J Clean Prod*. 2022 Jun 10;354:131604. doi: 10.1016/j.jclepro.2022.131604.
- [57] PREVCENTRUM. *Informace o drogách – kokain*. Online. Dostupné z: <https://www.prevcentrum.cz/informace-o-drogach/kokain/>. [cit. 2024-01-30].
- [58] Busardò FP, Pérez-Acevedo AP, Pacifici R, Mannocchi G, Gottardi M, Papaseit E, Pérez-Mañá C, Martin S, Poyatos L, Pichini S, Farré M. Disposition of Phytocannabinoids, Their Acidic Precursors and Their Metabolites in Biological Matrices of Healthy Individuals Treated with Vaporized Medical Cannabis. *Pharmaceuticals (Basel)*. 2021 Jan 13;14(1):59. doi: 10.3390/ph14010059. PMID: 33451073; PMCID: PMC7828520.
- [59] Sprega G, Kobidze G, Lo Faro AF, Pichini S, Farkas T, Tini A, Mskhiladze A, Busardò FP, Chankvetadze B. Optimalizace metody enantioselektivní vysokoúčinné kapalinové chromatografie-tandemové hmotnostní spektrometrie pro kvantitativní stanovení 3,4-methylen-dioxymetamfetaminu (MDMA) a jeho metabolitů fáze I v lidských biologických tekutinách. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. 2024 Jun 15;243:116076. doi: 10.1016/j.jpba.2024.116076.

- [60] Nelson CC, Foltz RL. Chromatographic and mass spectrometric methods for determination of lysergic acid diethylamide (LSD) and metabolites in body fluids. *J Chromatogr.* 1992 Sep 16;580(1-2):97-109. doi: 10.1016/0378-4347(92)80530-4. PMID: 1400834.
- [61] VÚV TGM. *Drogy v komunálních odpadních vodách*. VÚV TGM [online]. [cit. 2024-02-28]. Dostupné z: <https://www.vuv.cz/drogy-ve-vodach/o-tematu-24/>.
- [62] Zhu X, Luo T, Wang D, Zhao Y, Jin Y, Yang G. The occurrence of typical psychotropic drugs in the aquatic environments and their potential toxicity to aquatic organisms - A review. *Sci Total Environ.* 2023 Nov 20;900:165732. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.165732. Epub 2023 Jul 24. PMID: 37495145.

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1: Strukturální vzorec kokainu, zdroj: (Dvořák, 2022)</i>	15
<i>Obrázek 2: Strukturální vzorec THC, zdroj: (Busardò, 2021)</i>	17
<i>Obrázek 3: Strukturální vzorec metamfetaminu, zdroj: (Dvořák, 2022)</i>	18
<i>Obrázek 4: Strukturální vzorec amfetaminu, zdroj: (Dvořák, 2022)</i>	20
<i>Obrázek 5: Strukturální vzorec MDMA, zdroj: (Sprega, 2024)</i>	21
<i>Obrázek 6: Strukturální vzorec LSD, zdroj: (Dvořák, 2022)</i>	23
<i>Obrázek 7: Struktura výchozí formy a metabolitů kokainu, převzato, upraveno, zdroj: (Dvořák, 2022)</i>	25
<i>Obrázek 8: Struktura výchozí formy a metabolitů THC, převzato, upraveno, zdroj: (Busardò, 2021)</i>	26
<i>Obrázek 9: Struktura výchozí formy a metabolitů MA, zdroj: (Dvořák, 2022)</i>	27
<i>Obrázek 10: Struktura výchozí formy a metabolitů MDMA, zdroj: (Sprega, 2024)</i>	28
<i>Obrázek 11: Struktura výchozí formy a metabolitů LSD, zdroj: (Nelson, 1992)</i>	29
<i>Obrázek 12: Hmotnostní výskyt metabolitů kokainu na 1000 osob za den a změny v průměrných týdenních hodnotách metabolitů kokainu z analýz odpadních vod ve vybraných evropských městech v letech 2022 až 2023, červená = zvýšení, zelená = snížení, žlutá = stabilní, zdroj: (EUDA, 2023)</i>	33
<i>Obrázek 13: Hmotnostní výskyt metabolitů konopí na 1000 osob za den a změny v průměrných týdenních hodnotách metabolitů konopí z analýz odpadních vod ve vybraných evropských městech v letech 2022 až 2023, červená = zvýšení, zelená = snížení, žlutá = stabilní, zdroj: (EUDA, 2023)</i>	34
<i>Obrázek 14: Změny v průměrných týdenních hodnotách metabolitů amfetaminu z analýz odpadních vod ve vybraných evropských městech v letech 2022 až 2023, červená = zvýšení, zelená = snížení, žlutá = stabilní, zdroj: (EUDA, 2023)</i>	36
<i>Obrázek 15: Hmotnostní výskyt metabolitů metamfetaminu na 1000 osob za den a změny v průměrných týdenních hodnotách metabolitů metamfetaminu z analýz odpadních vod ve vybraných evropských městech v letech 2022 až 2023, červená = zvýšení, zelená = snížení, žlutá = stabilní, zdroj: (EUDA, 2023)</i>	37
<i>Obrázek 16: Hmotnostní výskyt metabolitů MDMA na 1000 osob za den a změny v průměrných týdenních hodnotách metabolitů MDMA z analýz odpadních vod ve vybraných evropských městech v letech 2022 až 2023, červená = zvýšení, zelená = snížení, žlutá = stabilní, zdroj: (EUDA, 2023)</i>	38
<i>Obrázek 17: Schématický přehled epidemiologického přístupu k odpadním vodám, zdroj: (VÚV TGM)</i>	40
<i>Obrázek 18: Schématické znázornění procesu aktivovaného kalu v ČOV, převzato, upraveno, zdroj: (Masarykova univerzita, 2012)</i>	42
<i>Obrázek 19: Schématické znázornění řetězce psychotropních látek, zdroj: (Zhu X, 2023)</i>	46

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Průměrné vylučování MDMA a jeho metabolitů močí 28

Tabulka 2: Metabolismus drog, hlavní metabolity, jejich aktivita a doba vylučování. 30

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

AK – aktivovaný kal

AMP – amfetamin

BE – benzoylekgonin

CO – kokain

ČOV – čistírna odpadních vod

EME – ekgonin methylester

EU – evropská unie

EUDA – Evropská agentura pro drogy, z angl. European union drugs agency

HHA – 3,4-dihydroxyamfetamin

HHMA – 3,4-dihydroxymetamfetamin

HMA – 4-hydroxy-3-methoxyamfetamin

HMMA – 4-hydroxy-3-methoxymetamfetamin

LAE – ethylamid kyseliny lysergové

LC – kapalinová chromatografie

LSD – diethylamid kyseliny lysergové

LC-MS/MS – kapalinová chromatografie s tandemovou hmotnostní spektroskopií, z angl. liquid chromatography with tandem mass spectrometry

LEO – ethyl-2-hydroxyethylamid kyseliny lysergové

MA – metamfetamin

MDA – 3,4-methylenedioxyamfetamin

MDMA – 3,4-methylenedioxymetamfetamin

MS – hmotnostní spektrometrie, z angl. mass spectrometry

NEPH – norefedrin

NOR – norkokain

Nor-LSD – N-demethylamid-LSD

OH-LSD – 2-oxo-3-hydroxy-LSD

OV – odpadní voda

p-OHA – p-hydroxyamfetamin

p-OHMA – para-hydroxymetamfetamin

SCORE – evropská skupina pro analýzu odpadních vod, z angl. sewage analysis CORE group Europe

THC – delta-9-tetrahydrokanabinol

THC-COOH – 11-nor-delta-9-tetrahydrokanabinol-karboxylová kyselina

WBE – epidemiologie odpadních vod, z angl. wastewater-based epidemiology

11-OH-THC – 11-hydroxy-delta-9-tetrahydrokanabinol-karboxylová kyselina