

# Základy senzorické analýzy pitné vody

Příručka pro hydroanalytické laboratoře a provozovatele vodovodu  
určená pro běžnou kontrolu i řešení problémů s pachem, chutí a vzhledem vody

Státní zdravotní ústav  
Praha 2024

T A  
Č R

Tato publikace vznikla za finanční podpory Technologické agentury ČR, programu ÉTA jako plánovaný výstup projektu č. TL03000252 „Kohoutkovou nebo balenou: Bariéry a motivace konzumace pitné vody“.

# **Základy senzorické analýzy pitné vody**

Příručka pro hydroanalytické laboratoře a provozovatele vodovodu  
určená pro běžnou kontrolu i řešení problémů s pachem, chutí a vzhledem vody

František Kožíšek  
Petr Pumann  
Veronika Kovács Vospěl  
Lenka Mayerová  
Filip Kotal  
Dana Baudišová  
Jan Ručka  
Hana Jeligová  
Jiří Paul

Státní zdravotní ústav  
Praha 2024

## **Základy senzorické analýzy pitné vody**

Příručka pro hydroanalytické laboratoře a provozovatele vodovodu určená pro běžnou kontrolu i řešení problémů s pachem, chutí a vzhledem vody

### Autorský kolektiv:

MUDr. František Kožíšek, CSc., Státní zdravotní ústav

Mgr. Petr Pummann, Státní zdravotní ústav

Mgr. Veronika Kovács Vospěl, ENGLOBER, s.r.o.

Ing. Lenka Mayerová, Ph.D., Státní zdravotní ústav

Ing. Filip Kotal, Ph.D., Státní zdravotní ústav

RNDr. Dana Baudišová, Ph.D., Státní zdravotní ústav

Ing. Jan Ručka, Ph.D., Fakulta stavební VUT v Brně, Ústav vodního hospodářství obcí

MUDr. Hana Jeligová, Státní zdravotní ústav

Mgr. Jiří Paul, MBA, Asociace pro vodu ČR, z.s. a Vodovody a kanalizace Beroun, a.s.

### Recenzenti:

Ing. Radka Hušková, Pražské vodovody a kanalizace, a.s.

RNDr. Svatopluk Krýsl, CSc., Labtech, s.r.o.

Doc. RNDr. Jana Říhová Ambrožová, Ph.D., Vysoká škola chemicko-technologická, Ústav technologie vody a prostředí

Tato publikace vznikla za finanční podpory Technologické agentury ČR, programu ÉTA jako plánovaný výstup projektu č. TL03000252 „Kohoutkovou nebo balenou: Bariéry a motivace konzumace pitné vody“.

© Státní zdravotní ústav, 2024

Vydal Státní zdravotní ústav

Šrobárova 49/48, 100 00 Praha 10

1. vydání

Praha 2024

Grafická úprava: Státní zdravotní ústav

ISBN 978-80-7071-451-5

# Obsah

1	Úvod.....	6
1.1	Význam organoleptických vlastností pitné vody .....	6
1.2	Legislativní požadavky na organoleptické vlastnosti pitné vody.....	7
1.2.1	Historický vývoj.....	7
1.2.2	Současný stav .....	8
1.3	Terminologie sensorické analýzy .....	10
2	Metodika sensorické analýzy.....	11
2.1	Úvod.....	11
2.2	Požadavky na posuzovatele, laboratorní podmínky a vybavení.....	11
2.2.1	Výběr, výcvik a sledování způsobilosti posuzovatelů .....	11
2.2.2	Rizika a omezení výkonu posuzovatelů.....	14
2.2.3	Vedoucí panelu .....	16
2.2.4	Požadavky na laboratorní vybavení a prostředí laboratoře.....	16
2.2.5	Požadavky na odběr vzorků, jejich uchovávání a manipulaci .....	17
2.2.6	Záznamy.....	18
2.2.7	Referenční materiály a standardy.....	19
2.3	Zkušební postup .....	19
2.4	Přehled metod sensorické analýzy vody .....	20
2.4.1	Metody sensorické analýzy využitelné ve vodárenství.....	21
2.4.1.1	Afektivní metody .....	21
2.4.1.2	Deskriptivní metody .....	21
2.4.1.3	Metody pro určení prahu .....	22
2.4.1.4	Rozlišovací metody .....	24
2.5	Metody stanovení pachu a chuti používané v ČR .....	24
2.6	Sensorický panel zaměstnanců/spotřebitelů.....	27
2.6.1	Úvod.....	27
2.6.2	Vhodné metody pro panel spotřebitelů/zaměstnanců .....	28
2.6.3	Sensorický panel spotřebitelů pitné vody v Hořovicích .....	29
3	Zjišťování příčin sensorických problémů .....	31
3.1	Úvod.....	31
3.2	Rutinní rozbor vody.....	31
3.3	Místní šetření.....	31
3.4	Nápověda ze sensorické analýzy.....	32
3.5	Pomocné a speciální chemické, mikrobiologické a biologické rozborů .....	32
3.5.1	Chemické rozborů .....	32
3.5.1.1	Úvod .....	32
3.5.1.2	Uzavřená stripovací analýza (CLSA) .....	33
3.5.1.3	Mikroextrakce na tuhé fázi (SPME) .....	33
3.5.1.4	Sorpční extrakce s míchadlem (SBSE).....	34
3.5.1.5	Statická head-space (SHS).....	34
3.5.1.6	Dynamická head-space (DHS) .....	35
3.5.1.7	Zvýšení citlivosti použitím velkého nástříku (LVI).....	35
3.5.1.8	Olfaktometrie .....	36
3.5.1.9	Závěr .....	36
3.5.2	Mikrobiologické rozborů .....	37
3.5.2.1	Úvod .....	37
3.5.2.2	Základní mikrobiologický rozbor vody .....	37
3.5.2.3	Stanovení mikromycet .....	38
3.5.2.4	Stanovení aktinomycet.....	39

3.5.2.5	Stanovení myxobakterií .....	39
3.5.2.6	Stanovení desulfurikačních bakterií .....	40
3.5.2.7	Závěr .....	40
3.5.3	Biologický (mikroskopický) rozbor .....	40
3.5.4	Vizuální posouzení .....	42
4	Šetření stížností spotřebitelů .....	48
4.1	Úvod .....	48
4.2	Postup při řešení stížnosti .....	48
4.3	Záznamy a vyhodnocení .....	52
5	Zdroje a příčiny sensorických problémů .....	53
5.1	Úvod .....	53
5.2	Surová voda .....	53
5.3	Úprava vody .....	56
5.4	Distribuční síť .....	56
5.4.1	Interakce materiálů potrubí s vodou .....	57
5.4.2	Produkty mikrobiologického a biologického oživení (popř. oživení jako takové) .....	58
5.4.3	Vznik a mobilizace sedimentu .....	59
5.4.4	Záměrná, ale nepravidelná aplikace dezinfekčního prostředku v distribuční síti .....	59
5.4.5	Průnik kontaminace do potrubí a vodojemů zvenčí .....	60
5.5	Vnitřní vodovod včetně zařizovacích předmětů .....	60
6	Nejčastější chemické látky spojené s nepříjemným pachem a chutí vody .....	62
6.1	Kolo chutí a pachů .....	62
6.2	Přehled prioritních chemických látek a jejich zdrojů .....	65
6.2.1	Geosmin .....	65
6.2.2	2-Methylisoborneol (2-MIB) .....	66
6.2.3	Haloanisoly .....	67
6.2.4	Látky způsobující chlorový pach vody (viz také kap. 5.3) .....	67
6.2.5	Sirovodík (sulfan) .....	67
6.2.6	Beta-jonon .....	68
6.2.7	Beta-cyclocitral .....	68
7	Možná preventivní a nápravná opatření .....	69
7.1	Úvod .....	69
7.2	Surová voda .....	69
7.3	Úprava vody .....	70
7.4	Distribuční síť .....	70
7.5	Vnitřní vodovod .....	71
7.6	Možná preventivní a nápravná opatření v distribuční části vodovodu .....	72
7.6.1	Vliv hydraulických podmínek na kvalitu vody ve vodovodních sítích .....	72
7.6.2	Jemný sediment ve vodovodním potrubí .....	73
7.6.3	Vliv změny klimatu na kvalitu vody ve vodovodních sítích .....	74
7.6.4	Opatření pro prevenci a nápravu zhoršené kvality vody během distribuce .....	75
7.6.4.1	Opatření ve vodojemech a přerušovacích nádržích .....	76
7.6.4.2	Preventivní opatření proti akumulaci sedimentu ve vodovodní síti .....	77
7.6.4.3	Nápravné opatření – čištění potrubí metodou řízeného proplachování po úsecích .....	78
8	Sensorické závady vody a zdravotní rizika .....	81
9	Komunikace a spolupráce se spotřebiteli a samosprávou .....	83
10	Závěr .....	85
	Příloha 1. Výběr pojmů sensorické analýzy a jejich definic .....	86
	Literatura .....	88

# 1 Úvod

## 1.1 Význam organoleptických vlastností pitné vody

Vzhled, pach a chuť jsou hlavními kritérii, pomocí kterých spotřebitelé posuzují kvalitu pitné vody a prostřednictvím kterých se vytváří jejich důvěra, či naopak nedůvěra v tento produkt. V případě vody dodávané veřejným vodovodem se často jedná o kritéria jediná, protože spotřebitel často jaksi automaticky předpokládá, že voda z tohoto zdroje musí být bezpečná. Nezávadnost a bezpečnost pitné vody, její organoleptické vlastnosti (tedy právě vzhled, pach a chuť) a důvěra spotřebitele jsou organicky provázané aspekty, z nichž žádný nelze podcenit nebo vyloučit jako méně důležitý, má-li být naplněn cíl moderního vodárenství, jak ho již v roce 2004 definovala Mezinárodní asociace pro vodu v Bonnské vodní chartě: *Cílem je pitná voda, kterou lze nejen bez obav pít, protože je nezávadná a bezpečná, ale u níž spotřebitel oceňuje její estetickou kvalitu a která pochází ze systému zásobování, který se těší důvěře spotřebitelů.* (IWA, 2004).

Snaha výrobců a distributorů pitné vody o dodávku co nejlepší vody po stránce senzorycké však musí být podložena schopností jejich či jimi využívaných laboratoří tuto stránku vody co nejlépe hodnotit – a to jak za běžné situace, tak v případě stížností. Nelze se spoléhat jen na dobrou analytickou schopnost chemické a mikrobiologické kvality; podobně jako nám mikroskopický rozbor vody přinese nové informace nad rámec i velmi podrobné chemické či mikrobiologické analýzy, stejně tak nám dobré senzorycké hodnocení vody někdy přinese informaci, kterou z instrumentální analýzy nezískáme, popř. jen velmi pracně, zdlouhavě a nákladně.

Dnes se klade velký důraz na různá chytrá (smart) řešení – mnoho zahraničních vodárenských společností již přišlo na to, že velmi chytrým řešením je zapojit do kontroly kvality vody samotné spotřebitele, protože tito na rozdíl od vzorkařů a laboratorních pracovníků vodárenské společnosti pracují v podstatě nepřetržitě a jejich smysly jsou levným, ale velmi cenným nástrojem pro kontrolu procesu výroby a distribuce vody. Zejména pokud se jedná o náhlou změnu v kvalitě vody jako je zákal, barva, pach či chuť, kterou spotřebitelé rychle a správně detekují. Taková změna ukazuje na nečekaný provozní problém, který spotřebitelé často zjistí dříve než provozovatel.

Proto by mělo být zájmem moderní vodárenské společnosti práci se zákazníky (spotřebiteli) systematicky rozvíjet a mít dobře nastaven systém přijímání a vyhodnocování stížností na kvalitu vody. Tím totiž mohou pracovníci vodárenské společnosti rychle získat informaci o potenciálním ohrožení bezpečnosti vody (např. hnilobný pach může indikovat vniknutí odpadní vody do potrubí s pitnou vodou) a rychle zareagovat opatřením chránícím zdraví odběratelů. V zahraničí se takový systém nazývá sledování stížností spotřebitelů (consumer complaint surveillance či CCS) a v některých zemích je ze strany regulátorů buď přímo vyžadován (DWI, 2020a a 2020b), nebo je alespoň silně doporučován (U. S. EPA, 2017).

Jakkoli je rychlé vyřízení stížnosti či clusteru stížností na vzhled, pach či barvu vody důležité jak z hlediska důvěry odběratele, tak z hlediska reputace dodavatele vody, těžiště práce senzoryckého hodnocení pitné vody by mělo spočívat v kontrole a posuzování běžného provozu. Právě ten je rozhodující pro to, jak většina spotřebitelů vnímá organoleptickou kvalitu vody. A jak v tomto směru situace v České republice vypadá? V rámci projektu zaměřeného na podporu konzumace kohoutkové vody byl v roce 2022 proveden první reprezentativní celonárodní průzkum v České republice (ČR), jak občané pijí kohoutkovou a balenou vodu a jaké k tomu mají motivace. Ze šetření vedeného mezi téměř 3 500 respondenty ve věku 18 až 69 let vyplynulo, že 81 % občanů pije denně kohoutkovou vodu. K hlavním důvodům, proč naopak 12 % občanů vodu z kohoutku nepije vůbec nebo jen výjimečně (několikrát za měsíc), patřila špatná chuť, pach nebo vzhled vody (38 %) a obavy o zdraví (14 %) (Zvěřinová a kol., b. d.). Prostor pro zlepšení však není jen u těch cca 5 % obyvatel, kteří kvůli výhradám k chuti, pachu či vzhledu vody vodu z vodovodu prakticky nepijí, ale i u mnoha z těch ostatních, kteří ji sice pijí, ale za ideál dobré vody určitě nepovažují. Zde se totiž dostáváme z oblasti jasných či poměrně jasně rozpoznatelných extrémů do jakési

hraniční „šedé zóny“ mezi přijatelností a nepřijatelností, kde nutnost pečlivého a opravdu kvalitního sensorického posouzení vystupuje do popředí. Úkolem sensorického posuzovatele tedy není jen správně vyhodnotit, zda spotřebitelé mohou vnímat pitnou vodu jako nepřijatelnou nebo hraničně přijatelnou, resp. zda vyhovuje legislativním požadavkům, ale také poskytovat technologům důležitou informaci o povaze případného nepříjemného pachu či chuti (zejména odlišné od obvyklého stavu), což bývá prvním klíčem k identifikaci látek, které tento problém způsobují, potažmo k identifikaci možných nápravných opatření.

Proto je nezbytné, aby členové sensorických panelů laboratoří byli správně vybráni, dobře proškoleni a průběžně cvičeni, správně vedeni a znali meze a rizika svého posuzování a hodnocení. Protože v tomto směru spatřujeme v laboratořích v ČR značné mezery, za které může nejen dlouhodobé, ale takřka historické podceňování organoleptických vlastností vody a s ním spojená omezená nabídka vzdělávání a studijních materiálů, rozhodli jsme se v rámci našeho projektu přispět ke zlepšení tohoto stavu. A to tím, že pracovníkům laboratoří, technologům a jiným pracovníkům vodárenských společností nabídneme první českou ucelenou příručku, zaměřenou specificky právě na sensorické hodnocení kvality pitné vody.

Pokud totiž budou chtít tuzemští výrobci vody naplňovat shora uvedený cíl moderního vodárenství a nevyrábět jen vodu, která bude po sensorické stránce hodnocena jako „ještě přijatelná“, nýbrž vodu, u které spotřebitel ocení její organoleptické vlastnosti, musí být nejprve schopni tuto kvalitu vody správně posoudit a ve svém vnímání a hodnocení se přiblížit vnímání spotřebitelů. Správné pojmenování současného stavu je totiž prvním a nezbytným krokem k postupnému zlepšování.

## 1.2 Legislativní požadavky na organoleptické vlastnosti pitné vody

### 1.2.1 Historický vývoj

První národní právní předpisy a technická norma vztahující se ke kvalitě pitné vody existují v České republice od poloviny dvacátého století. Nicméně již podstatně dříve se odborníci v hygieně snažili o formulování odborných požadavků na kvalitu pitné vody, včetně jejích organoleptických vlastností. Ocitujme si pro zajímavost z respektované monografie Hygiena vody od zakladatele moderní české hygieny, profesora Gustava Kabrhela:

„Na dobrou vodu pitnou kladou se požadavky tyto:

1. Voda pitná svými vlastnostmi zevnějšími nesmí buditi odpor neb ošklivost. Má-li tomuto požadavku býti vyhověno, musí voda býti úplně bezbarvá, veškerého zákalu nebo jakýchkoliv plovoucích částecěk úplně prosta, t. j. jako křišťál čistá a postrádati veškerého zápachu [...]
2. Voda pitná má míti po celý rok náležitou, přiměřenou studenost, která jest dána, jestliže teplota její se udržuje v mezích 7–11 °C [...]
3. Voda pitná má býti dobré a lahodné chuti. Vzhledem k požadavku dobré lahodné chuti dlužno uvésti, že vody pitné, vyvolávající v ústech nelibé pocity chuťové, vzbuzují u člověka instinktivní odpor podobně jako vody nečisté neb zakalené, jehož oprávněnost také i v tomto případě jest úplně zřejmá. Má-li ve své chuti být správně oceněna, pak doporučí se ochutnati vodu poněkud oteplenou [...]" (Kabrhel, 1927).

V návaznosti na zákon č. 4/1952 Sb., o hygienické a protiepidemické péči, vyšlo nařízení ministra zdravotnictví č. 87/1953 Sb., o hygienické a protiepidemické ochraně vody. Zde se uvádělo, že vody pitné, užitkové, léčivé a minerální musí být zdravotně nezávadné a musí vyhovovat zásadním hygienickým požadavkům, které stanoví hlavní hygienik. Pokud hlavní hygienik v následujících pěti letech takové požadavky vydal, nám se dnes nedochovaly. Nicméně následná právní úprava z 60. let se již odkazovala na příslušnou státní normu: „Vzhled, chuť a ostatní fyzikální, jakož i chemické, mikrobiologické a biologické vlastnosti pitné vody stanoví státní technická norma.“ (§ 7 odst. 2 vyhlášky ministerstva zdravotnictví č. 45/1966 Sb., o vytváření a ochraně zdravých životních podmínek).

První takovou normou byla ČSN 56 7900 Pitná voda platná od poloviny roku 1959. V ní byly vzhled, chuť a pach řazeny mezi fyzikální vlastnosti vody s těmito požadavky. Vzhled – zákal maximálně 5 mg suspenze SiO<sub>2</sub>/litr a roční průměr 3 mg SiO<sub>2</sub>/litr; zabarvení max. 20° podle platinokobaltnaté stupnice. Chuť – pitná voda má být čerstvé chuti, bez rušivých příchutí, mezná hodnota 2 bally (pětimístné stupnice). Pach – pitná voda má být bez jakéhokoli pachu, mezná hodnota 2 bally (pětimístné stupnice).

Tuto normu vystřídala v roce 1964 ČSN 83 0611 Pitná voda se stejnými požadavky na vzhled a s nepatrně upravenými požadavky na chuť (pitná voda má být čerstvé chuti, nesmí mít rušivé příchuti) a pach (pitná voda má být bez jakéhokoli pachu, mezná hodnota 2 stupně pětimístné stupnice).

Další změna přišla s novelou o 10 let později, norma měla stejné číslo i název a požadavky na barvu max. 20 mg Pt v litru a zákal max. 5 ZF. U pachu a chuti bylo společně uvedeno: pitná voda musí být prosta jakéhokoliv rušivého pachu a chuti; mezná hodnota 2. stupeň pachu (pětimístné stupnice); překročení hodnoty pachu a chuti na 3. stupeň je dovoleno při denní kontrole v časovém úseku, představujícím pouze 5 % ze sledovaného období (podobné zmírnění platilo i pro zákal).

Poslední norma pak platila od 1. ledna 1991 do 1. listopadu 2001 a jmenovala se ČSN 75 7111 Pitná voda. Pro pach i chuť platila mezní hodnota stupeň 2 (ve stejné výši pak byla nastavena i tzv. indikační hodnota, při jejímž překročení se měl udělat cílený rozbor na přítomnost pachotvorné součásti, např. chlorfenoly nebo NEL) s poznámkou, že lze připustit občasné překročení do 3. stupně o četnosti do 3 % ročního výskytu za předpokladu denní kontroly. Podobné zmírnění platilo i pro barvu a zákal.

Období mezi poslední normou ČSN 75 7111 a současnou vyhláškou č. 252/2004 Sb. pak překlenula vyhláška Ministerstva zdravotnictví č. 376/2000 Sb., kterou se stanoví požadavky na pitnou vodu a rozsah a četnost její kontroly, účinná od 1. 1. 2001. Ta již z větší části vycházela ze směrnice Rady 98/83/ES. Pro chuť stanovovala limit (meznou hodnotu) „přijatelná“ a pro pach stupeň 2 bez dalšího upřesnění. Pro barvu platila mezná hodnota 20 mg/l a pro zákal 5 NTU s poznámkou, že v případech úpravy povrchové vody by voda vycházející z úpravny neměla překročit hodnotu 1,0 NTU.

Podíváme-li se na nastíněný vývoj požadavků za necelých sto let, vidíme určitý posun od idealismu k pragmatismu. Posun, který doprovázel výše zmíněnou etapu, kdy byly organoleptické vlastnosti pitné vody považovány za druhořadé a hlavní důraz se kladl na chemické a mikrobiologické vlastnosti a rozbor. Naštěstí se situace ve vnímání důležitosti těchto vlastností mění a jako druhořadé si je dnes troufnou odborníci označit snad jen při zvládání krátkodobých havarijních stavů, ale rozhodně ne při standardním provozu systému zásobování vodou.

## 1.2.2 Současný stav

Současné požadavky na organoleptické vlastnosti pitné vody definuje vyhláška MZ č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody, aktuálně ve znění vyhlášky č. 371/2023 Sb. s platností od 4. ledna 2024.

Limitní (mezní) hodnota pro pach a chuť je „přijatelný/á pro spotřebitele“ s touto vysvětlující poznámkou: *Předmětem zkoušky jsou všechny druhy nepříjemných pachů a chutí, které mohou být předmětem stížností odběratelů, tedy i pachy a chutě způsobené použitým dezinfekčním přípravkem. V případě pochybností při sensorickém hodnocení se za přijatelné považují prahová čísla 1 a 2 při stanovení podle ČSN EN 1622 Jakost vod – Stanovení prahového čísla pachu (TON) a prahového čísla chuti (TFN). Pro toto hodnocení musí být použit vzorek vody co nejčerstvější a při stanovení prahového čísla se nepostupuje podle bodu 10.1 normy (vzorek se nedechloruje), s výjimkou vzorků odebraných na výstupu z úpravny nebo na vodojemu. Pokud není možné z bezpečnostních důvodů nebo jiných objektivních příčin (vzorek vody nevyhovuje mikrobiologicky, zákaelem, barvou nebo pachem nebo by mohl jiným způsobem ohrozit zdraví posuzovatele) chuť stanovit, do protokolu se místo výsledku uvede „Nelze stanovit“.*

Tuto vysvětlivku můžeme opsat jinými slovy a více vysvětlit třeba následovně:



- a) Klíčové je posouzení toho, jak kvalitu vody pravděpodobně vnímá spotřebitel. Proto se také požaduje, aby se vzorky vody odebíraly na kohoutku u spotřebitele<sup>1</sup> – to však nebrání provozovateli vodovodu, aby si z provozních důvodů neodebíral vzorky i kdekoli jinde v síti a sensoricky je nehodnotil, uzná-li to za potřebné.
- b) Spotřebitele nemusí zajímat, jakým způsobem výrobce či dodavatel vodu upravuje, ale oprávněně předpokládá, že bude zdravotně nezávadná, a očekává, že voda pro něj bude sensoricky přijatelná. Pokud to tak ale není a spotřebiteli vadí pach nebo chuť chloru či jiného použitého dezinfekčního přípravku, je nutné vodu sensoricky hodnotit tak, jak je spotřebiteli dodávána. Je proto nepřijatelné, aby sensorický posuzovatel před testem vodu dechloroval nebo do protokolu uvedl, že se jedná o „přirozený“ pach vody, protože se voda dezinfikuje chlorem nebo jiným přípravkem. Zákon neukládá výrobcům vody použití chloru, proto se nelze vymlouvat, že se jedná o nutné opatření. Výrobce vody samozřejmě nemá ani zakázáno chlor použít, ale pokud se pro něj rozhodne, neznamená to pro něj nějakou úlevu při dodržování organoleptických ukazatelů. Existují samozřejmě situace, kdy je dechlorace vzorku na místě, např. pokud se používá k dezinfekci prostředek na bázi chloru a volný chlor je do 0,3 mg/l a zároveň je pach na stupni 2. Pak je vhodné stanovit pach vody u spotřebitele jak bez dechlorace, tak po dechloraci, protože chlorový pach může případně zakrýt jiné pachy, o kterých by měl výrobce vědět.
- c) Výrobce a dodavatel vody nemá přesně předepsanou metodu, jak zjišťovat a ověřovat, zda je voda pro spotřebitele přijatelná (k tomu viz dále v metodické části). V podstatě je to na jeho vlastním uvážení. Dojde-li však k situaci, že výrobce/dodavatel vody hodnotí vodu po stránce chuti a pachu jako přijatelnou, ale spotřebitel si na její kvalitu stěžuje, musí laboratoř pro posouzení tohoto sporu či pochybnosti provést stanovení prahového čísla (pachu nebo chuti, popř. obojího, záleží na tom, co je předmětem stížnosti) podle ČSN EN 1622. Pokud sensorický panel zjistí u některého z prahových čísel hodnotu 3 a vyšší, jedná se skutečně o vodu nepřijatelnou, nesplňující požadavky vyhlášky č. 252/2004 Sb.
- d) Pach může být stanoven u každého do laboratoře dodaného vzorku pitné vody, ať už budí jakékoli podezření. U chuti je ale situace jiná – existuje-li podezření na závadnost vzorku vody a její ochutnání by mohlo ohrozit zdraví posuzovatele, nemusí laboratoř stanovení chuti provést. Aby však bylo jasné, že nejde o opomenutí, ale že stanovení nešlo provést, do protokolu se místo výsledku uvedou slova „Nelze stanovit“. Tuto položku lze zadat i při zasílání výsledků v elektronické podobě do Informačního systému PiVo – vybere se ukazatel „Chuť – nelze stanovit“.

Pro barvu stále platí limitní (mezni) hodnota 20 mg/l Pt a pro zákal 5 ZF(n) s tím, že v případech úpravy povrchové vody by voda vycházející z úpravní neměla překročit hodnotu 1 ZF(n). Pokud voda prochází při úpravě filtrací, pak vyhláška č. 428/2001 Sb., ve znění pozdějších předpisů uvádí pro zákal po filtraci ještě přísnější požadavek – limitní (referenční) hodnotu 0,3 NTU v 95 % vzorků a žádný vzorek nesmí překročit 1 NTU / ZF(n). Posouzení vzhledu vody se však nemůže omezit jen na instrumentální stanovení barvy a zákalu, nezbytné je i prosté vizuální posouzení, které popisujeme podrobněji dále v textu.

I když národní požadavky na kvalitu pitné vody vycházejí ze společné EU směrnice (dnes 2020/2184), nemusí s ní být zcela totožné, pokud nejsou méně přísné. Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU, 2020) uvádí pro všechny čtyři organoleptické ukazatele (barva, zákal, chuť a pach) stejnou limitní hodnotu: pro spotřebitele přijatelné a bez abnormálních změn<sup>2</sup>, čímž se od našich národních požadavků trochu liší. Česká legislativa má numerické limitní hodnoty pro barvu

<sup>1</sup> Tyto vzorky odebírají dodavatelé vody a zákon o ochraně veřejného zdraví (č. 258/2000 Sb. ve znění pozdějších předpisů) v § 4 odst. 4 řeší otázku odpovědnosti, je-li nedodržení limitu způsobeno vnitřním vodovodem nebo jeho údržbou, za který dodavatel vody neodpovídá.

<sup>2</sup> Výjimkou je zákal, kde na výstupu z úpravní, kde probíhá filtrace, musí být 95 % vzorků do 0,3 NTU a žádný nesmí překročit 1 NTU čili ZF(n).

a zákal u spotřebitele, naopak nemá obsažen požadavek na absenci abnormální změny. U barvy a zákalu se má za to, že numerické limity jsou nastaveny dost nízko, takže spotřebitel si změn v rámci limitu nemůže ani všimnout. Provozovatel by si však měl případných abnormálních změn všimnout i v rámci limitu, protože změny mohou indikovat nějaký provozní problém – to se však týká v podstatě skoro všech ukazatelů. U pachu a hlavně chuti může nastat situace, že dojde ke změně ve zdroji vody anebo v její úpravě, a voda v jedné zásobované oblasti pach nebo chuť změní. I když se nemusí jednat o změnu k horšímu nebo je změna stále v mezích přijatelnosti, spotřebitelé obvykle na změnu v chuti či pachu dost citlivě reagují. Předem neohlášená změna tak může vyvolat lavinu stížností, přestože při objektivním či nestranném sensorickém posouzení může být voda stále ještě hodnocena jako vyhovující vyhlášce.

### 1.3 Terminologie sensorické analýzy

Každý obor má své pojmosloví a nejinak je to se sensorickou analýzou. Základní pojmy a terminologie používané v sensorické analýze jsou definované v normě ČSN EN ISO 5492 Sensorická analýza – Slovník, kde jsou rozděleny do čtyř základních skupin. V první kapitole normy je uvedena všeobecná terminologie, ve druhé kapitole je uvedena terminologie vztahující se ke smyslům, třetí kapitola definuje termíny vztahující se k organoleptickým vlastnostem a čtvrtá kapitola se týká terminologie vztahující se k metodám.

Terminologie normy je obecná a stejně tak jako většina norem pro sensorickou analýzu se zaměřuje na všechny obory zabývající se sensorickou analýzou, převážně potravinářství.

K sensorické analýze vody se převážně vztahují pojmy z kapitoly 1 (Všeobecná terminologie) a pojmy z částí kapitol 2 a 3, které se vztahují ke vnímání chuti a pachu. Některými pojmy se budeme dále zabývat později v textu. Z kapitoly 4 (Terminologie vztahující se k metodám) bychom zmínili především pojmy objektivní a subjektivní metoda, klasifikace, metoda zředění, rozdílová zkouška, párová a trojúhelníková porovnávací zkouška, popisná analýza, sensorický profil, stupnice, hédonická stupnice a chyba. Základní výběr pojmů relevantních pro analýzu vody a jejich definice přinášíme v příloze. Pro vzájemné porozumění a komunikaci mezi pracovníky, provádějící sensorickou analýzu, je proto nezbytné, aby měli alespoň základní pojmy osvojeny.

Další oblastí, kterou je nutné zmínit, je **terminologie panelu**. Každý panel by měl mít definovaný vlastní slovník pojmů vztahující se k popisu vjemů tak, aby bylo jasné, co se daným termínem myslí. Je třeba dbát na výběr relevantních vhodných termínů, které se vztahují ke zkoušeným vzorkům. Posuzovatelé si slovník trénují v rámci společné diskuze po hodnocení vzorků, které byly vyhodnoceny pozitivně na pach či chuť, a dále v rámci výcviku. Bez tréninku, který by využíval nejčastější pachy vyskytující se u vody, je pak diverzita odpovědí/hodnocení členy panelu příliš vysoká.

S tímto jevem se pak pracovníci vodárenských společností setkávají, když analyzují stížnosti spotřebitelů, a nesmí je zmást, když stejný problém popisují stěžovatelé i velmi rozdílnými způsoby. Rozhodně by to neměl být důvod k nedůvěře ze strany provozovatele, protože se jedná o zcela přirozený jev. U některých chutí dokonce často dochází k záměně při popisu, jak ukázal nedávný výzkum se skupinou 1 000 osob: nejčastější byla záměna kyselé chuti za hořkou (19,3 %) a hořké chuti za kyselou (11,4 %), následovaná záměnou slané chuti za hořkou (7,3 %), slané chuti za kyselou (7,0 %), hořké za slanou (3,5 %) apod. (Doty a kol., 2017). Musíme mít na paměti, že především člověk neškolený se snaží vjem přiřadit k něčemu, s čím se již v životě setkal. Zatímco u chuti se zdá být situace jednodušší, protože jsou jen čtyři základní (slaná, sladká, hořká a kyselá), popř. ještě svíravá či kovová (umami se u vody nevyskytuje), různých pachů mohou být doslova tisíce, u vody pak desítky, s nuancemi až stovky.

## 2 Metodika sensorické analýzy

### 2.1 Úvod

Navzdory obrovskému rozvoji laboratorní a diagnostické techniky, ke kterému došlo v posledních desetiletích, musí být zkoušky pachových a chuťových, popř. i vzhledových vlastností pitné vody stejně prováděny pomocí lidských smyslů. Protože výsledky sensorických zkoušek velmi závisí nejen na osobních schopnostech, zkušenostech a momentální dispozici zkoušejícího (posuzovatele), ale také na podmínkách zkoušky, byl vytvořen soubor pravidel, která se snaží systém sensorických zkoušek standardizovat, aby se dosáhlo spolehlivých a opakovatelných výsledků. Následující tabulka uvádí přehled základních norem pro sensorickou analýzu (obecně). O některých z nich, zejména pak o těch specifických pro sensorickou analýzu pitné vody, se dále zmíníme podrobněji.

Tab. 2-1. Přehled základních norem pro sensorickou analýzu

Číslo normy	Název a předmět normy
ČSN EN ISO/IEC 17025	Všeobecné požadavky na kompetenci zkušebních a kalibračních laboratoří
ČSN EN ISO 5492	Senzorická analýza – Slovník
ČSN EN ISO 8586	Senzorická analýza – Výběr a výcvik sensorických posuzovatelů
ČSN ISO 13300-1	Senzorická analýza – Všeobecné pokyny pro pracovníky sensorické laboratoře – Část 1: Odpovědnosti pracovníků
ČSN ISO 13300-2	Senzorická analýza – Všeobecné pokyny pro pracovníky sensorické laboratoře – Část 2: Najímání a školení vedoucích panelů
ČSN EN ISO 11132	Senzorická analýza – Metodologie – Směrnice pro měření výkonu kvantitativního popisného sensorického panelu
ČSN ISO 5496	Senzorická analýza – Metodologie – Zasvěcení do problematiky a výcvik posuzovatelů při zjišťování a rozlišování pachů
ČSN EN ISO 8589	Senzorická analýza – Obecné pokyny pro uspořádání sensorického pracoviště
ČSN ISO 4121	Senzorická analýza – Obecné pokyny pro použití kvantitativních odpovědních stupnic
ČSN EN ISO 11136	Senzorická analýza – Metodologie – Obecný návod pro provádění hédonických spotřebitelských testů v kontrolovaném prostředí

### 2.2 Požadavky na posuzovatele, laboratorní podmínky a vybavení

#### 2.2.1 Výběr, výcvik a sledování způsobilosti posuzovatelů

Požadavky na jednotlivé posuzovatele jsou definovány normou ČSN EN ISO 8586 – Sensorická analýza – Výběr a výcvik sensorických posuzovatelů. Zde je velmi podrobně popsán celý proces od nábory až po výběr a následný výcvik. Pokud se ale podíváme na realitu laboratoří, které dělají sensorickou analýzu pitné vody, je třeba si připomenout několik podstatných zásad. Také bychom rádi poskytli jiný pohled na možnosti nábory pracovníků.

**Výběr** posuzovatelů do panelu by neměl být vázaný na pracovní pozici, jak je mnohdy ve vodařských laboratořích standardní. Předvýběr by se měl provést na základě kompetenčního modelu posuzovatele (mezi velmi důležité kompetence patří smysl pro zodpovědnost, spolehlivost, motivovaný pozitivní přístup, schopnost vysokého soustředění a úsudku, ochota učit se, smyslová paměť a komunikativnost). Na základě těchto předpokladů je vhodné provést základní test na zkoušku průměrné citlivosti základních chutí, a to s látkami v koncentraci dle tabulky 1 normy ČSN EN ISO 8586. V tabulce jsou mimo čtyři základní chutě uvedeny i chuť svíravá a kovová,

doporučujeme však vynechat chuť umami a svíravou. V normě je popsáno zkoušení obsáhlejší, ale vzhledem k možnostem většiny laboratoří je toto dostatečné. Dále se provádí zkouška, při které kandidát popíše pachový vjem. U této zkoušky je doporučeno předkládat obecně známý vzorek pachu dostatečné intenzity, ale ne výrazně silný. Zkušební roztoky s intenzivními pachy nejsou pro zkoušku způsobilosti vhodné.

Německá metodika pro vodárenské laboratoře (DVGW, 2006) doporučuje pro ověření sensorické způsobilosti pro vnímání pachu následující látky:

- isoamyl-acetát (v koncentraci 1 µg/l; pach ovocný po hruškách),
- geosmin (0,01 µg/l; zemité pach),
- 2,4,6-trichloranizol (0,005 µg/l; zemité, zatuchlý pach),
- 1-okten-3-ol (5 µg/l; sladký, zemité pach připomínající levandule nebo růže),
- eugenol (5 µg/l; pach po hřebíčku nebo skořici).

Důležité je však zařazení nejen těchto či podobných modelových roztoků, ale také složitějších pachových směsí (reálných vzorků vody s detekovatelným pachem).

Pokud kandidát prokáže průměrnou citlivost (80 % správných odpovědí) a dobrou schopnost popisu, je vhodným kandidátem pro výcvik na vybraného posuzovatele. Vybraný sensorický posuzovatel nesmí být zařazen do panelu posuzovatelů, pokud má některé z níže uvedených omezení. Také není vhodné do panelu zařadit pracovníka, který k sensorické analýze nemá pozitivní vztah anebo dokonce přiznává, že mu je zkoušení nepříjemné. V tom případě bude tento posuzovatel negativně ovlivněn vlastním postojem a jeho výsledky nebudou moci být brány jako relevantní.

Kdo je tedy vhodný jako posuzovatel? Člověk, který netrpí kříženou nedostatečnou citlivostí či vnímavostí. Je ale na zvážení, zda vyřadit z posuzování ty osoby, které trpí jednou nedostatečnou citlivostí. Ve velkém procentu se totiž ukazuje, že lidé trpící například nízkou citlivostí na chuťové podněty jsou citlivější na podněty pachové. V těchto případech je na zvážení ponechat vybraného posuzovatele v panelu a zařazovat ho ke zkoušení pouze v případech, kdy se jedná o čistě pachové posuzování. Tato rozhodnutí jsou vždy v kompetenci vedoucího panelu a závisí na jeho zodpovědnosti. Stejně tak je ke zvážení, zda je do panelu posuzovatelů pro rutinní posuzování vhodný člověk, který je naopak velmi citlivý na chuťové či čichové podněty. Pokud je tento tzv. „superochutnávač“ či „superčičhač“ v panelu zařazen, je nutné s jeho vysokou citlivostí počítat.

S citlivostí jednotlivých posuzovatelů úzce souvisí i sledování výkonnosti jak jednotlivců, tak celého panelu. Je třeba velmi důsledně sledovat stabilitu výkonnosti posuzovatelů, a to z důvodu systému jakosti a vhodnosti zařazení jednotlivých posuzovatelů do panelu. Je to nástroj kontroly, že posuzovatelé jsou schopni analyzovat vzorky s opakovatelností, reprodukovatelností a že rozeznají, zda je vzorek stejný či rozdílný. Opakovatelností je myšleno měření shody stejného vzorku za stejných podmínek (stejný čas, stejné prostředí), reprodukovatelností pak měření shody stejného vzorku za různých podmínek (různý čas, různé prostředí). V rámci posouzení výkonnosti panelu je vhodné periodicky zařadit i zkoušení reprodukovatelnosti mezi panely (mezilaboratorní porovnání). Je třeba mít stále na vědomí, že sensorická analýza je subjektivní zkouška, kterou ovlivňují nejenom vnější faktory (stejně jako u jiných analytických metod), tedy prostředí, zařízení atd., ale především samotný posuzovatel a jeho vědomé i nevědomé vnímání.

Z tohoto důvodu je velmi důležitá nejenom „kalibrace“, ale i „validace“. Je zvláštní tyto termíny používat v souvislosti s osobami, ale pokud je zde osoba myšlena jako „měřidlo“, je použití těchto termínů na místě.

Za **kalibraci** můžeme v tomto případě považovat vnitřní zodpovědnost každého posuzovatele a jeho nástroje/metody zajišťující vyrovnané a co nejméně zkreslené výsledky posuzování. Některým pomáhají techniky meditace, vědomého dechu a podobně. Některým stačí při prvním vjemu zavřít oči a soustředit se na samotné vnímání. Každý posuzovatel by si měl najít svůj osobní postup a při každém posuzování jej aplikovat co nejzodpovědněji.

**Validaci** se v tomto případě může myslet buď porovnání výkonnosti v rámci celého panelu u stejných posuzovaných vzorků, nebo účast v mezilaboratorních porovnáních. Tyto jsou nezbytnou součástí jak pro sledování výkonnosti, tak jako jeden z nástrojů výcviku.

**Výcvikem** se myslí soustavná optimalizace technických schopností posuzovatelů a soustavné zvyšování jejich sensorického potenciálu (vnímavosti). Pomocí výcviku lze také dosáhnout vyšší stability výkonnosti. V rámci výcviku by měli být posuzovatelé také periodicky vzděláváni. Jeho součástí by mělo být zařazení zkoušek na sensorickou paměť a také periodické zařazení zkoušek na opakované otestování jednotlivých prahů citlivosti. Tyto metody vedou k lepším rozlišovacím schopnostem posuzovatelů, k jejich lepšímu vyjádření daného počítka a také k vyšší míře pravdivosti. Na začátku výcvikového programu je nutné se seznámit se správnými postupy hodnocení vzorků a naučit se je. Posuzovatelé musí být poučeni a vycvičeni k objektivitě a nesmí vyjadřovat vlastní oblibu či nechuť.

Výcvik a jednotlivé zkoušky jsou popsány v normě ČSN EN ISO 8586. Pro posuzovatele v oblasti vod jsou to zkoušky pro chuť a pach. Výcvik k hodnocení barvy a textury není nutný. U zkoušek pro chuť je vhodné zahrnout standardy pro chuť sladkou (sacharóza), kyselou (kyselina citrónová), slanou (chlorid sodný), hořkou (kofein) a kovovou (heptahydrát síranu železnatého). Koncentrace pro jednotlivé zkoušky jsou uvedeny v normě. Vzhledem k tomu, že chuť umami je vázána na potravinářský průmysl a v pitných vodách se nevyskytuje, není třeba tuto chuť zařazovat do výcviku vybraných posuzovatelů vody.

Při provádění sensorické analýzy je důležité počítat s riziky a faktory ovlivňujícími přesnost a spolehlivost výsledků. Některé z těchto rizik zahrnují:

1. **Individuální rozdíly.** Každý posuzovatel může mít odlišné sensorické schopnosti a preference, což může ovlivnit jeho hodnocení. Je důležité zajistit, aby posuzovatelé byli řádně proškoleni, vycvičeni a aby byly dodržovány standardizované postupy.
2. **Změny vnímavosti.** Vnímavost posuzovatelů může být ovlivněna různými faktory, jako je únava, hlad, stres, předchozí expozice různým vjemům, probíhající či proběhlé onemocnění, užívání léků (viz tabulka 2-2), které ovlivňují sensorické schopnosti. Je důležité tyto faktory minimalizovat a zajistit, aby posuzovatelé byli při provádění analýzy v co nejlepší kondici. Mezi základní opatření u posuzovatelů v den zkoušky platí, že se vyvarují výrazně parfemované kosmetiky, parfémů, hodinu před hodnocením by neměli požívat ostrá, kořeněná a velmi chuťově a pachově výrazná jídla a nápoje (káva, černý a zelený čaj).

Tab. 2-2. Příklady léčiv ovlivňujících sensorické vnímání chuti a pachu

Léková skupina	Léčivo
antibiotika	metronidazol, klaritromycin, tetracykliny
antihistaminika	loratadin, cimetidin
antidepresiva	tricyklická antidepresiva (např. amitriptylin), selektivní inhibitory zpětného vychytávání serotoninu – SSRI (např. fluoxetin)
antihypertenziva	inhibitory enzymu angiotenzin-konvertázy – ACE (např. enalapril a lisinopril), beta blokátory (např. metoprolol a propranolol)
antimykotika	flukonazol
cytostatika	chemoterapeutika (např. cisplatina a karboplatina)
antivirotika	ribavirin
antiparkinsonika	levodopa
antipsychotika	haloperidol
imunosupresiva	cyklosporin

3. **Zvyklosti a kultura.** Zvyklosti a kulturní rozdíly mohou ovlivnit sensorické preference a hodnocení. Například určité chutě, které jsou považovány za přijatelné v jedné kultuře, mohou být

v jiné kultuře považovány za neobvyklé nebo nepřijatelné. Tento faktor je ve velké míře možný eliminovat výcvikem.

5. **Nedostatečná zkušenost/školení.** Nedostatečná zkušenost nebo nedostatečné školení mohou vést k chybám při provádění sensorické analýzy. Je důležité zajistit, aby posuzovatelé měli dostatečné proškolení a výcvik v oblasti sensoriky.

6. **Interakce s ostatními posuzovateli.** Interakce mezi posuzovateli může ovlivnit jejich hodnocení. Například může dojít k efektu skupinového myšlení, kdy jednotlivci ovlivňují svá hodnocení podle názorů ostatních, zvláště pokud se jedná o kolegu hierarchicky výše postaveného. Proto je důležité dodržovat zásady provádění sensorické analýzy.

Zohlednění těchto rizik a faktorů je klíčové pro zajištění spolehlivých a přesných výsledků. Řádné proškolení, výcvik, standardizované postupy a opatření k minimalizaci subjektivních vlivů jsou důležité pro dosažení vyrovnaných, nezkrivených výsledků.

Jak lze výcvik zahrnout do běžné praxe laboratoří? U chutí je jednoduché zařadit vzorek s jednou chutí během běžného testování a následně provést analýzu výkonnosti a stability posuzovatelů a panelu. Pokud by každý měsíc vedoucí panelu zařadil 1 vzorek jedné chuti (sladká, slaná, kyselá, hořká, kovová) a další měsíc další z chutí, dostane panel během roku 10 až 12 vzorků pro výcvik a je také zajištěn velmi kontinuální sběr dat k vyhodnocování výkonnosti a stability. Dále doporučujeme zařadit pravidelné externí školení a testování a porovnání výkonnosti panelu v rámci periodických mezilaboratorních porovnání. U standardů chuti a při jejich dostupnosti je tato část výcviku relativně jednoduchá.

O něco složitější jsou standardy pachové. Látky, které způsobují některé časté pachové vady pitné vody, jsou v mnoha případech nevhodnými látkami pro základní či běžný výcvik, ať už z důvodu nízké dostupnosti některých standardů nebo kvůli vysoké ceně. Laboratoř by tedy měla zvážit, zda v rámci rutinního periodického výcviku nezařadí pouze látky, které sice nepatří k častým příčinám sensorických problémů pitné vody, ale jsou vhodnými látkami pro výcvik (1-butanol, aceton, toluen, methyl tert-butyl ether – MTBE atd.). Pro pokročilý výcvik odborných posuzovatelů by však modelové roztoky obvyklých pachů, resp. jejich standardy pořízeny být měly, popř. může laboratoř využívat nabídky externího vzdělávání a výcviku.

### 2.2.2 Rizika a omezení výkonu posuzovatelů

O rizicích bylo již částečně pojednáno v předchozí kapitole. Změna vnímavosti u posuzovatele při sensorické analýze může být způsobena řadou faktorů. Několik z těch nejvíce ovlivňujících výkon posuzovatele jsou:

1. **Fyziologické faktory.** Únava, hlad, hydratace, stres, zdravotní stav aj. mohou ovlivnit vnímavost. Například únava může snížit schopnost posuzovatele vnímat jemné rozdíly v chuti nebo pachu vody. Navíc výrazně ovlivňuje nástup sensorické únavy. Mezi fyziologické faktory patří i hormonální změny u žen a těhotenství.

2. **Stárnutí.** S věkem se může sensorická vnímavost postupně zhoršovat. Starší jedinci mají často sníženou citlivost na chuť a vůni, což může ovlivnit jejich vnímavost a schopnost provádět sensorické analýzy s přesností.

3. **Psychologické faktory.** Negativní nálada či emocionální stav může snížit schopnost koncentrace a vnímání sensorických vjemů.

4. **Rozptyl pozornosti.** Rušivé faktory, jako jsou hluk, nepohodlné teploty a nepříznivé prostředí, rušivé barvy nebo nevhodné osvětlení rozptylují pozornost a mohou ovlivnit schopnost správně posuzovat.

5. **Sensorická únava.** Při sensorické analýze chuti a pachu jde o specifický fenomén, který se často vyskytuje při dlouhodobém nebo intenzivním vystavení různým sensorickým podnětům, jako jsou různé vůně a chutě. Tento jev může výrazně ovlivnit schopnost hodnotit a rozpoznávat jemné rozdíly mezi jednotlivými podněty. Když jsou čichové nebo chuťové receptory vystaveny

konstantnímu podnětu, jejich citlivost se snižuje. To znamená, že po určité době jsou receptory méně citlivé na stejný podnět a pro vyvolání stejné reakce je třeba podnětu silnějšího nebo odlišného. Sensorické buňky a neurony v mozku, které zpracovávají informace o chuti a pachu, mohou po dlouhodobém vystavení podnětům vykazovat známky únavy, což vede k snížené schopnosti rozlišovat mezi různými podněty. Po určité době může být obtížné rozlišovat jemné rozdíly mezi různými pachy nebo chutěmi. Únava může vést k chybnému hodnocení intenzity nebo kvality chutí a pachů, což se může odrazit na výsledku sensorických testů a rozhodování na základě těchto výsledků. Každý posuzovatel by měl vědět, jaké příznaky oznamují sensorickou únavu – ve většině případů se jedná o vnímání stále se opakujícího podnětu. Snížit riziko sensorické únavy a obnovit citlivost receptorů lze pomocí pravidelných přestávek během analýzy či zařazením eliminačních prostředků, a to buď použitím porovnávací vody, nebo tukového rohlíku (z předešlého dne, nakrájeného na kolečka) k čištění chuťových pohárků, přičemž každý posuzovatel by měl mít toto při testování k dispozici (Cain, 1974; Delwiche, 2004).

Vzhledem k situaci po pandemii respiračního onemocnění covid-19, je vhodné věnovat zvláštní část této kapitoly i tomuto problému. Covid-19 měl totiž u mnoha lidí značný dopad na sensorické funkce, časté byly zprávy o ztrátě čichu (anosmie) a chuti (ageusie), což jsou pro sensorické posuzovatele klíčové schopnosti. Z dlouhodobého hlediska může mít covid-19 trvalý vliv na sensorické schopnosti, což může ovlivnit výkon posuzovatelů.

Studie publikovaná v roce 2021 zjistila, že 85,9 % pacientů s mírným průběhem covidu-19 zaznamenalo ztrátu čichu (Lechien a kol., 2021). Tato studie zahrnovala 2 581 pacientů z 18 evropských nemocnic. Ztráta čichu byla zaznamenána také u 4,5 % pacientů se středně těžkým průběhem a 6,9 % pacientů s těžkým až kritickým průběhem. Průměrná doba trvání tohoto příznaku byla 21,6 dní, ale téměř u čtvrtiny pacientů se čich neobnovil ani po 60 dnech. Studie také uvedla, že u 95 % pacientů byl čich obnoven do šesti měsíců po infekci.

Změna citlivosti po covidu-19 je dána poškozením nebo dočasným vyřazením čichových receptorů a/nebo nervových drah, které jsou zodpovědné za přenos čichových a chuťových signálů do mozku. Virus může napadat buňky podporující čichové neurony nebo samotné neurony, což vede k jejich dočasné dysfunkci nebo poškození.

Pro sensorické posuzovatele, kteří prodělali covid-19, může být dlouhodobá ztráta nebo změna v čichové a chuťové citlivosti zvlášť problematická. Mohou potřebovat delší období rekonvalescence a v některých případech může být potřebná i jejich „rekalibrace“ nebo opětovný trénink.

V reakci na tyto problémy je doporučeno:

- **Přehodnocení a opakovaný výcvik postižených posuzovatelů.** Zahrnout specifické tréninky (chuťový či čichový trénink) pro ty, kteří zaznamenali změny ve svých sensorických schopnostech. Tyto rehabilitační postupy jsou vedeny pod odborným dohledem neurologa a probíhají opakované expozice jedné chuti/pachu či skupiny pachů ve stejné intenzitě. Pacient dostává minimálně 2krát denně tyto podněty. U pachových podnětů je délka expozice 20–30 sekund. Když pacient začíná vjem/vjemy cítit, je zařazen další podnět či série podnětů. Tento rehabilitační výcvik trvá obvykle 3 a více měsíců dle stavu a pokroků pacientů (Damm a kol., 2014; Lechien a kol., 2021). V ČR řeší ztrátu čichu primárně oddělení otorinolaryngologie (ORL).

- **Diverzifikace týmů posuzovatelů.** Zařadit více posuzovatelů do testů pro zajištění konzistence a spolehlivosti výsledků.

- **Monitoring a pravidelné hodnocení výkonnosti.** Pravidelně testovat sensorické schopnosti posuzovatelů, aby se zajistilo, že jsou schopni efektivně a vyrovnaně hodnotit.

Dopady covidu-19 na sensorické posuzovatele ukazují, jak důležité je mít robustní a adaptabilní protokoly pro sensorické hodnocení, resp. pro ověřování aktuální způsobilosti posuzovatelů.

Anosmii či ageusii nezpůsobuje ovšem pouze covid-19. Jakékoliv infekty či alergické reakce postihující horní cesty dýchací mají většinou za následek dočasnou ztrátu čichu či chuti. Avšak pozor, infekčních onemocnění či úrazů, které vedou k této ztrátě, je mnoho a vždy je na osobní

zodpovědnosti posuzovatele, aby svůj zdravotní stav, který limituje jeho senzorické schopnosti, neprodleně probral s vedoucím panelu.

### 2.2.3 Vedoucí panelu

Odpovědnost vedoucího panelu by měla být stanovena písemně v popisu práce. Vedoucí panelu je mimo jiné odpovědný za organizaci, plánování a dohled nad senzorickými posuzovateli ve výcviku a za jejich sledování při rutinní analýze (ČIA, 2023). Z toho vyplývá, že každý senzorický panel by měl mít jednoho jmenovaného vedoucího panelu. Tato funkce **je nezaměnitelná a není fluidní**. Z podstaty věci jde o manažerskou pozici, kdy vedoucí panelu nejenom stanovuje plán výcviku, vzdělávání a jednotlivých zkoušek, ale také provádí nábor, analyzuje a porovnává výkonnost. Dále na základě vyhodnocení zavádí nápravná opatření, informuje posuzovatele o správných postupech či o používaných metodách a měl by také zprostředkovávat nové informace, které se týkají senzorického posuzování. Mimo to spravuje portfolio jednotlivých posuzovatelů a monitoruje jejich aktuální zdravotní stav a jiné vlivy, které mohou mít výrazný vliv na posuzovatele a jeho výkon (typickým příkladem je užívání antibiotik, které mají přímý vliv na senzorické vyhodnocování posuzovatele, nebo aktuální psychicky náročné období). Z uvedeného vyplývá, že musí jít o osobu, která má důvěru spolupracovníků a manažerské schopnosti. V kapitole 3.2 dokumentu EA-4/09 G:2022 jsou jasně definovány požadavky na praxi, vzdělání, další vzdělávání a výcvik vedoucího panelu (ČIA, 2023).

### 2.2.4 Požadavky na laboratorní vybavení a prostředí laboratoře

Požadavky na vybavení senzorické laboratoře stanovuje norma ČSN EN 8589 – Senzorická analýza – Obecné pokyny pro uspořádání senzorického pracoviště. Zabývá se hlavními požadavky na vhodné prostorové uspořádání, vybavení a provoz senzorických laboratoří, které jsou nezbytné pro provádění senzorických analýz.

Hlavní požadavky na laboratorní vybavení a prostředí laboratoře zahrnují:

- **Rozmístění a rozsah místností.** Norma uvádí minimálně dvě místnosti – místnost pro senzorické zkoušení s jednotlivými kójemi a místnost pro přípravu vzorků.
- **Tlumení hluku.** Je nutné zajistit tiché prostředí bez rušení, aby bylo možné se plně soustředit na senzorické hodnocení.
- **Osvětlení.** Správné, rovnoměrné, nastavitelné a téměř bezstínové osvětlení je nezbytné pro objektivní hodnocení vzhledu vzorků. Ideálně by mělo osvětlení simulovat přirozené světlo (světlo s korelovanou barevnou teplotou 6 500 K).
- **Teplota a relativní vlhkost.** Teplota a vlhkost v místnosti, kde probíhá senzorické zkoušení, by měly být regulovány tak, aby schopnost posuzovatelů správně vnímat rušily minimálně. Doporučuje se příjemná pokojová teplota kolem 20 °C a relativní vlhkost mezi 40 a 50 %.
- **Barvy.** Stěny a vybavení místnosti by měly být v nerušivých barvách, aby nedošlo k ovlivnění hodnocení senzorických vlastností vzorků. Senzorické kóje by uvnitř měly mít barvu achromatickou (odpovídající například Munsellovu referenčnímu vzorku N4 a N5). Důležité je také použití matných nátěrů (jas uvnitř kóje by neměl být vyšší než 15 %).
- **Cizí pachy.** V místnosti by neměly být cítit žádné cizí pachy, které by mohly ovlivnit vnímání pachů a chutí vzorků. Nejedná se jen o pachy pronikající do místnosti zvenčí, ale i pachy produkované novým nábytkem nebo novou podlahovou krytinou v testovací laboratoři.
- **Senzorické kóje.** Senzorická laboratoř by měla být vybavena senzorickými kójemi. Přesný popis a nákres uvádí výše zmíněná norma. Nicméně je vhodné zmínit i flexibilnější možnosti. Pokud dispozice budov, ve kterých se senzorické zkoušení provádí, nejsou dostatečně velkorysé, je třeba zvážit možnost rozkládací kóje, kterou lze použít v multifunkční místnosti. Některé laboratoře používají místo senzorické kóje samostatnou



místnost, kde vždy hodnotí pouze jeden posuzovatel. Zde ovšem dochází k riziku vyšší míry rozptýlení posuzovatele, a to i při zajištění velmi prostého vybavení místnosti a zachování achromatických barev. Častou chybou je nedodržení velikosti sensorické kóje. Nevhodné ergonomické podmínky v kójích mohou u hodnotitelů způsobit fyzický diskomfort, což může vést ke snížení koncentrace a objektivitě v hodnocení. Kóje mají být navrženy tak, aby minimalizovaly vnější rušení a poskytovaly hodnotitelům standardizované prostředí. Cílem je zajistit, že hodnocení produktů bude co nejobjektivnější a neovlivněné vnějšími faktory, jako jsou zvuky, pachy nebo vizuální stimuly. Důležitost sensorické kóje spočívá v její schopnosti zajišťovat konzistentní a kontrolovatelné podmínky pro sensorické zkoušení, což je klíčové pro validitu a spolehlivost sensorických analýz.

Německá metodika pro vodárenské laboratoře (DVGW, 2006) realisticky uvádí, že požadavek na zvláštní a oddělené místnosti musí být bezpodmínečně splněn jen ve velmi málo případech, nicméně i tak musí být vždy zajištěno, aby zkoušky byly prováděny v odděleném a nerušeném prostoru a v jejich blízkosti nesmí být prováděny žádné práce, které by mohly vyvolat pachy, jež by mohly posuzovatele ovlivnit.

Při návrhu a provozu laboratoří pro sensorické zkoušení je klíčové zohlednit několik dalších aspektů, které zajišťují kvalitu a spolehlivost získaných dat. Zde jsou některé další, opravdu důležité požadavky:

**Čistota a kontrola kontaminace.** Laboratoř musí být navržena tak, aby minimalizovala riziko kontaminace vzorků. To zahrnuje použití materiálů vybavení, které jsou snadno čistitelné a odolné vůči bakteriím a plísním, stejně jako zajištění toho, že vzduchové filtry a ventilační systémy budou pravidelně kontrolovány a čištěny.

**Pomůcky pro předkládání vzorků.** Vybavení sensorické laboratoře se týká i pomůcek pro předkládání vzorků. Pro sensorickou analýzu vody je vhodné mít vždy vyčleněné speciální sady skleněných nádob (pro vzorky na chuť se doporučují běžné tlustostěnné „panáky“, pro porovnávací vodu běžné sklenice, obojí bezbarvé, čiré sklo). Pro zkoušení pachu jsou nejvhodnější 250 ml prachovnice z čirého skla. Někdy se stane, že zábrus i bez kontaminovaného vzorku zapáchá. Do postupu mytí vzorkovnic pro sensorické hodnocení je pak vhodné zařadit výplach (vodní lázeň) 4% peroxidem. Tím se eliminují nežádoucí pachy ze zábrusu a nebude tak ovlivněno sensorické vnímání vzorku.

**Zahrnutí těchto aspektů při plánování a provozu sensorické laboratoře pomůže zajistit, že výsledky sensorických analýz budou co nejspolehlivější a nejobjektivnější.**

### 2.2.5 Požadavky na odběr vzorků, jejich uchovávání a manipulaci

Odběr pitné vody je popsán v normě ČSN ISO 5667-5 Jakost vod – Odběr vzorků – Část 5: Návod pro odběr vzorků pitné vody z úpraven vody a z vodovodních sítí. Při odběru vzorků pro sensorickou analýzu je klíčové dodržovat několik základních principů, které zajišťují použitelnost vzorků i po hodinách transportu a skladování, během kterých by sensorické vlastnosti vzorku neměly být ovlivněny vnějšími faktory. Hlavními požadavky jsou:

- Vzorky by měly být uchovávány při stabilní teplotě v chladičím zařízení. Teplota by měla být dostatečně nízká (doporučené jsou 4 °C), aby se zabránilo růstu bakterií a dalších mikroorganismů, ale ne tak nízká, aby došlo k zamrznutí vzorku, což by mohlo změnit jeho chemické složení.
- Vzorky by měly být chráněny před přímým světlem, zejména slunečním, které může způsobit chemické reakce ve vodě, a tím změnit její vlastnosti.
- Vzorky jsou odebírány bez vzduchové bubliny, nejlépe do hnědých lahví o objemu 1 litr. Používají se vhodné nádoby, které neinteragují s vodou, nejlépe skleněné, čisté a bez zbytků jakýchkoliv předchozích látek.

- Při odběru vzorku nebo při další manipulaci s ním je důležité, aby nádoby a nástroje použité pro sběr vzorků byly čisté, pachuprosté a bez jakékoliv kontaminace. To se týká rukavic, pipet, lahví, odměrných válců a jakéhokoli dalšího zařízení, které přijde do kontaktu s vodou.
- Přesný záznam o čase odběru, metodě odběru, teplotě při odběru a dalších relevantních podmínkách by měl být pečlivě udržován. Tyto údaje jsou důležité pro zajištění sledovatelnosti a spolehlivosti sensorické analýzy.
- Manipulace se vzorky by měla probíhat v čistém prostředí, spolehlivě izolovaném od potenciálních zdrojů znečištění, jako jsou chemikálie, silné pachy nebo prach.

Dodržování těchto zásad pomáhá zajistit, že vzorky pitné vody zůstanou co nejvíce nezměněny, což je první předpoklad k tomu, aby byly výsledky sensorických testů přesné a spolehlivé.

## 2.2.6 Záznamy

Pro správné provedení sensorické analýzy je klíčové vedení přesných a podrobných záznamů, které pomáhají zajistit spolehlivost a opakovatelnost výsledků. Požadavky na záznamy jsou obsaženy v části 9 dokumentu EA 4-09 G:2022 Akreditace sensorických zkušebních laboratoří (ČIA, 2023). Informace, které by měly být uvedeny v protokole o zkoušce, uvádí norma ČSN EN 1622 v části 12. **Je nezbytné, aby každý posuzovatel měl svůj vlastní záznamový arch**, který by měl přinejmenším obsahovat:

- jméno a podpis posuzovatele,
- datum hodnocení,
- číslo/kód vzorku,
- výsledky včetně slovního popisu pachu / chuti vzorku.

**Další záznam vede technik panelu, který připravuje vzorky pro sensorický panel.** Záznam by měl obsahovat následující informace.

### 1. Informace o vzorcích:

- identifikační čísla nebo kódy vzorků včetně čísla či kódu kontrolního vzorku, pokud byl zařazen,
- datum a hodina sensorické analýzy,
- teplota vzorku,
- popis vzorku (o jaký typ vzorku se jedná).

### 2. Informace o posuzovatelích:

- identifikace posuzovatelů,
- informace o možných aktuálních sensorických omezeních posuzovatele.

### 3. Podmínky prostředí:

- přesný popis testovacího prostředí, včetně teploty prostředí, vlhkosti (jen pokud je možnost měření a záznamu), osvětlení a úrovně hluku.

### 4. Informace o metodách:

- použité metody a techniky sensorické analýzy,
- standardizované instrukce poskytnuté vedoucím panelu posuzovatelům, jak bude probíhat sensorická zkouška,
- informace o tom, jaká byla použita porovnávací voda.

### 5. Výsledky analýzy:

- podrobné záznamy o senzorických hodnoceních každého posuzovatele,
- statistické zpracování dat,
- jakékoli pozorování nebo nesrovnalosti zaznamenané během testování.

#### 6. Závěrečné hodnocení a zjištění:

- shrnutí výsledků,
- diskuze o možných příčinách a důsledcích výsledků (dopad na spokojenost spotřebitelů).

#### **Protokol o zkoušce** by měl obsahovat tyto informace (viz ČSN EN 1622):

- popis zdroje porovnávací vody;
- veškeré zkušební podmínky, zvláště pak údaj, zda byla použita zkrácená nebo úplná metoda, zkouška nenucenou volbou, trojúhelníková nebo párová zkouška;
- počet vybraných posuzovatelů a je-li třeba, zmínka o dechloraci;
- zkušební teplota;
- dosažený výsledek.

Záznamy by měly být vedeny systematicky a organizovaně, aby byly snadno přístupné pro revizi a audit. Je důležité, aby byly chráněny před neoprávněným přístupem a zničením a aby byly pravidelně aktualizovány a archivovány podle interních předpisů a právních požadavků. Systematické a pečlivé vedení záznamů totiž umožňuje nejen sledovat kvalitu pitné vody, ale i procesy její analýzy a je také základem pro neustálé zlepšování senzorických testovacích metod.

### 2.2.7 Referenční materiály a standardy

**Základním standardem při senzorické analýze pitné vody je porovnávací voda. Porovnávací voda nesmí být demineralizovaná či destilovaná.** Jako porovnávací vodu doporučujeme používat převařenou a zchlazenou pitnou vodu z místní distribuční sítě. A to i pro laboratoře, které posuzují vzorky z různých zdrojů. Na takto získanou porovnávací vodu jsou posuzovatelé nejvíce zvyklí a považují ji za standard. V rámci řízení rizik je také důležité mít k takovéto porovnávací vodě alternativu, a to vodu z jednoho zdroje, s podobným chemismem jako má pitná voda – čili balenou pitnou, pramenitou nebo kojeneckou vodu. Jednou za čas je třeba zkontrolovat, zda je stále dostupná a zda se nezměnil vrt/zdroj vody a tím i chemické složení dané vody. O referenčních materiálech, resp. chemických látkách používaných pro výcvik jsme se zmiňovali v předchozích kapitolách (viz kapitola 2.2.1). Pokud se nejedná o kvantitativní chemickou analýzu, ale jen o výcvik vnímání pachů a chutí, nemusí být standardy v kvalitě chemikálií pro analýzu (p. a.) nebo chemikálií chemicky čistých (z. č.).

## 2.3 Zkušební postup

Zrakové, čichové a chuťové vjemy jsou vnímány příslušnými smyslovými orgány, ale musíme mít na paměti, že při zjišťování smyslových vjemů hrají důležitou roli i další receptory. Například ostrý zápach může být vnímán také prostřednictvím trojklanného nervu. Tento vjem je však založen více na podráždění sliznic (např. čpavkem nebo kyselinou octovou) než na skutečném čichu. Ještě důležitější skutečností pak je, že proces čichání a ochutnávání se neomezuje pouze na nos, respektive jazyk, ale že se oba smyslové orgány vzájemně ovlivňují a působí na sebe. Proto se zejména v anglických textech často namísto chuti hovoří o „flavour“ (viz např. prahové číslo chuti – threshold flavour number, TFN) jako o společném vjemu chuťových a čichových orgánů. Pro tento jev nemáme v češtině adekvátní jednoslovný výraz.

Analýza v laboratoři musí být provedena pokud možno v den odběru vzorků nebo maximálně do 24 hodin od odběru. Pachová zkouška se provádí před zkouškou chuti, aby se v případě jakýchkoli

podezřelých abnormalit zabránilo polknutí vzorku nebo i kontaktu se sliznicí úst. Vzorek vody se nejprve temperuje na laboratorní teplotu ( $23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ , minimálně ale  $19\text{ °C}$ ), teplota by měla být stanovena a zaznamenána.

Vzorek na stanovení pachu se očichá ze širokohrdlé zábrusové prachovnice o objemu 250 ml, naplněné cca do 2/3. Je třeba dbát na to, aby se vzorek vody na pach dostatečně protřepal, ale zase ne příliš dlouho. Vzduch obsahující vodu a pachové látky z parního prostoru prachovnice se **opakovaně** nasává nosem v krátkých vdechnutích a hodnotí se. Jednorázové krátké nasátí se neosvědčilo jako účinné. Kromě stanovení intenzity pachu (stupně nebo prahového čísla pachu) by měl být popsán také jeho charakter.

Chuťová zkouška se provádí po vzorku pachu ze stejné nebo samostatné vzorkovnice. U vzorků bez informací o jejich přesném původu (zejména u vzorků ze soukromých studní) je třeba při zkoušce chuti postupovat opatrně. To platí zejména pro vzorky vykazující abnormální pach. Vzorek na chuťovou zkoušku se neodebírá přímo z odběrové nádoby, ale alikvotní část se nejprve přenesse do malé nádoby (do 50 ml) z materiálu, který chuť neovlivňuje a ani sám žádnou nemá. Pro zkoušku chuti se do úst vezme množství, které je pro zkoušejícího příjemné, a nechá se jednou kolovat v ústech, aby se zvlhčily papily. Vzorek není nutné polykat. V případě zjištění abnormalit je nutné i chuť popsat z hlediska intenzity a typu (sladká, kyselá, slaná, hořká nebo kovová/svíravá).

Smyslové dojmy se nemusí dostavit okamžitě, některé se vyvíjejí až postupně. Proto je potřeba na provedení zkoušky vyhradit dostatek času. V případě velkého počtu vzorků nebo vzorků s intenzivním pachem a chutí může být nezbytné neutralizovat adaptaci smyslových orgánů ochutnáním porovnávací vody nebo tukového rohlíku, popř. zařadit přestávku, aby se zabránilo smyslové únavě.

Při vizuálních zkouškách musí nádoby umožňovat neovlivněné posouzení. Proto musí být použity bezbarvé nebo téměř bezbarvé nádoby ze skla nebo plastu. Zkoušku lze provést jako průhled nebo pohled shora, přičemž intenzita optického vjemu se zvyšuje s tloušťkou vrstvy vody ve zkušební nádobě. Posouzení je snazší, pokud se zkouška provádí na vhodném bílém nebo světlém pozadí.

Nález každé abnormality musí být potvrzen dalšími osobami a vyhodnocen podle většinového hlasování členů panelu. Všechny výsledky musí být zdokumentovány.

## 2.4 Přehled metod senzorické analýzy vody

V České republice se při zkoušení pachu a chuti postupuje jedním z následujících způsobů, popř. jejich kombinací:

- a) afektivní metodou „přijatelný(á) – nepřijatelný(á)“;
- b) „standardně“ podle ČSN 75 7340 (ÚNMZ, 2019) se stanovením stupně pachu/chuti a jeho/jejího charakteru;
- c) dosud spíše výjimečně se stanovuje prahové číslo pachu/chuti podle ČSN EN 1622 (ČNI, 2007).

Všem postupům se budeme dále věnovat podrobněji, ale na úvod chceme zdůraznit, že to představuje poměrně omezené spektrum metod. Pomiňme nyní skutečnost, že některé laboratoře neovládají dokonale ani tyto metody, a předpokládejme naopak, že mají zájem se v oblasti senzorické analýzy dále rozvíjet, aby mohly provozovatelům poskytovat dokonalejší služby. Proto je vhodné ukázat, že existující „arsenál“ nástrojů senzorické analýzy (pachu a chuti) vody je mnohem širší a že by měl být předmětem zájmu nejen laboratoří, které senzorickou analýzu vody provádějí, ale i výrobců pitné vody (např. technologů či vzorkařů), aby měli přehled, co vše jim může senzorická analýza nabídnout při řešení jejich případných problémů s pachem a chutí vody (Dietrich a kol., 2004).

## 2.4.1 Metody senzoričké analýzy využitelné ve vodárenství

Dělení senzoričkých metod může být různé. Klasické dělení rozlišovalo v podstatě jen dvě kategorie: metody kvalitativní a metody (semi)kvantitativní. Podle povahy, resp. účelu je však vhodnější podrobnější dělení. Zde používáme čtyři kategorie podle Dietrichové a Ömür-Özbeč (2019):

- afektivní metody,
- deskriptivní metody,
- metody pro určení prahu,
- rozlišovací metody.

### 2.4.1.1 Afektivní metody

Afektivní (též emocionální či hedonické) metody zjišťují přijatelnost či preferenci vody. Metody, resp. posuzovatelé či panelisté těmito metodami odpovídají na otázky typu: *Chutná ti voda? Je pro tebe přijatelná? Který vzorek vody preferuješ?* apod. Test přijatelnosti je zřejmě nejčastěji používaná senzoričká metoda (Dietrich a Ömür-Özbeč, 2019). Nicméně abychom dosáhli skutečně validního výsledku, je nutné mít větší počet respondentů (panelistů), ideálně vyšší desítky až stovky. Toho se dá v laboratorních podmínkách pochopitelně těžko dosáhnout, proto někteří provozovatelé přistupují k rozšíření školeného laboratorního panelu o méně proškolený, ale početnější panel sestavený ze zaměstnanců vodárenské společnosti nebo ze spotřebitelů (viz dále).

Afektivní metody můžeme dále rozdělit na:

1. **Testy přijatelnosti (acceptance/likely tests)** – posuzovatelé subjektivně posuzují jeden vzorek vody s použitím předem zvolené stupnice/kategorie deskriptorů pro snazší pochopitelnost a proveditelnost. Typickým zástupcem těchto testů je např. hodnotící test chuti a pachu (flavour rating analysis, FRA) (APHA, 2017a). Použitý český název je možná poněkud zavádějící, protože nemáme v češtině jeden výraz pro anglické „flavour“, což je komplexní pojem zahrnující vjem jak chuti, tak pachu/vůně. Čili tento test se nezaměřuje specificky na chuť či pach, ale na to, jak voda spotřebiteli chutná, tedy jak ji celkově vnímá. Proto se nejčastěji používá na hodnocení přijatelnosti vody určené k denní spotřebě. Posuzovatelé ochutnají vzorek vody a poté ho ohodnotí jedním stupněm na devítibodové stupnici deskriptorů, od 1 (Byl bych velmi šťasten, kdybych mohl tuto vodu pít každý den.), přes 5 (Možná bych mohl akceptovat tuto vodu jako svoji pitnou vodu pro každodenní pití.), po 9 (Nemohu tuto vodu snést v ústech, nikdy bych ji nemohl pít.). V USA používá metodu FRA řada vodáren (např. vodárny v Seattlu) pro posouzení, jak je voda pro jejich zákazníky přijatelná s tím, že stupně 1 až 5 značí přijatelnost, ale snaha je dostat se na průměrné hodnocení 3 (Jsem si jistý, že bych mohl akceptovat tuto vodu jako moji pitnou vodu pro každodenní pití.) a lepší (Dietrich a Ömür-Özbeč, 2019). Stupnice hodnocení může být samozřejmě upravena – pro panel spotřebitelů v Rotterdamu byla kdysi používána pětibodová stupnice od „chutná dobře“ (1) po „chutná špatně“ (5) (Koster a kol., 1981).
2. **Testy preference (preference tests)** – posuzovatelé posuzují 2 a více vzorků a musí určit, kterému dávají přednost (popř. je seřadit podle preference). V ČR použila tento test např. Univerzita Karlova při slepé ochutnávce vody mezi 131 návštěvníky Veletrhu vědy v roce 2022 v Praze. Návštěvníci měli ochutnat dva vzorky vody (kohoutkovou a balenou) a určit, zda poznají rozdíl a jaký vzorek jim chutná více.

### 2.4.1.2 Deskriptivní metody

Deskriptivní metody jsou analytické testy, při kterých cca 4–15 školených posuzovatelů (panelistů) určuje charakteristiku pachu/chuti vody, popř. též jejich intenzitu, odpovídají tedy na otázku: *Co cítíme (chutnáme) a jak silně?* Deskriptivní metody můžeme dále rozdělit na:

1. **Testy hodnocení vlastností (attribute rating tests)** (Dietrich a Ömür-Özbek, 2019). Jedná se o rychlé a praktické metody určené pro detekci a hodnocení jednotlivých pachotvorných (popř. „chutivorných“) látek. Vyžadují asi 1 hodinu školení a 1 hodinu pro implementaci. Zkoušený vzorek vody se porovnává se standardem (koncentrace blízko úrovně, kdy se vyskytují stížnosti spotřebitelů). Standard také slouží pro screening schopnosti panelistů látku cítit. Používaná stupnice: 0 – nedetekováno; 1 – méně než standard; 2 – stejné jako standard; 3 – více než standard. Pokud se zapojí větší počet panelistů a zkouška se několikrát opakuje, lze získat dostatek dat pro statistické zpracování. Metoda se v praxi používá např. pro sledování výskytu pachu v surové a upravené vodě, při různých krocích úpravy (např. při hledání optimální dávky práškového aktivního uhlí), v různých částech distribučního systému apod.
2. **Deskriptivně-analytické testy** (např. analýza profilu pachu/chuti, celková intenzita pachu atd.) mají za účel popsat vícenásobné charakteristiky vzorku, popř. vzorek v jeho celistvosti. Tyto testy kombinují kvalitativní a kvantitativní přístupy. Nejrozšířenějším testem z této skupiny je **analýza profilu pachu/chuti (flavour profile analysis, FPA)** (APHA, 2017b; Desrochers, 2008), která hodnotí vzorek jako celek a poskytuje komplexní popis toho, co je ve vodě cítit a jak<sup>3</sup>. Protože se obvykle popisuje kombinace více přítomných pachů a chutí, stanovuje se tzv. „profil“. Za účelem posouzení intenzity používá škálu sudých čísel 0–12 (pro každý jednotlivý zjištěný pach/chuť). Aby se dosáhlo reprodukovatelných a spolehlivých výsledků, je nutné mít v panelu 4–7 dobře proškolených posuzovatelů (úvodní školení cca 2 dny + periodická cvičení). Každý posuzovatel nejprve vzorek sám otestuje, pak podá zprávu o svých zjištěních ostatním a nakonec všichni diskutují, aby dosáhli konsensu. Variantou je kvantitativní deskriptivní analýza (**quantitative descriptive analysis, QDA**), při které se nehledá konsensus, ale uvádí se střední hodnota a směrodatná odchylka nálezů jednotlivých panelistů. Metoda FPA se také využívá pro stanovení prahové hodnoty jednotlivých pach(chuti)tvorných látek (**taste or odour threshold concentration, OTC**). Deskriptivní metody a FPA zejména vyžadují nalezení společného jazyka (slovníku). Za tím účelem se nejčastěji používá tzv. kolo pachů a chutí, které bylo vytvořeno již před desítkami let a stále se zdokonaluje (Suffet a kol., 2019). Český překlad kola je uveden v příloze k této publikaci a v kapitole 6.1.

#### 2.4.1.3 Metody pro určení prahu

Jedná se o **metody určující práh (threshold)**, tedy např. minimum, kdy je pach/chuť detekován(a) (něco již cítím, ale nepoznám, co to je) nebo rozpoznán(a) (recognition – nejen něco cítím, ale jsem také schopen určit charakter pachu/chuti). Obvykle se jedná o práh získávaný postupným ředěním výchozího vzorku. Zde je nejznámější metodou stanovení prahového čísla pachu/chuti (TON, TFN) (ČNI, 2007; APHA, 2017c), které bylo standardizováno již v roce 1946, nicméně pro rutinní kontrolu pitné vody není příliš vhodné.

Pro stanovení prahu chuti/pachu jednotlivých látek, a to jak pro detekci, tak rozpoznání, se používá metoda ASTM E679-91 (Dietrich a Ömür-Özbek, 2019; ASTM, 1991), při které se obvykle používá 8 koncentrací (nejnižší by měla ležet pod předpokládaným prahem, nejvyšší by měla být rozpoznána většinou populace) a velký počet posuzovatelů (50–100) k získání validního výsledku. Postupuje se od nejnižší k nejvyšší koncentraci ve formátu nucené volby (panelista dostane v každém ředění tři vzorky, z nichž jeden je s hodnocenou látkou a dva jsou slepé, a musí určit, který ze tří vzorků je odlišný). Protože práh je velmi individuální záležitost a kolísá v čase i u jednotlivce, vyjadřuje se někdy výsledek jako tzv. BET (best estimate threshold) čili nejlepší odhad prahu.

<sup>3</sup> Když vodu ochutnáváme, cítíme něco, co se v odborné literatuře nazývá „flavour“ čili komplexní kombinace čichových, chuťových a trigeminálních vjemů pociťovaných při ochutnávání. Odtud název metody „flavour profile analysis“.

### **Případová studie: výběr sensorického panelu a sensorických metod při došetřování kontaminace pitné vody 4-methylcyklohexanmethanolem**

V roce 2014 došlo v USA k úniku 4-methylcyklohexanmethanolu (MCHM) do řeky Elk, odkud odebírá surovou vodu úpravna pitné vody pro Charleston a okolí. Tato případová studie vzniku problémů se sensorikou je uvedena v kapitole 5 Zdroje a příčiny sensorických problémů.

Byl najat tým sensorických odborníků, aby vyvinul metodiku založenou na normě ASTM E679-04 (Standardní postup pro stanovení prahových hodnot pachu a chuti metodou vynucené volby vzestupné koncentrační řady) k odhadu prahové koncentrace pachu (OTC), prahové koncentrace rozpoznávání zápachu (ORC) a prahové koncentrace stížností na pach (OOC) pro surový MCHM ve vodě. Důvodem bylo, že tato látka byla zjištěna v pitné vodě vůbec poprvé a o jejích sensorických vlastnostech ve vodě nebyly známy žádné informace.

K těmto odhadům bylo vybráno devět posuzovatelů (3 posuzovatelé byli z konzultační inženýrské firmy Hazen and Sawyer a šest posuzovatelů z oddělení environmentálních zdravotních věd na Kalifornské univerzitě v Los Angeles, UCLA). Tito posuzovatelé byli vyškoleni v metodě analýzy profilu pachu/chuti (FPA, použili devítistupňovou hedonickou škálu libosti); byli ve věku 18–65 let (18–33 let 56 %, 34–49 let 33 % a 50–65 let 11 %); poměr odborníků v panelu ženy : muži byl 67 : 33; posuzovatelé byli nekuřáci. Do panelu nebyly přijaty těhotné ženy ani lidé, kteří měli v anamnéze astma, problémy s dutinami či v době testování trpěli nachlazením, chřipkou, nebo jakýmkoli onemocněním horních cest dýchacích. Panelisté nesměli 1 hodinu před testováním nic jíst ani pít, kromě vody. Oba sensorické panely prováděly zkoušky ve vhodných prostorách bez pachu.

Byl získán a následně hodnocen pach vzorku o objemu 100 ml surového MCHM, stejné látky, která unikla do řeky Elk. Tým hodnotil pachové charakteristiky surového MCHM a čistého standardu MCHM. Surový MCHM měl lékořicový zápach, který byl pronikavý, dráždivý a ostrý. Čistý MCHM měl zřetelný lékořicový zápach, ale byl mírnější než surový. Dle dokumentace bylo zjištěno, že čistý MCHM byl hlavní složkou (asi 80 %), ale byly přítomny i další vedlejší složky. Jedna z těchto minoritních složek, dimethyl-1,4-cyklohexandikarboxylát, má také pach po lékořici a má přibližně stejnou charakteristiku a intenzitu jako čistý MCHM. Koncentrované vzorky dalších minoritních složek (propylen glykol fenyl ether a 1,4-methylcyklohexandimethanol) byly také hodnoceny a bylo zjištěno, že nemají lékořicový zápach.

Ve vzorku byl detekován pomocí GC/MS i cyklohexanmethanol (CHM) v mnohem nižší koncentraci než MCHM. Zdá se, že CHM přispívá k ostré charakteristice zápachu surového MCHM, který byl zaznamenán v panelových studiích a spotřebiteli vody v oblasti Charlestonu. Vzhledem k rozdílům v pachových charakteristikách čistého a surového MCHM se zdálo pravděpodobné, že jedna nebo více minoritních složek surového MCHM přispívá k ostrým charakteristikám pachu. Surový MCHM byl proto vybrán jako chemikálie, která byla přidána do vody a která byla předložena k posouzení zápachu účastníkům panelu.

Před provedením sensorického hodnocení byli jednotliví posuzovatelé odvedeni stranou a bylo jim řečeno, že budou čichat vzorky vody, které mohou mít zápach podobný referenčnímu zápachu (byl jim předložen). Bylo jim také řečeno, že ve vzorcích vody nemusí rozpoznat žádné pachy, které by se podobaly referenčnímu pachu. Posuzovatelé byli požádáni, aby pečlivě očichali zředěný vzorek surového MCHM a vlastními slovy popsali pach a zaznamenali ho do formulářů.

Byla vyvinuta metodika na základě metody ASTM E679-04 (2011) k odhadu koncentrací OTC, ORC a OOC pro surový MCHM ve vodě během jednoho zasedání panelu. Odhad panelu odborníků byla koncentrace OTC pro surový MCHM ve vodě  $< 0,15 \mu\text{g/l}$ . Odhad panelu odborníků pro ORC byla koncentrace pro surový MCHM ve vodě  $2,2 \mu\text{g/l}$  a odhad panelu odborníků pro OOC (pachu indukujícího námitky, resp. stížnosti spotřebitelů) byla koncentrace pro surový MCHM ve vodě  $4,0 \mu\text{g/l}$ . Odhadované prahové hodnoty stanovené ve studii podporují pozorování spotřebitelů v Charlestonu, že lidé mohli rozpoznat zápach po lékořici způsobený surovým MCHM ve své pitné vodě a mít proti němu námitky, a to i v přítomnosti vysokých koncentrací chloru. Pomocí analytických metod s mezí stanovitelnosti pod  $10 \mu\text{g/l}$  nebyl surový MCHM ve vodě detekován.

#### 2.4.1.4 Rozlišovací metody

**Rozlišovací (diskriminační) metody** umožňují rozlišit vzorky jeden od druhého, např. zda se změna zdroje surové vody nebo jiný druh úpravy vody projeví ve vnímání kvality vody ze strany spotřebitelů, zda poznají změnu. Jedná se o testy s nucenou volbou, protože posuzovatel musí určit, který vzorek či které vzorky jsou odlišné od ostatních, i když ještě (již) necítí žádný rozdíl. Je zde k dispozici několik druhů testů, např. párové porovnání (paired comparison), trojúhelníkový (triangle), dva z pěti („2-of-5“) nebo seřazovací (ranking) test, při kterém posuzovatel dostane sérii vzorků a musí je srovnat do řady od nejnižší po nejvyšší intenzitu (atribut) (Dietrich a Ömür-Özbek, 2019). K získání validního výsledku je opět potřeba většího počtu panelistů (ideálně 30 až 100).

Tyto testy se ale používají v provozní praxi i s menším počtem panelistů v různých situacích (provozní kontrola pachu surové a upravené vody, sledování změny pachu po úpravě nebo v distribuční síti apod.). Např. vodárny ve Filadelfii používají test „2-of-5“ po opravách či výměnách částí potrubí, když daný úsek prechlorují a pak po proplachu hodnotí, zda už je voda stejné chuti/pachu jako jinde v síti a zda již tedy mohou daný úsek zprovoznit (jako posuzovatelé slouží pro tento účel terénní pracovníci vodáren) (Dietrich a Ömür-Özbek, 2019). Ranking test se zase používá např. v situacích, kdy je po odsolení vody tato voda míchána s více mineralizovanou a hledá se optimální poměr míchání z hlediska sensorického – v takových případech se k testu využívají nejen školení laboratorní pracovníci, ale i neškolení posuzovatelé z řad veřejnosti (nebo jiných pracovníků vodárenské společnosti) (Dietrich a Ömür-Özbek, 2019). V podmínkách ČR by se takový test uplatnil např. v případě míchání vody z více zdrojů o různé tvrdosti a celkové mineralizaci.

I když je z hlediska legislativy rozhodující, zda je voda po stránce pachu a chuti přijatelná pro spotřebitele, na což může teoreticky – byť s nízkou validitou – odpovědět jeden vybraný posuzovatel (vzorkař) pomocí jednoduché afektivní metody (ano – ne, resp. přijatelný – nepřijatelný), výrobce vody musí vedle toho v rámci provozní kontroly kvality vody získávat mnohem komplexnější či plastičtější představu o sensorických vlastnostech vody. Za tím účelem se v ČR používá orientační sensorická analýza podle ČSN 75 7340, která je zjednodušenou analýzou profilu pachu a chuti (FPA) s prvky afektivní metody – zjednodušenou co do kvalitativního i kvantitativního popisu, ale především co do požadovaného počtu posuzovatelů.

Pokud není účelem analýzy jen konstatování „přijatelný/nepřijatelný“, při které stačí použít prostou afektivní metodu nebo orientační metodu (ÚNMZ, 2007), měl by se používaný postup blížit modelu FPA podle APHA (2017b). A pokud jsou zjištěny pachy/chutě na hranici přijatelnosti nebo za ní a je nutné nejen pátrat po příčině, ale i posuzovat účinnost nápravných opatření, je vhodné zařadit i některou z dalších metod, především ze skupiny deskriptivních nebo rozlišovacích, případně zapojit také instrumentální metody k identifikaci a kvantifikaci látek, které problémy způsobily. Nicméně i „pouhou“ přijatelnost je vhodné čas od času ověřit pomocí většího počtu posuzovatelů – a to i neškolených nebo jen minimálně proškolených posuzovatelů z okruhu spotřebitelů – a pomocí metody, která umožní tvrzení o přijatelnosti doložit i kvantitativně (statisticky) a získat tak validní výsledek.

## 2.5 Metody stanovení pachu a chuti používané v ČR

I když k testování pachu a chuti pitné vody se dá použít celá škála metod, rutinně se v ČR používají jako základní dvě metody. Historicky se jedná o metodu orientační sensorické analýzy podle ČSN 75 7340 – Kvalita vod – Metody orientační sensorické analýzy. Nověji se pak jedná o metodu prahových čísel podle ČSN EN 1622 – Jakost vod – Stanovení prahového čísla pachu (TON) a prahového čísla chuti (TFN).

**Metoda orientační sensorické analýzy** je obvykle pro laboratoře metodou první volby – minimálně při zkoušce pachu a chuti při odběru vzorků, ale často i při testování v laboratoři, což je



v pořádku zejména v případě, kdy zadavatel analýzy nechce pouhou informaci „vyhověl – nevyhověl“ (přijatelná/ý – nepřijatelná/ý), ale kvalitativní a semikvantitativní analýzu. Orientační senzorická analýza je metoda pro odborné posuzovatele nebo vybrané posuzovatele s relativně velkou zkušeností. Zkoušený vzorek posuzovatel ohodnotí dle stupnice uvedené v normě. Tato metoda zohledňuje snahu zobektivizovat subjektivní zjištění jednotlivých posuzovatelů, je založena na vysoké míře profesionality, zodpovědnosti a zkušenosti a umožňuje provádět zkoušku ve velmi malém počtu posuzovatelů (1 na místě, 2 a více v laboratoři), což ale může vést k nízké míře objektivizace u zkoušky založené na subjektivním vnímání.

**Metoda prahových čísel** obvykle nastupuje v případě nejistoty nebo sporu ohledně hodnocení přijatelnosti (viz kapitola 1.2 Legislativní požadavky). Nicméně se dá použít i jako metoda první volby (v kombinaci s nějakým deskriptivním popisem charakteru pachu/chuti), protože je metodou, která subjektivní testování objektivizuje a tím zmenšuje chybovost při testování a hodnocení. Tato metoda je ve zkrácené podobě teoreticky použitelná i pro testování na místě odběru, ale v praxi se tato možnost nevyužívá, a ani v tom nevidíme nějaký zvláštní užitek.

Jak normu ČSN EN 1622 používat? Celá metoda je založena na ředění zkoušeného vzorku a hledání rozdílu oproti porovnávací vodě. Ovšem je důležité zmínit, že rozdílnost je v tomto chápána jako nestandardní/pozitivní nálezh chuti či pachu. Pokud porovnáme dva vzorky s rozdílným chemickým složením, vybraný posuzovatel pravděpodobně rozdíl mezi vzorky také určí. Toto není ale obsahem zkoušky. Metoda prahových čísel chuti a pachu je založena na výpočtu dle psychofyzikálního zákona.

V normě doporučujeme použít příklady postupného ředění dle tabulky F.1 s hodnotou  $x=2$  (viz obrázek 2-1).

	1. ředění	
$TON / TFN$	$= \frac{A + B}{A} = \frac{100 + 0}{100} =$	1
	2. ředění	
$TON / TFN$	$= \frac{A + B}{A} = \frac{50 + 50}{50} =$	2
	3. ředění	
$TON / TFN$	$= \frac{A + B}{A} = \frac{25 + 75}{25} =$	4
	4. ředění	
$TON / TFN$	$= \frac{A + B}{A} = \frac{12,5 + 87,5}{12,5} =$	8
A = ml zkoušené vody, B = ml porovnávací vody		

Obr. 2-1. Příklad postupného ředění vzorku pro stanovení prahových čísel pachu a chuti s dvojkovým ředěním.

Ředění s touto hodnotou se dlouhodobě ukazuje jako nejlepší, jelikož jsou nejlépe postihnuty prahy citlivosti většiny kontaminantů. Pro běžnou praxi stačí zkouška neředěného vzorku. Pokud vzorek vykazuje nějakou pachovou či chuťovou abnormalitu, je třeba posoudit jeho intenzitu. Pokud technik panelu při přípravě vzorku cítí vysoce kontaminovaný vzorek, doporučujeme rovnou předložit vzorek naředěný na min. ředění 4 a více. Pokud posuzovatelé takto zředěný vzorek stále rozpoznají, není nutné další ředění. Výsledek se запиše jako  $\geq 4$ , což je voda nepřijatelná pro spotřebitele. V případě, že jej posuzovatelé nerozpoznají, je potřeba vzorek naředit o ředění níže. Vzhledem k tomu, že se zde jedná o hranici TFN 2, je vhodné zkusit ředění TFN 3. Pokud bude stále nerozpoznán, pak ředění pro TFN 2. Metoda prahových čísel umožňuje ředění vzorků právě i zpětnou metodou. Tento postup doporučujeme i u vysokých koncentrací nebo například u vzorků

v rámci mezilaboratorních porovnávacích zkoušek. Nejprve je dobré si tedy stanovit první ředění dle intenzity pachu/chuti neředěného vzorku. U ředění vzorků je důležité myslet na možnou senzoryckou únavu posuzovatelů, která s vysokými koncentracemi a vysokým počtem vzorků přichází.

### **Metodický rámeček: Správný postup při hodnocení pachu/chuti vzorku dle ČSN EN 1622 v laboratoři**

Zkoušený vzorek se posuzuje v pachu/chuti vůči porovnávací vodě (bez pachu, bez chuti). Pach se zkouší ve skleněné, širokohrdlé vzorkovnici o objemu 200–250 ml, chuť ve skleněných (plastových – bez pachu a ovlivnění chuti) nádobkách. Zkoušené vzorky a porovnávací voda by měly mít stejnou teplotu, vytemperovanou na  $23 \pm 2$  °C.

Nejprve se porovná pach neředěného vzorku vůči jedné porovnávací vodě (párová porovnávací zkouška), nebo dvěma porovnávacím vodám (trojúhelníková zkouška). Nezaznamená-li posuzovatel rozdíl, je prahové číslo pachu takového vzorku  $< 1$ . V opačném případě se provádí ředění vzorku a posuzování ředěného vzorku tak dlouho, dokud posuzovatel zaznamenává rozdíl mezi vzorkem a porovnávací vodou (mělo by být předkládáno v zakódovaných vzorkovnicích tak, aby posuzovatel nebyl ovlivněn znalostí, ve které vzorkovnici je vzorek a ve které porovnávací voda). Nezaznamená-li již posuzovatel rozdíl vůči porovnávací vodě (nesmí být znát rozdíl vůči porovnávací vodě, nestačí ředit vzorek pouze do „přijatelného pachu“), pak se z předešlého ředění vypočítá individuální prahové číslo pachu daného vzorku ze vztahu:

$$TON = (A + B) / A,$$

kde A ... objem vzorku, B ... objem ředící vody (celkový zkoušený objem by měl být cca 100 ml).

Je-li intenzita pachu neředěného vzorku příliš silná, provádí se přímo větší ředění (např. 1:9, 1:99) a prahové číslo se vyhodnotí předběžně. Potom se v okolí nalezené hodnoty připraví nejméně tři ředění k určení konečného prahového čísla.

Zjišťování prahového čísla chuti je vhodné u kontaminovaných vzorků začít až u posledního ředění dosaženého při zkoušení pachu. A podle výsledku připravíme pro další zkoušení vzorek s nižším nebo vyšším ředěním.

Jednotliví posuzovatelé by měli provádět hodnocení samostatně bez znalosti výsledků ostatních posuzovatelů. Konečné TON/TFN se vypočte z individuálních výsledků posuzovatelů jako geometrický průměr podle rovnice:

$$TON = \sqrt[n]{TON_1 \times TON_2 \times \dots \times TON_n}; TFN = \sqrt[n]{TFN_1 \times TFN_2 \times \dots \times TFN_n}$$

Norma uvádí, že výsledek se považuje za přijatelně shodný, jestliže alespoň 66 % posuzovatelů dospělo k individuálním výsledkům v mezích jednoho ředícího intervalu geometrického průměru.

Při použití obou metod je vhodnější provádět **trojúhelníkové testování** (trojúhelníkovou zkoušku), které zase zvyšuje přesnost a správnost testování. Trojúhelníková zkouška se provádí tak, že jsou předloženy 3 zakódované vzorky, přičemž se hledají dva shodné a jeden rozdílný. Je na technikovi panelu, zda zvolí 2 vzorky porovnávací vody či odebraného vzorku. Více o metodách senzorycké analýzy v normě ČSN EN ISO 4120 Senzorycká analýza – Metodologie – Trojúhelníková zkouška.

Provádění orientační sensorické analýzy na místě odběru je poměrně problematické, a to především z metodického hlediska, nicméně by to nemělo být důvodem, aby vzorkař orientační sensorickou analýzu neprovedl. V případě slabého pachu způsobeného velmi těkavou látkou je to dokonce skoro jediná šance, jak problém vnímaný odběratelem poznat. V tomto případě je nález nutné zapsat do protokolu o odběru vzorku a vzorek vzít na posouzení do laboratoře. Posuzovatel (vzorkař) je ovlivněn místem, časem a podmínkami, v jakých posuzuje, a je zde také vysoké riziko testování podchlazeného vzorku. V sensorické analýze vody je důležité standardizovat teplotu vzorků, aby byly výsledky konzistentní a srovnatelné. Při použití obou metod je nutné vzorky temperovat, aby bylo možné rozpoznat případné závady vody. Z praxe se také ukázalo, že vzorkaři jsou jen z malé části vybranými posuzovateli, mnoho z nich nikdy neprošlo proškolením a nejsou zahrnuti do kontinuálního výcviku.

Na sensorickou analýzu pitné vody, resp. její funkci, lze nahlížet ze dvou hledisek. Prvním hlediskem je metoda k ověření minimálních hygienických požadavků na pitnou vodu, ale také nástroj ke zjišťování závad pitné vody čili nástroj pro ověření absence sensorických vad, nebo pokud se vada vyskytuje, tak její co nejlepší popis. Druhým, také velmi důležitým hlediskem je chutnost pitné vody, tedy pohled zákazníka. V takovém případě mluvíme o takzvaném hedonickém nebo afektivním zkoušení. Pro hedonické zkoušení je teplota vody zásadní zcela opačným směrem, protože závislost teploty vody ovlivňuje rozpustnost plynů a dalších látek ve vodě a tím přímo úměrně ovlivňuje právě chutnost. Studená voda má tendenci udržet více rozpuštěných plynů, což může znamenat, že má „čistší“ nebo méně zřetelný chuťový profil. Na druhou stranu, teplejší voda může uvolňovat více látek, což vede k intenzivnější chuti. Teplota vody může také ovlivňovat vnímání jednotlivých chuťových složek. Studená voda obvykle zesiluje vnímání sladkosti, zatímco teplejší voda může zvýraznit hořkou chuť. Studená voda je často vnímána jako osvěžující a čistší, což je důvod, proč je obvykle preferovaná pro pití. Teplejší voda může u některých lidí evokovat vjem méně čisté vody, možná kvůli výraznějším chutím a pachům.

## **2.6 Sensorický panel zaměstnanců/spotřebitelů**

### **2.6.1 Úvod**

Protože hodnocení přijatelnosti pachu, chuti nebo vzhledu jednou osobou (vzorkařem) nebo úzkým odborným sensorickým panelem, ale jen občas v rámci krácených rozborů, může být zatíženo velkou chybou či nejistotou nebo souběhem s relativně málo četnou kontrolou, může mít odpovědný provozovatel zájem tuto kontrolu rozšířit jak co do počtu hodnotitelů, tak co do četnosti hodnocení. Za tím účelem si někteří provozovatelé v zahraničí založili či zorganizovali další, laický nebo pololaický sensorický panel složený buď ze zaměstnanců společnosti, nebo ze spotřebitelů.

Vodárenství se v tomto směru inspirovalo od potravinářského a nápojového průmyslu, ve kterém začalo být uznáváno a rozvíjeno formální používání sensorických panelů, včetně veřejných panelů, od poloviny 20. století. Tato metoda zahrnuje skupinu vybraných spotřebitelů, kteří pravidelně hodnotí produkty z hlediska chuti, pachu, vzhledu a textury. Využívá se zejména pro testování nových produktů a pro získání zpětné vazby od cílového trhu. Spotřebitelské či veřejné panely ale využívají i akademické a soukromé výzkumné instituce k různým účelům.

První v literatuře popsání zkušenosti se spotřebitelskými panely při hodnocení kvality pitné vody se datují do 60. a 70. let 20. století v USA, ale zřejmě první panel založený na opravdu vědeckém přístupu byl zorganizován v letech 1979–1980 v Rotterdamu a zahrnoval dva panely po 100 osobách ze dvou částí města zásobovaných z různých zdrojů (Koster a kol., 1981). Nejdéle, tj. přes 30 let, fungoval panel spotřebitelů složený z univerzitních studentů při vodárně v Barceloně. Ten začínal s počtem 60 panelistů, ale časem byl zúžen na počet cca 16 panelistů. Členové panelu se měnili postupně po 3–5 letech čili době studia (Devesa a kol., 2004).

Funkce panelu je trojí:

- 1) Rozšířená kapacita senzorické analýzy laboratoře/vzorkařů provozovatele – jedná se vlastně o systém časného varování, protože spotřebitelé spotřebovávají vodu každý den.
- 2) Provozovatel se skrze panel ujišťuje, zda je voda pro spotřebitele přijatelná.
- 3) Sblížení pohledu provozovatele (voda má být bezpečná) a spotřebitele (voda má být dobrá) čili vstřícný krok směrem k zákazníkům.

Nutno zdůraznit, že dobře fungující panel je oboustranně výhodný, protože slouží i spotřebitelům i provozovateli.

Veřejné panely pro senzorickou analýzu pitné vody představují důležitou zpětnou vazbu pro kontrolu, že procesy úpravy vody jsou účinné a její distribuce probíhá bez komplikací a že voda zůstává příjemná a bezpečná pro konzumaci v celé délce a čase spotřeby. Pro vodárenské společnosti jsou cenným nástrojem k udržení důvěry a spokojenosti spotřebitelů. V dlouhodobém horizontu tato metoda navíc výrazně přispívá k nižšímu počtu oprávněných i neoprávněných reklamací.

Moderní senzorické panely nyní často integrují technologie sběru dat, jako jsou online dotazníky a digitální nástroje pro analýzu chutí, aby zvýšily přesnost a efektivitu sběru dat. Existuje trend zahrnovat širší rozsah panelistů, aby se získalo komplexní pochopení senzorických preferencí napříč různými kulturními a demografickými skupinami. S rostoucím povědomím o zdravotních dopadech kontaminantů ve vodě se veřejné panely více zaměřují na detekci jemných změn, které by mohly signalizovat kontaminaci.

Senzorický panel spotřebitelů by se dal označit jako průběžný průzkum spokojenosti vybraných spotřebitelů povýšený na novou úroveň. Jedná se o dobrovolnou skupinu laických spotřebitelů, kterým záleží na kvalitě dodávané pitné vody a chtějí ke zvýšení či udržení její kvality přispět. Senzorický panel představuje oboustranně výhodnou a dobrovolnou formu spolupráce mezi provozovatelem určitého vodovodu a zásobovanými obyvateli.

V rámci panelu proškolení laičtí spotřebitelé hodnotí pravidelně dle dohody (např. jednou týdně) v místě svého bydliště kvalitu vody po stránce senzorické (vzhled, pach a chuť) svými „senzorickými nástroji“ (pohledem, čichem a chutí). Hodnocení podle předem domluvené stupnice odesílají dohodnutou elektronickou formou provozovateli vodovodu, kterému slouží k nezávislému ověření, zda je voda pro spotřebitele přijatelná, a ke zjištění, jak spotřebitelé kvalitu vody vnímají. Vedle pravidelného hodnocení pak účastníci panelu v případě potřeby, tj. při náhle vzniklém problému se senzorickými vlastnostmi kohoutkové vody jako je zákal, neobvyklá barva, pach nebo chuť vody, nahlásí tento problém provozovateli okamžitě. Ten pak může na situaci reagovat mnohem pružněji, než když je odkázán pouze na svou vlastní kontrolu.

Proškolení účastníků panelu (a ověření, zda k tomu vůbec mají dispozice) zajišťuje provozovatel vodovodu prostřednictvím odborníka na senzorickou analýzu vody. Jednou nebo dvakrát ročně se panel schází se zástupcem provozovatele, aby si poskytli vzájemnou zpětnou vazbu a zlepšili činnost panelu, popř. i reakci provozovatele.

## 2.6.2 Vhodné metody pro panel spotřebitelů/zaměstnanců

Jak už bylo uvedeno výše, panely mohou být zakládány za různým účelem a podle toho se budou lišit používané metody.

Afektivní test, konkrétně hodnotící test chuti a pachu (FRA) použili u výše zmíněného panelu v Rotterdamu, kde měli členové panelu na výběr z pětistupňové škály od „Voda chutná dobře.“ (1) po „Voda chutná špatně.“ (5). Stejnou metodu, ale se stupnicí o 9 deskriptorech podle normy (APHA, 2017a) uvedenou výše, používají i panely v Seattlu a na několika dalších místech v USA), které vznikly okolo roku 2000 a zahrnují 4 až 8 panelistů školených v analýze profilu pachu/chuti (FPA), protože vedle stupnice hodnotí také charakter pachu a chuti jako při FPA (Dietrich a Ömür-Özbek, 2019).

Naopak analýzu profilu pachu/chuti (FPA) jako základní metodu používal panel v Barceloně nebo panel složený ze 40 zaměstnanců vodárenské společnosti Coliban Water v Austrálii (Goetz a Prevos, 2016). Prvořadým cílem tedy nebylo vyjádření chutnosti vody, ale co nejpřesnější popis toho, jak (po čem) voda chutná nebo je cítit. Oba panely používaly jako svůj základní nástroj tzv. kolo pachů a chutí (Suffet a kol., 2019), o kterém je pojednáno dále (kapitola 6.1).

### 2.6.3 Senzorický panel spotřebitelů pitné vody v Hořovicích

První pilotní senzorický panel spotřebitelů v České republice zorganizovala společnost Vodovody a kanalizace Beroun, a.s. (VAK Beroun) ve spolupráci se Státním zdravotním ústavem, CzWA a společností Englober, s.r.o. Panel funguje od konce roku 2023.

Po úvodním proškolení a otestování senzorických schopností členové panelu pravidelně jednou týdně (v úterý cca mezi 16.30 hod. a 20.30 hod.) zhodnotí doma kvalitu pitné vody co do vzhledu a chuti/pachu. V odpoledních hodinách zašle provozovatel vodovodu členům panelu SMS zprávu, kterou je upozorní, že ten den mají udělat hodnocení. Výsledek hodnocení, samostatně pro vzhled a pach/chuť vody, odešle člen panelu týž den večer do 24.00 hod. přes jednoduchý on-line dotazník buď přes internet, nebo přes mobilní telefon. Jak vzhled, tak i pach/chuť se hodnotí známkami 1 (dobré), 2 (mírně zhoršené) nebo 3 (špatné), viz tabulka níže s podrobnějším popisem jednotlivých kategorií. Druhý den dopoledne si pracovník VaK Beroun stáhne a vyhodnotí odpovědi.

**Postup při odběru vzorku a hodnocení.** Vzorek vody se odebírá v podvečerních/večerních hodinách, kdy se předpokládá, že spotřeba vody v domácnostech je během dne nejvyšší a stagnace vody v domovních rozvodech nejnižší. Hodnotitel použije čistou (vizuálně i prostou pachu) sklenici z čirého skla bez zabarvení o objemu cca 0,2 až 0,3 litru. Bez odpouštění nebo jen s minimem odpuštění vody natočí plnou sklenici a tu nechá chvíli, cca 10 minut, odstát při pokojové teplotě. Účelem je, aby se případné bublinky vzduchu vyčeřily a bylo možné hodnotit vzhled vody a dále aby se voda aspoň trochu temperovala, což je pro hodnocení pachu a chuti vhodnější. Pro hodnocení vzhledu vezme hodnotitel bílý list papíru (ideálně formát A4) a při dobrém osvětlení oproti bílému pozadí si prohlédne vodu ve sklenici, zda nemá nažloutlou či jinou barvu nebo v ní neplavou nějaké částice. Než bude hodnotitel vodu ochutnávat, zajistí si pro to pokud možno klidné a bezpachové prostředí. Před hodnocením je vhodné si místnost, ve které hodnotíme, vyvětrat. Stejně tak cca 30 minut před hodnocením nebude hodnotitel pít kávu, silný černý či zelený čaj, nebude kouřit a nebude používat parfémy ani osobní, ani interiérové.

Vlastní hodnocení pachu: spotřebitel přičichne ke sklenici a výrazně nasaje, pokud cítí nějaký neobvyklý pach, zapíše si jej. Hodnocení chuti: spotřebitel vezme doušek vody (cca 15 ml = velká polévková lžice) do úst a vodu chvíli poválí v celé dutině ústní. Zapíše si, zda mu voda chutná nebo zda cítí nějakou neobvyklou chuť vody.


Následně přiřadí hodnotitel vzhledu i pachu/chuti známku a poté hodnocení odešle. V případě hodnocení známkou 2 nebo 3 je vhodné, aby hodnotitel také slovně popsal, co se mu nelíbí. Protože ne každý má zkušenost s popisem různých pachů a chutí, obdrží členové panelu při úvodním školení jako pomůcku popisy známých pachů a chutí u vody.

Jedná se o dobrovolnou činnost, takže případné opomenutí a vynechání hodnocení neznamená pro panelistu žádnou nepříjemnost. Nicméně aby provozovatel vodovodu věděl, že člen panelu neztratil o účast v panelu zájem, byli členové panelu požádáni, aby v případě, že budou zdravotně indisponováni a neschopni objektivně hodnotit nebo budou mimo bydliště, stejně v dotazníku vyplnili alespoň své jméno nebo kód a zaškrtnli odpověď „Nemohu se zúčastnit.“

V případě, že hodnotitel kdykoli, tedy kterýkoli den v týdnu či denní hodinu, zaznamená mimořádnou výraznou změnu ve vzhledu nebo pachu/chuti vody, postupuje jako běžný spotřebitel, tedy oznámí to neprodleně provozovateli vodovodu obvyklým způsobem (telefonem na zákaznickou linku). Následně vyplní dotazník a zaškrtně, že se jedná o hodnocení „mimořádné“. Vodu samozřejmě nemusí chutnat, má-li odpudivý vzhled a pach. V takovém případě hodnotí pach a chuť jako „špatné“ a může uvést, že nebylo ochutnáváno. Dojde-li ke zhoršení vlastností jen mírně,

tedy tak, že by za normálních okolností nekontaktoval provozovatele vodovodu, provede jen mimořádné hodnocení dotazníkem a odešle.

Tab. 2-3. Systém hodnocení estetické kvality pitné vody panelem spotřebitelů

Stupnice		Pach a chuť (flavour)	Vzhled (barva, zákal, viditelné částice/objekty)
Známka	Vizualizace		
1		<b>Dobré</b> Voda, která mi chutná.	<b>Dobry</b> Voda je čirá, bez jakéhokoliv viditelného znečištění, částic či barvy.
2		<b>Mírně zhoršené</b> Voda se dá pít, ale příliš mi nechutná. ( <i>Popište, proč/v čem je zhoršená.</i> )	<b>Mírně zhoršený</b> Voda má lehce změněnou barvu, lehký zákal nebo občasný výskyt částic, popř. kombinaci těchto vad, které ale ještě nebrání jejímu požívání. ( <i>Popište, v čem je zhoršený.</i> )
3		<b>Špatné</b> Voda má nepříjemnou chuť a/nebo pach. Její kvalitu nepovažuji za přijatelnou pro pitnou vodu. ( <i>Popište, proč je špatná.</i> )	<b>Špatný</b> Voda má výraznou barvu, zákal, množství pevných částic, na první pohled nebudí důvěru a neláká k ochutnání. ( <i>Popište, proč je špatný.</i> )

*Poznámka: pro zařazení do určitého stupně stačí, aby byla splněna jen jedna podmínka (buď pach a chuť, nebo vzhled), přičemž rozhodující pro zařazení je ta horší z obou podmínek. Příklad: daná voda bude podle vzhledu na stupni 1, ale podle chuti na stupni 3. V takovém případě se zařadí do stupně 3.*

## 3 Zjišťování příčin sensorických problémů

### 3.1 Úvod

Je možné, že nastane situace, kdy pracovník laboratoře, případně provozovatel vodovodu či studny zjistí nepříjemný pach, chuť nebo vzhled vody. Může se tak stát při pravidelné kontrole nebo na podnět (stížnost) spotřebitele. Aby mohl provozovatel přijmout nápravná opatření a zjistit, zda s nepříjemnou organoleptickou kvalitou vody nemůže být spojeno nějaké zdravotní riziko pro spotřebitele a jaká je tedy naléhavost opatření, musí zjistit příčinu problému. Někdy je situace jasná od začátku, protože se provozovateli takový problém vyskytl již dříve nebo se jedná o jev všeobecně známý.

Někdy ale dojde k tomu, že provozovatel neví, co problém způsobilo, o jakou látku či látky se jedná, ani jak se do vody dostaly. Pak musí zahájit šetření, aby na tyto otázky získal jasnou odpověď. Pokud byl problém zjištěn v rámci rutinní kontroly a odběru na krácený nebo úplný rozbor, je možné jako jednu z prvních informací využít výsledek prováděného rozboru, jehož první výsledek lze (v některých ukazatelích) mít k dispozici již v den odběru nebo den následující. Zde snad není třeba připomínat samozřejmost, že zjištění nepříjemného/podezřelého pachu, chuti nebo vzhledu vody by měla laboratoř okamžitě oznámit provozovateli vodovodu (obvykle technologovi), stejně jako nadlimitní nález ukazatelů s NMH, a nečekat na dokončení všech analýz a vystavení formálního protokolu.

### 3.2 Rutinní rozbor vody

Běžný krácený nebo úplný rozbor vody není nijak specificky zaměřen na odhalení příčin zvláštního pachu nebo chuti vody, přesto některé ukazatele mohou přinést užitečnou doplňkovou informaci. Objeví-li se hnilobný pach vody a voda vykazuje v mikrobiologickém nebo chemickém rozboru známky fekálního znečištění (vysoké počty *E. coli* nebo enterokoků, vysoká koncentrace  $CHSK_{Mn}/TOC$ , amonných látek či dusičnanů), do vodovodu se pravděpodobně dostala odpadní voda. Má-li voda hořkou chuť a nadlimitní obsah mědi, bude se příčina zřejmě nacházet ve vnitřním vodovodu (měděné potrubí) nebo napojeném spotřebiči (např. měděný zásobník v tzv. americké chladničce). Má-li voda slanou chuť a rozbor ukáže nadlimitní obsah sodíku, chloridu či obojího, bude příčina buď ve zdroji vody (ošetření silnic v okolí zdroje proti námraze solí), nebo v technologii úpravy vody (iontoměniče). Má-li voda chlorový pach a rozbor ukáže vyšší obsah chloru (nemusí být nutně vyšší než 0,3 mg/l), příčinou bude velmi pravděpodobně příliš vysoká dávka chloru. Užitečnou informaci o původu některých druhů pachů může poskytnout také kvalitativní mikroskopický obraz.

Někdy se stává, že si lidé stěžují na chuť vody, která sama o sobě není špatná, ale protože je pro lidi nová a nezvyklá (např. při přepojení vodovodu na jiný zdroj nebo jiný poměr míchání různých zdrojů o různém chemickém složení), připadá jim „divná“ a nepříjemná. Chuť vody je ovlivněna především minerálním složením vody, takže v tomto případě lze porovnat výsledky elektrické konduktivity (jako indikátoru celkové mineralizace) a hlavních makroprvků (vápník, hořčík, sodík, chloridy, sírany, hydrogenuhličitan) s výsledky z předešlých rozborů, zda se minerální obraz výrazně změnil a může způsobit stížnosti na chuť vody.

Ostatní ukazatele toho o příčinách sensorických problémů vody přímo moc nevypovídají.

### 3.3 Místní šetření

K objasnění příčiny sensorického problému velmi přispívá znalost jeho rozšíření v distribuční síti. Pokud je např. problém zjištěn již na úpravně vody, je jasné, že příčina leží buď ve změně kvality surové vody ve zdroji, v technologii úpravy, nebo v kombinaci obojího.

Vyskytne-li se problém až na konci sítě, musí nastat šetření, zda je problém omezen:

- jen na jednu budovu – pak se příčina nachází ve vnitřním vodovodu,
- jen na určitou větev vodovodu – pak bude příčina v určitém úseku potrubí<sup>4</sup>,
- jen na určité tlakové pásmo – pak bude příčina ve vodojemu nebo v řadu vedoucím od vodojemu.

K metodice místního šetření uvádí více kapitola 4.

### 3.4 Náповěda ze senzoričké analýzy

Snad ještě více než místní šetření napoví o příčině kvalitativní senzoričká analýza, nejlépe provedená nějakým deskriptivně-analytickým testem, který má za účel popsat vícenásobné charakteristiky vzorku, resp. vzorek v jeho celistvosti, a který kombinuje kvalitativní a kvantitativní přístupy. Nejrozšířenějším testem z této skupiny je analýza profilu pachu/chuti (flavour profile analysis, FPA), která hodnotí vzorek jako celek a poskytuje komplexní popis, co je ve vodě cítit a jak. Protože se obvykle popisuje kombinace více přítomných pachů a chutí, stanovuje se tzv. „profil“ (vody).

Ihned po zjištění problému by měl vzorek vody otestovat a posoudit senzoričký panel. Cílem je co nejpřesnější popis druhu či charakteru pachu (pachů), chuti, popř. vzhledu vody. Určení druhu pachu či chuti vody znamená významné zúžení okruhu látek, které mohou problém vyvolat, a znalost jejich původu poukáže k příčině, resp. mechanismu vzniku problému. Zároveň toto určení nasměruje laboratoř na specifickou, cílenou chemickou analýzu, která hypotézu potvrdí či vyvrátí (pokud je použitá metoda schopna dosáhnout dostatečně nízké meze stanovitelnosti, která by se u některých látek měla pohybovat již na úrovni jednotek pikogramů na litr).

Jak pro určení druhu pachu/chuti, tak pro vytipování okruhu látek, které určitý pach/chuť způsobují, mohou členové panelu použít pomůcku v podobě kola chutí a pachů pitné vody. Toto kolo obsahuje nejobvyklejší chuti a pachy pitné vody a k nim přiřazuje chemické látky, které je nejčastěji způsobují. Podrobnosti uvádí kapitola 6.1 Kolo chutí a pachů.

### 3.5 Pomocné a speciální chemické, mikrobiologické a biologické rozbory

#### 3.5.1 Chemické rozbory

##### 3.5.1.1 Úvod

Znát konkrétní látku, která způsobuje nepřijatelný či nepřijemný pach nebo chuť vody, a její koncentraci, je základním krokem k odhalení příčiny problému a jeho řešení. Nejčastěji nalézané sloučeniny, které tyto problémy způsobují, lze rozdělit do tří skupin. První skupina obsahuje geosmin a 2-methylisoborneol, druhá deriváty methoxy-pyrazinu a třetí haloanisoly. Pro vzorky vody je kvalitativní a kvantitativní detekce typicky prováděna pomocí plynové chromatografie s hmotnostní spektrometrií (GC-MS).

Vzhledem k extrémně nízkým koncentracím, při kterých se již některé látky projevují ve vodě nepřijemným pachem, vyžaduje stanovení látek na nižších úrovních, než jaké je možné detekovat vlastním analytickým vybavením, přidání procesu zakoncentrování analytů. Běžně používané metody přípravy vzorků zahrnují širokou škálu analytických řešení, jako jsou uzavřená stripovací analýza (CLSA), extrakce kapalina-kapalina (LLE), extrakce na pevné fázi (SPE), mikroextrakce na pevné fázi (SPME), mikroextrakce v kapalně fázi (LPME), popř. sorpční extrakce míchadlem (SBSE). Jednotlivé metody se od sebe liší technickou realizací, stupněm automatizace a spotřebou různého množství organických rozpouštědel. Jednotlivé techniky jsou diskutovány v následujících

<sup>4</sup> Např. nová výstelka potrubí; nízkohustotní polyetylen, který v určitém úseku prochází zeminou kontaminovanou těžkými látkami; narušení integrity potrubí a průnik externí vody do systému apod.



kapitolách.

### 3.5.1.2 *Uzavřená stripovací analýza (CLSA)*

Během posledních dvou desetiletí byla metoda CLSA-GC-MS metodou volby pro stanovení těkavých organických látek v koncentracích na úrovni ppt. Zejména CLSA-GC-MS umožňuje detekci metabolitů, jako jsou geosmin, methylisoborneol (2-MIB) či 2-isopropyl- nebo 2-isobutyl-3-methoxypyrazin, které způsobují intenzivní zemité, zatuchlé pachy již na úrovni 2–5 ng/l. Systém se skládá z čerpadla vzduchu, které cirkuluje vzduch obsažený ve smyčce při průtoku plynu 1 l/min a vytváří jemné bublinky přes skleněnou fritu ponořenou na dně láhve, aby se odstranily těkavé sloučeniny. Do smyčky je vložen filtr obsahující 1,5 mg adsorbentu aktivního uhlí, aby absorboval těkavé látky. Uhlíkový trap je umístěn bezprostředně za ohřívačem, který udržuje teplotu vzduchu 55–60 °C, aby se zabránilo kondenzaci vody. Systém běží v rovnováze po dobu 2 hodin. Poté se smyčka odpojí a trap se eluuje malým množstvím rozpouštědla, obvykle 25 µl sirouhlíku (CS<sub>2</sub>). Před extrakcí se vzorek vody obohatí vnitřními standardy (např. 4 chloralkany, C<sub>6</sub>, C<sub>10</sub>, C<sub>12</sub>, C<sub>16</sub>, každý po 200 ng/l) a do trapu se přidá ekvivalentní množství dvou dalších chloralkanových vnitřních standardů (C<sub>8</sub>, C<sub>14</sub>) určených pro kontrolu výtěžnosti. Velmi nízké detekční limity jsou dosaženy díky použitému koncentračnímu faktoru a absenci kroku zakoncentrování rozpouštědla. Pro ilustraci, koncentrace 1 ng/l v počátečním vzorku vody odpovídá koncentraci 40 pg/µl v extraktu CS<sub>2</sub> za předpokladu 100% výtěžnosti, která je dosažitelná většinou GC-MS.

CLSA byl většinou užitečný pro extrakci zemitých zatuchlých pachů, jako jsou geosmin, 2-MIB a alkylpyraziny. Funguje také dobře pro C<sub>6</sub> – C<sub>10</sub> alifatické aldehydy a pravděpodobně zůstává jedinou extrakční metodou umožňující detekci při prahu zápachu dimethyltrisulfidu 10 ng/l. Dokonce i pro sloučeniny, které se špatně extrahují, je díky vysokému dosaženému koncentračnímu faktoru vynikající screeningovou metodou pro látky jako jodované THM, dioxany a dioxolany, trans,trans-2,4-heptadienal, trans-2-cis-nonadienal či cis-3-hexen-1-ol. Metoda také umožňuje detekce nízkých koncentrací lehkých uhlovodíků, jako je benzín a lakový benzín. Na druhou stranu halogenované fenoly nelze touto metodou extrahovat.

Od přelomu tisíciletí byla metoda CLSA téměř zcela nahrazena metodami SPME a SBSE pro své nejtradičnější užití, tj. kvantitativní analýzu geosminu, 2-MIB a alkylpyrazinů. Vzhledem k široké škále sloučenin, které lze touto metodou identifikovat, se tato metoda i nadále používá v omezeném počtu laboratoří.

### 3.5.1.3 *Mikroextrakce na tuhé fázi (SPME)*

Díky své jednoduchosti, rychlosti a citlivosti se tato technika stala rychle populární a stala se metodou volby pro kvantifikaci geosminu a 2-MIB při nízkých hladinách ng/l ve vzorcích vody.

Technika SPME je založena na sorpci analytů z roztoku nebo parní fáze nad roztokem do sorpční vrstvy polymeru pokrývající vlákno. Sorpce probíhá až do ustavení rovnováhy mezi jednotlivými fázemi. Rovnovážný stav SPME techniky je závislý na koncentraci analytu ve vzorku a na typu a tloušťce polymeru, který pokrývá křemenné vlákno. Množství sorbovaného analytu závisí také na distribuční konstantě. Distribuční konstanta vzrůstá s molekulovou hmotností a bodem varu analytu. Podle typu analytu se vybírá nejvhodnější polymer pokrývající vlákno. Tak lze zvyšovat selektivitu a účinnost SPME techniky. Těkavé látky obvykle vyžadují silnější vrstvu polymeru, slabší vrstva je účinnější pro sorpci středně těkavých analytů. V případě kapalných vzorků je množství analytu adsorbovaného na vláknech při dosažení rovnováhy přímo úměrné množství analytu ve vzorku. U SPME je extrakční vlákno potažené na konci extrakční fázi (0,5 µl, tloušťka filmu 7 až 100 µm) vloženo do jehly GC injekční stříkačky. Během extrakční fáze je vlákno vytlačeno ven z jehly do horního prostoru nad vodným vzorkem, aby se extrahovaly těkavé analyty, nebo je přímo ponořeno do kapaliny, pokud jsou cílem polární molekuly. Po extrakci je vlákno vtaženo zpět dovnitř jehly, stříkačka je vložena do vyhřívaného GC injekčního portu a vlákno je opět vytlačeno ven, aby se dosáhlo tepelné desorpce adsorbovaných analytů. Analýza SPME může být prováděna ručně pomocí speciální stříkačky nebo může být celý proces automatizován pomocí autosampleru.

Nejčastěji používané fáze jsou homogenní polymery jako PDMS (polydimethylsiloxan) pro extrakci nepolárních analytů, polyakrylát pro polárnější sloučeniny nebo polymery potažené porézními částicemi (např. PDMS/divinylbenzen, PDMS/karboxen (CAR), PDMS/karboxen/divinylbenzen [DVB]), které zvyšují kapacitu vláken a selektivitu.

Při přímé SPME, kdy je vlákno v kontaktu s vodnou fází, je vlákno obklopeno tenkou statickou vodnou vrstvou, která zpomaluje přenos analytů do extrakční fáze. Pro urychlení extrakce je zapotřebí intenzivní míchání, ale v každém případě bude doba extrakce delší než u head-space SPME. V head-space SPME je přenos analytů ze vzduchu do extrakční fáze obvykle velmi rychlý. Jak je obvyklé u head-space, míchání vzorku nebo přidání solí může urychlit přenos z vodné do vzduchové fáze. Jednou z aplikací přímého SPME v oblasti analýzy pachů a chutí je extrakce halogenovaných fenolů, která musí být prováděna při hodnotě pH v kyselém prostředí, aby byla zachována jejich molekulární forma. Lepší volbou je však SBSE popsána níže.

#### 3.5.1.4 *Sorpční extrakce s míchadlem (SBSE)*

Sorpční extrakce s míchadlem (SBSE) patří k novějším postupům z řady technik přípravy vzorků pro analýzu sloučenin způsobujících cizorodé pachy a chuti. Princip SBSE je podobný jako u SPME. SBSE používá magnetickou míchací tyčinku, která je na vnější straně potažena extrakční fází PDMS. Extrakce se provádí rychlým otáčením míchací tyčinky ve vzorkové lahvičce obsahující 50–100 ml vody. Míchání vzorku pomocí míchací tyčinky je zajištěno umístěním lahvičky na magnetickou desku. Použití desky s několika pozicemi umožňuje extrahovat více vzorků současně. Stejně jako u SPME musí být pro každý cílový analyt stanoven čas do dosažení rovnováhy. U zemitéch, zatuhlých sloučenin to trvá asi 4 hodiny (Benanou a kol., 2004). Díky vyššímu množství fáze lze ve srovnání s SPME získat nižší detekční limity. Schopnost dosáhnout nízkých detekčních limitů s malým objemem vzorku a minimální manipulací se vzorkem pro halogenované fenoly dělá z SBSE metodu volby pro tuto třídu pachotvorných látek. Technika byla aplikována k měření geosminu, 2-MIB a halogenovaných anisolů v pitných vodách s limity kvantifikace mezi 0,1 a 1 ng/l (Benanou a kol., 2004).

SBSE je časově náročná z důvodu delšího trvání dosažení rovnováhy, ale nikoliv na práci laborantů. Metodou lze dosáhnout propustnosti laboratoře cca 15–20 vzorků za den. Předběžná úprava míchacích tyčinek se provádí ve speciální peci, která dokáže zpracovat 20 tyčinek současně.

#### 3.5.1.5 *Statická head-space (SHS)*

V případě statické head-space je kapalná fáze umístěna do uzavřené vialky, přičemž nad ní zůstává vrstva vzduchu. Po určité době každý těkavý analyt dosáhne rovnováhy mezi plynnou a kapalnou fází. Rovnováha daného analytu je řízena jeho Henryho konstantou. Čím vyšší je tato konstanta, tím vyšší je koncentrace v plynné fázi. Pro urychlení času potřebného k dosažení rovnováhy se lahvička se vzorkem umístí do termostatické lázně zahřáté na vyšší teplotu, než je teplota okolí. V uspořádání statické head-space je pro vytvoření rovnováhy mezi fázemi důležitá vhodná kombinace teploty a délky temperování vzorku. Nejčastěji bývá používána kombinace 50 °C po dobu 30 min (Alvarez a kol., 1994; Jeleň a kol., 1998; Malcorps a kol., 1991), nicméně rozmezí použitých hodnot může být širší, např. 60 °C a 25 min (Saerens a kol., 2008) nebo 35 °C a 60 min. Alikvotní část vzorku se pak odebere plynovou stříkačkou a nastříkne do vyhřívaného GC injekčního portu. Důležitým faktorem pro přesnost tohoto uspořádání je využití automatických dávkovacích systémů, které výrazně zlepšují opakovatelnost metody.

Kvůli nízké citlivosti byl head-space-GC-MS dlouho považován za nedostatečný pro analýzu látek způsobujících pachové a chuťové problémy pitné vody. Nicméně pokrok v citlivosti GC-MS učinil z této metody metodu volby v případě, kdy existuje podezření na přítomnost specifických organických rozpouštědel v koncentraci 0,1–0,2 µg/l.

Speciálním případem statické head-space je mikroextrakce na pevné fázi (SPME). Vzhledem k tomu, že se jedná o moderní a často využívanou metodu, je jí věnována samostatná kapitola.

### 3.5.1.6 *Dynamická head-space (DHS)*

Při dynamické headspace je do prostoru nad vzorkem přiváděn inertní plyn, který následně prochází sorpční trubicí, ve které jsou zachycovány uvolněné těkavé látky. S dynamickou head-spacem je rovnováha mezi vodnou a plynnou fází posunuta, ať už stripováním kapaliny jemnými bublinkami plynu a adsorpcí těkavých látek na trapu (technika „purge-and-trap“) nebo opakovaným přenosem obsahu head-space na adsorpční trap („head-space-trap“). Jednotlivé postupy používané k izolaci těkavých látek se liší zejména použitým sorpčním materiálem a způsobem desorpce, při níž lze použít buď promytí rozpouštědly, anebo termální desorpci (Plutowska a Wardencki, 2008), která patří mezi nejpoužívanější postupy pro desorpci zachycených látek. Teplota a délka desorpce se volí v závislosti na použitém sorbentu. Při desorpci látek zachycených v sorpční trubicí může docházet k problémům v rozdílných průtocích nosného plynu skrz sorpční trubicí a chromatografickou kolonu. Tyto obtíže lze řešit pomocí kryofokusace spočívající ve zchlazení těkavých látek v mobilní fázi na velmi nízké teploty, např.  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Při této teplotě stanovované látky zkondenzují. Po zkondenzování látek je průtok plynu snížen na hodnotu průtoku kolonou, zachycené látky se prudce ohřejí a v plynné fázi jsou zavedeny na kolonu (Murakami a kol., 1986).

Proces zahrnuje čtyři samostatné kroky. První krok sestává ze statické head-space kapalného nebo pevného vzorku. Rovnovážná teplota závisí na typu vzorku a analytů. Například měření těkavých látek z pevných vzorků může vyžadovat teplotu až  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Během druhého kroku se do uzavřené lahvičky zavede dvoujehlové zařízení. Jedna jehla se používá k zavedení extrakčního plynu, který přes druhou jehlu vytlačuje obsah horního prostoru na trap s adsorbentem např. Tenax TA. Následně se provede propláchnutí trapu. Trap je poté transportován robotickým autosamplermem do jednotky termální desorpce (TDU) pro tepelnou desorpci analytů. Analyty jsou kryofokusovány na vstupu odpařovače s programovatelnou teplotou, který se pak zahřívá, aby se analyty uvolnily na kolonu. Kryofokusace probíhá ve vložce PTV injektoru, naplněné skelnou vatou nebo Tenax TA pro zlepšení tvaru píku. Stejný adsorpční trap lze znovu použít pro celou sérii vzorků umístěných na autosampleru.

Hlavní rozdíl oproti klasickým purge-and-trap systémům spočívá v tom, že se neprovádí žádné stripování analytů, zatímco hlavní rozdíl proti statické head-space spočívá v tom, že celkové množství analytů přítomných v head-space je nakonec zavedeno do separační kolony, čímž jsou zajištěny nižší detekční limity.

### 3.5.1.7 *Zvýšení citlivosti použitím velkého nástřiku (LVI)*

Zatím jediným způsobem, jak zvýšit citlivost metody, bylo zkombinovat extrakční techniku poskytující vysoký koncentrační faktor s velkoobjemovou injekční metodou, LVI-GC-MS, umožňující zavést většinu extraktu rozpouštědla, a tedy většinu analytu původně přítomného ve vzorku vody, na GC kolonu (Malleret a kol., 2001).

Princip této injekční techniky je následující: extrakt vzorku o objemu až  $150\text{ }\mu\text{l}$  je vstřikován automatickým dávkovačem řízenou rychlostí přes studený injektor do 12 m dlouhé nepotažené předkolony. Během následujícího kroku se rozpouštědlo i nejtěkavější rozpuštěné látky odpaří, zatímco těžší rozpuštěné látky zůstávají v předkoloně. Za řízených tlakových a teplotních podmínek jsou páry rozpouštědla odvětrávány přes výstup par rozpouštědla, dokud uvnitř předkolony nezůstane předem zvolené množství konečného objemu rozpouštědla. Zbývající rozpouštědlo se poté propláchne do analytické kolony. Jak efekt rozpouštědla, tak i 3 m retenční gap, umožňují opakované zaostření zachycených analytů před posledním proplachovacím krokem. Velkoobjemový injektor pracující v režimu on-column představuje výhodu zamezení ztrát těkavých látek.

Jako alternativa byl úspěšně použit velkoobjemový PTV injektor pro analýzu geosminu, 2-MIB a haloanisolů. V kombinaci s kontinuální LLE poskytla metoda detekční limity  $35\text{--}70\text{ }\mu\text{g/l}$  pro haloanisoly,  $50\text{ }\mu\text{g/l}$  pro geosmin a  $340\text{ }\mu\text{g/l}$  pro 2-MIB (Zhang a kol., 2006).

### 3.5.1.8 Olfaktometrie

Olfaktometrie-GC (GC-O) je používána v potravinářském průmyslu a vodárenství pro určení chemických látek zodpovědných za dominantní pachy. Princip GC-O je následující: výstup z chromatografické kolony je rozdělen na dvě části, jedna část je vedena do detektoru (FID, ECD, MS) a druhá do čichacího portu, kde vyškolený operátor zaznamenává nosem pachové látky. Pokud je systém správně navržen, retenční čas detekovaného píku GC a retenční čas vnímaného zápachu dokonale odpovídá. Když se jako detektor použije hmotnostní spektrometr, lze pak sladit pachové i hmotnostní spektrum pachových látek, což umožňuje identifikaci sloučenin způsobujících zápach. Tato vlastnost je poměrně důležitá při hledání neznámých pachových látek, protože některé z výše popsaných extrakčních metod často vedou k detekci více než 100 chromatografických píků.



Obr. 3-1. Využití olfaktometrie-GC (GC-O) v praxi. Pracovníci SZÚ se snaží identifikovat látky, které způsobily pachové problémy v pitné vodě v Praze v létě a na podzim 2023 (foto: SZÚ).

Při spojení GC-MS pracujícího ve vysokém vakuu s čichacím portem, který pracuje za atmosférického tlaku, je třeba zabránit tomu, aby nosný plyn proudící z analytické kolony byl zcela odveden do MS, a dále zajistit, aby venkovní vzduch nebyl nasát zpět do MS iontového zdroje. Vzhledem k tomu, že lidský nos zůstává citlivější než detektory MS, existuje mnoho případů, kdy je pach vnímán v čichovém portu, zatímco MS není detekován žádný pík. Jakmile je však přesně stanoven retenční čas analytu odpovídajícího zápachu vzorku vody, je možné zvýšit extrahovaný objem tak, aby se zvýšil poměr signálu k šumu, dokud není zápach detekován MS detektorem (Hochereau a Bruchet, 2004).

Jednou z možností, jak identifikovat přítomné senzory aktivní látky ve vodě, je využití chromatografické separace na různě polárních kolonách s olfaktometrickou koncovkou a detektorem FID. Následným porovnáním hodnot jejich retenčních indexů s experimentálně získanými hodnotami uloženými ve znalostní databázi dospějeme k jejich jednoznačnému průkazu. Kvantifikace látek jako jsou trichloranisol, bromdichloranisol nebo geosmin je možná po jejich zakoncentrování extrakcí pomocí dichlormethanu nebo SPE s přidavkem jejich deuterovaných analogů. Tyto látky jsou poté stanoveny pomocí GC-MS.

### 3.5.1.9 Závěr

Mezi pachy nalézané v pitné vodě, které lze nejnáze diagnostikovat, patří zemitě zatuchlý pach (geosmin, 2-MIB a halogenované anisoly), nemocniční pach (halogenované fenoly nebo jodované THM), bažinatý (sulfidy) a ovocný pach (alifatické aldehydy nebo alkenaly). Na druhou stranu pachy podobné plastům (ze skupiny chemických pachů), pachy ryb pravděpodobně způsobené těžko detekovatelnými těkavými aminy a také pachy (sloučenin) chloru, které jsou někdy pozorovány v nepřítomnosti jakéhokoli zbytkového chloru, zůstávají obtížně stanovitelné. GC spojená se zde popsanými technikami přípravy vzorků je primárně přizpůsobena k identifikaci těkavých sloučenin, tedy k identifikaci pachů.

Pokud porovnáme finanční náročnost jednotlivých metod popsanych v této kapitole a finanční náročnost přístrojového vybavení k jejich aplikaci, lze konstatovat, že vyžadují přibližně stejnou částku. Tyto náklady jsou většinou spojené s nákupem GC-MS s autosamplerem a různým příslušenstvím nezbytným k provádění SPME, statické nebo dynamické extrakce head-space nebo tepelné desorpce včetně SBSE. Tyto různé techniky se tedy budou lišit především svým automatizovaným nebo manuálním charakterem a počtem vzorků, které lze zpracovat za den.

### 3.5.2 Mikrobiologické rozbor

#### 3.5.2.1 Úvod

Většina látek, které v praxi mění pach a chuť pitné vody, je zcela nebo aspoň částečně biologického původu. Skoro stoprocentně to pak platí pro pachy zemité, zatuchlé, po ovoci, bramborách či okurkách apod. Produkce těchto látek závisí nejen na druhu organismu/mikroorganismu, ale mnohdy i na jeho fyziologickém stavu (růstové fázi) (Watson a Jüttner, 2019). Proto je někdy vhodné u vzorků vod se zhoršenými organoleptickými vlastnostmi provést i mikrobiologická vyšetření. V některých případech (zejména v případě pachu hniloby či fekálního zápachu) je vhodné stanovit vybrané ukazatele z kráceného rozboru podle platné legislativy (orientační mikrobiologický rozbor), v jiných případech je vhodnější speciální rozbor vody zahrnující ukazatele, u kterých je již známa možnost produkce látek způsobujících nepříjemný či nepříjemný pach, resp. chuť vody (aktinomycety, mikromycety – plísně, případně myxobakterie).

Za pach sirovodíku především v teplé vodě bývají v kombinaci s dalšími faktory (obsah síranů a volných vodíkových iontů ve vodě apod.) zodpovědné desulfurikační bakterie (Šašek a Kožíšek, 2016). Další skupiny bakterií (rodů *Bacillus*, *Clostridium*, *Proteus*, *Serratia* atd.), které jsou schopné sirovodík produkovat rozkladem organických látek, jsou vázány na vyšší obsah těchto látek, tudíž se nedá předpokládat jejich výskyt/význam v pitné či teplé vodě, pokud ovšem není havarijně kontaminována vodou odpadní, což se také může přihodit.

Převážná většina mikroorganismů (nejen) způsobujících změny organoleptických vlastností vody nežije ve volné vodě (jako bakterioplankton), ale přisedle v biofilmu. Biofilm je však velmi obtížné (většinou prakticky nemožné) odebrat, proto se analyzuje voda s předpokladem, že se do ní alespoň část bakterií z biofilmů uvolní.

Metody stanovení těchto mikrobiologických ukazatelů jsou kultivační. Vzorek vody je očkovan buď přímo (max. 1 ml) na živné médium, nebo při větších objemech po koncentraci membránovou filtrací, případně lze využít metody nejpravděpodobnějšího počtu (MPN). Média mohou být neselektivní nebo selektivní (obsahující složky, které podporují růst hledané skupiny, resp. omezují růst doprovodné mikrobioty). Kultivace probíhá několik dní, nejdelsí kultivace jsou u myxobakterií a desulfurikačních bakterií, a to až několik týdnů. Na základní kultivaci těchto ukazatelů stačí běžné vybavení laboratoře mikrobiologie vody. K identifikaci mikromycet je následně potřeba mikroskopické vyšetření zkušeným pracovníkem, také identifikace aktinomycet do jednotlivých druhů je odborně náročnější. Metody stanovení jednotlivých skupin mikroorganismů jsou uvedeny a diskutovány v následujících odstavcích.

Ve výzkumu se začínají využívat i metody molekulární biologie, a i když jsou některé výsledky slibné (například detekce genové sekvence pro geosmin syntázu, což je zřejmě prastarý bakteriální gen, který se vyskytuje i u řady vyšších taxonů produkujících geosmin), do praktického využití mají ještě daleko (Churro a kol., 2020). Další možné (a velmi zajímavé studie) by se mohly týkat např. posunu mikrobiálního společenstva (mikrobiomu) v lokalitách, kde došlo k výrazným organoleptickým změnám.

#### 3.5.2.2 Základní mikrobiologický rozbor vody

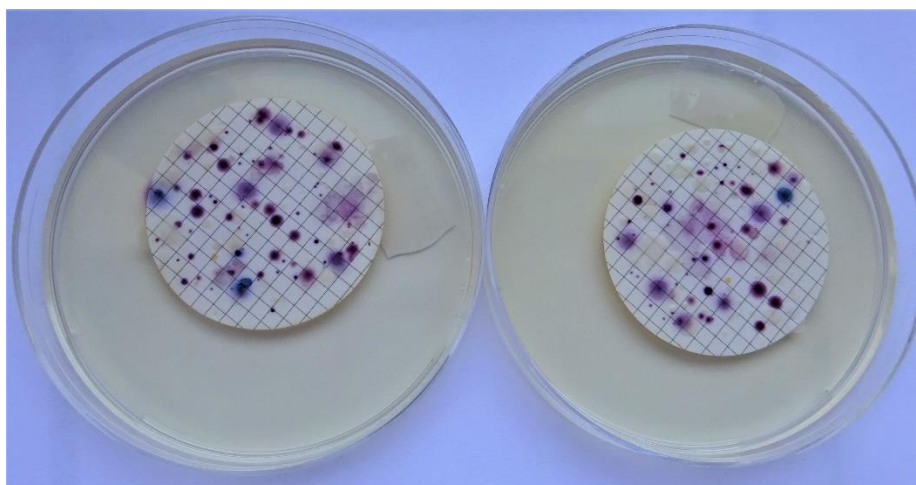
Základním ukazatelem jsou celkové počty kultivovatelných (organotrofních) mikroorganismů,

tj. počty kolonií při 36 °C a 22 °C. Stanovuje se přímým výsevem do neselektivního média s tryptózou a kvasničným extraktem (ČNI, 2000) a kultivují se paralelně při 36 °C (48 hodin) a 22 °C (72 hodin). Objem inokulovaného vzorku je zpravidla 1 ml (v případě očekávaného vyššího oživení se vzorek zředí). Na tomto médiu mohou vyrůst i aktinomycety či mikromycety (viz dále), limitující je však mj. nízký objem inokulovaného vzorku – mez detekce je 1 KTJ/ml.

V případě hnilobného zápachu (například při podezření na kontaminaci odpadní vodou) je žádoucí provést i stanovení koliformních bakterií a *Escherichia coli* (ÚNMZ, 2015a). *E. coli* je jednoznačným ukazatelem fekálního znečištění. Provádí se stanovení na selektivně diagnostickém médiu, např. na chromogenním médiu (chromogenic coliform agar – CCA). Přes membránový filtr o porozitě 0,45 µm se zpravidla filtruje 100 ml vzorku a kultivace probíhá 24 hodin při 36 °C. Poté se provádí oxidázový test. *E. coli* roste ve formě tmavě modrých až fialových kolonií, koliformní bakterie ve formě růžových až červených kolonií s negativním oxidázovým testem.



Obr. 3-2. Stanovení počtů kolonií při 22 °C s vyrostlou aktinomycetou (foto: SZÚ).



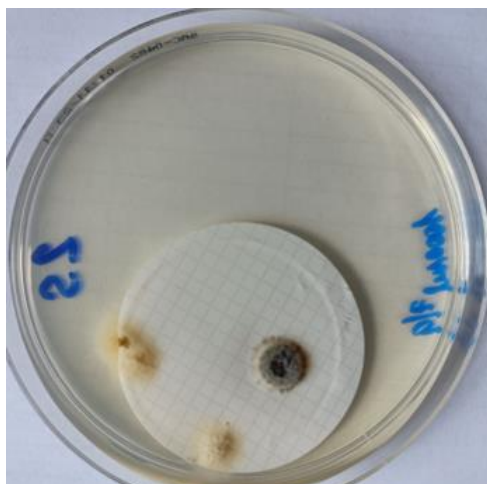
Obr. 3-3. Stanovení koliformních bakterií a *E. coli* na CCA agaru (foto: SZÚ).

### 3.5.2.3 Stanovení mikromycet

Pod názvem mikromycety rozumíme mikroskopické houby, které na speciálních agarových médiích vytvářejí vláknité nebo hladké (kvasinkovité) kolonie. Přestože v některých publikacích (Watson a Jüttner, 2019) se plísňe jako producenti látek způsobujících pach vody zmiňují spíše okrajově,

tvorba trichloranisolu mikromycetami rodů *Phyalophora*, *Acremonium* a *Penicillium* byla prokázána (Nyström a kol., 1992).

Standardizovaná metoda tohoto stanovení není, mikromycety se stanovují kultivačně a to podle vyšetřovaného objemu buď přímým výsevem, nebo membránovou filtrací s kultivací na diagnostických médiích, např. Sabouraudův agar (případně s chloramfenikolem), Czapek-Dox agar (případně s bengálskou červení), agar s kvasničným extraktem či sladinkový agar, který může být doplněn i o kvasničný extrakt a glukózu (APHA, 2017; Baudišová a kol., 2023). Kultivace probíhá zpravidla 5 dní při 25 °C. Pro určení druhů je třeba provést specializovanou mikroskopickou diagnostiku.



Obr. 3-4. Stanovení mikromycet v pitné vodě (foto: SZÚ).

#### 3.5.2.4 Stanovení aktinomycet

Aktinomycety jsou široká skupina grampozitivních vláknitých bakterií, které se rozmnožují nepohlavními spory nebo konidii. V přírodě jsou hojně rozšířeny a jsou známy produkcí širokého spektra chemických látek, včetně antibiotik nebo látek ovlivňujících organoleptické vlastnosti vody (APHA, 2017; Watson a Jüttner, 2019). Z nejznámějších jmenujme alespoň geosmin, 2-methylisoborneol, trichloranisol apod.

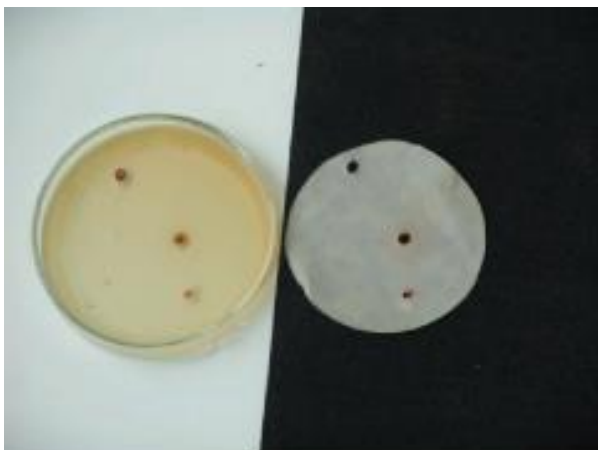
Aktinomycety se stanovují kultivačně na speciálních médiích, např. médium se škrobem a kaseinem či actinomycetes izolační agar – AIA (Baudišová a kol., 2023) a další. A to přímým výsevem, popř. po koncentraci membránovou filtrací (filtry o porozitě 0,22 µm). Kultivace probíhá až 7 dní při 28 °C. U vyrostlých kolonií se hodnotí vzhled, textura, stupeň přilnavosti k médiu a jejich okraj. V případě potřeby (např. odlišení od mikromycet) se použije mikroskopie. Mezi aktinomycety patří i rozsáhlý, biologicky aktivní rod *Streptomyces*.

#### 3.5.2.5 Stanovení myxobakterií

Myxobakterie patří mezi klouzavé bakterie. Jsou gramnegativní, aerobní, heterotrofní, schopné tvořit plodničky. Rozkládají vysokomolekulární uhlíkaté látky (např. celulózu), proto se vyskytují převážně ve vodách s tlejícími rostlinnými zbytky. V odborné literatuře (Watson a Jüttner, 2019) se však uvádí jejich potvrzená schopnost produkovat látky způsobující organoleptické zhoršení vody (např. dimethylsulfid, dimethyltetrasulfid, 2-methylisoborneol, geosmin, 7-methyloktan-3-one, nebo 2-propanon).

Myxobakterie se stanovují přímým výsevem 1 ml vzorku vody na povrch kultivačního média (žampionový agar) překrytého sterilní vrstvou celulózy (Štěpánek a kol., 1982; Leciánová, 1987). Inkubujeme 21 dní při 30 °C (inkubaci lze i o týden prodloužit). Pro dosažení vlhkosti vkládáme do termostatu otevřené nádoby s vodou nebo umístíme Petriho misky do igelitových pytlíků (ale to je méně vhodné kvůli nedostatku kyslíku). Počítají se typické kolonie s mnoha paprscítymi vrstvami nebo s koncentrovanými kruhy černých plodniček a žluté, případně slizové skvrny, pod kterými je

rozrušený filtrační papír. Je nutno ověřit jejich totožnost lupou nebo mikroskopicky při 50násobném až 100násobném zvětšení (např. odlišení od aktinomycet). Mez detekce je 1 KTJ v 1 ml (případně ji lze zvýšit inokulací většího počtu paralelních Petriho misek).



Obr. 3-5. Stanovení mykobakterií na žampionovém agaru (foto: SZÚ).

#### 3.5.2.6 Stanovení desulfurikačních bakterií

Desulfurikační bakterie jsou schopny získávat energii kromě oxidace vodíku i oxidací organických sloučenin (cukrů, organických kyselin, uhlovodíků, aminokyselin aj.) s následnou redukcí síranů přes řadu mezistupňů na sirovodík. Jedná se o striktní anaeroby, do této skupiny patří např. bakterie *Desulfovibrio desulfuricans*. Pro stanovení desulfurikačních bakterií lze použít metodu (Štěpánek a kol., 1982; APHA, 2017) kultivace v tekutém selektivním médiu v uspořádání „stanovení nejpravděpodobnějšího počtu – MPN“ nebo na pevném agaru s laktátem sodným, síranem hořečnatým a síranem železnato-ammoným v anaerobních podmínkách. Inkubace probíhá při laboratorní teplotě nebo při teplotě 28–30 °C po dobu 2–21 dní. Desulfurikační bakterie se projevují zčernáním média.

#### 3.5.2.7 Závěr

V krátkém přehledu uvádíme metody stanovení vybraných mikrobiologických ukazatelů, které mohou pomoci odhalit původ zhoršených organoleptických vlastností vody. Přestože se vesměs nejedná o standardně používané metody, jejich realizace je možná i v běžných mikrobiologických laboratořích bez speciálního přístrojového vybavení. Je však nutné upozornit, že laboratoře tyto metody nemají běžně zavedeny. Otevřený je výzkum v oblasti detekce změn mikrobiomu ve vodách či ve využití molekulárně genetických metod.

### 3.5.3 Biologický (mikroskopický) rozbor

Vzhledem k tomu, že mezi producenty sensoricky závadných látek jsou ve velké míře zastoupeny organismy, které lze určit pomocí světelné mikroskopie, má mikroskopický rozbor při vyšetřování příčin sensorických problémů důležité místo. Mikroskopický rozbor je rovněž klíčovou metodou při zjišťování složení a původu pouhým okem pozorovatelného zákalu či při přítomnosti pozorovatelných větších částic. V tomto případě je více než přesná kvantifikace důležitá jejich správná identifikace. Proto musí stanovení provádět zkušený analytik, který umí určit přítomné organismy a částice, resp. umí si s jejich správným určením poradit (vlastní znalosti, práce s literaturou, spolupráce s odborníky z jiných pracovišť, hledání na internetu). Standardizované postupy podle ČSN 75 7712 (ÚNMZ, 2013a), ČSN 75 7713 (ÚNMZ, 2015b), ČSN 75 7717 (ÚNMZ, 2013b), případně podle dalších norem, jsou sice určitě dobře použitelné (hlavně pokud chceme kvantifikovat), není však vhodné omezovat se jen na ně. V případě ne zcela standardní



situace, kdy je cílem najít příčinu/zdroj znečištění, je nutné odebrat a připravit vzorky podle jeho předpokládaného charakteru. Řadu vhodných postupů pro vyšetřování příčin znečištění obsahuje TNV 75 5941 (MZe, 2004).

V některých případech smysly postřehnutelných problémů, kdy je potřeba hledat ve vzorku větší organismy či částice, rozhodně nestačí zpracovat 10 ml vzorku, jak uvádí ČSN 75 7712 (část věnovaná stanovení drobného biosestonu) a ČSN 75 7713 (stanovení abiosestonu). Např. koloniální zlativky (rody *Synura*, *Dinobryon*, *Uroglena aj.*) mohou způsobovat senzorické problémy již při poměrně malém výskytu. Na přítomnost velkých částic ve vodě mohou upozornit spotřebitelé, pokud si napustí umyvadlo či vanu, v níž se vznášejí nebo usazují jednotlivé částice. Ke stížnosti spotřebitele také stačí nálezy jediného mnohobuněčného živočicha, např. koryše či máloštětinatce (více následující kapitola o vzhledu vody). Má-li se taková stížnost smysluplně prověřit, je rozhodně namístě hledat znečištění v mnohonásobně větším objemu vody. V takových případech je ke koncentraci vzorků vhodné použít planktonní síť o vhodné hustotě ok (např. 20  $\mu\text{m}$ ), kterými je možno zahustit organismy či částice z velkého objemu vody. Je dokonce možné zahrnout využití sítě (či sítěk) do provozního monitorování a instalovat je např. na úpravně, nechat jí nebo jimi kontinuálně protékat upravenou či jinou vodu a v pravidelných intervalech kontrolovat zachycený obsah (obr. 3-6). V případě vody v nádrži je možné provést vertikální či horizontální tahy planktonní sítě. Lze však použít i jiné metody. V Maďarsku při rutinních rozbořech zahušťují jeden litr membránovou filtrací a z filtru zachycený obsah následně smývají (Törökne A., 2005). Pro orientační představu o přítomných velkých částicích lze využít také materiál, který se zachytí v síťce perlátoru (je-li snadno snímatelný) či naakumuluje na dně splachovací nádržky na WC (je-li dobře dostupná) (Rahman a Burlingame, 2003). Zajímavou jednoduchou alternativou síťky (vhodnou však výhradně pro širokou veřejnost) mohou představovat vlhčené čisticí ubrousky připevněné na výtok z vodovodní baterie (např. provázkem nebo gumičkou). Zde je samozřejmě nevýhodou, že je ubrousek napuštěn čisticími látkami a není přesně definována hraniční velikost zachycených částic (síťky mají jasnou velikost ok).

Zachycené částice či organismy je třeba mikroskopicky co nejpřesněji určit v závislosti na jejich charakteru a velikosti, u větších s využitím stereomikroskopu nebo binokulární lupy, lupy či bez zvětšovací techniky. V některých případech se částice nedají snadno určit (nebo je určení nejisté) a je vhodné využít k jejich analýze další postupy v závislosti na možnostech laboratoře a důležitosti nálezu, např. Ramanovu či IR spektroskopii (což však nejsou metody všeobecně dostupné). Možné je např. v případě světlých anorganických částic zkusit je rozpustit kyselinou (běžně se vyskytující uhličitán vápenatý se za vzniku bublinek  $\text{CO}_2$  rozpustí).



Obr. 3-6. Síťka, přes kterou na úpravně vody v Zürichu (Švýcarsko) kontinuálně protékala voda. Materiál zachycený v síťce byl v pravidelných intervalech odebírán a v laboratoři určován (foto: SZÚ).

### 3.5.4 Vizualní posouzení

Nedílnou součástí sensorického hodnocení, tedy kromě stanovení pachu a chuti vody, je vizuální hodnocení. Tím nemáme na mysli stanovení barvy či zákalu, ač jejich vysoké hodnoty spolehlivě vizuální hodnocení negativně ovlivní. Máme na mysli jednak případy, kdy zákal a barvu ani není potřeba měřit, protože již pouhým okem zjišťujeme, že voda nemá charakter pitné vody kvůli svému výraznému zabarvení nebo zakalení, a jednak ne zcela neobvyklé případy, kdy je sice voda většinou čirá a zákal i barva zcela vyhovují hygienickým požadavkům, ale ve vodě jsou okem viditelné různé částice nebo živočichové či jejich části. Může to být hmyz nebo jeho úlomky, které se do vody dostanou skrze špatně zabezpečené vodojemy, nebo i živý drobný vodní živočich (např. beruška vodní), která může žít na filtrech. Může se jednat o částice rzi, zrnka písku či kousky zeminy, které se do vody dostaly korozí potrubí nebo při jeho opravách. Ve vodě se mohou nacházet také viditelná vlákna, černé částice z manganu (a manganových bakterií), z pryžového těsnění nebo úlomky aktivního uhlí, dále to mohou být zelené částice z řasových nárostů na úpravně nebo ve vodojemu. Dále to mohou být pěna nebo olejový povlak na hladině, bílé částice vysráženého uhličitanu vápenatého nebo kousky strženého biofilmu apod. Přestože o těchto jevech hygienická vyhláška přímo nehovoří, je zřejmé, že mohou být předmětem stížností spotřebitelů a jejich výskyt by neměl být ze strany provozovatelů vodovodů podceňován. Někdy totiž mohou tyto jevy indikovat zdravotní problém (pěna indikující přítomnost detergentu), jindy provozní závadu. I v případě, že se jedná o přirozený vodní jev bez zdravotního rizika, navíc třeba způsobený vnitřním vodovodem, je nutné umět spotřebitelům vše vysvětlit a uklidnit je.

Proto i tyto objekty mají být předmětem hodnocení, resp. objasnění jejich povahy a původu. Má-li laboratoř dilema, k jakému ukazateli toto stanovení vztáhnout, když pitná voda na rozdíl od přírodní koupací vody nemá ukazatel „viditelné znečištění“, může ho spojit s mikroskopickým obrazem, protože právě vyšetření těchto objektů pod mikroskopem obvykle přesně určí povahu a možný původ. V poznámce k mikroskopickému obrazu pak může být připojen komentář, že se ve vodě nacházejí pouhým okem viditelné částice (objekty) určité velikosti, tvaru, barvy a počtu. K odběru

vzorku v případě stížností je možno použít nějakou z metod popsanych výše u mikroskopického rozboru vody.

Vzhled vody lze, jako např. pachy a chutě, klasifikovat, což značně pomůže při odhalování příčiny vzniku závady. Lze si všimnout barvy (zdánlivé, tj. včetně nerozpuštěných částic), pozice částic ve vodě (částice se ve vodě vznášejí či klesají nebo plavou na hladině), jejich velikosti a charakteru (plast, zbytky hmyzu, vlákna apod.) a místa nálezu (perlátor, výtok z jednoho či všech kohoutků, další zařízení a součásti domácnosti – pračka, myčka apod.). Za tímto účelem lze mít vypracovaný i speciální „check-list“ (obr. 3-7) (Rahman a Burlingame, 2003; Dietrich a Burlingame, 2021). Dokonce bylo jako pomůcka pro klasifikaci problémů se vzhledem pitné vody vypracováno po vzoru kola pachů a chutí kolo částic a barvy pitné vody (obr. 3-8). Samozřejmě v mnoha případech není určení výskytu částic jednoduché a příčina jejich výskytu ve vodovodní síti zůstane neodhalena.

<b>Informace od spotřebitele zaznamenaná pracovníkem vodárenské společnosti</b>				
<b>Vzhled</b>	<b>Místo, kde byl problém pozorován</b>	<b>Barva</b>	<b>Velikost, tvar a kvalita částic</b>	<b>Vyhodnocení příčiny provozovatelem</b>
<input type="checkbox"/> Voda (bez částic) <input type="checkbox"/> Perlátor (bubliny) <input type="checkbox"/> Částice na hladině <input type="checkbox"/> Částice u dna <input type="checkbox"/> Částice rozptýlené <input type="checkbox"/> Částice (aktivně) plovoucí <input type="checkbox"/> Zbarvení/povlak na povrchu	<input type="checkbox"/> Umyvadlo v kuchyni <input type="checkbox"/> Vana <input type="checkbox"/> Myčka nádobí <input type="checkbox"/> Dřez v kuchyni <input type="checkbox"/> Umyvadlo v prádelně <input type="checkbox"/> Venkovní kohoutek <input type="checkbox"/> Výrobník ledu v lednici <input type="checkbox"/> Výdejník vody v lednici <input type="checkbox"/> Toaleta (toalety) <input type="checkbox"/> Pračka <input type="checkbox"/> Fontánka <input type="checkbox"/> Více umyvadel <input type="checkbox"/> Více míst	<input type="checkbox"/> Černá <input type="checkbox"/> Modrá <input type="checkbox"/> Hnědá <input type="checkbox"/> Zakalená <input type="checkbox"/> Krémová <input type="checkbox"/> Sklovitá <input type="checkbox"/> Zelená <input type="checkbox"/> Šedá <input type="checkbox"/> Pěnivá <input type="checkbox"/> Mléčná <input type="checkbox"/> Oranžová <input type="checkbox"/> Růžová <input type="checkbox"/> Fialová <input type="checkbox"/> Červená <input type="checkbox"/> Rezavá <input type="checkbox"/> Průsvitná <input type="checkbox"/> Bílá <input type="checkbox"/> Žlutá <input type="checkbox"/> Vícebarevná	<input type="checkbox"/> Lze rozmáchnout prsty <input type="checkbox"/> Půda/nečistoty <input type="checkbox"/> Vlákna <input type="checkbox"/> Pískové, zrnité <input type="checkbox"/> Mazlavé, mastné <input type="checkbox"/> Kousky hmyzu <input type="checkbox"/> Kousky kovu, podobné kovu <input type="checkbox"/> Olejové <input type="checkbox"/> Kousky plastu <input type="checkbox"/> Kuličky <input type="checkbox"/> Kousky pryže <input type="checkbox"/> Kousky rzi <input type="checkbox"/> Kluzké <input type="checkbox"/> Mýdlové <input type="checkbox"/> Barvící <input type="checkbox"/> Nevím	<input type="checkbox"/> Vzduch <input type="checkbox"/> Řasy <input type="checkbox"/> Nemrznoucí směs <input type="checkbox"/> Bakterie/plísňe <input type="checkbox"/> Domácí úprava vody <input type="checkbox"/> Vápník (sloučeniny) <input type="checkbox"/> Aktivní uhlí <input type="checkbox"/> Cementový materiál <input type="checkbox"/> Měď <input type="checkbox"/> Nečistoty/půda <input type="checkbox"/> Hmyz, živý nebo úlomky <input type="checkbox"/> Železo <input type="checkbox"/> Mangan <input type="checkbox"/> Kousky kovu <input type="checkbox"/> Olej, mazadlo, ropa <input type="checkbox"/> Manganistan draselný <input type="checkbox"/> Pryskyřice (iontoměnič, výstelka) <input type="checkbox"/> Pryž <input type="checkbox"/> Rez <input type="checkbox"/> Písek <input type="checkbox"/> Modrý čisticí prostředek na WC <input type="checkbox"/> Nevíme

Obr. 3-7. Check-list určený k popisu problémů se vzhledem pitné vody (podle Dietrich a Burlingame, 2021), překlad SZÚ.



### Kolo částic a barvy pitné vody (obr. 3-8)

#### – popis kategorií

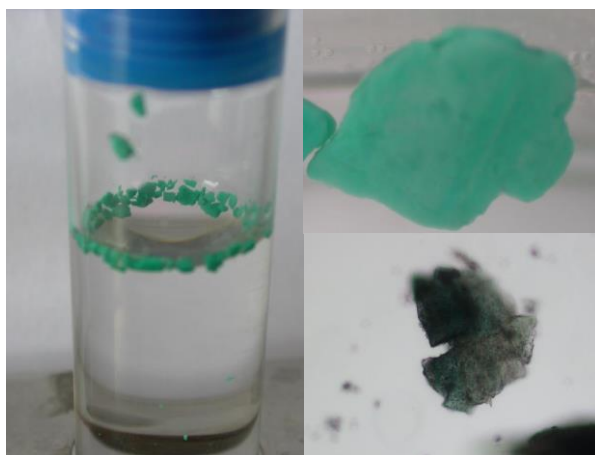
Připraveno podle Burlingam a Dietrich (2022) a vlastních dat SZÚ.

**Viditelné částice** (od velikosti desetin mm výše), které se mohou v pitné vodě u spotřebitele objevit, mohou spadat do jedné z následujících kategorií.

- **Zbytky hmyzu a dalších živočichů.** Hmyz a další živočichové se mohou do vody dostat např. špatně zabezpečenými větracími otvory vodojemu, při instalaci nových domovních rozvodů nebo částí vodovodní sítě, nebo ze zpětného toku v případě propojení pitné vody s rozvodem vody nepitné a dalšími zařízeními. Někteří vodní živočichové (např. blešivci rodu *Niphargus*) mohou pocházet z podzemní vody (obr. 3-9).
- **Kousky plastu** mohou pocházet např. z ohřivačů vody (obr. 3-10) nebo z plastových rozvodů (při jejich instalaci či opravách).
- **Vlákna** mohou pocházet např. z rostlinného materiálu. Může se jednat o mikroplasty, instalátorskou pásku a další částice, které se mohou do pitné vody dostat ze zpětného toku v případě propojení pitné vody s rozvodem vody nepitné a dalšími zařízeními.
- **Černé částice** – pokud jsou tvrdé, může se jednat o aktivní uhlí z domácích filtrů nebo to mohou být sraženiny manganu. Měkké částice mohou pocházet z gumových těsnění domovních rozvodů a kohoutků. Nebo to mohou být kousky uvolněných biofilmů (obr. 3-12).
- **Kousky kovu** mohou pocházet z pájky, měděných nebo pozinkovaných rozvodů, kovových přípojek, mosazných fitinek a kohoutků. Do vody se uvolňují při instalaci či opravě.
- **Nečistota/půda** může pocházet ze zpětného toku v případě propojení pitné vody s rozvodem vody nepitné a dalšími zařízeními. Může se také jednat o písek z obsypů kolem potrubí.
- **Rez** je oxidované železo ze starých rozvodů, které se uvolňuje při opravách a při propláších a změnách hydrauliky. Rez rovněž může pocházet z vodovodních přípojek.



**Obr. 3-9.** V podzemních vodách žijící blešivci rodu *Niphargus* zachycení na pískovém filtru (soukromá studna). Foto: Kateřina Adamová.



**Obr. 3-10.** Kousky plastu (polypropylen) z rozpadající se nekvalitní trubky v bojleru.



**Obr. 3-11.** Vlevo vzorkovnice se železitými sraženinami a korozními produkty, vpravo se sraženinami manganu.

**Barva vody** je u pitné vody způsobena především kovy. Někdy za barvu vody mohou organické látky nebo mikroorganismy (např. řasy).

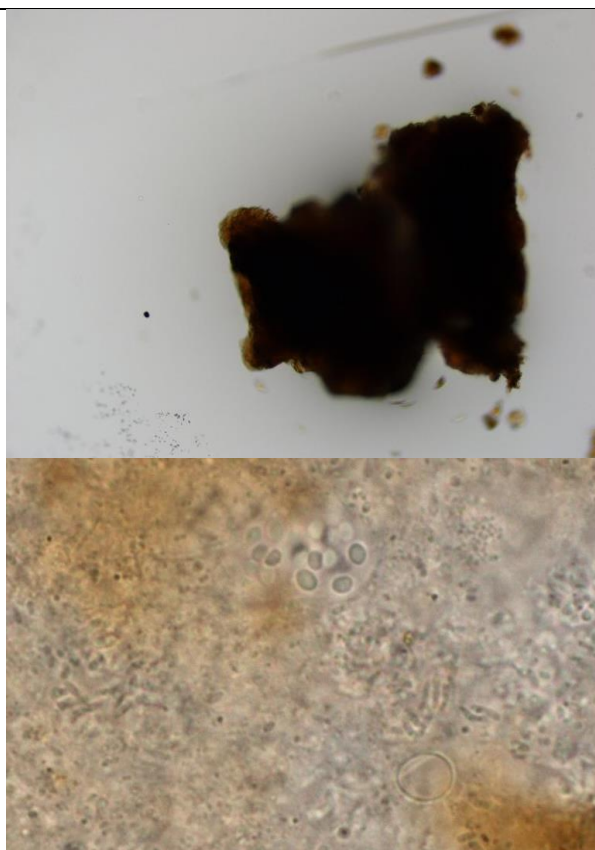
- **Modrozelená** barva může být způsobena zvýšenou přítomností mědi.
- **Černá** může být způsobena zvýšeným množstvím manganu (obr. 3-11).
- **Modrá** může být způsobena zpětným tokem z toalet (čisticí prostředek) nebo zvýšenou hladinou rozpuštěné mědi.
- **Hnědá** může být způsobena produkty koroze železa.
- **Krémová** může být způsobena zvýšenou hladinou rozpuštěné hliníku nebo zinku.
- **Zelená** může být způsobena řasami (obr. 3-13) nebo nemrznoucí směsí.
- **Šedá** může být způsobena zvýšenou hladinou rozpuštěné hliníku nebo zinku.
- **Oranžová** může být způsobena produkty koroze železa nebo rozpuštěným železem.
- **Růžová** může být způsobena manganistanem draselným.
- **Fialová** může být způsobena manganistanem draselným.
- **Červená** může být způsobena produkty koroze železa.
- **Rezavá** může být způsobena produkty koroze železa (obr. 3-11).
- **Žlutá** může být způsobena zvýšenou hladinou rozpuštěného železa nebo manganu.

Za **texturu vody** lze považovat její vzhled či konzistenci nebo „dojem“, který z ní pozorovatel má. Lze ji kategorizovat do následujících skupin.

- **Čirá** – pitná voda bez viditelných závad na vzhledu.
- **Zakalená** – může být způsobena bublinkami vzduchu, které stoupají k hladině (obr. 3-15).
- **Mléčná** – může být způsobena zvýšenou hladinou rozpuštěné hliníku nebo zinku a také bublinkami vzduchu (obr. 3-15).
- **Mýdlová** – může být způsobena zpětným tokem mýdla či detergentu.

**Skvrny**, které voda zanechává na povrchu umyvadel, van, kohoutků apod.

- **Růžová nebo oranžová** – může být sliz,



**Obr. 3-12** Tmavé částice vytékající pravidelně ale v relativně malých počtech z kohoutku veřejného vodovodu. Byly tvořeny společenstvem morfologicky různých bakterií. Jednalo se pravděpodobně o stržený biofilm.



**Obr. 3-13.** Zelenou barvu vody způsobily zelené řasy, které se do pitné vody dostaly z propojení s vodou z potoka, kterou využíval jeden ze spotřebitelů na zalévání zahrady u rodinného domu.

který na površích vzniká v důsledku růstu mikroorganismů (např. bakterie *Serratia* nebo mikromycety *Fusarium*).

- **Zelená nebo modrá** – může být tvořena oxidovanou mědí.
- **Rezavá nebo žlutá** – může být důsledkem koroze železa.

**Plovoucí částice a látky.** Pokud mají částice a látky menší hustotu než voda, budou se vyskytovat na hladině (či u hladiny):

- **Pěna** může pocházet ze zpětného toku v případě propojení pitné vody s rozvodem vody nepitné a dalšími zařízeními a dále z mazadel použitých při spojování rozvodů.
- **Plasty** mohou pocházet např. z ohřivačů vody, z plastových rozvodů (při jejich instalaci či opravách).
- **Vlákna** mohou např. pocházet z rostlinného materiálu, může se jednat o mikroplasty, instalatérskou pásku a další částice, které se mohou do pitné vody dostat ze zpětného toku v případě propojení pitné vody s rozvodem vody nepitné a dalšími zařízeními.
- **Olejový odlesk** může pocházet ze zpětného toku v případě propojení pitné vody s rozvodem vody nepitné a dalšími zařízeními a dále z olejů z čerpadel

**Sedimenty** jsou tvořeny částicemi a látkami s hustotou vyšší než voda. Může se jednat např. o sraženiny železa či manganu, kuličky z vodních filtrů (iontoměniče), kousky „gumy“ z těsnění kohoutků a dalších součástí rozvodů, černé částice (viz výše), rez, půdu a další nečistoty, sraženiny (obr. 3-14) nebo kousky utržených biofilmů.



**Obr. 3-14.** Uhličitan vápenatý vysrážený na hladině vodojemu s vodou z podzemního zdroje.



**Obr. 3-15.** Bublínky vzduchu unikající ze sklenice vody krátce po napuštění. Foto obrázků 3-10 až 3-15 SZÚ.

## 4 Šetření stížností spotřebitelů

### 4.1 Úvod

V práci z roku 2023 jsme zdůvodnili, proč je odpovědné šetření a vyřizování stížností spotřebitelů důležité z hlediska spojenosti odběratelů a jak to přispívá se zvyšování jejich důvěry v kvalitu kohoutkové vody (Kožíšek a kol., 2023). Negativní reakce zákazníka má být vždy prozkoumána a má se zjistit, zda je nespokojenost oprávněná a zda se nejedná o systémovou závadu, jejímuž opakování lze předejít úpravou procesů. Nevyužívání tohoto typu zpětné vazby může vést k opakování problémů, prohlubování nespokojenosti ve vztahu ke kvalitě vody a ke ztrátě důvěry v její bezpečnost.

Komunikace se spotřebiteli je pro provozovatele vodovodu vždy výzvou, protože nestačí mít jen dostatečné odborné či technické znalosti, nezbytné jsou i komunikační schopnosti. Spotřebitel, který se obrací se stížností na dodavatele vody ohledně její kvality, totiž očekává, že mu bude protistrana naslouchat a prokáže zájem a účast na jeho problému, že ukáže, že věci rozumí a že má situaci pod kontrolou, že se bude jeho podnětem skutečně zabývat a že mu poradí, co on sám může případně udělat pro nápravu problému.

Proto by měl pracovník vodárenské společnosti při jednání se zákazníkem, který podává stížnost, mít vždy na paměti tyto zásady:

- Nediskutovat se zákazníkem s vyzněním, že nemá pravdu nebo se jedná o banalitu.
- Být po celou dobu přátelský a zdvořilý.
- Ujistit zákazníka, že udělal dobře, když se v této věci na provozovatele vodovodu obrací.
- Trpělivě naslouchat zákaznickově popisu problému, popř. ho usměrňovat vhodnými dotazy, aby byl získán co nejpřesnější popis problému.
- Při diskuzi se zákazníkem používat pokud možno netechnický jazyk, resp. technické věci vysvětlit pro laiky pochopitelným způsobem.
- Být upřímný – pokud ve chvíli hovoru není jasné, v čem problém spočívá a jak ho odstranit, otevřeně to přiznat s příslibem, že se provozovatel bude problémem zabývat a bude se snažit ho vyřešit.
- Pořídit o stížnosti dostatečně podrobný záznam, ze kterého bude jasné, kde, kdy a co se stalo a kdo informaci poskytl.
- Nepodceňovat stížnost, protože nikdy nemusí být úplně jisté, zda se sensorický problém nepojí s určitým zdravotním problémem, který by mohl ohrozit zdraví spotřebitelů (Lauer, 2014).

### 4.2 Postup při řešení stížnosti

Různé vodárenské společnosti si historicky vytvořily různé vlastní systémy či postupy přijímání a řešení stížností. Tyto odlišnosti lze samozřejmě akceptovat, pokud jsou systémy/postupy transparentní a funkční. Z hlediska vnitřní procedury vyřizování reklamací (kterou stížnost je) je nezbytné stanovit odpovědnost (za přijetí, vyřízení, komunikaci), určit postupy uvnitř organizace (workflow), zavést evidenci, připravit postup pro případ nesouhlasu odběratele s vypořádáním a nastavit systém hodnocení kvality vyřizování reklamací.

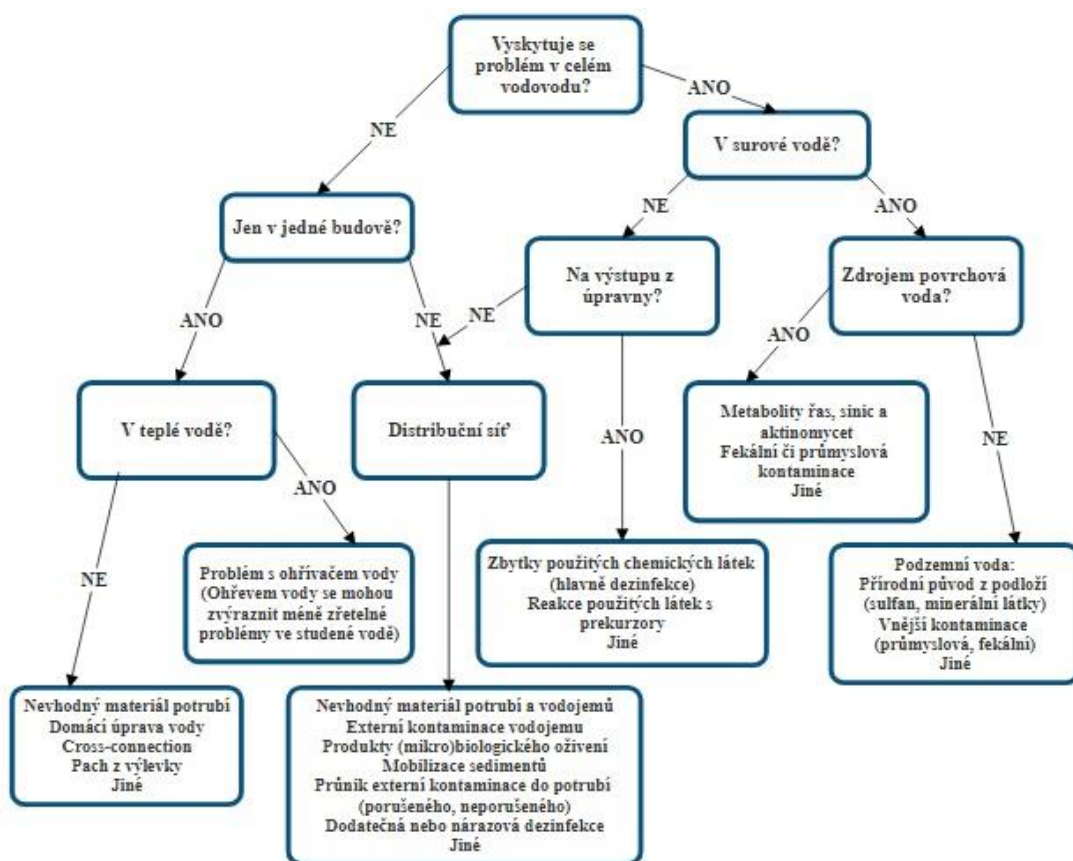
Vypořádání reklamace je zákonnou povinností provozovatele a je proto nezbytné, aby přijetí a odpověď byly řádně zdokumentovány a nestávalo se, že reklamace zůstávají bez odezvy. U menších provozovatelů může celý proces vyřízení reklamace řešit jedna nebo dvě osoby. Čím více osob se procesu účastní, tím propracovanější musí být systém vnitřní komunikace, aby každá reklamace byla vždy vyřešena, a to bez zbytečného prodlení. Existuje-li více možností přijímání reklamací/stížností (např. v denní pracovní době a mimo ni; telefonicky a písemně atd.), musí provozovatel zajistit, aby jejich evidence byla jednotná a v konečném důsledku centrální.



Řada vodárenských společností si pro účely jednotné evidence a zjednodušení prvotní komunikace se zákazníkem připravila jednotný formulář „hlášení stížnosti“, „zprávy o stížnosti“ nebo „check-list“, který pracovníka provozovatele vede, aby na nic nezapomněl a informaci zaznamenal ve strukturované podobě. Kromě místa a času, kde a kdy se problém vyskytl, kontaktních údajů oznamovatele/stěžovatele a informace o stáří budovy a materiálu vnitřního vodovodu pak takový formulář obsahuje povahu stížnosti (zůstaneme-li u kvality vody, pak je zde nabídka cca 10 nejobvyklejších obtěžujících pachů a chutí, stejného množství vzhledových problémů a cca 5 obvyklých zdravotních problémů, vždy je zde ale rovněž prostor na jinou informaci, než jaký je v nabídce). Aby ale bylo možné uvést všechny informace do jednoho formuláře/záznamu, bývá zde dále prostor pro doplnění informací po šetření, čili jaká byla příčina problému, jaké bylo opatření, jak byla stížnost vyřízena a prostor na další komentář (Burlingame a kol., 2011; Lauer, 2014).

V případě popisu pachu a chuti vody je vhodné nejprve nechat oznamovatele vyjádřit se vlastními slovy. Pokud si spotřebitel není jistý nebo uvádí hodně nespecifický popis, např. „chemický/chemická“ apod., doporučuje se mu nabídnout třeba 10–15 možností, aby si lépe vybavil, kde se již s podobným pachem či chutí setkal. Na obrázku 3-7 je ukázka check-listu závad ve vzhledu vody, který byl vytvořen jako pomůcka pro provozovatele vodovodů (ale i spotřebitele) v USA. Některé tamní vodárenské společnosti mají tyto check-listy na svých webových stránkách, aby usnadnili zákazníkům vyjádření jejich problému (Carneiro a kol., 2021; Dietrich a Burlingame, 2021; Burlingame a Dietrich, 2022).

Pokud není problém s pachem/chutí/vzhledem vody zjištěn již provozovatelem v rámci kontroly upravené vody na výstupu z úpravny (kde by také následovalo šetření, zda je příčina ve změně surové vody nebo v technologii úpravy), ale je zjištěn až v distribuční síti nebo je nahlášen spotřebitelem, musí následovat místní šetření, nakolik a kde je problém v síti rozšířen nebo omezen jen na úzkou oblast, jednu nemovitost nebo dokonce jen jeden kohoutek. Základní rozhodovací schéma je vidět na obrázku 4-1.



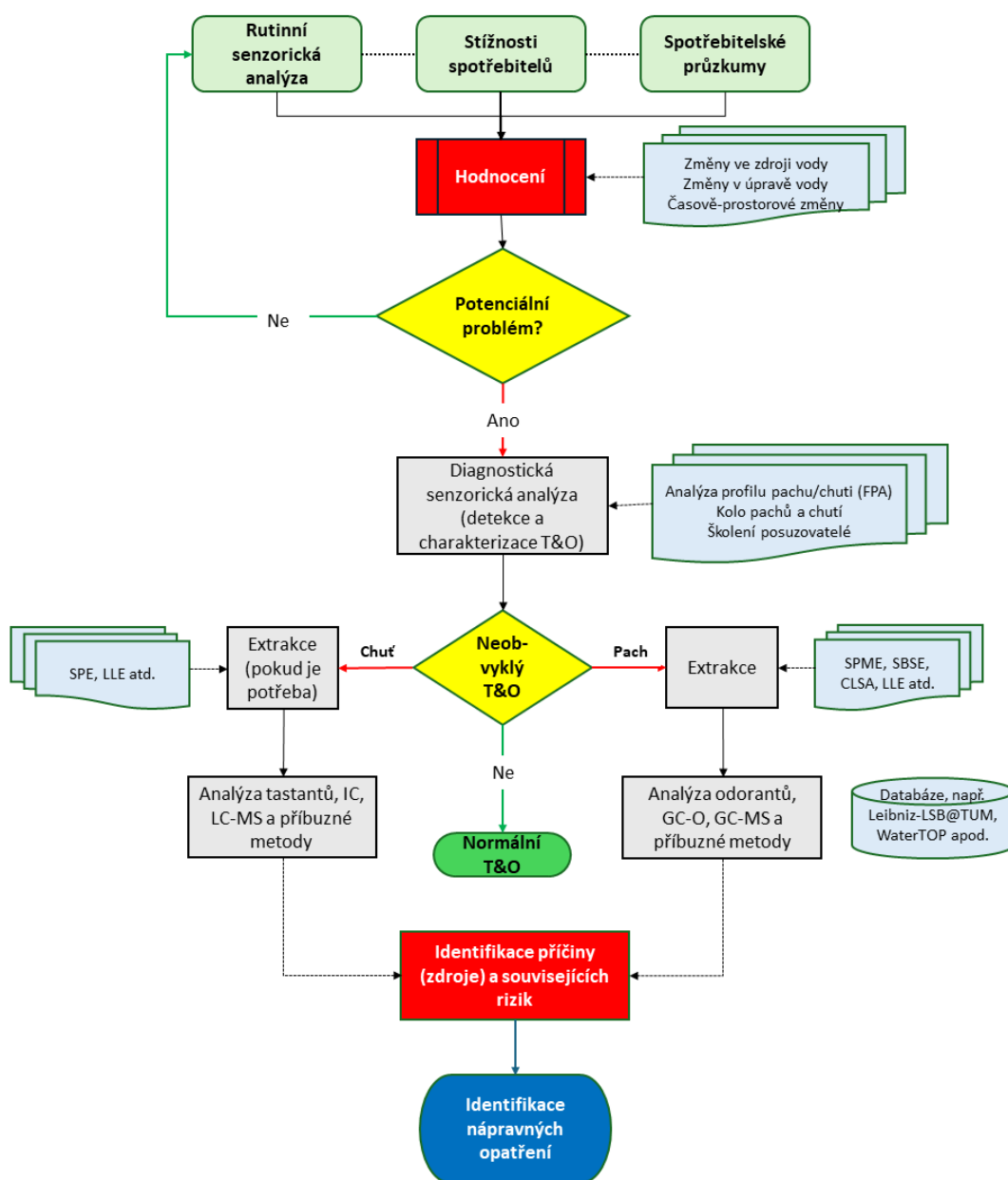
Obr. 4-1. Rozhodovací schéma pro místní šetření při zjištění problému s pachem/chutí/vzhledem vody u spotřebitele nebo v distribuční síti (upraveno podle Lauera, 2014).

Když stěžovatel kontaktuje provozovatele vodovodu se stížností na pach/chutí/vzhled pitné vody, musí se provozovatel snažit zjistit a zaznamenat následující informace:

1. Datum a čas obdržení stížnosti, jméno a kontakt na oznamovatele.
2. Přesná adresa místa, kde byl problém zaznamenán, u bytových domů patro a číslo bytu.
3. Kde přesně (v jaké místnosti) a u jaké vody (studené pitné nebo teplé nebo u obou) byl problém zaznamenán?
4. Kdy byl problém poprvé zaznamenán? Přetrvává problém stále, jak dlouho už událost trvá?
5. Pokud není problém setrvalý, ale opakuje se, je v opakování nějaká pravidelnost (v závislosti na čem se objevuje)? Mění se v čase jeho intenzita?
6. Jaké je asi stáří budovy a vnitřního vodovodu? Z jakého materiálu je vnitřní vodovod?
7. Pokud byl problém zaznamenán poprvé, nepředcházela mu nějaká událost při odběru vody (po velkém odběru vody nebo naopak po několikadenní stagnaci)?
8. Má objekt dvojí rozvod vody (pitné a nepitné/užitkové)?
9. Jak přesně stěžovatel popisuje charakter pachu/chuti/vzhledu? Pociťují problém všichni členové domácnosti a popisují ho stejným způsobem?
10. Pociťují stejný problém i sousedé? (V případě bytového domu obyvatelé jiných bytů, v případě rodinného domu obyvatelé sousedního domu, v případě firmy nebo instituce také pracující na jiných odděleních či provozech?)
11. Používá vlastník nebo provozovatel (nájemce) objektu/bytu vlastní doúpravu vody? Pokud ano, o jaké zařízení nebo s jakou funkcí se jedná? Jak dlouho je instalováno, probíhá jeho pravidelná údržba?
12. Záznam může provozovatel doplnit o další informace ze svých zdrojů (o které tlakové pásmo se jedná, aktuální nebo nedávno skončené práce na síti nebo vodojemů apod.).

Pokud pracovník provozovatele nebo laboratoře vyjede ke stěžovateli, aby odebral vzorek vody, je nutné také vyzkoušet pach a chuť vody na místě. Stěžovatel je zároveň vyzván, aby vodu také ochutnal a aktuálně popsal, jak právě nyní pach či chuť vnímá. Na místě je vhodné stanovit teplotu vody, zbytkový chlor (volný i celkový), popř. též rozpuštěný kyslík, je-li to možné.

Přesně zmapovat a lokalizovat rozšíření problému v distribuční síti si může vyžádat odběr velkého množství vzorků odebraných na různých místech sítě a jejich analýzu na pach/chuť/vzhled podle povahy problému. Pro tento účel (resp. pach a chuť) je nejvhodnější metodou analýza profilu pachu/chuti (FPA) nebo alespoň metoda orientační senzorické analýzy podle ČSN 75 7340. Analýza nám totiž musí odpovědět nejen na to, zda je sledovaný znak (pach/chuť/vzhled) v daném vzorku přítomen či nikoliv, ale zároveň ukáže na charakter znaku a jeho intenzitu. Jedině kombinace těchto znalostí podpořená chemickým a/nebo mikroskopickým rozborem a místním technickým šetřením zaměřeným na integritu distribuční sítě může nasměrovat k odhalení možné příčiny (viz obrázek 4-2).



Obr. 4-2. Základní postup při diagnostice problémů s pachem nebo chutí vody (Kožíšek a kol., 2024). T&O = taste and odour (pach a/nebo chuť).

### 4.3 Záznamy a vyhodnocení

Záznamy o stížnostech na pach, chuť nebo vzhled by měly být uchovávány systematicky, kompletně a v elektronické podobě, která umožňuje jejich další zpracování. Za tím účelem je nutné, aby provozovatel často různorodé popisy problémů od stěžovatelů dělil do několika kategorií (klíčových slov), podle kterých pak bude zpracování probíhat (Dietrich a kol., 2014). Pomocí různých statistických a nových zobrazovacích metod je pak možné záznamy o stížnostech na pach/chuť/vzhled vody nejen přehledně zpracovat a názorně zobrazit, ale také si díky tomu uvědomit nové souvislosti a lépe hledat cesty ke zlepšení situace (Dietrich a kol., 2014; Gallagher a Dietrich, 2014).

## 5 Zdroje a příčiny sensorických problémů

### 5.1 Úvod

Existuje dostatek důkazů čili publikovaných případových studií o tom, že se zdroj sensorických problémů může nacházet doslova v každém místě zásobování vodou počínaje zdrojem surové vody a konče ramínkem vodovodní baterie včetně perlátoru. A projevit se může dokonce až za kohoutkem – zbarvením vody v umyvadle nebo skvrnami na sanitární keramice. Hlavní potenciál problémů může mít každý vodovod někde jinde, ale nahlíženo statisticky (průzkum mezi 381 vodárenskými společnostmi, převážně z USA a Kanady, ale také Austrálie, Evropy a Asie) vypadá situace následovně. Za hlavní příčinu problémů s pachem a chutí vody byly označeny řasy a sinice (uvádělo 66 % respondentů), dezinfekční prostředek (57 %), vnitřní vodovod (44 %), distribuční systém (34 %) a promíchání vodního sloupce v nádrži (32 %) (Ömür-Özbek a kol., 2012).

Toto rozdělení musí být do určité míry zjednodušené, takže nedokáže dost dobře ilustrovat existenci případů, které mají více vzájemně provázaných příčin v různých částech systému. Typickým příkladem je třeba vznik chloranisolů, kde musí být vhodný prekurzor (fenolické látky) v surové vodě a úprava (dezinfekce) využívající chlor, aby vznikly chlorfenoly, které jsou pak mikrobiální činností v distribuční síti přeměněny na chloranisololy. Nebo sirovodíkový pach, vznikající sice až v ohříváči teplé vody, ale podmíněný mj. redukčním charakterem vody a obsahem sirných bakterií v podzemním zdroji. Nicméně rozdělení systému do určitých částí je pro výukové účely vhodné, proto zde příčiny sensorických problémů systému zásobování dělíme na pocházející z: a) surové vody, b) úpravy vody, c) distribučního systému včetně vodojemů a d) vnitřního vodovodu včetně zařizovacích předmětů.

### 5.2 Surová voda

Problematiku surové vody by šlo dále dělit z hlediska vody podzemní nebo povrchové a/nebo z hlediska „znečištění“ pocházejícího z přírody nebo z lidské činnosti, ale ani v tomto případě nebude dělení vždy ostré – např. pach po zkažených vejcích (sirovodíku) je typický pro některé podzemní vody, ale může vznikat mikrobiální činností také v anoxických vrstvách (vodárenských) nádrží.

**Chuť u podzemní vody** ovlivňuje především obsah minerálních látek, který (ve vhodné kombinaci a množství) na jednu stranu zajišťuje příjemnou chuť vody, ale na druhou stranu jejich příliš vysoký nebo nízký obsah může být důvodem k nespokojenosti spotřebitelů, protože lidé preferují různé chutě a obsah minerálních látek. Obvykle však platí, že hlavním důvodem stížností na chuť způsobenou minerálními látkami je její (náhlá) změna, tedy změna zdroje z velmi měkké vody na tvrdou nebo naopak. Příliš vysoký obsah vápníku a hořčíku způsobuje hořkou chuť nebo hořký pocit v ústech. Příliš nízký obsah těchto prvků se může projevit mírně nasládlou chutí a „mýdlovým“ pocitem na jazyku (Burlingame a kol., 2011; Sutherland a kol., 2017).

Voda s vysokým obsahem rozpuštěných látek (nad 1 000 mg/l), zejména s obsahem chloridu sodného nad 500 mg/l, může mít slanou chuť a je to buď přirozenou vlastností (minerální) vody, nebo – objeví-li se slaná chuť náhle – známkou průniku soli do zdroje (solení silnic, u zdrojů v blízkosti mořského pobřeží též intruze mořské vody). Obsah chloridů nad 200–300 mg/l a síranů nad 250 mg/l dává vodě slanou chuť (Burlingame a kol., 2011). Je-li spolu se síranami přítomen ve vyšší koncentraci i hořčík, bude mít voda hořkoslanou chuť.

Velký vliv na chuť mají ionty železa. Pokud jsou rozpuštěné čili v oxidačním stupni II, chuťový práh je okolo 0,05 mg/l, ale někteří vnímaví lidé cítí z vody kovovou chuť již při koncentraci 0,005 mg/l – zde hodně záleží na přítomnosti ostatních minerálních látek (Burlingame a kol., 2011). Železo v oxidačním stupni III je většinou nerozpustné a nemá téměř žádnou chuť, na druhou stranu ovlivňuje zbarvení vody (Sutherland a kol., 2017).

**Pach u podzemní vody** přírodního původu je především sirný pach po zkažených vejcích způsobený sulfanem (sirovodíkem), jehož pachový práh je asi 0,05 mg/l (WHO, 2003a). V případech výrazné kontaminace odpadní vodou s vysokým obsahem organických látek se může pach po zkažených vejcích objevit i u prostých podzemních vod jako důsledek lidské činnosti. Chemické pachy po rozpouštědlech jsou u podzemních vod typickou známkou antropogenní kontaminace organickými rozpouštědly (např. trichlorethen, TCE; tetrachlorethen, PCE; toluen, chloroform<sup>5</sup> apod.) nebo přísadami do benzínu (např. terc-butylmethylether, MTBE, který má typický pach a pachový práh od 15 µg/l výše) (Suffet, 2007).

**Ve zdrojích povrchových vod** se může „zcela přirozeně“, tedy jako výsledek přírodních procesů (někdy podpořených lidskou činností, která zvyšuje obsah živin ve vodě), resp. metabolismu nebo rozpadu vodních (mikro)organismů včetně řas a sinic, vyskytovat široké spektrum pachů: zemité, zatuchlý, po plísní, po trávě, močálový, bažinatý, po septiku, rybí, po zkažených vejcích apod. Jejich nositeli jsou různé těkavé organické sloučeniny síry. Rozklad biomasy vodních řas, sinic, ale i vyšších suchozemských rostlin vede ke vzniku alkylsulfidů, zodpovědných za pach po septiku, zkažených vejcích nebo tlející vegetaci. Sirné bakterie také mohou rozkládat ve vodě přítomné bílkoviny a aminokyseliny za vzniku organických sulfidů, jako např. dimethylsulfidu (při vyšší koncentraci pach tlející vegetace, při nižší po konzervované kukuřici), dimethyldisulfidu (pach po tlející vegetaci) a dimethyltrisulfidu (pach močálový, bažinatý, po česneku).

Nejčastějším pachem souvisejícím s rozvojem řas, sinic a vláknitých bakterií (aktinomycet) a zároveň nejčastějším pachem způsobujícím problémy při výrobě pitné vody je pach zemité a zatuchlý, způsobený geosminem a 2-methylisoborneolem (2-MIB). Pach geosminu je zemité, po řepě a kukuřici, a pach 2-MIB je zemité, po rašelině. Pachový práh obou látek se udává v oblasti 5 až 10 ng/l. Sinice, zelené řasy a rozsivky však produkují širší spektrum látek a různých pachů než jen geosmin a 2-MIB, např. pach po trávě, rybách nebo okurkách. Okurkový pach je způsoben uvolňováním aldehydu trans-2,cis-6-nanodienalu (Burlingame a kol., 2011; Sutherland a kol. 2017). Mezi kontaminující látky průmyslového původu patří nejčastěji různé ropné produkty jako pohonné hmoty (benzín, nafta) či přísady do nich, topné oleje, rozpouštědla apod. Způsobují rozličné a smíšené pachy, nejčastěji popisované jako chemické, uhlovodíkové (benzínové, petrolejové), plastové atd. Jedním z nejznámějších a rozsahem největších novodobých případů takové havárie je únik téměř 40 000 litrů surového 4-methylcyklohexanmethanolu (MCHM) do řeky Elk v USA, který vedle poškození zdraví způsobil také silný lékořicový pach pitné vody pro 300 tisíc spotřebitelů, takže vodu nešlo použít ani k osobní hygieně (podrobnosti v případové studii níže).

#### **Případová studie: kontaminace zdroje surové vody MCHM (Elk River Spill)**

V noci z 8. na 9. ledna 2014 uniklo ze zásobníku chemické továrny na břehu řeky Elk v Západní Virginii (USA) asi 40 000 litrů směsi chemických látek, z nichž asi 80 % tvořil surový 4-ethylcyklohexanmethanol (MCHM), látka používaná při zpracování uhlí. Zbytek tvořily například glykolethery (PPH a DiPPH) a další látky.

Chemikálie se dostaly do řeky, ze které se asi 2 km po proudu odebírá surová voda na výrobu pitné vody pro Charleston a okolí, celkem asi pro 300 tisíc spotřebitelů. Od odpoledne 9. ledna si obyvatelé zásobované oblasti začali stěžovat na silný nasládlý pach vody po lékořici – a to přesto, že voda byla poměrně silně chlorována a byla cítit chlorem (průměrná dávka chloru na úpravě byla v lednu 2014 3,1 mg/l). Někteří obyvatelé žijící v okolí chemické továrny si již ráno stěžovali na stejný pach i ve venkovním ovzduší. Téměř 600 osob vyhledalo v souvislosti s touto kontaminací

<sup>5</sup> Chloroform vznikající v pitné vodě jako vedlejší produkt dezinfekce, který je ve vodě přítomen maximálně ve vyšších desítkách µg/l, nemůže být příčinou pachu vody, protože jeho pachový práh je více než 2 mg/l (WHO, 2004). Muselo by se jednat o únik koncentrovaného chloroformu do zdroje.

vody lékařské ošetření kvůli podráždění očí a pokožky, vyrážce, průjmu, bolesti v krku nebo nevolnosti, 13 bylo hospitalizováno. Vedle nasládlého pachu po lékořici popisovali spotřebitelé vzniklý pach také jako acetonový, chemický, kovový či zkažený.

Zaměstnanci továrny zjistili únik během dopoledne, událost hned oznámili úřadům, nicméně nejprve poskytli informaci, že se jedná pouze o únik MCHM, informaci o přítomnosti dalších uniklých chemikálií sdělila firma až o téměř dva týdny později. Provozovatel úpravní vody byl o úniku chemikálie informován v poledne 9. ledna a zprvu se domníval, že jeho technologie tuto kontaminaci zvládne.

Technologie úpravní vody spočívala v předoxidaci pomocí  $\text{KMnO}_4$ , zvýšení pH, dávkování koagulantu (PACl), flokulaci, čiření, pískové filtraci, filtraci přes GAU (v době události byla ale část filtrů mimo provoz kvůli regeneraci), dezinfekci chlorem, zvýšení pH (NaOH), dávkování fluoridů a ortofosforečnanů. Provozovatel přijal na úpravně okamžitá opatření v podobě zvýšení dávky  $\text{KMnO}_4$  (z 0,6 na 1,3 mg/l) a zavedení dávkování práškového aktivního uhlí (v dávce 19 mg/l) do surové vody, ale výrazný efekt na kvalitu vyrobené vody to nemělo. Později odpoledne byl vydán zákaz používání vody s výjimkou splachování WC a hašení požárů a bylo okamžitě zahájeno náhradní zásobování pitnou vodou cisternami a balenou vodou (za první 3 týdny bylo distribuováno 17,5 mil. lahví balených vod).

Americké centrum pro prevenci nemocí (US CDC) na základě omezených toxikologických dat doporučilo nouzový limit pro MCHM v pitné vodě pro krátkodobý příjem (do 28 dnů) ve výši 1 mg/l (max. množství zjištěné v surové vodě bylo 3,4 mg/l, ale odběr nezachytil úvodní píkové hodnoty, ty se odhadovaly na více než 100 mg/l). Zdravotní úřady Západní Virginie vydaly po pár dnech zdravotní screeningový limit ve výši 10  $\mu\text{g/l}$ .

Zákaz užití vody byl pro některé části distribuční sítě odvolán 13. ledna, protože koncentrace MCHM v surové vodě klesla pod 1 mg/l, a provozovatel vydal doporučení pro domácnosti k řízenému proplachu domovních rozvodů, protože při užití vody jen na splachování zůstávala kontaminovaná voda stále v potrubí. Provozovatel zároveň snížil dávku  $\text{KMnO}_4$  a aktivního uhlí, i když stížnosti na pach vody neustávaly. Přestože ke konci ledna poklesla koncentrace MCHM v distribuční síti pod 10  $\mu\text{g/l}$ , spotřebitelé si stále stěžovali na pach po lékořici a mnoho z nich nadále odmítalo vodu využívat k osobní hygieně a praní, natožpak k pitným účelům.

17. ledna přijel do oblasti odborník na chemické havárie a pach vody, A. J. Whelton z University of South Alabama se skupinou postgraduálních studentů, aby pomohli vzorkovat vodu u spotřebitelů, poradili jim s proplachem vnitřního vodovodu, aby byl účinný a bezpečný (během odpouštění bylo nutné místnosti intenzivně větrat, aby nedošlo ke kumulaci MCHM ve vnitřním prostředí a nevolnosti z nadýchání látky), a provedli šetření o zdravotních dopadech a účinnosti proplachu. Whelton vedle komunikace se státními orgány a neziskovými organizacemi, které se zmírněním následků havárie pomáhaly, pomáhal také poskytovat odborně podložené informace médiím, která o události referovala velmi podrobně a intenzivně.

18. ledna byl odvolán zákaz užití vody i ve zbývajících částech zásobované oblasti. Na žádost guvernéra státu byl 9. února zahájen odborný projekt „West Virginia Testing Assessment Project“, do kterého se zapojili vědci a techničtí odborníci z různých pracovišť v USA. Jejich úkolem bylo zahájit novou vzorkovací kampaň, aby se zjistilo, jaká rezidua MCHM se nacházejí ve vnitřních vodovodech obyvatel oblasti. Projekt měl dále odpovědět na otázky, jaké jsou prahové koncentrace pachu MCHM, jaké látky vznikají rozpadem MCHM a zda navržená limitní hodnota 10  $\mu\text{g/l}$  dostatečně chrání spotřebitele. Zároveň zahájil činnost expertní sensorický panel, o kterém píšeme v jiné případové studii.

Navazující výzkumy mj. ukázaly, že surový MCHM nemusí mít v některých případech vůbec výše uváděný sladký lékořicový pach. Jedná se totiž o směs několika hlavních cyklohexanů, z nichž 4 tvoří zřetelné isomerické páry a z nich jen dva vykazují specifický pach: *cis*- a *trans*-4-MCHM isomery. Zatímco *trans* isomer vyazuje intenzivní pach, který většina osob popisuje jako nasládlý a po lékořici, *cis* isomer má pachový práh 2 000krát vyšší, lidé se v jeho popisu více liší a převažuje popis po zkaženém ovoci. Podle toho, jaký isomer ve směsi surového MCHM převládá, bude výsledná podoba pachu.

Popsaný incident nebývalého rozsahu odhalil velké mezery v krizovém managementu státních i místních úřadů, včetně špatně fungující komunikace rizik. Jak ukázalo šetření, doporučený proplach vnitřních vodovodů nebyl u některých domů vůbec účinný (nesnížily se hodnoty MCHM), i když byl proveden podle návodu, v jiných případech dokonce přivodil obyvatelům domu další zdravotní problémy. Jednalo se o první známý případ kontaminace surové a pitné vody látkou MCHM (Manuel, 2014; McGuire a kol., 2014; Gallagher a kol., 2015; Whelton a kol., 2015; Whelton a kol., 2017).

### 5.3 Úprava vody

Nedokonalá úprava vody může způsobit, že pachy ze surové vody projdou až do upravené pitné vody (čímž nijak nezpochybnujeme fakt, že vyskytne-li se pach v surové vodě zcela neočekávaně a technologie úpravy vody není na takový problém přizpůsobená – a není-li možné přepnout systém zásobování na jiný zdroj – není prakticky v silách provozovatele úpravny situaci rychle vyřešit) nebo není dostatečně odstraněno rozpuštěné železo nebo mangan, takže tyto dále v síti začnou tvořit nežádoucí barvu, zákal a sediment. Může také za to, že ne všechny pomocné chemické přípravky použité při úpravě dostatečně zreagují a že nejsou při filtraci odstraněny (zbytky koagulantu a flokulantu), takže dále v síti a u spotřebitele vytváří okem viditelné vločky čili závadu na vzhledu vody. Podobně je to se zrnky filtračních médií, která uniknou do upravené vody.

Nicméně hlavní příčinou stížností na pach nebo chuť (flavour) při úpravě vody jsou dezinfekční přípravky, ať už samy o sobě nebo po reakci s jinými látkami. Chlor způsobuje chlorový pach/chuť, někdy přirovnávaný k pachu po bělidle (které je však založeno obvykle na chlornanu), přičemž intenzita závisí na hodnotě pH – se zvyšujícím se pH od 5,5 do 8,5 klesá intenzita pachu – ale také na druhu a koncentraci minerálních látek. Např. na Maltě, kde je jedním ze zdrojů odsolená mořská voda, zjistili, že zvolení vhodného poměru směsi podzemní a odsolené vody je důležité nejen z hlediska chuti vody jako takové, ale i z hlediska vnímání chlorového pachu spotřebiteli (Psakis a kol., 2023). Několik studií z různých zemí naznačuje, že vnímání chlorového pachu/chuti je spíše věcí zvyku než rozdílu ve vnímavosti různých populací osob, protože pachové prahy jsou uváděny poněkud odlišně: zatímco v USA se pohybovaly v poměrně širokém rozmezí od 0,25 do 1,1 mg/l Cl<sub>2</sub> a ve Španělsku 0,56 mg/l Cl<sub>2</sub>, ve Francii to bylo jen v poměrně úzkém rozmezí 0,14–0,20 mg/l Cl<sub>2</sub> (Sutherland a kol., 2017).

Je-li k dezinfekci používán chloramin, záleží na tom, zda se vyskytuje jen ve formě monochloraminu nebo i dichloraminu. Monochloramin má chlorový pach s prahem 0,65–1,8 mg/l Cl<sub>2</sub> (ve Francii ovšem jen 0,18 mg/l Cl<sub>2</sub>). Je-li ovšem přítomen i dichloramin, který má bazénový pach s prahem již okolo 0,15 mg/l Cl<sub>2</sub>, je stížností spotřebitelů mnohem více (Sutherland a kol., 2017).

Oxid chloričitý má detekovatelný pach a chuť od zbytkové koncentrace 0,20–0,25 mg/l ClO<sub>2</sub>. Jedná-li se o čistý oxid chloričitý, je pach popisován jako chlorový, pokud se ale v ovzduší domácnosti mísí s jinými těkavými látkami, např. z nových kobereců, nabývá pach nepříjemného charakteru podobného petroleji nebo kočičí moči (Burlingame a kol., 2011; Sutherland a kol., 2017).

Ozon zanechává ve vodě ozonový pach, dokonce i v případě, když už není žádný zbytkový obsah ozonu ve vodě detekován (Sutherland a kol., 2017).

### 5.4 Distribuční síť

Zdroje senzorických problémů v distribuční síti se dají rozdělit do následujících skupin: a) interakce materiálů potrubí s vodou; b) produkty mikrobiologického a biologického oživení (popř. oživení jako takové); c) vznik a mobilizace sedimentu; d) záměrná, ale nepravidelná aplikace dezinfekčního prostředku v distribuční síti; e) průnik kontaminace zvenčí do potrubí a vodojemů.



Někdy mohou tyto příčiny způsobovat hraniční pach či chuť, kterého by si všimlo jen malé procento spotřebitelů. Pokud se ale během horkého počasí v létě nebo v časném podzimu voda v povrchovém zdroji či v distribuční síti (díky mělkému uložení potrubí pod chodníkem nebo vozovkou) ohřeje na vyšší teplotu, je nepříjemný pach/chuť výraznější a způsobuje přechodně vyšší počet stížností spotřebitelů.

#### 5.4.1 Interakce materiálů potrubí s vodou

Materiál vnitřního povrchu potrubí může reagovat s vodou za vzniku různých senzorických problémů. Obvykle se to týká již staršího nebo naopak zcela nového, popř. uvnitř nově rehabilitovaného potrubí.

Starší ocelové potrubí bez vnitřní ochranné výstelky (ať už z důvodu, že zcela chyběla, nebo již časem degradovala) nebo potrubí z litiny bez vnitřní výstelky podléhá korozi, do vody se uvolňují částice železa a vytváří sediment nebo mění barvu vody.

V případě degradující staré bitumenové výstelky se do vody mohou dostávat také viditelné černé částice o velikosti milimetrů až centimetru. Degradaci může urychlit změna chemismu vody, např. při přechodu z chloru na oxid chloričitý. Degradace bitumenové výstelky může být v některých případech doprovázena i pachem vody po rozpouštědle nebo krému na boty (Lauer, 2014).

Z nového potrubí, plastového, ošetřeného novou PE výstelkou nebo s vnitřním povrchem z epoxidové pryskyřice, se mohou do vody louhovat různé pachotvorné látky nebo látky měnící i chuť a barvu vody. To se týká také vnitřních výstelek vodojemů. Důvodem může být použití hygienicky nevhodného materiálu, nedodržení správného výrobního postupu při aplikaci dvousložkové hmoty na bázi epoxidu (nedodržení poměrů použitých složek nebo reakční doby apod.) nebo nedostatečné propláchnutí úseku potrubí nebo vodojemu před uvedením do provozu. Dosud je známo více než 150 látek, které se mohou louhovat z polymerů používaných pro výrobu vodárenského potrubí (Whelton a Nguyen, 2013). Tento pach či chuť bývá nejčastěji popisován/a jako chemický/á, uhlovodíkový/á, plastový/á, po rozpouštědle nebo po ropě/naftě. Pachotvornými látkami jsou zde např. benzen, toluen, xyleny, styren, propyl benzen, bisfenoly (včetně bisfenolu A) ad. Ze síťovaného polyethylenu (PEX) třídy B se může uvolňovat ethyl-t-butyl ether s pachem po rozpouštědle, z PEX třídy A, B nebo C pak methyl-t-butyl ether s nasládlým pachem po rozpouštědle. Z epoxidových výstelek se může do vody uvolňovat benzen, toluen, ethybenzen, xyleny a také bisfenol A, který způsobuje medicínální pach (Sutherland a kol., 2017).

Montážní mazivo používané na spojích potrubí může rovněž působit chemický pach či chuť, ale také pach po vlhkém papíru nebo malířské barvě (Lauer, 2014). Složky maziva na bázi oleátů mohou reagovat s chlorem za vzniku nepříjemného žluklého pachu (Sutherland a kol., 2017).

V některých případech se z potrubí nebo jeho vnitřních výstelek louhují chemické organické látky, které samy o sobě nejsou nositeli pachu, pachotvorné látky vznikají teprve jejich chemickou nebo biochemickou konverzí v distribuční síti. Příkladem mohou být fenoly, jež se jako antioxidanty přidávají do polyethylenu a po vyluhování do vody reagují s chlorem či bromem za vzniku chlor- či bromfenolů, které způsobují medicínální pach vody. Chlor a chloramin ve vyšší koncentraci mohou zapříčinit degradaci některých polymerů, což vede nejen k prasknutí plastového potrubí, ale i vzniku pachu (Sutherland a kol., 2017). Specifická situace smíšeného pachu nastává v případě, že se z plastového potrubí nebo výstelky (plastové i epoxidové) nelouhují jen pachotvorné látky (chemický, plastový pach), ale také látky organické, sloužící jako živiny mikroorganismům v biofilmu pro jejich nadměrný rozvoj, takže začnou produkovat látky vyznačující se zatuchlým, plísňovým pachem. Charakter takového výsledného smíšeného pachu se pak obtížně popisuje.

Nová cementová výstelka louhuje do vody vápník, hliník a alkalické zbytky a zvyšuje pH dodávané vody. To se může, zvláště u stagnující vody, projevit medicínální chutí a bělavým zbarvením vody způsobeným vysrážením zásaditých solí hliníku (Lauer, 2014; Sutherland a kol., 2017).

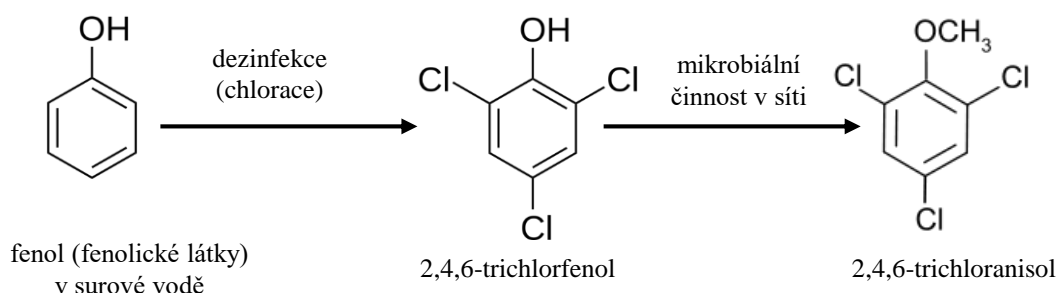
## 5.4.2 Produkty mikrobiologického a biologického oživení (popř. oživení jako takové)

Viditelné vodní organismy, které se pomnoží ve vodovodní síti a objeví se ve sklenici spotřebitele, jsou nepochybně sensorickou závadou, byť s nízkou zdravotní relevancí. Většinou se však jedná o zcela ojedinělé události. Více se jim věnujeme v kapitole 3 Zjišťování příčin sensorických problémů, v části věnované biologickým rozborům a vizuálnímu posouzení.

Na vnitřním povrchu potrubí i komory vodojemu, který je ve styku s vodou, je vytvořen biofilm, skládající se ze společenstva mikroorganismů (především bakterií) zapuštěných v matrici extracelulárních polymerních látek produkovaných bakteriálními buňkami. Jedná se o zcela přirozený a pro kvalitu vody většinou zcela neškodný jev. Za určitých okolností ale mohou některé druhy v tomto společenstvu začít produkovat látky, které jsou zdrojem pachu vody – jedná se především o pachy typu zemité, zatuchlý, plísňový, po trávě nebo senu, po bramborách či kořenové zelenině apod. Podobně jako biofilm slouží jako substrát sediment, zvláště má-li vyšší obsah organických látek. Problém nastává zejména ve slepých ramenech potrubí nebo tam, kde je rychlost proudění velmi nízká a kde je tedy naopak stagnace vody nejvyšší.

Některé z těchto pachotvorných látek (např. geosmin) jsou přímé metabolity příslušných mikroorganismů, jiné pak vznikají reakcí metabolitů s chlorem nebo mikrobiální přeměnou (transformací) určitých prekurzorů. Příkladem té poslední skupiny jsou např. chloranisoly, zejména 2,4,6-trichloranisol nebo jeho bromové deriváty (4-brom-2,6-dichloranisol, 2,6-dibrom-3-chloranisol ad.).

2,4,6-trichloranisol (TCA) způsobuje kromě sensorických závad pitné vody (zemité/zatuchlý/plísňový pach) také korkový pach vína. V pitné vodě vzniká mikrobiální činností (o-methylací) z 2,4,6-trichlorfenolu, přičemž původ tohoto prekurzoru může být dvojitý. Jednak je používán jako pesticid, jednak vzniká z (přírodních) fenolických látek při dezinfekci pitné vody chlorovými přípravky (obr. 5-1). Jedná se o obrannou reakci mikroorganismů, protože methylací se redukuje oxidační (dezinfekční) schopnosti chlorfenolů.



**Obr. 5-1.** Mechanismus předpokládaného vzniku 2,4,6-trichloroanisolů v pitné vodě.

Přímý (chemický) průkaz, že za zemité pach určité vody může TCA, se získává poměrně obtížně, protože pachový práh látek způsobujících zemité/zatuchlý pach bývá obvykle velmi nízký. Zatímco v případě geosminu a 2-MIB se jedná o jednotky ng/l (Malleret a kol., 2021), u TCA jsou hodnoty ještě výrazně nižší (30 pg/l) (UKWIR, 1996). Díaz a kol. (2005) odkazují na práci z osmdesátých let, v níž je uveden ještě významně nižší údaj (0,7 pg/l). To už jsou koncentrace pod mezí stanovitelnosti u většiny používaných analytických metod. Proto je zde nejspolehlivější metodou detekce plynová chromatografie ve spojení s olfaktometrickou detekcí (GC-O).

Šetření komplikuje také skutečnost, že i uvnitř jednoho tlakového pásma zásobovaného vodou ze stejného zdroje může být intenzita pachu velmi rozdílná a lišit se doslova ulici od ulice. Na rozdíl třeba od trihalogenmethanů, jejichž tvorba v distribuční síti probíhá víceméně plošně a lineárně roste se vzrůstající dobou zdržení, tvorba TCA, závislá na vhodném mikrobiologickém oživení sítě, je mnohem nevyzpytatelnější. Podle zahraničních studií je tvorba TCA závislá na složení

mikrobiální populace uvnitř potrubí, které je zase primárně dané materiálem potrubí, takže např. při stejné „vstupní“ vodě vzniká v potrubí z tvárné litiny mnohem více TCA než v potrubí z polyethylenu (Abhijith a Ostfeld, 2021; Zhang a kol., 2018).

#### **Případová studie: zatuchlý pach pitné vody v Praze a okolí**

TCA byl ve směsi s jinými látkami příčinou masových stížností na pach a chuť pitné vody na některých místech v Praze a okolí, ke kterým došlo v létě a na podzim 2023 a kdy také prahová čísla pachu a chuti vysoce překračovala limit daný vyhláškou č. 252/2004 Sb. Primárním důvodem byla odstávka technologických stupňů ozonizace a filtrace přes aktivní uhlí na úpravně vody Želivka, během které se při chloraci vody na výstupu z úpravny začal tvořit 2,4,6-trichlorfenol, který byl po průchodu štolovým přivaděčem a vodojemy v Jesenici dále v distribuční síti přeměňován na TCA (Pumann a kol., 2024; Vavrušková a kol., 2024).

Pracovníkům Státního zdravotního ústavu se podařilo ve spolupráci s Leibnitzovým institutem na Mnichovské technické univerzitě identifikovat jako příčinu pachu TCA, 4-brom-2,6-dichloranisol a geosmin (metodou GC-O). Pokus tyto látky instrumentálně kvantifikovat však nebyl úspěšný, protože výskyt všech tří látek byl pod mezí stanovitelnosti dané metody, tedy pod 200, resp. 100 pg/l – viz tabulka 5-1 (Pumann a kol., 2024).

Tab. 5-1. Koncentrace 2,4,6-trichloranisolu, 4-brom-2,6-dichloranisolu a geosminu v pitné vodě z listopadových rozborů v Leibnitzově institutu na Mnichovské technické univerzitě

látka	koncentrace (ng/l)		CG-O
	Spořilov	Hrnčiče	
2,4,6-trichloranisol	≤ 0,2	≤ 0,2	+
4-brom-2,6-dichloranisol	≤ 0,2	≤ 0,2	+
geosmin	≤ 0,1	≤ 0,1	+

Z tohoto příkladu je názorně vidět, že vážné sensorické závady mohou způsobit některé látky v opravdu minimálních koncentracích a že se tady nemůžeme při jejich odhalení spoléhat jen na chemickou analýzu.

#### **5.4.3 Vznik a mobilizace sedimentu**

Ať už z korodujícího potrubí nebo oxidací rozpuštěného železa a manganu, které nebyly dostatečně odstraněny při úpravě vody, vzniká v síti železitý sediment, který se při změně hydraulických poměrů může mobilizovat a způsobovat nežádoucí barvu a zákal vody. I když není mobilizován a nezpůsobuje aktuálně problémy s barvou či zákalem, může sloužit jako vhodné růstové prostředí pro některé mikroorganismy produkující pachotvorné látky.

#### **5.4.4 Záměrná, ale nepravidelná aplikace dezinfekčního prostředku v distribuční síti**

Pokud je pokládáno nové potrubí, popř. prováděna oprava potrubí, může zhotovující firma nebo provozovatel vodovodu před uvedením daného úseku vodovodu do provozu napustit potrubí přechlorovanou vodou, aby dezinfikovala povrch potrubí, který mohl být během skladování nebo pokládky (opravy) potrubí mikrobiologicky kontaminován. Před zprovozněním příslušného úseku vodovodu má být chlorovaná voda z potrubí proplachem odstraněna, což se někdy nepodaří dokonale, určitá část této vody v potrubí zůstane a po zprovozněni se dostane ke spotřebitelům. Protože v tu chvíli dostane spotřebitel vodu s vyšším obsahem chloru než obvykle, zaznamená nežádoucí změnu a může si stěžovat.

Podobným způsobem se může dostat přechlorovaná voda ke spotřebiteli také v případě, že je nárazově takto ošetřen i vodojem, u kterého došlo k neautorizovanému vstupu nebo u kterého je jiné podezření na kontaminaci.

#### 5.4.5 Průnik kontaminace do potrubí a vodojemů zvenčí

K průniku kontaminace, která může způsobit sensorické problémy, může dojít několikerým způsobem: skrze vodojemy a skrze porušené, ale i neporušené potrubí.

**Skrze vodojemy.** Nejčastěji dochází ke kontaminaci vzdušnou cestou, když vodojem není zabezpečen proti vzdušné kontaminaci a vniknutí hmyzu. Pak se ve vodě u spotřebitele mohou objevit viditelné částice jako pylová zrna, fragmenty rostlin a hmyzu apod. Pokud jsou zábradlí či jiné kovové součásti ve vodojemu, která nejsou v přímém kontaktu s vodou, čerstvě natřeny barvou a prostor není řádně odvětrán, může pach (po rozpouštědlech) z nátěru přejít i do akumulované vody. Obdobné případy byly zaznamenány i na úpravárnách vody. V případě vlhkých prostor a nárůstu řas na stěnách manipulačních komor vodojemu, které způsobují zatuchlý pach ve vnitřním ovzduší vodojemu, může tento pach přejít částečně i do akumulované vody.

**Skrze potrubí.** Při poruše integrity potrubí a poklesu tlaku vody, resp. vzniku podtlaku, se může z okolního prostředí dostat do potrubí odpadní voda z porušené kanalizace, která se může projevit zákalem a/nebo hnilobným pachem vody (pokud není maskován již přítomným výraznějším pachem chlorovým). Zvláštním případem je průnik těkavých organických látek do potrubí, aniž by byla jeho integrita jakkoli narušena – k tomu může dojít v případě potrubí z nízkohustotního polyethylenu (LDPE), které je uloženo v zemině kontaminované např. průmyslovými rozpouštědly. Pach (po rozpouštědlech) se pak projeví jen v jedné větvi vodovodu. I v ČR bylo popsáno několik takových případů, když LDPE potrubí procházelo zeminou znečištěnou trichlorethenem a/nebo tetrachlorethenem z opraven aut. Při poklesu tlaku vody ve veřejném vodovodu se může do potrubí vodovodu dostat studniční voda z nemovitosti, která je napojena jak na veřejný vodovod, tak na vlastní studnu a oba systémy jsou nezákonně propojeny. Může tím dojít k mikrobiální i chemické kontaminaci vody, ovšem sensorické závady jsou méně pravděpodobné.

### 5.5 Vnitřní vodovod včetně zařizovacích předmětů

Některé mechanismy, popsané u distribuční sítě v kapitole 5.4, se obdobně uplatňují také u vnitřních vodovodů. Zcela to platí pro pachotvorné látky, které se louhují z nového plastového potrubí, nebo pro pachy vznikající mikrobiální činností.

V případě koroze kovového potrubí se ve vnitřním vodovodu může kromě železa objevit i zinek a měď. Zinek může pocházet z pozinkovaného ocelového potrubí nebo mosazných komponent. V koncentracích nad 5 mg/l působí zinek svíravou chutí a mléčné zbarvení vody a po převaření způsobuje, např. na čaji, „mastný“ povlak na hladině. Měď pochází z měděného potrubí, zejména nového, a při koncentraci cca 1 mg/l a výše způsobuje kovově-hořkou, svíravou chuť a barví sanitární keramiku do šedomodra (Sutherland a kol., 2017).

V objektech, kde je rozvod pitné a nepitné vody, může náhlá změna pachu, chuti i vzhledu vody signalizovat propojení obou systémů (tzv. cross-connection). Nevyhovující pach nebo chuť vody mohou být také způsobeny dodatečnou úpravou vody v objektu, která změní minerální složení vody nebo umožní pomnožení bakterií produkujících pachotvorné látky – pak se obvykle objevuje zatuchlý pach. Někdy si také lidé stěžují na zatuchlý či hnilobný pach vody z baterie u kuchyňského dřezu, ale na vině není voda, ale výlevka a potrubí odpadní vody, kde dochází ke hnilobě zbytků jídel a pach se šíří do místnosti.

Někdy je studená voda sensoricky v pořádku, ale páchne teplá voda z ohřívače, často po sulfanu (sirovodíku), který za určité souhry podmínek produkuje sírné (desulfurikační) bakterie. Více v případové studii níže.

### **Případová studie: pach teplé vody po sulfanu (sirovodíku, H<sub>2</sub>S)**

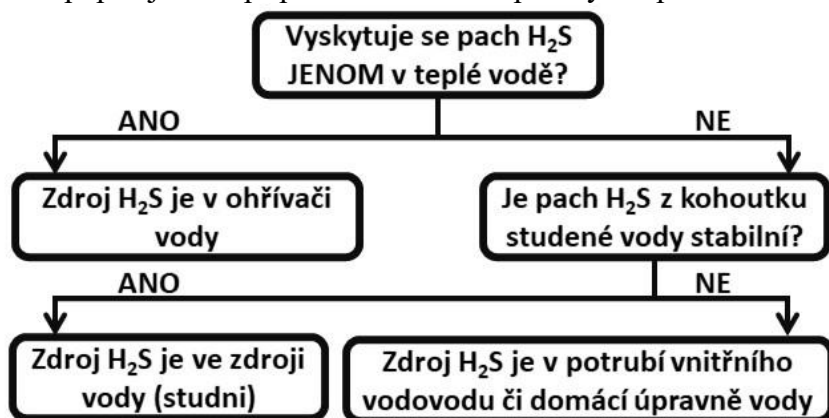
Státní zdravotní ústav vyšetřoval v letech 2016–2021 okolo dvaceti případů sulfonového (sirovodíkového) pachu teplé vody v rodinných domech v různých místech ČR. Všechny domy byly zásobovány z vlastní studny, obvykle z hlubšího vrtu, pouze v jednom případě se jednalo o menší veřejný vodovod, rovněž zásobován z hlubokého vrtu a bez chemické dezinfekce. Studená pitná voda žádný pach po síře neobsahovala, ten se objevil až v teplé vodě po průchodu zásobníkovým ohřívačem. Problémy se obvykle objevily u nových a novějších zásobníkových ohřívačů vody.

Pomocí místního šetření, experimentů s několika ohřívači a na základě útržkovitých informací z nepočtené zahraniční literatury se nakonec podařilo sestavit komplexní mechanismus, který je v tomto případě do tvorby sulfanu zapojen (Šašek a Kožíšek, 2022).

Sulfan v ohřívači vody tvoří desulfurikační bakterie (jejich asi nejznámějším představitelem je druh *Desulfovibrio desulfuricans*) redukcí ze síranů. Musí být tedy přítomny tyto bakterie (což není nic výjimečného, protože běžně žijí ve vodě a půdě a běžně je nacházíme v nedezinfikované vodě; jejich růstové teplotní optimum je mezi 25 °C a 40 °C) a sírany (optimálně v koncentraci nad 100 mg/l, ale není to podmínkou), což ale ještě k produkci sulfanu rozhodně nestačí. Bakterie k tomu potřebují externí zdroj energie ve formě elementárního vodíku, jehož oxidací získávají energii a mohou sloužit jako katalyzátor přeměny síranů na sulfan. Elementární vodík se může ve zvýšené míře vyskytovat v ohřívačích vody, které mají zabudován antikorozi systém: elektrochemickou ochranu v podobě „obětované“ anody, která je nejčastěji vyrobena ze slitiny hořčíku, který produkuje největší proud. Rozpouštějící se anoda tvoří s kovovým pláštěm ohřívače elektrochemický článek, na každý atom hořčíku se do vody uvolní dva elektrony, a protože jsou elektrony v tomto případě ve vodě v nadbytku (nestačí se spotřebovat na chráněném plášti ohřívače), slouží bakteriím jako zdroj energie. Pokud anodu z ohřívače vymontujeme, proces tvorby sulfanu se prakticky ihned zastaví (v tu chvíli ale již není vnitřní povrch ohřívače chráněn proti korozi, což nemusí vadit, je-li smaltovaný povrch zásobníku bez jediné poruchy, což však nebývá pravidlem).

Aby bakterie mohly elektrony využít, musí být voda v nízkém oxidačním stupni, tedy spíše redukčním prostředí, což se projevuje nízkou hodnotou ORP (oxidačně-redukčního potenciálu) a velmi nízkou hodnotou dusičnanů (méně než 10 mg/l, obvyklé ale jsou ale hodnoty i méně než 2 mg/l), které se redukuje na dusitany a dusík. Ve vodě nesmí být totiž přítomný jiný oxidační systém (než sírany), protože přednostně dochází k redukci kyslíku, manganu (Mn<sup>IV</sup> nebo Mn<sup>III</sup>), dusičnanů a železa (Fe<sup>III</sup>) a až teprve potom síranů.

Řešení toho problému popisujeme v případové studii u nápravných opatření.



Obr. 5-2. Rozhodovací schéma šetření příčiny sulfonového pachu u spotřebitele.

## 6 Nejčastější chemické látky spojené s nepříjemným pachem a chutí vody

### 6.1 Kolo chutí a pachů

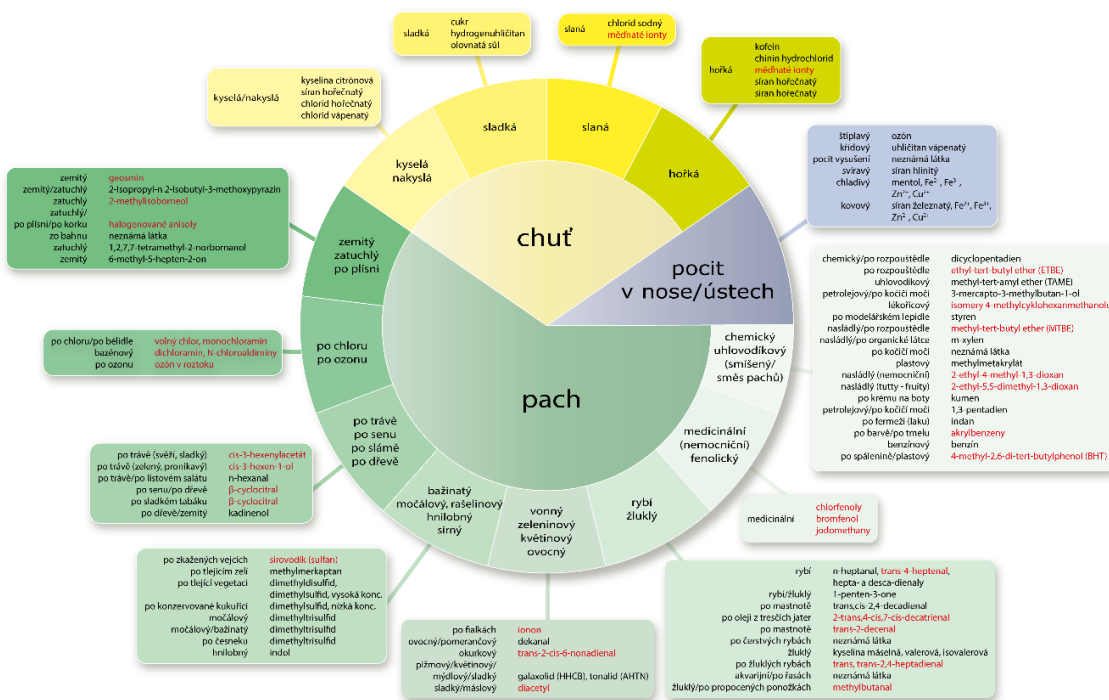
Zatímco u čtyř chutí nepředstavuje jejich identifikace zásadní problém, u pachů je situace mnohem komplikovanější. Nejen že se jich v „čisté podobě“ vyskytují desítky druhů, ale u reálných vzorků vody, kde se často vyskytují ve směsích a kdy tedy můžeme předpokládat stovky různých variant a modifikací, je jejich určení a popis mnohem složitější. Zejména, když se jedná o pach, se kterým se člověk v běžném životě nesetkává nebo jen výjimečně a chybí mu příslušná zkušenost, zážitek, se kterým by mohl nově zjištěný vjem asociovat. To lze velmi názorně ilustrovat pomocí tzv. oblaku štítků nebo klíčových slov (tag cloud, word cloud atd.), což je nástroj vizualizující či kategorizující obsah, resp. četnost sledovaných výrazů. Porovnáme-li tímto nástrojem např. výsledek hodnocení nějakého pachu panelem nezkušených, laických posuzovatelů s výsledkem hodnocení téhož pachu zkušeným sensorickým panelem, vidíme u zkušeného panelu mnohem menší diverzitu pojmů, resp. mnohem vyšší shodu. Viz obrázek 6-1.

Odorant	WT laboratory personnel	WT plant operators	General Public
Orange Extract			
2-MIB			
Dimethyltrisulfide (DMTS)			

Obr. 6-1. Výsledky hodnocení tří odorantů (shora: pomerančový extrakt, 2-methylisoborneol a dimethyltrisulfid) třemi skupinami posuzovatelů (zleva: pracovníci vodárenské laboratoře, pracovníci úpravy vody, veřejnost) pomocí oblaků štítků (Dietrich a kol., 2014).

Proto je pro úspěšný výsledek sensorického posouzení důležité, aby členové panelu hovořili „stejným jazykem“, tj. používali stejnou terminologii podloženou stejnou a společnou (společně trénovanou) smyslovou zkušeností. Za tímto účelem vzniklo již před více než 30 lety první kolo





Obr. 6-3. Kolo pachů a chutí pitné vody, český překlad a úprava (zdroj: SZÚ, 2024). Jako přílohu k této publikaci si lze ve formátu pdf stáhnout toto kolo ve formě posteru (velikost A2) a vytisknout si jej. Červeně uvedené látky byly identifikovány v pitné vodě jako původci daných pachů či chutí.

Kolo ve svém vnitřním kruhu popisuje základní kategorie pachů a chutí a také „pocit v ústech“ vyvolávaný některými vjemy, který nelze přiřadit k žádné z chutí. Na vnitřní kruh navazuje další podrobnější dělení pachů v jednotlivých kategoriích, které u vody určily zkušené senzorní panely pracující s metodou FPA (analýzou profilu pachu/chuti). K těmto konkrétním pachům jsou pak na zevním okraji (v originále, v české verzi se jedná o okna navazující na kolo) přiřazeny chemické látky, které daný pach/chuť způsobují. Látky (odoranty), které byly skutečně zjištěny v pitné vodě v souvislosti s určitým pachem/chutí, jsou uvedeny červeně (v originále jsou označeny hvězdičkou). Černě uvedené látky způsobují daný pach/chuť a mohou být používány k přípravě modelového roztoku k výcviku posuzovatelů.

Účel použití kola pachů a chutí je v zásadě trojí:

1. Kolo se velmi osvědčilo při výcviku senzorních panelů, zejména ve vytváření a upevňování společné terminologie, ale využívají ho i další pracovníci ve vodárenství (Phetxumphou a kol., 2017).
2. Kolo je jakýmsi souhrnným vyjádřením ukazujícím vodárenským pracovníkům současný stav poznání ve věci problematiky senzorních vlastností vody.
3. Kolo pomáhá výrobcům vody a provozovatelům vodovodů porozumět vztahu mezi problematickým pachem/chutí vody a jeho/jejími chemickými příčinami, což přispívá k odhalení mechanismu vzniku problému a návržení adekvátních nápravných opatření.

I když práce s kolem pachů a chutí přispívá ke kvalitě senzorní analýzy a jejího závěrečného hodnocení, musíme mít stále na paměti, že naše poznání látek způsobujících obtěžující pachy/chutě pitné vody je nedokonalé. Řadu těchto látek dosud neznáme a neznáme dobře ani vzájemné vztahy mezi těmi známými. Některé látky mohou působit jako antagonisté a maskovat přítomnost jiné látky, jiné naopak působí synergicky a vytvářejí silnější pach, než by odpovídalo jednotlivým, samostatně přítomným odorantům. Nejen intenzita, ale i charakter pachu jedné určité látky se může lišit podle koncentrace této látky. Jiné látky podléhají ve vodě hydrolyze, fotolýze nebo biodegradaci, a to někdy i v odebraných vzorcích během jejich skladování před analýzou. Jindy se



charakter pachu může měnit během jedné epizody, i když má stále stejný zdroj: např. některé látky produkované řasami se mění v závislosti na růstovém cyklu řas a povaha pachu se tak mění od pachu po okurkách po pach po rybách (Suffet a kol., 2019).

Pro potvrzení chemické příčiny pachu je samozřejmě vhodná chemická identifikace (a kvantifikace) podezřelé látky. Za tím účelem je žádoucí si o dané látce či látkách vyhledat podrobnější informace o jejich struktuře, zdrojích, analytických možnostech (včetně mezí stanovitelnosti), pachovém či chuťovém prahu, toxicitě apod. K tomu je možné využít některou ze stávajících veřejných chemických a toxikologických databází jako je např. PubChem (<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov>) nebo EFSA OpenFoodTox (<https://www.efsa.europa.eu/en/data-report/chemical-hazards-database-openfoodtox>), ale také třeba knihovnu spekter, např. NIST (<https://chemdata.nist.gov>) atd.

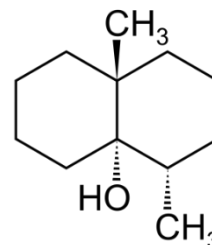
Speciální databáze látek způsobujících sensorické problémy v pitné vodě byla vytvořena v roce 2023 v rámci evropského projektu COST Action WaterTOP (CA 18225) Taste and odor in early diagnosis of source and drinking water problems. Volně přístupná databáze je umístěna na webových stránkách Leibnitzova institutu pro biologii potravních systémů při Mnichovské technické univerzitě (<https://fsbi-db.de/waterTop/index.php>). Databáze obsahuje kolem 150 látek, u kterých uvádí strukturu, molekulární hmotnost, charakter pachu, pachový práh (pokud je znám), zdroj a odkaz na databáze PubChem a FSBI-DB (databáze Leibnitzova institutu).

Popsat charakter obtěžujícího pachu/chuti a vytipovat možnou látku či látky, které jsou jejich původci, je sice klíčovým, ale stále jen prvním krokem k řešení vzniklého problému. Pouze kombinací více přístupů – sensorická analýza, chemická (popř. (mikro)biologická) analýza, kombinace chemické a sensorické analýzy (GC-O), místní šetření (rozšíření pachu/chuti v distribuční síti) apod. – lze spolehlivě odhalit příčinu a zvolit správné opatření.

## 6.2 Přehled prioritních chemických látek a jejich zdrojů

### 6.2.1 Geosmin

Geosmin je nepravidelný sekviterpenoid charakteristického zemitého pachu (Suffet a kol., 2019). Jedná se o metabolit, který je produkován mnoha taxony planktonních i nárostových sinic (např. *Dolichospermum*, *Aphanizomenon*, *Oscillatoria*, *Phormidium*, *Geitlerinema*, *Microcoleus*, *Planktothrix*, *Pseudanabaena*) a aktinomycetami (např. *Streptomyces*) (Jüttner a Watson, 2007). Má velmi nízký práh vnímání (na úrovni jednotek ng/l) (Suffet a kol., 2019). I proto je známo mnoho případů, kdy geosmin způsobil problémy s kvalitou pitné vody. V současné době je již v ČR možno nechat stanovit geosmin ve vodě v akreditované laboratoři (viz databáze akreditovaných subjektů Českého institutu pro akreditace).



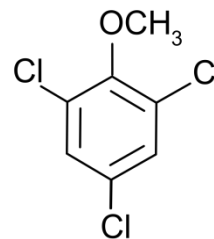
Zdroj obrázku:

[https://cs.wikipedia.org/wiki/Geosmin#/media/Soubor:Geosmin\\_Structural\\_Formulae.svg](https://cs.wikipedia.org/wiki/Geosmin#/media/Soubor:Geosmin_Structural_Formulae.svg)



### 6.2.3 Haloanisoly

Haloanisoly jsou chlorované nebo bromované deriváty anisolu, které jsou společně s geosminem a 2-MIB zodpovědné za zatuchlý, plísňový či zemitý pach. Přestože se látky popisují podobnými deskriptory (obr. 6-4), je možné je od sebe dobře odlišit a rozpoznat. Nejdůležitější jsou 2,4,6-trichloranisol (2,4,6-TCA) a 2,4,6-tribromanisol (2,4,6-TBA), které mají extrémně nízký práh vnímání (jednotky či nižší desítky pg/l) (UKWIR, 1996; Días a kol., 2004). TCA je také známý původce korkového pachu vína. Nejvýznamnější cestou jejich vzniku je biogenní methylace halofenolů (o-methylace), která může probíhat i v distribuční síti. Klíčové pro minimalizaci rizika vzniku TCA a dalších haloanizolů je omezit tvorbu jejich prekurzorů (halofenolů) při úpravě vody. Modelovým příkladem byl vznik zatuchlého pachu v distribučních systémech Prahy a některých dalších místech Středočeského kraje zásobovaných vodou z nádrže Želivka v druhé polovině roku 2023 (podrobně zpracováno v rámečku Případová studie: zatuchlý pach pitné vody v Praze a okolí v kapitole 5), kdy pravděpodobně po dočasném odstavení důležitých technologických stupňů (ozonizace a aktivního uhlí) začaly vznikat haloanisoly po chloraci vody z fenolických látek procházejících úpravou (detekován 2,4,6-trichlorfenol, což je prekurzor 2,4,6-TCA). Problémem při detekci 2,4,6-TCA může být jeho velmi nízký práh vnímání, takže se může stát, že ani pomocí moderních analytických metod není možné změřit jeho koncentraci ve vodě vykazující zřetelný, zatuchlý pach. Vhodnou metodou k prokázání pravděpodobného původce (či původců) je metoda plynové chromatografie s olfaktometrickou detekcí (GC-O; viz kapitola 3) (Pumann a kol., 2024).



Zdroj obrázku: <https://en.wikipedia.org/wiki/2,4,6-Trichloroanisole#/media/File:2,4,6-Trichloroanisole.svg>

### 6.2.4 Látky způsobující chlorový pach vody

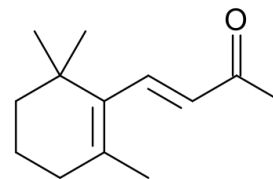
O tomto tématu viz také kapitola 5.3 Úprava vody. Za chlorový pach pitné vody mohou jednak přímo látky, které se do vody při dezinfekci přidávají (chlor, chlornan), a dále pak látky, které ve vodě následně vznikají reakcí s jinými přítomnými látkami. Na rozdíl od jiných látek způsobujících senzorké závady je chlor do vody cíleně přidáván a lze ho tak z části vnímat jako přirozenou součást vody v distribučním systému. Vnímání Američanů, kteří pitnou vodu bez silného chlorového pachu dokonce považovali dříve za závadnou, je dobře známé. Dokazuje ho i zvýšený práh vnímání chlorového pachu u amerických panelistů (Suffet a kol., 2019). Vnímavost k pachu chloru se tak odvíjí od místní obvyklé praxe, jak moc je voda chlorována a jak jsou spotřebitelé pach a chuť po chloru ochotní tolerovat. Suffet a kol. (2019) srovnávají dvě studie publikované v roce 2004. V první studii měl panel z Francie práh vnímání pro chlor na úrovni 0,05 mg/l, ve druhé panel z USA na úrovni 0,8 mg/l. Chlorový pach vznikající vlivem chloru a chlornanu se popisuje jako po chloru či po bělidle (bleach), i když je otázka, jak často je tento deskriptor v podmínkách ČR využíván. Odlišit lze od chlorového pachu pach „plaveckého bazénu“, za který je zodpovědný především dichloramin a N-chloroaldiminy, které mají nízký práh vnímání (jednotky µg/l) a které vznikají při chloraci aminokyselin.

### 6.2.5 Sirovodík (sulfan)

Sirovodík (H<sub>2</sub>S) má typický pach po zkažených vejcích. Může pocházet z podzemní i povrchové vody a také v některých případech při ohřevu vody v bojlerech (ohřívacích vody). Více viz kapitoly 5.1, 5.2, 5.6 a 7.5. Práh vnímání byl stanoven na 1,1 µg/l (Bruchet, 2019).

### 6.2.6 Beta-jonon

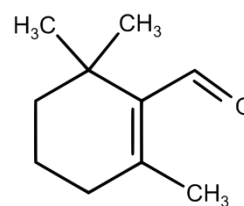
Jedná se o derivát karotenu, který je jednou z látek zodpovědných za vůni růží. Ve vodním prostředí (zdrojích povrchové surové vody) ho mohou produkovat někteří zástupci fytoplanktonu, např. v jednom ze švýcarských jezer byla spojována produkce beta-jononu s výskytem vláknité sinice *Planktothrix rubescens* (Peter a kol., 2009). V kolu pachů a chutí je uvedena pro beta-jonon vůně po fialkách.



Zdroj obrázku: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Jonony#/media/Soubor:Jonone.svg>

### 6.2.7 Beta-cyclocitral

Jedná se o derivát karotenu, který ve vodním prostředí produkují někteří zástupci fytoplanktonu (resp. vzniká při jejich rozkladu), jako jsou sinice *Microcystis*, různé zelené řasy (např. *Botryococcus*, *Chlorella*) či skrytěnky (*Rhodomonas*) (Watson a Jüttner, 2019). V kolu pachů a chutí je uveden pro beta-cyclocitral pach trávě, po senu, dřevě nebo po sladkém tabáku v závislosti na jeho koncentraci (Suffet a kol., 2019).



Zdroj obrázku: <https://en.wikipedia.org/wiki/%CE%92-Cyclocitral#/media/File:%CE%92-Cyclocitral.svg>

## 7 Možná preventivní a nápravná opatření

### 7.1 Úvod

Příčiny senzorických problémů se mohou nacházet v surové vodě nebo v kterémkoli místě výroby a distribuce pitné vody, v některých případech se jedná též o kombinaci více faktorů (např. v surové vodě i při úpravě vody ad.). Škála preventivních a nápravných opatření, popř. jejich kombinace je tedy poměrně široká, i když ne pro každý problém je na výběr z více alternativních opatření. Pokud však na výběr je, musí zvolené řešení vycházet z podrobné znalosti místních podmínek a možností daného provozovatele. Volba správného řešení musí být tedy místně specifická. Proto v této kapitole podáváme jen nástin možných opatření, protože jejich úplný výčet, včetně kombinací a popisu potřebných technických a provozních detailů by šel nad rámec této publikace. Podrobněji se věnujeme jen prevenci ukládání sedimentů a vzniku zákalu v distribuční síti, protože se jedná o univerzální problém, se kterým se setkává téměř každý provozovatel vodovodu.

Důležitým aspektem každého zvoleného řešení (opatření), který je v rámci systematického posuzování a řízení rizik vodovodu vyžadován, je monitorování účinnosti zvoleného opatření. To začíná výběrem příslušného provozního ukazatele či ukazatelů a metody a frekvence monitorování a nastavením jeho výstražných a kritických limitů. Součástí posouzení a řízení rizik vodovodu by měla být i validace zvoleného opatření.

### 7.2 Surová voda

Pokud se nejedná o nějaké jednorázové znečištění, které lze sanovat, nabízejí se v případě senzorických problémů u zdrojů podzemní vody, jež jsou dané přírodním charakterem zdroje, pouze dvě řešení: a) aplikovat adekvátní technologii úpravy vody, nebo b) zdroj opustit, pokud by byla úprava příliš složitá a nákladná a je-li na výběr z více zdrojů.

V případě zdroje povrchové vody, kde dochází k nadměrnému rozvoji sinic, řas, popř. dalších mikroorganismů produkujících pachotvorné látky, by byla ideálním řešením taková preventivní opatření v povodí a nádrži, která by rozvoj těchto organismů přirozeně omezovala (snížení eutrofizace). To je však řešení jednak dlouhodobé, jednak pro mnoho provozovatelů vodovodů těžko dosažitelné, nicméně informovat příslušný podnik Povodí o tomto problému by provozovatel vodovodu měl. Pokud by toto opatření bylo účinné (byť v horizontu několika let), do budoucna by to jak ušetřilo náklady na úpravu vody, tak snížilo pravděpodobnost výskytu senzorických problémů, protože ne každá úprava musí fungovat dokonale.

Dosažitelné je ale monitorování výskytu příslušných mikroorganismů v surové vodě vodárenských nádrží, kde má úpravna vody možnost měnit hloubku odběru, a odebírání surové vody z takové hloubky, kde je výskyt problémových organismů nejnižší. Zde pomůže znalost dlouhodobého chování nádrže podložená pravidelným monitoringem. Pokud se jedná o opravdu masový výskyt v celém vodním sloupci nebo není možné měnit hloubku odběru a technologie není k odstranění těchto organismů a pachotvorných látek (či jejich prekurzorů) uzpůsobena, je nejlepším řešením přepnout na záložní zdroj (kterým může být i sousední systém zásobování), pokud je takové řešení k dispozici. Někdy jako nouzové, dočasné opatření stačí jen míchat vodu v síti s jiným zdrojem, aby se koncentrace pachotvorných látek snížila pod přijatelnou hranici. Není-li k dispozici žádné z těchto řešení, musí se výrobce spoléhat na účinnou úpravu vody (Burlingame, 2011; Lauer, 2014). Samozřejmostí musí být ochrana zdrojů před preventabilním znečištěním pomocí ochranných pásem.

## 7.3 Úprava vody

U podzemních vod se sirným pachem bývá účinná prostá aerace (zatímco u povrchových vod s podobným pachem funguje jen zřídka). Samozřejmostí by u podzemních vod mělo být odstranění železa a manganu, pokud se nacházejí v množství, že by dále v distribuční síti mohly způsobovat problémy s barvou, zákalem nebo chutí vody. Má-li voda zvýšenou tendenci k tvorbě vodního kamene a je-li obsah vápníku, popř. i hořčíku vyšší než doporučené rozmezí, měl by provozovatel zvážit její úpravu (Kožíšek, 2022).

Úprava povrchové vody je komplexnější, a i když jako hlavní technologie k odstranění pachu či nepříjemné chuti vody je doporučována oxidace v různých podobách, strategie musí vycházet ze znalosti aktuálního stavu surové vody. Pokud jsou pachotvorné látky přítomné převážně uvnitř buněk, bylo by nerozumné nejprve aplikovat (před)oxidaci, která by buňky sice rozbila, ale na destrukci obsahu by již nemusela stačit. Proto je v takovém případě vhodnější zařadit oxidační stupeň až za koagulaci a filtraci. Oxidace se v tomto případě používá buď tradičně ve formě manganistanu draselného, chloru (v různých formách) nebo ozonu, který se považuje za zvláště účinný v případě geosminu a 2-MIB, nebo nověji ve formě pokročilých oxidačních procesů využívajících účinků hydroxylových radikálů (po kombinaci ozonu a  $H_2O_2$ , ozonu a UV záření nebo ozonu při vyšší hodnotě pH, tj. 8 až 9).

Na některé nositele pachu a nepříjemné chuti je účinné aktivní uhlí (obvykle ve formě filtrů s GAU) a biologické čištění (pomalá písková filtrace).

Na obtěžující pachy a chutě způsobené dezinfekčním přípravkem (ať už přímo, nebo po jeho reakci s vhodným prekursorem) je možné reagovat úpravou (snížením) jeho dávky nebo nahrazením jednoho oxidantu druhým (Burlingame, 2011; Lauer, 2014; Sutherland a kol., 2017).

Protože pach chloru a jeho sloučenin je jednou z nejčastějších příčin stížností, nejúčinnějším řešením je přechod na výrobu a distribuci pitné vody zcela bez chemické dezinfekce, která je v řadě evropských zemí úspěšně a bezpečně praktikována již půl století. Návod k tomuto kroku a podpůrné informace lze nalézt na webových stránkách SZÚ (SZÚ, 2023).

## 7.4 Distribuční síť

Prvořadou prevencí je použití nezávadných a hygienicky vhodných (tedy i z hlediska možného ovlivnění pachu a chuti vody) materiálů pro potrubí a další prvky distribuční sítě (vnitřní výstelky komor vodojemů, armatury, čerpadla ad.), včetně spojovacích prvků a maziv. Tedy výrobky, u kterých byla prokázána vhodnost pro styk s pitnou vodou. Pokud jsou vnitřní povrchy, výstelky potrubí či vodojemů aplikovány až in-situ, tedy na místě stavby (cementace nebo epoxidová výstelka), měl by provozovatel dohlížet na to, aby zhotovující firma přesně dodržela výrobní postup (přesné poměry složek, potřebná doba zrání...). Provozovatel pak musí před uvedením do provozu provést dostatečný proplach nebo oplach povrchů, aby se maximálně odstranily látky, které způsobují nežádoucí změny v pachu nebo chuti vody (Burlingame, 2011; Lauer, 2014; Sutherland a kol., 2017).

Udržováním přetlaku v síti a vhodná ochrana vodojemů proti kontaminaci zvenčí je nutnou ochranou proti externí kontaminaci distribuované vody. Odstranění či zaslepení slepých ramen, popř. jejich pravidelný proplach snižuje riziko nežádoucích biologických procesů v těchto částech sítě. Množství biofilmu v potrubí se snižuje výrobou biologicky stabilní vody (s obsahem asimilovatelného organického uhlíku /AOC/ méně než  $20 \mu\text{g/l}$ ) a distribucí vody bez chloru (který obvykle zvyšuje obsah AOC). Samozřejmostí musí být dodržení mikrobiologicky nezávadné vody u spotřebitele.

Důležitá je rovněž prevence vzniku sedimentu v síti (ať už účinným odstraněním železa a manganu na úpravně, nebo omezením sekundární koroze potrubí), resp. jeho pravidelné a řízené odstraňování. Tomuto opatření věnujeme samostatnou kapitolu 7.6 Možná preventivní a nápravná opatření v distribuční části vodovodu.

## 7.5 Vnitřní vodovod

Také u vnitřního vodovodu je hlavní prevencí senzorických problémů použití nezávadných a hygienicky vhodných materiálů jak pro samotné potrubí, tak pro armatury, spoje apod. V případě záměru instalovat měděné potrubí musí být dopředu ověřeno, zda je distribuovaná voda s mědí kompatibilní (viz požadavky ve vyhlášce č. 409/2005 Sb.). V případě záměru instalace domácí úpravy vody musí být ověřeno, že je zvoleno správné technologické řešení a zařízení, o jehož provoz je nutné průběžně pečovat. Po delší době stagnace vody, např. po dovolené, je nutné celý vnitřní vodovod řízeně propláchnout. Při navrhování nebo rekonstrukci vodovodu je nutné se vyhnout slepým ramenům (Burlingame, 2011; Lauer, 2014; Sutherland a kol., 2017).

Zařizovací předměty napojené na vodovod (myčka, pračka) musí být vybaveny armaturou zabráňující zpětnému toku (armatura by měla podléhat pravidelné kontrole funkčnosti!). V případě dvojího rozvodu vody je nutné dbát na to, aby nedošlo k propojení rozvodu pitné a nepitné vody – a to jednak odlišením potrubí obou rozvodů včetně odběrných míst (viz požadavky uvedené v ČSN EN 1717, ČSN EN 806-2 nebo ČSN 75 5409), jednak opatřením pro případ nutnosti dotování systému užitkové vody pitnou vodou, protože doplňování pitné vody se smí provádět výhradně pomocí volného výtoku podle ČSN EN 13076 (skupina A – druh A), nebo podle ČSN EN 13077 (skupina A – druh B) – čili beztlakově přes vzduchovou mezeru do akumulární nádrže vyčištěné užitkové vody, nikdy tedy přímo potrubím přes nějakou uzavírací armaturu.

### **Případová studie: nápravná opatření u sulfanového pachu**

Sulfanový (sirovodíkový) pach se může v domácnosti vyskytnout u studené i teplé vody a pro určení příčiny a zvolení nápravného opatření je potřeba zjistit jeho zdroj. Pokud se pach vyskytuje u studené vody (ve studni) a nejde o nějakou jednorázovou kontaminaci, kterou by bylo možné sanovat, aby pach zmizel, je jediným řešením úprava vody. Filtrace přes aktivní uhlí bývá účinná, je-li sulfanu méně než 1 mg/l. Dalšími možnostmi jsou různé formy oxidace: filtrace přes oxidační filtrační média (např. typu greensand) nebo kontinuální aerace, chlorace nebo ozonizace a filtrace (MDH, 2013).

Někdy se sulfanový zápach objevuje ve studené vodě nebo ve smíšené vodě na kohoutku, ale na rozdíl od předešlého případu, kdy je intenzita pachu víceméně stálá, intenzita kolísá, resp. je nejsilnější hned po otevření kohoutku a poté rychle slábne, popř. pach úplně zmizí. V takovém případě je příčinou pomnožení desulfurikačních bakterií v potrubí vnitřního vodovodu, obvykle tam, kde se jedná o korodující kovové potrubí, ale pach byl zaznamenán i v potrubí plastovém. Podobně se někdy projevuje pach pocházející z domácí úpravy vody (obvykle změkčovače, který se někdy nesprávně používá i pro odželeznění vody). Tam ale obvykle nejde o čistý sulfanový pach, ale směs (převážně) zatuchlého a sirného pachu. V případě pachu z potrubí je možným řešením jeho výměna nebo zavedení kontinuální dezinfekce za vodoměrem. Protože se ale většinou nejedná o závažný problém, nápravná opatření se přijímají jen výjimečně.

Sulfanový pach z teplé vody (ohříváče), jehož příčiny byly popsány v případové studii v předešlé kapitole, je možné řešit několikerým způsobem, avšak ne všechna řešení jsou stejně efektivní. Nejjednodušším řešením je přehřátí vody v ohříváči na 70–80 °C po dobu několika hodin, následované proplachem celého ohříváče, aby se odstranily zbytky sulfanu. Toto řešení však bývá účinné jen krátkodobě (2–3 týdny), protože vzhledem k všudypřítomnosti desulfurikačních bakterií dojde brzy opět ke kolonizaci ohříváče. Druhým nejjednodušším řešením je odstranění hořčíkové anody, které vede prakticky k okamžitému zastavení produkce sulfanu, ale ohříváč tím ztrácí protikorozi ochranu. Pokud je vnitřní smaltovaný povrch ohříváče vyroben velmi kvalitně, bez jediného kazu, nemusí to vadit. Ale pokud jsou ve smaltu jen drobné praskliny, za 2–3 týdny se začne projevovat koroze. Voda se začne zbarvovat do žluta, může se tvořit zákal a časem dojít k prorezivění zásobníku. Proto je lepším řešením nahradit hořčíkovou anodu elektrodou z jiného

materiálu – zinku nebo hliníku. Tyto kovy netvoří s ocelovým pláštěm zásobníku tak silný článek, takže se tvoří slabší elektrický proud, který stále chrání proti korozi, ale již nepodporuje tvorbu sulfanu.

Posledním možným řešením je zvýšení oxidačně redukčního potenciálu vody (ORP). Toho se dá dosáhnout kontinuální dezinfekcí chlorem nebo jiným oxidantem, což však není pro každého přijatelná volba – ať už z hlediska nákladů, nebo zdravotních rizik z vedlejších produktů dezinfekce. V případě veřejného vodovodu, který byl součástí šetření SZÚ a který vodu nijak nedezinfikoval, protože se jednalo o hluboký vrt mikrobiálně zcela nezávadný, stačilo do vodojemu instalovat malý aerátor (větší verze provzdušňovače používaného v akváriích), který vodu provzdušnil a zvýšil její ORP, takže k tvorbě sulfanu v ohřivačích u odběratelů již nedocházelo (Šašek a Kožíšek, 2022).

## 7.6 Možná preventivní a nápravná opatření v distribuční části vodovodu

Distribuční část vodovodu má na výslednou kvalitu dodávané pitné vody veliký vliv. Distribuční část zahrnuje vodojemy a přerušovací nádrže, čerpací stanice, přiváděcí a zásobní řady a zejména distribuční vodovodní síť. V této části vodovodního systému setrvává voda nejdelší dobu. U malých obecních vodovodů s délkou sítě 4 až 10 km se jedná cca o 3 až 7 dní. U větších vodárenských soustav s délkou sítě ve stovkách kilometrů potrubí trvá cesta vody distribuční částí i dva týdny. A voda, ač byla třeba odebrána z vysoce kvalitního zdroje či upravena vyspělými technologiemi, může svou vynikající kvalitu a příjemné sensorické vlastnosti během distribuce nenávratně ztratit vlivem dlouhého kontaktu s povrchy objektů a potrubí, které nejsou v dobrém technickém stavu nebo nejsou správně udržovány a pravidelně čištěny. Proto by měli provozovatelé věnovat distribuční části vodovodu náležitou pozornost a péči, protože **pouze nezávadným a čistým potrubím lze pitnou vodu dopravit spolehlivě a bezpečně až do místa spotřeby.**



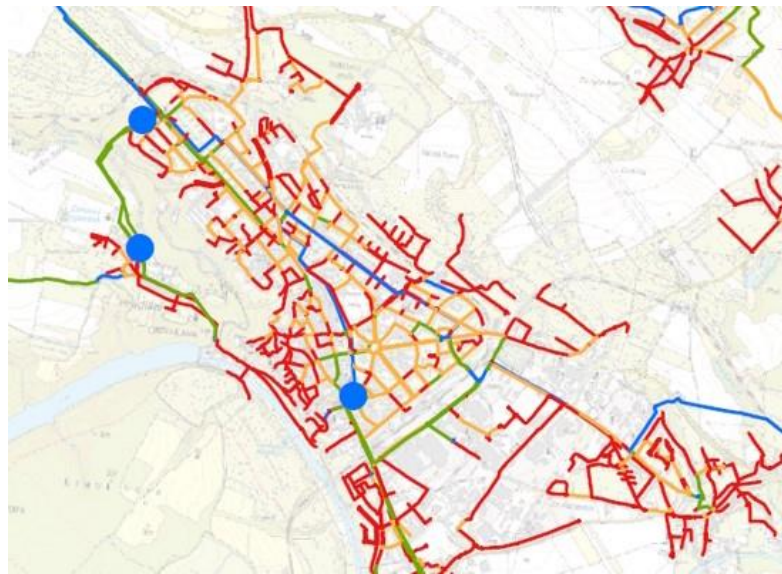
Obr. 7-1. Vzorky získané během řízeného proplachu potrubí. Černé sraženiny manganu (vlevo); oranžové produkty koroze kovových potrubí (uprostřed); kamínky, plastové špony z navrtávek, různorodé cizí předměty a části korodovaného materiálu kovových potrubí. Foto: Jan Ručka, VUT Brno.

### 7.6.1 Vliv hydraulických podmínek na kvalitu vody ve vodovodních sítích

Hydraulické podmínky, které ve vodovodní síti panují, mají na výslednou kvalitu vody významný vliv. Ideální stav z hlediska jakosti vody je takový, že voda v bezvadné kvalitě vstoupí do potrubí např. ve vodojemu a následně putuje bez zastavení až ke kohoutku spotřebitele, přičemž je po celou dobu v kontaktu výhradně s čistými povrchy potrubí a objektů. Toto je vysoce teoretická a lákavá



představa, bohužel na míle vzdálená realitě, viz obr. 7-1. Studie mnoha různých vodovodních sítí poukazují na fakt, že voda ve vodovodní síti proudí obvykle velmi pomalu. Nejvyšší rychlosti proudění v potrubí se v běžném vodovodu města či obce vyskytují obvykle večer mezi 19. a 21. hodinou, když jsou ve spotřebišti nejvyšší odběry vody. Průměrné rychlosti proudění vody v době této večerní špičky dosahují hodnot zhruba 0,10 m/s, přičemž ve 40 až 60 % úseků tato rychlost nedosahuje hodnoty ani 0,05 m/s, viz obr. 7-2. Jsou to velmi nízké rychlosti, které nedokáží zajistit samočisticí schopnost potrubí, tedy průběžné odplavování jemných částic. Pomalý pohyb vody navíc způsobuje dlouhé doby zdržení vody v potrubí. Po většinu dne jsou rychlosti ještě nižší a voda v potrubí téměř stagnuje, což je situace ve vodovodech českých měst a obcí poměrně běžná. Tento stav je zapříčiněn přítomností velkého počtu hydraulických okruhů a předimenzováním potrubí (Ručka a Lušovský, 2024). To zakládá příčinu k možnému zhoršení jakosti vody, zejména v senzorických ukazatelích.



Obr. 7-2. Příklad městského vodovodu, nejvyšší dosažené rychlosti v potrubí, výsledek hydraulické analýzy. Červeně jsou vyznačeny úseky potrubí s rychlostí  $\leq 0,05$  m/s (46,9 % délky sítě). Zdroj: Foto: VUT Brno.

Z pohledu hydraulických podmínek jsou problematické všechny úseky potrubí, kde dlouhodobě voda proudí rychlostí  $\leq 0,1$  m/s nebo zcela stagnuje. Jedná se o mrtvé konce potrubí, dlouhé přípojky, nadbytečné hydraulické okruhy, předimenzované úseky, úseky dočasně uzavřené z důvodů opravy aj. Tam všude může být v potrubí akumulováno velké množství jemného materiálu, který nazýváme sediment. K přesnému vyhodnocení tohoto jevu je však téměř nezbytné použití metod matematického modelování.

### 7.6.2 Jemný sediment ve vodovodním potrubí

Jemné částice sedimentu, které v potrubí přirozeně vznikají, a/nebo se do vodovodní sítě dostávají zvenčí, se z něj nedostávají průběžně ven, ale akumulují se uvnitř tak, že sedimentují na dně a stěnách potrubí. Sediment vzniká v potrubí korozí vnitřních povrchů, odlupováním biofilmu, doběhem chemických reakcí z úpravy vody, působením oxidačního činidla nebo jako sraženina narušením chemické rovnováhy ve vodě, viz obr. 7-3. Sediment se do potrubí může dostávat také z vnějšku, např. vlivem sufoze (mechanický odnos drobných půdních částic podzemní vodou) horninového prostředí z podzemního vodního zdroje, průnikem zeminy při poruše potrubí, při opravách, netěsnostmi potrubí při vzniku podtlaku, spadem atmosférických nečistot ze vzduchu na

nechráněné hladiny ve vodojemech a akumulacích nádržích (pyly, tráva, vlákna textilií, prachové částice zemin, výkaly ptáků a hlodavců, hmyz).

Velikost částic sedimentu, které se v distribuční síti vyskytují, závisí také na použité technologii úpravy vody. Mikrofiltrací se odstraní částice až velikosti cca  $1 \cdot 10^{-7}$  m, reverzní osmózou zrna o průměru  $< 1,10^{-9}$  m. V ČR nejběžněji používanou otevřenou nebo tlakovou filtrací lze odstranit částice do průměru  $1,10^{-4}$  až  $3,10^{-5}$  m (Biela a Beránek, 2004). Převládající velikost částic zákalu v pitné vodě je  $< 5,10^{-5}$  m s průměrným zrnem  $1,10^{-5}$  m a také s podstatným množstvím částic pod  $5 \cdot 10^{-6}$  m (Vreeburg, 2006).



Obr. 7-3. Minerální sediment, vápenatá sraženina zbarvená železem vzniklá narušením chemické rovnováhy vody. Vzorek získaný řízeným proplachem potrubí. Foto: Jan Ručka, VUT Brno.

Sediment má velký specifický povrch a je vysoce mobilní. V tom spočívá mechanismus jeho negativního vlivu na kvalitu vody, který můžeme definovat jako trvale negativní s občasným excesivním projevem. Svým velkým povrchem má sediment značný potenciál negativně ovlivnit chuť a pach vody, se kterou je v kontaktu. Navíc poskytuje útočiště a úkryt bakteriím, které na povrchu částic tvoří biofilm. Přispívá tak trvale ke zhoršování kvality vody a urychluje rozklad volného chloru ve vodě. Ve specifických případech, kdy je sedimentu velké množství, může docházet až k ucpávání potrubí, což se projevuje kolísáním tlaků. Takový případ dokumentuje obr. 7-3. Při náhlém zvýšení rychlosti vody v potrubí pak dochází k intenzivnější zákalové události (náhodný exces), kdy se sediment rozvíří a jemné částičky jsou společně s proudící vodou unášeny potrubím. Pak vzniká zákalová událost, kdy dochází k překročení limitní hodnoty zákalu i barvy, které si již všimne větší počet spotřebitelů. O sedimentu lze jednoznačně prohlásit, že jeho přítomnost v potrubí je nežádoucí.

### 7.6.3 Vliv změny klimatu na kvalitu vody ve vodovodních sítích

V kontextu měnícího se klimatu lze v budoucnosti pravděpodobně očekávat také změny chování spotřebitelů. Lze předpokládat, že s rostoucí dostupností technologií pro zachytávání a úpravu vody srážkové a šedé budou tyto vody v nemovitostech využívány více než nyní. Pro vybrané účely použití (např. závlaha zeleně a splachování toalet) budou postupně nahrazovat vodu pitnou. Pak by mohlo dojít k poklesu spotřeby pitné vody z veřejných vodovodů a k dalšímu snížení rychlosti proudění vody v potrubí a prodloužení doby zdržení. Tento výhled je pozitivní s ohledem na životní prostředí a vodní zdroje, není však příznivým scénářem pro správnou funkci vodovodních sítí. Čím delší dobu voda v potrubí stráví, tím vyšší je pravděpodobnost, že dojde k negativní změně její

kvality proto, že je delší dobu v kontaktu s povrchy potrubí a objektů, které nejsou dokonale čisté, jsou v nevyhovujícím technickém stavu nebo jsou z nevhodných materiálů.

Mění se klima se v podmínkách ČR projevuje mimo jiné také zvýšením průměrné teploty prostředí. Pozorujeme častější výskyt dlouhotrvajících vysokých teplot vzduchu, kdy dochází k prohřátí povrchů terénu a také půdy až do hloubek, kde je uloženo vodovodní potrubí. Teplota půdy v hloubce 1 m v letních měsících může dosáhnout až 25 °C (Blokker, 2013). Potrubí vodovodu a voda v něm se od zemního podloží v létě ohřívají. Voda v potrubí má teplotu velmi podobnou teplotě půdy v okolí potrubí. Pokud je to možné, je vhodné **se vyhnout umístování potrubí do míst s vyšší sluneční intenzitou a volit spíše oblast se zástínem**. Nejvyšších teplot v potrubí voda dosahuje v těch místech, kde je povrch terénu vystaven celodennímu svitu slunce zcela bez zastínění.

Vyšší teplota vody podporuje metabolismus a činnost mikroorganismů, urychluje tvorbu biofilmů, urychluje rozklad volného chloru ve vodě a zvyšuje intenzitu vnímání chuti a pachu dopravované vody u spotřebitelů. Světová zdravotnická organizace definovala jako limitní teplotu vody 25 °C, zejména s ohledem na rozvoj bakterií rodu *Legionella*. Doporučuje však usilovat o teplotu vody do 20 °C (WHO, 2022). Vyhláška 252/2004 Sb., ve znění pozdějších předpisů, doporučuje teplotu pitné vody v rozmezí 8 až 12 °C. V letním období bývá teplota vody 12 °C ve vodovodech běžně překračována, což samo o sobě nemusí znamenat problém. Problematickou se doprava vody potrubím může stát v případě, dojde-li k souběhu více faktorů, které mají na kvalitu vody negativní vliv. Tedy když dojde ke zvýšení doby zdržení a současně k prohřátí vody, přičemž tato voda bude biologicky nestabilní nebo bude v potrubí přítomno příliš mnoho materiálu v podobě jemných sedimentů. Při takové kombinaci lze očekávat také vyšší výskyt stížností a nevyhovujících výsledků rozborů vody.

Není však racionálním přístupem snažit se zvyšovat spotřebu vody z vodovodu a jít tak proti současnému ekologickému trendu. Rozumnější je akceptovat nové podmínky a zohlednit je při návrhu nových, resp. provozování a rekonstrukci stávajících sítí formou opatření, která stručně shrnuje následující text.

#### 7.6.4 Opatření pro prevenci a nápravu zhoršené kvality vody během distribuce

V případě distribuční části vodovodu již nelze hovořit o možnostech „zvýšení kvality vody“. Z technického hlediska lze provést několik preventivních opatření, která vedou k tomu, že se kvalita vody nebude zásadně zhoršovat, případně se provedením nápravných opatření vrátí do obvyklých limitů sledovaných ukazatelů.

Opatření reflektují příčinu problému a lze je rozdělit na preventivní, která se snaží problémům předcházet, a nápravná, která provozovatel realizuje, až když problém vznikne. Dále lze opatření vnímat jako dlouhodobá, spíše strategického charakteru, a opatření rychlá, okamžitá, která reagují na vzniklý problém. Z hlediska efektivity využití lidských zdrojů a finančních prostředků je racionální provádět většinu opatření preventivně.

Podrobná analýza příčin a následků je potom předmětem analýzy a **posouzení rizik**, kterou provozovatelé veřejných vodovodů povinně zpracovávají dle ustanovení zákona č. 258/2000 Sb. a vyhlášky č. 252/2004 Sb., oboje ve znění pozdějších předpisů. Zásadní roli při takové analýze sehrává schopnost osob, které ji provádějí, představit si, co všechno by se mohlo stát, případně jaké mohou být následky jevů, situací a poruch, které pozorují. Rozhodující vliv na kvalitu posouzení má tedy vzdělání a zkušenost těchto lidí. Pro tyto účely byla v minulosti vypracována metodika pro posouzení rizik veřejných vodovodů WaterRisk, která nabízí poměrně podrobně propracované metodické listy pro hodnocení příčin a následků a zejména seznamy poruch, které se mají hodnotit. Tím je zajištěno, že se při hodnocení žádné významné problémy nepřehlédnou. Metodika byla aplikována do podoby softwarové aplikace (expertní systém) WaterRisk.cz, která je dnes již v běžném komerčním provozu a je vodárenskými společnostmi široce využívána. Jinak lze též

využit seznamy nebezpečí, které zveřejnil Státní zdravotní ústav v rámci metodické podpory pro posouzení a řízení rizik.<sup>6</sup>

Rozhodující vliv na kvalitu vody mají akumulární nádrže a potrubí, protože zde voda setrvává během své dopravy nejdelší dobu. Proto by také měla být opatření směřována v první řadě sem.

#### 7.6.4.1 Opatření ve vodojemech a přerušovacích nádržích

Vodojemy a přerušovací nádrže akumulují vodu, která zde z principu po určitý čas stagnuje. Po tuto dobu se má zajistit, že se její kvalita nezhorší následujícími způsoby:

- prohřátím vody vlivem působení slunečního svitu a vysokých letních teplot,
- kontaktem s neudržovanými povrchy nádrže (biofilm, sediment, korodované vstrojení akumulární nádrže),
- vzdušnou kontaminací nečistotami ze vzduchu a činností hmyzu,
- průsakem srážkové či podzemní vody do nádrže přes konstrukci objektu,
- vlivem příliš dlouhé stagnace ve vodojemu.

Opatření vycházejí z technických možností a způsobu předcházení, resp. řešení příčiny problému. Teplota vody ve vodovodní síti i v jednotlivých objektech se má monitorovat tak, aby bylo možno detekovat nežádoucí **ohřívání vody v akumulární nádrži**. Pokud dochází k ohřívání vody, pak je nezbytné objekt tepelně izolovat.

Akumulární nádrže se mají **pravidelně čistit** s frekvencí podle provozního řádu. Doporučená četnost čištění se obecně stanovuje obtížně, protože ji ovlivňuje kvalita dopravované vody a technický stav objektu. Jako maximum lze doporučit čištění nádrží nejdéle 1krát za 3 až 5 let. Při čištění je nezbytné odstraňovat sediment na dně a viditelné nárosty (např. řas či vodního kamene) na stěnách nádrže, které se tvoří nejvíce v místě pohybu hladiny v nádrži. Současně je velmi vhodné při čištění kontrolovat technický stav povrchů, praskliny, korozi a průsaky do nádrže.



Obr. 7-4. Ventilační potrubí v objektu vodojemu s osazeným vyměnitelným filtrem vzduchu, příklad dobré praxe. Foto: Jan Ručka, VUT Brno.

Technickými prostředky se má důsledně **bránit vzdušné kontaminaci** vody v nádrži. Musí se filtrovat všechny vzduch, který je do nádrže přiváděn. K tomu slouží ventilační systém s osazeným filtrem, který se má pravidelně měnit, viz obr. 7-4. Výdechy ventilace na fasádě objektu je nezbytné

<sup>6</sup> SZÚ. (2023). Pitná voda bez chloru. Dostupné z: <https://szu.cz/temata-zdravi-a-bezpecnosti/zivotni-prostredi/kvalita-vody/pitna-voda/pitna-voda-bez-chloru>

opatřit zvenčí síťkou proti hmyzu a pevnou mřížkou proti mechanickému poškození. Současně je nezbytné vzduchotěsně uzavírat ostatní vstupní otvory do nádrže, např. vstupní dveře, viz obr. 7-5. Tyto technické zásady upravuje ČSN 75 5355 Vodojemy.



Obr. 7-5. Příklad dobré praxe řešení vstupu do akumulční nádrže vodojemu z armaturní komory: práh i poklop jsou zhotoveny z nerezavějícího kompozitního materiálu, kolem vstupu je neprášivá omyvatelná dlažba, vzduchotěsné těsnění vstupního otvoru, elektronická detekce otevření poklopu s přenosem na centrální pult, visací zámek, vyvýšený práh kolem otvoru. Foto: Jan Ručka, VUT Brno.

Je nezbytné monitorovat **průsak podzemní vody do nádrže prasklinami** ve stropě a stěnách a bránit jeho vzniku. Průsak lze detekovat během čištění nádrže vodojemu vizuální kontrolou spár ve stropním betonu, zda z něj nerostou krápníčky nebo zda se na povrchu betonu netvoří barevné mapy. Také se osvědčuje po dešti ověřit v akumulční nádrži poslechem, zda ze stropu na hladinu nekape voda.

**Využitelný objem** zásobního vodojemu má být nejméně 60 % maximální denní spotřeby vody daného spotřebiště, jak stanoví ČSN 75 5355 Vodojemy. Prakticky se osvědčuje, aby zásoba vody ve vodojemu nepřesahovala spotřebu daného spotřebiště přibližně na dva dny, aby nedocházelo k nadměrné stagnaci vody v nádrži. V případě, že byl v minulosti vodojem vybudován nadměrně veliký, lze doporučit (a běžně se provádí) dodatečné snížení úrovně horní provozní hladiny tak, aby se dosáhlo požadovaného snížení využitelného objemu. Současně je dobrou praxí neudržovat vodojem neustále plný, ale umožnit pohyb hladiny vody v nádrži tak, jak se u zásobního vodojemu předpokládá. To znamená, že přes den, kdy je odběr vody ve spotřebišti vyšší než přítok vody do vodojemu ze zdroje, se vodojem prázdní a hladina klesá. V noci, kdy je spotřeba nižší, se nádrž plní a hladina stoupá. Tím se docílí lepšího promíchání a výměny vody v nádrži. Pro míchání a prevenci mrtvých koutů je také důležité zajistit, aby byla přítoková a odběrná potrubí umístěna v protilehlých rozích nádrže, aby se voda nuceně míchala a nedocházelo ke zkratovým proudům.

#### 7.6.4.2 Preventivní opatření proti akumulaci sedimentu ve vodovodní síti

Preventivní opatření proti akumulaci sedimentu v potrubí lze rozdělit do tří nejvýznamnějších oblastí:

- dokonalá úprava vody – je nezbytné z vody odstranit nejen většinu nerozpuštěných látek, ale také látky, které jsou ve vodě rozpuštěné a u kterých by mohlo dojít k jejich dodatečnému

vysrážení během distribuce vody. Typicky se jedná například o železo a mangan, které bývají často obsaženy v podzemní vodě;

- používání vhodného materiálu potrubí, který nepodléhá korozi;
- racionální návrh topologie vodovodní sítě.

Optimalizaci topologie vodovodní sítě by se měla věnovat pozornost již při návrhu nebo ve fázi jejího dodatečného hydraulického posouzení, např. během zpracování generelu. Je optimální navrhovat dimenze potrubí tak, aby se v každém úseku potrubí pravidelně vyskytovala rychlost  $\geq 0,25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , která zajišťuje pravidelný odnos jemných částic ven z potrubí tak, že jejich rozvířením nedochází k překračování limitu pro zákal v pitné vodě u spotřebitele  $5 ZF_n$ .

Také je vhodné odůvodnit každý **hydraulický okruh** na síti a posoudit, zda je jeho existence přínosem pro hydraulickou kapacitu či spolehlivost vodovodní sítě. K tomu je vhodné využít nástroje hydraulické analýzy. Hydraulický okruh plní ve vodovodní síti funkci hydraulické zálohy pro případ odstávky nebo poruchy řadu. Svou roli tedy naplno sehraje pouze v ojedinělých situacích. Jeho trvalým negativním vlivem po celou dobu jeho životnosti je však vznik předimenzovaných částí sítě, kde voda zpomalí či zcela stagnuje. Při návrhu topologie vodovodní sítě by tedy mělo být provedeno vědomé rozhodnutí, zda je daný hydraulický okruh nezbytný a zda jeho negativní dopad na kvalitu vody bude v dostatečné míře vykompenzován získanou spolehlivostí sítě, která je v daném konkrétním místě potřebná. Okruhy se například navrhují tam, kde jsou na vodovod napojeni citliví odběratelé (např. nemocnice) či významné podniky, kde přerušением zásobování vodou vznikají významné ekonomické škody. Jako příklad pro nastavení rozhodovacího procesu, zda daný hydraulický okruh navrhnout či nikoli, lze uvést hranici 500 obyvatel. Pokud v dané zásobované oblasti odebírá vodu 500 obyvatel a více (nebo ekvivalentní odběr např. průmyslu či je zde napojen citlivý odběratel), potom lze tuto lokalitu zásobovat ze dvou směrů hydraulickým okruhem pro dosažení vyšší spolehlivosti. Lokality menší než 500 obyvatel se pak zásobují pouze z jednoho směru, tedy sítí větvenou.

Samostatnou problematikou jsou **koncové úseky řadů**, kde voda proudí velmi pomalu a její kvalita degraduje nejvíce. Provozní zkušenosti ukazují, že právě koncové části potrubí, kde je připojeno jen několik málo nemovitostí, generují problémy spojené s kvalitou vody a vyžadují největší údržbu. V této souvislosti stojí tedy za zvážení, zda je dobrou praxí a nezbytné, aby až do úplného konce ulice bylo vedeno potrubí v dimenzi DN80, jak se obvykle navrhuje. Jako výhodnější se ukazuje řešení, kdy 200 m před poslední nemovitostí je osazen poslední hydrant definovaný jako požární, pokud vodovod plní požární funkci. Od toho hydrantu dále směrem ke konci řadu již pro posledních několik rodinných domů může pokračovat potrubí v dimenzi DN50, resp. d63 s tím, že na konci řadu je osazen standardní hydrant DN80 pro zajištění údržby sítě.

Je potřeba zdůraznit, že rozhodnutí o dimenzích řadů a budování hydraulických okruhů mají být vědomá a odborná, optimálně podložena hydraulickým výpočtem s uvážením budoucí zástavby dle územního plánu. Pokud není možné aplikovat výše uvedená preventivní opatření, pak je nezbytné množství sedimentu v potrubí redukovat pravidelným proplachem potrubí a potrubí čistit. Platí totiž, že sediment je běžnou součástí vnitřního prostředí vodovodního potrubí a jeho vzniku v potrubí, resp. vniku do potrubí zvenčí v praktickém provozu v podstatě nelze zabránit.

#### 7.6.4.3 Nápravné opatření – čištění potrubí metodou řízeného proplachování po úsecích

Čištění vodovodního potrubí je činností běžné údržby vodovodní sítě, která má za úkol zajistit čistotu vnitřních povrchů potrubí a udržovat hydraulickou kapacitu potrubí. Většina provozovatelů potrubí čistí na základě svých zkušeností a v rozsahu svých možností. Některé vodárenské společnosti si vyvinuly svoje postupy, nástroje a zařízení pro proplachování potrubí a běžně je používají. Čištění potrubí je činnost časově náročná. Frekvence čištění vychází z empirických zkušeností provozních techniků a obvykle reflektuje stížnosti odběratelů na jakost pitné vody. Praxe je velmi různá a liší se mezi jednotlivými vodárenskými společnostmi, ale i mezi jednotlivými provozovatelé, resp. četami v rámci jedné provozní společnosti. V této činnosti lze nalézt veliký prostor

pro standardizaci, zlepšení a optimalizaci. Prostor pro zlepšení je také v technickém vybavení pracovních čtí, jejich vzdělávání, automatizaci jejich práce a systematizaci údržby. Literatura uvádí více typů proplachu, resp. metod, jak se proplach provádí. Od některých dříve používaných metod se již upustilo. Kromě toho existuje také celá řada metod pro mechanické čištění potrubí protahováním, škrabáky, ledovou tříští atd. Tyto metody se ovšem neprovádějí za provozu. Jejich aplikaci předchází projektová příprava a odstavení potrubí z provozu.



Obr. 7-6. Technologie pro čištění vodovodního potrubí, testování požárních hydrantů a měření teploty vody v potrubí (Ručka, 2024). Foto: Jan Ručka, VUT Brno.

Jednou z metod je čištění potrubí řízeným proplachováním po úsecích, která byla od roku 2012 vyvíjena a postupně zdokonalována pracovníky na Fakultě stavební Vysokého učení technického v Brně. Následně v letech 2019 až 2021 bylo pro tento záměr zkonstruováno strojní zařízení (robot), které umožňuje vodárenským společnostem provádět tuto formu čištění potrubí v běžném provozu zcela samostatně. Zařízení, kterému poskytuje výpočetní podporu speciální server, bylo v září 2023 uvedeno na český trh a některé vodárenské společnosti je již zavádějí do svého provozu (Ručka a kol., 2024). Jedná se o aplikovaný výsledek řešení několika projektů Technologické agentury České republiky (TA ČR).

Cílem této technologie je vypláchnout ven z potrubí jemný nezpevněný sediment, který se v něm přirozeně tvoří a ulpívá na jeho stěnách a dně. Potrubí se proplachuje systematickým řízeným vypouštěním vody z vodovodních hydrantů. Žádné čisticí předměty, škrabky atd. se nepoužívají. Využívá se pouze regulovaného proudění pitné vody z vodojemu a její hydraulické síly. Proplach se provádí přesně, efektivně a s minimálním množstvím spotřebované vody. Ihned po provedení proplachu je voda ve vodovodu opět pitná. Proplach se provádí za plného provozu vodovodu. Aby se docílilo optimálního efektu, je velmi vhodné se připravit a sestavit nejprve proplachovací plán vodovodu.

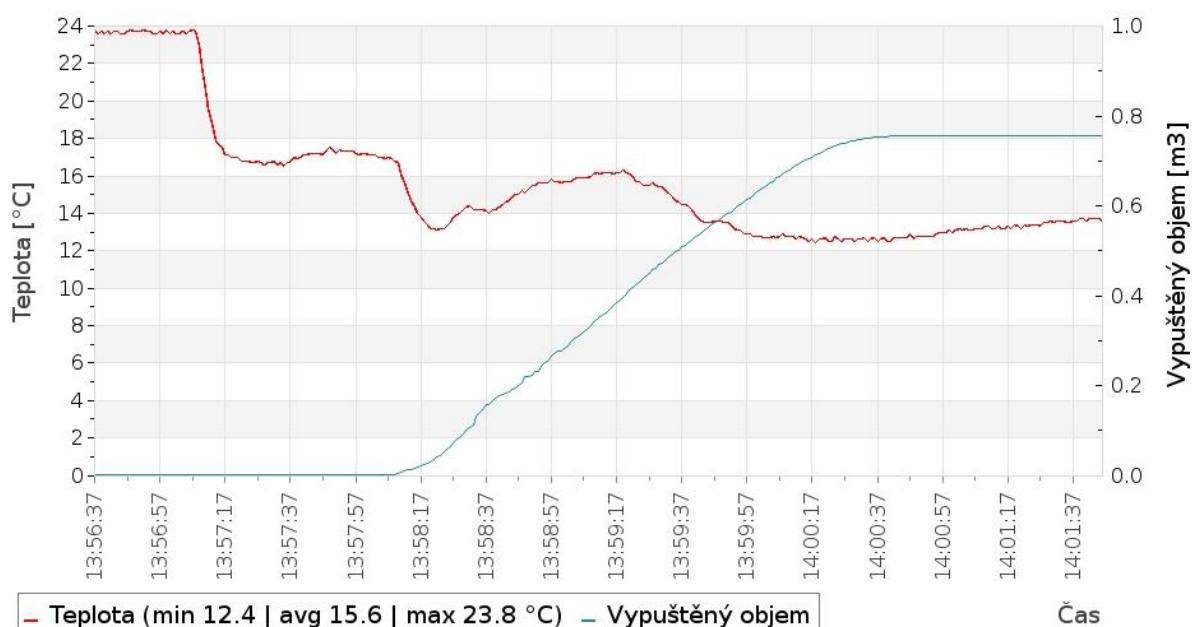
Tato metoda má následující, poměrně jednoduché zásady:

- 1) Vyčistit vodojem.
- 2) Vodovodní síť rozdělit na úseky dlouhé cca 200–500 m, které se budou proplachovat najednou. Přiváděcí a zásobovací řady, kde nejsou přípojky, mohou být i delší.
- 3) Proplachovat výhradně čistou vodou a výhradně přes potrubí, které je již čisté.
- 4) Zajistit jednosměrné proudění – je nutno manipulovat s uzávěry na síti a uzavírat hydraulické okruhy.
- 5) Dosáhnout optimální rychlosti proudění vody v potrubí.

- 6) Při proplachu nedovolit úplnou ztrátu přetlaku vody v hydrantu – nikdy neotevřít hydranty naplno. Dochází tím ke ztrátě přetlaku v potrubí, který jinak tvoří důležitou ochrannou bariéru proti kontaminaci vody v potrubí nečistotami zvenčí.

Při důsledném dodržování těchto pravidel se daří dosahovat dobrých výsledků. Metoda je díky systematickému postupu poměrně rychlá, účinná a úsporná na spotřebu proplachovací vody. V rámci přípravy na proplach není třeba vytvářet hydraulický model, ani provádět žádné jiné výpočty. Pouze se do mapy vodovodní sítě rozvrhnou jednotlivé úseky, jak se mají proplachovat dle zásad uvedených výše. Robot si v terénu parametry proplachu vypočítá sám na základě informací, které mu obsluha zadá z mapy vodovodní sítě (délka úseku, materiál potrubí, dimenze a hodnota nejnižšího přípustného tlaku, pod který se nesmí během proplachu klesnout). S popsanou technologií dokáží dva lidé za pracovní směnu řízeně propláchnout cca 3 km potrubí. Na proplach potrubí přitom spotřebují pouze 30 až 40 % objemu vody, který se využívá při stávající praxi. Současně nedochází k nežádoucím poklesům tlaků v potrubí a porušení bezpečnostní bariéry, kterou vodovod v podobě vnitřního přetlaku má, která brání kontaminaci vody v potrubí zvenčí.

### Záznam z proplachu - dle topologie



Obr. 7-7. Technologie na proplach potrubí – záznam průběhu teploty vody po délce potrubí proplachovaného úseku, standardní součást reportu z proplachu. Foto: VUT Brno.

Velikou výhodou je, že při této činnosti dojde k současnému plnění dalších úkolů. Na každém navštíveném hydrantu lze po provedení proplachu spustit automatický hydrantový test, kdy zařízení zcela automaticky test provede, následně z dat vygeneruje protokol a v editovatelné podobě (\*.doc) jej odešle do emailu uživateli. Na konci každého pracovního dne odesílá server mailem uživateli link pro stažení kompletních naměřených dat ze stroje. Data jsou strukturována tak, že se vztahují k jednotlivým proplachovaným úsekům a vždy se jedná o csv soubor a přiložený graf tlaku, průtoku a teploty vody, viz obr. 7-7. Tato data může uživatel využít např. pro monitoring teploty vody po celé délce potrubí, pro přesnou kalibraci hydraulického modelu, pro evidenci práce jednotlivých pracovních čet či někdy v budoucnu např. jako podklad pro projektanty.

Řízené proplachování po úsecích a technologie, která jej aplikuje do provozní praxe, nabízí provozovatelům možnost, jak zefektivnit údržbu vodovodní sítě. Jedná se o nástroj, resp. aplikaci metody údržby vodovodní sítě, která nabízí přiměřenou míru automatizace, je bezpečná, efektivní a umožňuje provozním technikům dosahovat požadovaných výsledků.



## 8 Senzorické závady vody a zdravotní rizika

Provozovatelé vodovodů obvykle zastávají názor, že nevyhovující vzhled, pach nebo chuť vody jsou sice nepříjemné z hlediska stížností spotřebitelů a rizika pošramocení firemní pověsti, ale že z hlediska dodržování legislativních hygienických požadavků nejde o nic dramatického, protože s těmito jevy je spojeno jen nízké, pokud vůbec nějaké zdravotní riziko. Tento názor se opírá např. o představu, že voda zakalená železitým sedimentem nemůže škodit, protože železo je esenciální, pro zdraví člověka nezbytný prvek, nebo o skutečnost, že většina pachotvorných látek má nižší práh pachový/chuťový než toxikologický (limitní hodnotu odvozenou z hlediska vlivu na zdraví) a že tedy spotřebitelé díky svým smyslům vodu přestanou pít dříve, než by jim mohla ublížit.

Je pravda, že **nevyhovující organoleptické vlastnosti vody se obvykle nepojí s ohrožením zdraví, ale to neznamená, že to lze považovat za pravidlo**, na jehož základě nebude provozovatel přistupovat ke stížnostem na tyto vlastnosti s plnou vážností a naléhavostí. Existují totiž výjimky, kdy obvyklý stav neplatí a zhoršený pach, chuť nebo vzhled vody indikuje akutní a vážné ohrožení zdraví. Typickým příkladem je hnilobný pach, který může signalizovat přímé znečištění pitné vody odpadní vodou s fekáliemi, a tedy riziko průjmového onemocnění, které – podle druhu přítomných patogenů – může mít i podobu velmi vážného onemocnění s fatálními nebo trvalými následky. Někdy může být hnilobný pach slabší nebo maskovaný pachem chloru a pak jediným smyslovým indikátorem vniku odpadní vody může být jen mírný zákal.

Pro mnoho těkavých látek, např. průmyslových rozpouštědel, platí, že pachový nebo chuťový práh (odour threshold concentration – OTC, taste threshold concentration – TTC) je mnohem nižší, nejméně o řád, než zdravotně odvozená limitní hodnota. Ale opět to neplatí bez výjimky, zejména u látek, u nichž je OTC uváděn ve velmi širokém rozmezí, které odráží jak velkou variabilitu ve vnímání mezi různými jedinci, tak vliv různého minerálního složení vody na OTC/TTC. Příkladem může být toluen, u kterého se OTC uvádí v rozmezí 24 až 960 µg/l (Young a kol., 1996) a zdravotně odvozená limitní hodnota podle WHO je 700 µg/l (WHO, 2022). Zde vidíme, že pro část populace, jejíž OTC bude vyšší než 700 µg/l, nemusí podat jejich smysly včasné varování před konzumací vody již potenciálně zdraví ohrožující. Proto se uvádí, že na smyslovou výstrahu se můžeme zcela spoléhat jen u látek, kde se bezpečnostní rozpětí mezi OTC/TTC a zdravotně odvozenou limitní hodnotou pohybuje na hodnotě 100 a více (Akcaalan a kol., 2022), jinými slovy, kde zdravotně odvozená limitní hodnota je nejméně 100krát vyšší než OTC/TTC.

Jiným příkladem může být směs látek produkovaná vodními organismy, jako jsou sinice (*Cyanobacteria*), aktinomycety, myxobakterie či mikromycety (plísňe). Význačnými zástupci této směsi jsou organické látky geosmin a 2-MIB, které jsou často uváděny jako původci pachových problémů (zemitý, zatuchlý pach). Ve vodě se však nevyskytují v množství, které by bylo považováno za zdravotně rizikové. Na druhou stranu se musí považovat za možné indikátory přítomnosti toxinů a jiných sekundárních biologicky aktivních látek produkovaných těmito organismy, a proto je při jejich výskytu v pitné vodě nutné začít zkoumat složení organismů ve zdroji, zda mezi nimi nejsou i druhy, které by mohly produkovat toxiny. A pokud ano, ověřit přítomnost těchto toxinů v pitné vodě a posoudit jejich zdravotní riziko (Manganelli a kol., 2023).

**Pravidlem, než bude učiněn nějaký závěr či vydáno prohlášení k veřejnosti o tom, že voda se senzorickými problémy je nezávadná a odpovídá požadavkům zákona a vyhlášky, musí být předchozí nezbytná identifikace toho, jaká látka či látky jsou za problém s pachem či chutí odpovědné** (Kaloudis, 2021). Protože s velkou pravděpodobností půjde o látky neupravené vyhláškou, musí jejich výskyt provozovatel vodovodu oznámit orgánu ochrany veřejného zdraví (podle § 4 odst. 5 zákona č. 258/2000 Sb., ve znění pozdějších předpisů), který posoudí jejich zdravotní riziko a v případě potřeby rozhodne o limitní hodnotě. Pokud je výskyt látek pod touto hodnotou nebo hodnotami, lze vydat prohlášení o nezávadnosti pitné vody. Je důležité mít na paměti, že pro to, aby mohl orgán rozhodnout o adekvátní limitní hodnotě, potřebuje vědět, jak

dlouho asi trvá nebo bude trvat expozice těmto látkám. Právě podle toho totiž může být stanovena krátkodobá mírnější, nebo dlouhodobá přísnější limitní hodnota.

Závěrem se ještě vraťme k železu zmíněnému na úvod této kapitoly. I když se nesporně o esenciální nutrient jedná, v poslední době se množí důkazy, že jeho zvýšený příjem má negativní účinek na zdraví (protože působí jako katalyzátor oxidačního stresu, který podporuje zánětlivé procesy v těle a zvyšuje pravděpodobnost vzniku mutací buněk), pomineme-li vůbec skutečnost, že v některých formách ho organismus ani pozitivně využít neumí.

Jeho limit v pitné vodě (0,2 mg/l) je stanoven právě s ohledem na organoleptické vlastnosti vody (prevence zbarvení vody, vzniku zákalu i překročení chuťového prahu, který se v pitné vodě pohybuje mezi 0,1 a 0,3 mg/l – WHO, 2003b). Nicméně některé studie naznačují, že účinek na zdraví mají pravděpodobně i koncentrace ještě nižší, než je stanovený limit. Norská studie ukázala, že v oblastech zásobovaných vodou o obsahu železa vyšším než 0,1 mg/l byl hlášen o 21 % vyšší výskyt autoimunních zánětlivých střevních chorob, včetně ulcerózní kolitidy a Crohnovy nemoci, v porovnání s oblastmi, kde se obsah železa pohyboval do 0,1 mg/l (Aamodt a kol, 2008). Zde vidíme, že v některých případech je hranice mezi dopadem na sensoriku a dopadem na zdraví velmi tenká nebo dokonce nezřetelná.

## 9 Komunikace a spolupráce se spotřebiteli a samosprávou

Zmíněná příručka (Kožíšek a kol., 2023) v kapitole „Způsoby komunikace“ připomíná důležitost správné komunikace se spotřebiteli pro zvyšování jejich důvěry v kvalitu kohoutkové vody. Důležitost správné komunikace prudce vzrůstá ve chvíli, kdy dojde při zásobování vodou k nějakému problému a voda přestane téci, vykazuje smyslové závady nebo rozbor prokáže její závadnost. Komunikovat správně veřejnosti riziko nebo nějaký problém se ukázalo být stejně důležité jako laboratorní rozbor nebo technické řešení problému (Hyer a Covello, 2005). Krizová komunikace se stala samostatným oborem lidské činnosti, ve kterém se lze vzdělávat, lze se na ni připravovat a plánovat ji. V případě vodárenství by však bylo chybou spoléhat se jen na – byť dokonale zvládnutou – retroaktivní, okolnostmi vynucenou krizovou komunikaci. Pro její úspěch je totiž nezbytné, aby lidé považovali vodárenskou společnost za spolehlivý a důvěryhodný zdroj informací – a tato důvěryhodnost se obvykle nezíská ve chvíli krizové komunikace, ale musí se vybudovat dávno předtím (AWWA, 2020; Burlingame a kol., 2019).

Důvěryhodnost se získává dlouhodobou proaktivní komunikací se zákazníky a spotřebiteli. Nejlepší její formou je samozřejmě nepřetržitá dodávka nezávadné a pro spotřebitele senzoricky přitažlivé vody, která nezavdává žádný důvod k nespokojenosti nebo pochybnosti. Nutné jsou ale i aktivní formy kontaktu: informování o odstávkách, o kvalitě vody, o rozvoji a údržbě vodovodu včetně činností, které jsou nezbytné pro dodávku vody a zajištění kvality průběžně zajišťovat (vhodné téma pro dny otevřených dveří, články v médiích apod.). Na webových stránkách společnosti lze mít vedle informací o kvalitě vody také sekci (nejčastějších) otázek a odpovědí (FAQ). V případě organoleptických vlastností vody jsou důležitou formou proaktivní komunikace např. průzkumy spokojenosti spotřebitelů (Kožíšek a kol., 2023) nebo ustavení senzorického panelu spotřebitelů (viz kapitola 2). Účelem je, aby spotřebitelé považovali vodárenskou společnost za důvěryhodný zdroj informací pro pozitivní i negativní události.

Vznikne-li nějaký problém s pachem, chutí nebo vzhledem vody, nastává nutnost krizové komunikace problému či rizika. I když je každá situace unikátní a příprava obsahu sdělení veřejnosti vyžaduje spolupráci více odborníků uvnitř vodárenské společnosti nebo dokonce konzultaci s vědci nebo úřady, existuje soubor pravidel krizové komunikace, kterými by se měl každý provozovatel řídit. Tento soubor pravidel byl v různých obměnách formulován řadou odborníků v různých publikacích, zde vybíráme shrnující doporučení dvou z nich, které se sice částečně překrývají, ale také doplňují. Jedno je doporučení US CDC (Amerického centra pro kontrolu nemocí) více zaměřené na emergentní zdravotní situace, druhé bylo vytvořeno US EPA (Americkou agenturou pro životní prostředí) specificky pro vodárenství.

Šest základních principů efektivní komunikace rizika podle US CDC:

1. Buďte první (kdo problém komunikuje).
2. Buďte přímí a opravdoví (nebojte se otevřeně přiznat, když na něco ještě neznáte odpověď).
3. Buďte důvěryhodní (upřímnost a pravdivost by neměla během krizové komunikace nijak utrpět).
4. Vyjádřete empatii (dodávka senzoricky závadné vody je pro spotřebitele obtěžující a budí v nich obavy – mějte pro ně pochopení a nebagatelizujte situaci).
5. Navrhněte spotřebitelům opatření (co může spotřebitel sám udělat, aby se situace zlepšila nebo aspoň nezhoršovala).
6. Prokažte respekt (uctivá komunikace podporuje spolupráci a vzájemnou důvěru) (CDC, 2012).

US EPA zase uvádí sedm obecných pravidel komunikace rizika:

1. Považujte spotřebitele a jejich zájmové organizace za své legitimní partnery pro diskuzi.
2. Naslouchejte spotřebitelům, poskytují důležitou zpětnou informaci.
3. Buďte pravdiví, upřímní a otevření.

4. Koordinujte a spolupracujte s jinými důvěryhodnými zdroji informací.
5. Vycházejte vstřícně potřebám médií: uspořádejte pro ně tiskovou konferenci, pozvěte je na exkurzi, připravte jim krátký a výstižný souhrn situace, ale také podrobnější technickou zprávu o rozsahu 0,5–1 strany.
6. Hovořte jasně a s porozuměním postavení spotřebitele. Nepoužívejte moc technický jazyk, buďte srozumitelní i pro laiky.
7. Pečlivě plánujte kroky k vyšetření a odstranění problému a způsob komunikace těchto kroků, abyste byli v průběhu krizové epizody ve svém jednání i komunikaci konzistentní (Covello a kol., 2007).

Jak již bylo uvedeno v kapitole 8, je sice pravda, že nevyhovující organoleptické vlastnosti vody se obvykle nepojí s ohrožením zdraví, ale to neznamená, že to platí ve všech případech. Pravidlem, než bude učiněn nějaký závěr či vydáno prohlášení k veřejnosti o tom, že voda se sensorickými problémy je nezávadná a odpovídá požadavkům zákona a vyhlášky, se musí stát nezbytná předchozí identifikace toho, jaká látka či látky jsou za problém s pachem či chutí odpovědné, a následné posouzení (případně orgánem ochrany veřejného zdraví) jejich zdravotního rizika. Ale i když bude přesvědčivě prokázáno, že voda zdraví neohrožuje, nelze vydávat prohlášení, že se „vlastně nic neděje“ a „voda je v pořádku“, pokud spotřebitel pociťuje vodu jako nevhodnou k pití a jinému užívání.

Přestože je rychlá informovanost veřejnosti velmi důležitá a žádoucí, vodárenská společnost by vždy měla mít snahu informovat o problému v první řadě místní samosprávu.

## 10 Závěr

Cílem této první české příručky pro sensorickou analýzu pitné vody je shrnout současný stav poznání v tomto oboru a zpřístupnit ho pracovníkům laboratoří, kteří jsou sensorickou analýzou pověřeni, a technologům a dalším pracovníkům vodárenských společností odpovědným za řešení problémů s pachem, chutí nebo vzhledem vody. Chceme zároveň na tyto pracovníky, jakož i na všechny vedoucí pracovníky laboratoří i provozních společností, apelovat, aby význam organoleptických vlastností vody a sensorické analýzy nepodceňovali, ale věnovali jim potřebnou pozornost. Pro provoz vodovodu je stejně důležité mít dobře proškolené sensorické posuzovatele jako mít zavedené nebo dostupné metody mikrobiologického či chemického rozboru, kalibrované měřicí přístroje nebo náhradní díly potřebné pro opravy distribuční sítě. Je důležité přijmout myšlenku, že mít zpětnou vazbu od spotřebitelů o chuti a vzhledu vody není věc zbytečná a obtěžující, ale užitečná a budující vzájemnou důvěru mezi firmou a zákazníkem. Jedině tak jako společnost můžeme dospět do cíle, kdy lidé budou pít vodu z kohoutku ne proto, že je to ekologické a levné, ale protože je voda čerstvá, chutná a osvěžující.

## Příloha 1. Výběr pojmů sensorické analýzy a jejich definic (podle ČSN EN ISO 5492 Sensorická analýza – Slovník)

Pojem	Význam
Ageusie	Nedostatek citlivosti na chuťový vjem (může být celková nebo částečná, stálá nebo dočasná)
Anosmie	Nedostatek citlivosti na čichový vjem (může být celková nebo částečná, stálá nebo dočasná)
Antagonismus	Spojený účinek dvou nebo více podnětů, jejichž kombinace vyvolává nižší úroveň počitků, než lze očekávat od samostatných účinků jednotlivých podnětů
Aroma	Vůně s příjemným nebo nepříjemným významem, je to sensorická vlastnost vnímaná při zkoušení čichovým orgánem prostřednictvím zadní části nosu
Citlivost	Schopnost vnímat, identifikovat a/nebo rozlišovat kvantitativně a/nebo kvalitativně jeden nebo více podnětů
Chuť	Počitky vnímané chuťovým orgánem drážděným určitými rozpuštěnými látkami
Intenzita	„Pocit“ velikosti vnímaného počitku, „Podnět“ velikost podnětu, který způsobuje počitek
Kontrolní vzorek	Vzorek zkoušeného materiálu, který je vybrán jako referenční materiál, se kterým jsou všechny ostatní vzorky porovnávány (vzorek může být označen i jako slepá kontrola)
Kvalitativní sensorický profil	Popis sensorických vlastností vzorku, ale bez hodnot intenzit
Kvantitativní sensorický profil	Popis vzorku sestávající jak z vlastností, tak jejich hodnot intenzit
Maskování	Jev, kdy jedna složka ve směsi zakrývá jednu nebo několik přítomných látek
Nadprahový	Vztahující se na intenzitu podnětu nad uvažovaným prahem
Odorimetrie	Měření pachových vlastností látek
Olfaktometrie	Měření odezev posuzovatelů na čichový podnět
Opacita	Neumožňuje průchod světla
Organoleptický	Vztahující se k vlastnosti vnímatelné smyslovými orgány, tj. k vlastnosti výrobku, vody
Pach	Vjem vnímaný prostřednictvím čichového orgánů při čichání těkavých látek či látka, jejíž těkavé složky mohou být vnímány čichovým orgánem (včetně nervů)
Párová porovnávací zkouška	Metoda, při které je podnět předkládán v páru pro porovnání na základě definovaného kritéria
Pocit v ústech	Společná zkušenost odvozená od vjemu v ústech, která se vztahuje k fyzikálním nebo chemickým vlastnostem podnětu
Podnět	To, co podráždí receptor
Podprahový	Vztahující se na intenzitu podnětu pod uvažovaným prahem
Práh detekce	Nejmenší hodnota sensorického podnětu potřebná k vyvolání počitku

<b>Pojem</b>	<b>Význam</b>
Práh nasycení (koncový práh)	Nejmenší hodnota intenzity sensorického podnětu, nad níž nelze vnímat rozdíl v intenzitě
Práh rozpoznání	Nejmenší intenzita podnětu, pro který posuzovatel použije stejný deskriptor pokaždé, když je předložen
Přijatelnost	Stupeň, na kterém je podnět oblíbený nebo neoblíbený celkově nebo pro jednotlivé sensorické vlastnosti
Rozdílová zkouška	Jakákoliv metoda zkoušení zahrnující porovnání mezi vzorky, pro určení, zda existuje vnímatelný rozdíl
Rozdílový práh	Hodnota nejmenšího vnímatelného rozdílu v intenzitě podnětu
Rozlišovací schopnost	Citlivost, přesnost a schopnost vnímat kvantitativní nebo kvalitativní rozdíly
Senzorická adaptace	Dočasné pozměnění citlivosti smyslového orgánu díky pokračujícímu nebo opakujícímu podnětu
Senzorická analýza	Věda zabývající se hodnocením organoleptických vlastností výrobků, vody pomocí lidských smyslů
Senzorická únava	Podoba sensorické adaptace, při které dochází k poklesu citlivosti
Senzorický	Vztahující se k použití smyslů, tj. ke zkušenosti člověka
Senzorický panel	Skupina posuzovatelů zúčastňující se sensorické zkoušky
Senzorický posuzovatel	Každá osoba, která se účastní sensorické zkoušky
Svíravost, svíravý, trpký	Komplexní počitek, doprovázený svíráním, stahováním nebo svašťováním kůže nebo pokožky, sliznice ústní dutiny, vytvářený látkami, např. tříslovinou z kaki nebo z trnky
Synergismus	Účinek dvou nebo více podnětů, jejichž kombinace vyvolává vyšší úroveň počitků, než lze očekávat od samostatných účinků jednotlivých podnětů
Trojúhelníková zkouška	Metoda rozdílové zkoušky zahrnující současné předložení tří kódovaných vzorků, z nichž dva jsou identické, a posuzovatel je požádán, aby vybral vzorek, který vnímá jako odlišný
Vada	Cizí chuť nebo pachut' výrobku pocházející z vnější kontaminace
Vlastnost	Vnímaná charakteristika
Vnímání	Uvědomování si účinku jednotlivých nebo vícenásobných sensorických podnětů, psychofyzická reakce vyplývající ze sensorické stimulace (podnětu)
Vybraný posuzovatel	Posuzovatel vybraný pro svoji schopnost provádět sensorickou zkoušku
Vzhled	Všechny viditelné vlastnosti látky nebo podnětu

## Literatura

- Aamodt, G., Bukholm, G., Jahnsen, J., Moum, B., Vatn, M.H., and the IBSEN Study Group. (2008). The association between water supply and inflammatory bowel disease based on a 1990-1993 cohort study in southeastern Norway. *American Journal of Epidemiology*, 168(9), 1065-1072.
- Abhijith, G.R., Ostfeld, A. (2021). Modeling the formation and propagation of 2,4,6-trichloroanisole, a dominant taste and odor compound, in water distribution systems. *Water*, 13(5), 638.
- Akcaalan, R., Devesa-Garriga, R., Dietrich, A., Steinhaus, M., Dunkel A. et al. (2022). Water taste and odor (T&O): Challenges, gaps and solutions from a perspective of the WaterTOP network. *Chemical Engineering Journal Advances*, 12, 100409.
- Alvarez, P., Malcorps, P., Sa Almeida, A., Ferreira, A., Meyer, A.M., Dufour, J. P. (1994). Analysis of free fatty acids, fusel alcohols, and esters in beer: an alternative to CS<sub>2</sub> extraction. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 52(3), 127.
- APHA. (2017). *Standard methods for the examination of Water and Wastewater*, 23 rd ed. Washington, D.C.: APHA.
- APHA. (2017a). *Standard Method 2160 C. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 23rd ed. Washington, D.C.: APHA, AWWA, WEF. s. 2-24 – 2-25.
- APHA. (2017b). *Standard Method 2170. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 23rd ed. Washington, D.C.: APHA, AWWA, WEF. s. 2-25 – 2-33.
- APHA. (2017c). *Standard Method 2150 B. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 23rd ed. Washington, D.C.: APHA, AWWA, WEF. s. 2-16 – 2-19.
- ASTM (American Standards for Testing Materials). (1991). *Standard Practice for Defining and Calculating Individual and Group Sensory Thresholds Form Forced-Choice Data Sets of Intermediate Size. Annual Book of Standards*. Philadelphia: ASTM, vol. 15, s. 67-74.
- AWWA. (2020). *Public perceptions of tap water*. Washington, D.C.: American Water Work Association, Morning Consult.
- Baudišová, D., Havlíčková, M., Bielaszewska, M., Šašek, J. (2023). Metody detekce vybraných patogenů a podmíněných patogenů v pitné vodě. *Acta hygienica, epidemiologica et microbiologica*, 2023(1), 1-17.
- Benanou, D., Acobas, F., de Roubin, M.R. (2004). Optimization of stir bar sorptive extraction applied to the determination of odorous compounds in drinking water. *Water Science and Technology*, 49(9), 161-170.
- Biela, R., Beránek, J. (2004). *Úprava vody a balneotechnika*. Brno: VUT v Brně, FAST, CERM, s.r.o. ISBN 80-214-2563-6.
- Blokker, E.J.M., Pieterse-Quirijns I. (2013). Modeling temperature in the drinking water distribution system. *Journal AWWA*, 105(1), E19-E26.
- Bruchet, A. (2019). Chemical analytical techniques for taste and odour compounds. In: Lin, T.F., Watson, S., Dietrich, A.M., Suffet, I.H.M. (eds.) *Taste and Odour in Source and*



- Drinking Water: Causes, Controls, and Consequences*. London: IWA Publishing. s. 113-141. ISBN 978-17-8-040665-7.
- Burlingame, G.A., Booth, S.D.J., Bruchet, A., Dietrich, A.M., Gallagher, D.L. et al. (2011). *Diagnosing Taste and Odor Problems Field Guide*. Denver: American Water Works Association. ISBN 978-1-58321-824-2.
  - Burlingame, G.A., Neiderer, S., Ragain, L. (2019). Risk management of public perception. In: Lin, T.F., Watson, S., Dietrich, A.M., Suffet, I.H.M. (eds.) *Taste and Odour in Source and Drinking Water: Causes, Controls, and Consequences*. London: IWA Publishing. s. 281-298. ISBN 978-17-8-040665-7.
  - Burlingame, G.A., Dietrich, A.M. (2022). Use color and appearance to identify common water quality issues. *Opflow*, 48(7), 16-19.
  - Cain, W.S. (1974). Perceptual characteristics of nasal adaptation. *Perception & Psychophysics*, 16(2), 199-205.
  - Callejón, R.M., Ubeda, C., Ríos-Reina, R., Morales, M.L., Troncoso, A.M. (2016). Recent developments in the analysis of musty odour compounds in water and wine: A review. *Journal of Chromatography A*, 1428, 72-85.
  - Carneiro, R.C.V., Wang, Ch., Yu, J., O'Keefe, S.F., Duncan, S.E., Gallagher, C.D., Burlingame, G.A., Dietrich, A.M. (2021). Check-if-apply approach for consumers and utilities to communicate about drinking water aesthetics quality. *The Science of the total environment*, 753, 141776.
  - CDC. (2012). *Crisis and Emergency Risk Communication*. Online. Atlanta, GA: U.S. Centers for Disease Control and Prevention. Dostupné z: [http://emergency.cdc.gov/cerc/resources/pdf/cerc\\_2012edition.pdf](http://emergency.cdc.gov/cerc/resources/pdf/cerc_2012edition.pdf). [citováno 2024-03-25].
  - Covello, V., Minamyer, S., Clayton, K. (2007). *Effective Risk and Crisis Communication during Water Security Emergencies (No. EPA/600/R-07/027)*. Washington, D.C.: US Environmental Protection Agency.
  - ČIA. (2023). *Akreditace senzorických zkušebních laboratoří - návod. Dokument EA-4/09 G:2022*. Praha: Český institut pro akreditaci.
  - ČNI. (2000). ČSN EN ISO 6222 (75 7821) *Jakost vod - Stanovení kultivovatelných mikroorganismů – Stanovení počtů kolonií očkovaním do živného agarového média*.
  - ČNI. (2007). ČSN EN 1622 (75 7330) *Jakost vod - Stanovení prahového čísla pachu (TON) a prahového čísla chuti (TFN)*.
  - Damm, M., Pikart, L.K., Reimann, H., Burkert, S., Göktas, Ö. et al. (2014). Olfactory training is helpful in postinfectious olfactory loss: A randomized, controlled, multicenter study. *The Laryngoscope*, 124(4), 826-31.
  - Delwiche, J. (2004). The impact of perceptual interactions on perceived flavor. *Food Quality and Preference*, 15 (2), 137-146.
  - Desrochers, R. (2008). Sensory analysis in the water industry. *Journal of the American Water Works Association*, 100, 50-54.

- Devesa, R., Fabrellas, C., Cardeñoso, R., Matia, L., Ventura, F., Salvatella, N. (2004). The panel of Aigües de Barcelona: 15 years of history. *Water Science and Technology*, 49(9), 145-151.
- Díaz, A., Fabrellas, C., Galceran, M.T., Ventura, F. (2004). Synthesis and odour thresholds of mixed halogenated anisoles in water. *Water Science and Technology*, 49 (9), 115-119.
- Diaz, A., Fabrellas, C., Ventura, F., Galceran, M.T. (2005). Determination of the Odor Threshold Concentrations of Chlorobrominated Anisoles in Water. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(2), 383-387.
- Dietrich, A.M., Hoehn, R.C., Burlingame, G.A., Gittleman, T. (2004). *Practical Taste-and-Odor Methods for Routine Operations: Decision Tree*. Denver: AWWA Research Foundation.
- Dietrich, A.M., Phetxumphou, K., Gallagher, D.L. (2014). Systematic tracking, visualizing, and interpreting of consumer feedback for drinking water quality. *Water Research*, 66, 63-74.
- Dietrich, A.M., Ömür-Özbek, P. (2019). Advances in sensory measurement determinations. In: Lin, T.F., Watson, S., Dietrich, A.M., Suffet, I.H.M. (eds.) *Taste and Odour in Source and Drinking Water: Causes, Controls, and Consequences*. London: IWA Publishing. s. 143-165.
- Dietrich, A.M., Burlingame, G.A. (2021). Using Check-If-Apply Lists to Improve Communication About Aesthetic Water Issues. *Journal AWWA*, 113(3), 32-42.
- Doty, R.L., Chen, J.H., Overend, J. (2017). Taste quality confusions: influences of age, smoking, PTC taster status, and other subject characteristics. *Perception*, 46(3-4), 257-267.
- DVGW. (2006). *Wasser-Information Nr. 65: Anforderungen und Durchführung von sensorischen Prüfungen in Wasserlaboratorien*. Bonn: BWGW.
- DWI. (2020a). *Drinking Water Safety: Guidance to Health and Water Professionals*. Online. London: Drinking Water Inspectorate. Dostupné z: <https://www.dwi.gov.uk/water-companies/guidance-and-codes-of-practice/>. [citováno 2024-03-25].
- DWI. (2020b). *Guidance on Consumer Complaints*. Online. London: Drinking Water Inspectorate. Dostupné z: <https://www.dwi.gov.uk/water-companies/guidance-and-codes-of-practice/>. [citováno 2024-03-25].
- Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2020/2184 ze dne 16. prosince 2020 o jakosti vody určené k lidské spotřebě. *Úřední věstník Evropské Unie*, 23. 12. 2020, L435/1-62.
- Gallagher, D.L, Dietrich, A.M. (2014). Statistical approaches for analyzing customer complaint data to assess aesthetic episodes in drinking water. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*, 63(5), 358-367.
- Gallagher, D.L., Phetxumphou K., Smiley E., Dietrich A.M. (2015). Tale of two isomers: complexities of human odor perception for cis- and trans-4-methylcyclohexane methanol from the chemical spill in West Virginia. *Environmental science & technology*, 49(3), 1319-1327.

- Goetz, M.K., Prevos, P. (2016). Tap crawl from down under. *Journal AWWA*, 108(12), 47-53.
- Hochereau, C., Bruchet, A. (2004). Design and application of a GCSNIFF/MS system for solving taste and odour episodes in drinking water. *Water Science and Technology*, 49(9), 81-87.
- Hyer, R., Covello, V. (2005). *Effective Media Communication during Public Health Emergencies: a WHO handbook*. Geneva: WHO. ISBN 9789241547031.
- Churro, C., Semedo-Aguiar, A.P., Silva, A.D., Pereira-Leal, J.B., Leite, R.B. (2020). A novel cyanobacterial geosmin producer, revising GeoA distribution and dispersion patterns in Bacteria. *Scientific reports*, 10(1), 8679.
- Jeleń, H.H., Wlazły, K., Wąsowicz, E., Kamiński, E. (1998). Solid-phase microextraction for the analysis of some alcohols and esters in beer: comparison with static headspace method. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(4), 1469-1473.
- Jüttner, F., Watson, S.B. (2007). Biochemical and ecological control of geosmin and 2-methylisoborneol in source waters. *Applied and Environmental Microbiology*, 73(14), 4395-4406.
- Kabrhel, G. (1927). *Hygiena vody*. Praha: Nákladem Mladé generace lékařů při Ústřední jednotě čsl. lékařů.
- Kaloudis, T. (2021). Cyanobacterial taste and odour compounds in water. In: Chorus, I., Welker, M. (eds). *Toxic cyanobacteria in water*. 2nd ed., Boca Raton (FL): CRC Press. s. 149-155. ISBN 978-1-003-08144-9
- Köster, E.P., Zoeteman, B.C., Piet, G.J., de Greef, E., van Oers, H., van der Heijden, B. G., van der Veer, A.J. (1981). Sensory evaluation of drinking water by consumer panels. *The Science of the Total Environment*, 18, 155-166.
- Kozisek, F., Chorus, I., Testai, E., Kaloudis, T., Albay, R. et al. (2024). Incorporating taste and odour problems in water safety plans. *Journal of Water and Health*, podáno do tisku.
- Kožíšek, F. (2022). Proč nemá být pitná voda ani moc měkká, ani moc tvrdá? In: Dobiáš, P. (ed.) *Sborník z 16. ročníku konference PITNÁ VODA 2022, konané v Táboře 23.-26.5.2022*. Praha: ENVI-PUR. s. 163-174. ISBN 978-80-905059-9-5.
- Kožíšek, F., Paul, J., Zvěřinová, I., Jelígová, H., Ščasný, M. (2023). Komunikace se spotřebiteli jako základní prostředek pro zvyšování důvěry v kohoutkovou vodu. *Acta hygienica, epidemiologica et microbiologica*, 2023(2), 1-36.
- Lauer, W.C. (2014). *Water Quality Complaint Investigator's Guide*. 2nd ed. Denver: American Water Work Association. ISBN 978-1-58321-992-8.
- Leciánová, L. (1987). *Myxobaktérie ve vodách*. Praha: VÚV ve Státním zemědělském nakladatelství.
- Lechien, J.R., Chiesa-Estomba, C.M., Beckers, E., Mustin, V., Ducarme, M., Journe, F. et al. (2021). Prevalence and 6-month recovery of olfactory dysfunction: a multicentre study of 1363 COVID-19 patients. *Journal of Internal Medicine*, 290(2), 451-461.

- Malcorps, P., Cheval, J.M., Jamil, S., Dufour, J.P. (1991). A New Model for the Regulation of Ester Synthesis by Alcohol Acetyltransferase in *Saccharomyces Cerevisiae* during Fermentation. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 49(2), 47-53.
- Malleret, L., Bruchet, A., Hennion, M.C. (2001). Picogram determination of "earthly-musty" odorous compounds in water using modified closed loop stripping analysis and large volume injection GC/MS. *Analytical chemistry*, 73(7), 1485-1490.
- Manganeli, M., Testai, E., Tazart, Z., Scardala, S., Codd, G.A. (2023). Co-occurrence of taste and odor compounds and cyanotoxins in cyanobacterial blooms: emerging risks to human health? *Microorganisms*, 11(4), 872.
- Manuel, J. (2014). Crisis and emergency risk communication: lessons from the elk river spill. *Environmental Health Perspectives*, 122(8), A214-219.
- McGuire, M.J., Rosen, J., Whelton, A.J., Suffet, I.H. (2014). An unwanted licorice odor in a West Virginia water supply. *Journal of the American Water Works Association*, 106(6), 72-82.
- MDH (Minnesota Department of Health). (2013). *Hydrogen Sulfide and Sulfur Bacteria in Well Water* (Brochure). St. Paul (MN): Environmental Health Division.
- Murakami, A., Goldstein, H., Chicoye, E. (1986). Development of a High-Resolution Beer Headspace Analysis Method. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 44(1), 33-37.
- MZe. (2004). TNV 75 5941 *Mikroskopické posuzování jakosti vody dopravované potrubím*.
- Nyström, A., Grimvall, A., Krantz-Rüilcker, C., Sävenhed, R., Åkerstrand, K. (1992). Drinking water off-flavour caused by 2,4,6-trichloroanisole. *Water Science and Technology*, 25(2), 241-249.
- Ömür-Özbek, P., Booth, S., Butterworth, S., Dunahee, N., Durand, M., Gillogly, T. (2012). *Global Taste and Odor Survey of Water Utilities. Final Report*. Denver: AWWA.
- Peter, A., Köster, O., Schildknecht, A., von Gunten, U. (2009). Occurrence of dissolved and particle-bound taste and odor compounds in Swiss lake waters. *Water Research*, 43(8), 2191-2200.
- Phetxumphou, K., Raghuraman, A., Dietrich, A.M. (2017). Implementing the Drinking Water Taste-And-Odor Wheel to improve the consumer lexicon. *Journal AWWA*, 109(11), E453-E463.
- Piriou, P., Devesa, R., De Lalande, M., Glucina, K. (2009). European reassessment of MIB and geosmin perception in drinking water. *Journal of Water Supply: Research and Technology-AQUA*, 58(8), 532-538.
- Plutowska, B., Wardencki, W. (2008). Application of gas chromatography–olfactometry (GC–O) in analysis and quality assessment of alcoholic beverages – a review. *Food Chemistry*, 107(1), 449-463.

- Psakis, G., Spiteri, D., Mallia, J., Polidano, M., Rahbay, I., Valdramidis, V.P. (2023). Evaluation of alternative-to-gas chlorination disinfection technologies in the treatment of Maltese potable water. *Water*, 15(8), 1450.
- Pumann, P., Kožíšek, F., Mayerová, L., Kotal, F., Jeligová, H., Baudišová, D. (2024). Epizodické zhoršení pachu a chuti vody v Praze a na dalších místech zásobovaných vodou z ÚV Želivka ve druhé polovině roku 2023 z pohledu SZÚ. In: Říhová Ambrožová, J., Petráková Kánská, K. (eds). *Sborník konference Vodárenská biologie 2024, 8.-9.2.2024, Praha*. Chrudim: Vodní zdroje EKOMONITOR. s. 11-15. ISBN 978-80-88238-32-4.
- Rahman, J., Burlingame, G.A. (2003). What's that stuff in the tap water? *Opflow*, 29(2), 1-6.
- Ručka, J., Lušovský, M. (2024). Generel skupinového vodovodu města Znojma - progresivní přístup k problematice kvality pitné vody během její distribuce. *SOVAK*, 33(1), 25-27.
- Ručka, J., Rajnochová, M., Zuzanač, R. (2024). Čištění vodovodního potrubí řízeným proplachováním po úsecích. In: *Sborník z konference VODA ZLÍN 2024*. Olomouc: Moravská vodárenská. s. 132-137. ISBN 978-80-909129-0-8.
- Ručka, J. (2024). *Technologie Astacus pro čištění potrubí, testování požárních hydrantů a měření teploty vody*. Univerzitní spin-off firma Vysokého učení technického v Brně. Online. Brno: VODA BRNO. Dostupné z: [www.vodabrno.cz](http://www.vodabrno.cz). [citováno 2024-06-24].
- Saerens, S.M.G., Delvaux, F., Verstrepen, K.J., van Dijck, P., Thevelein, J.M., Delvaux, F.R. (2008). Parameters affecting ethyl ester production by *Saccharomyces cerevisiae* during fermentation. *Applied and Environmental Microbiology*, 74(2), 454-461.
- Suffet, I.H. (2007). A re-evaluation of the taste and odour of methyl tertiary butyl ether (MTBE) in drinking water. *Water Science and Technology*, 55(5), 265-273.
- Suffet, I.H.M., Braithwaite, S., Zhou, Y., Bruchet, A. (2019). The drinking water taste-and-odour wheel after 30 years. In: Lin, T.F., Watson, S., Dietrich, A.M., Suffet, I.H.M. (eds.) *Taste and Odour in Source and Drinking Water: Causes, Controls, and Consequences*. London: IWA Publishing. s. 11-16. ISBN 978-17-8-040665-7.
- Sutherland, J., Devesa, R., Dietrich, A., Ventura, F. (2017). Taste, Odor, and Appearance. In: Smith, K.S., Slabaugh, R. (eds.). *Water Quality in Distribution Systems. Chapter 5*. 1st ed. Denver: American Water Works Association. s. 101-150.
- SZÚ. (2023). *Pitná voda bez chloru*. Online. Praha: Státní zdravotní ústav. Dostupné z: <https://szu.cz/temata-zdravi-a-bezpecnosti/zivotni-prostredi/kvalita-vody/pitna-voda/pitna-voda-bez-chloru/> [citováno 2024-06-24].
- Šašek, J., Kožíšek, F. (2016). Výskyt sulfanu (sirovodíku) v teplé vodě. Část 1: Teoretický rozbor problému. *Vytápění, větrání, instalace*, 25(4), 166-168.
- Šašek, J., Kožíšek, F. (2022). Complex mechanism of sulphane odour production in water heating and suitable remedial measures. *Water Supply*, 22(2), 2082-2092.
- Štěpánek M. a kol. (1982). *Biologické metody vyšetřování vod ve zdravotnictví*. Praha: Avicenum Zdravotnické nakladatelství.

- Törökne, A. (2005). Hungary: Regulation on Drinking Water and Bathing Water Quality including Cyanobacteria. In: Chorus, I. (ed.). *Current approaches to cyanotoxin risk assessment, risk management and regulations in different countries*. Wien: UmweltBundesAmt. s. 77-80.
- UKWIR. (1996). *Formation and occurrence of bromophenols, iodophenols, bromoanisoles, and iodoanisoles in drinking water: an investigation of taste and odour potential*. Report DW-05/13UK. London: UKWIR.
- ÚNMZ. (2013a). ČSN 75 7712 *Kvalita vod - Biologický rozbor - Stanovení biosestonu*.
- ÚNMZ. (2013b). ČSN 75 7717 *Kvalita vod - Stanovení planktonních sinic*.
- ÚNMZ. (2015a). ČSN EN ISO 9308-1 *Kvalita vod - Stanovení Escherichia coli a koliformních bakterií - Část 1: metoda membránových filtrů pro vody s nízkým obsahem doprovodné mikroflóry*.
- ÚNMZ. (2015b). ČSN 75 7713 *Kvalita vod - Biologický rozbor - Stanovení abiosestonu*.
- ÚNMZ. (2019). ČSN 75 7340 *Kvalita vod - Metody orientační senzorické analýzy*.
- U.S. EPA. (2017). *Designing Customer Complaint Surveillance for Water Quality Surveillance and Response Systems*. Online. Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency. Dostupné z: <https://www.epa.gov/waterqualitysurveillance/resources-design-and-implement-customer-complaint-surveillance>. [citováno 2024-03-25].
- Vavrušková, V., Sýkorová, Z., Stránský, D., Tláskalová, B., Sýkora, P. (2024). Změna kvality pitné vody ve vodovodu hl. m. Prahy. In: Říhová Ambrožová, J., Petráková Kánská, K. (eds). *Sborník konference Vodárenská biologie 2024, 8.-9.2.2024*, Praha. Chrudim: Vodní zdroj EKOMONITOR. s. 5-10. ISBN 978-80-88238-32-4.
- Vreeburg, J.H.G., Boxall, J.B. (2007). Discolouration in potable water distribution system: a review. *Water Research*, 41(3), 519-529.
- Watson, S., Jüttner, F. (2019). Biological production of taste and odour compounds. Chapter 3. In: Lin, T.F., Watson, S., Dietrich, A.M., Suffet, I.H.M. (eds.) *Taste and Odour in Source and Drinking Water: Causes, Controls, and Consequences*. London: IWA Publishing. s. 63-99. ISBN 978-17-8-040665-7.
- Whelton, A., Nguyen, T. (2013). Contaminant migration from polymeric pipes used in buried potable water distribution systems: a review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 43(7), 679-751.
- Whelton, A.J., McMillan, L., Connell, M., Kelley, K.M., Gill, J.P., White, K.D., Gupta, R., Dey, R., Novy, C. (2015). Residential tap water contamination following the freedom industries chemical spill: perceptions, water quality, and health impacts. *Environmental Science & Technology*, 49(2), 813-823.
- Whelton, A.J., McMillan, L., Novy, C.L.R., White K.D., Huang X. (2017). Case study: the crude MCHM chemical spill investigation and recovery in West Virginia USA. *Environmental Science: Water Research & Technology*, 3, 312-332.

- WHO. (2003a). *Hydrogen Sulfide in Drinking-Water. Background Document for Development of WHO Guidelines for Drinking-Water Quality*. WHO/SDE/WSH/03.04/07. Geneva: World Health Organization.
- WHO. (2003b). *Iron in Drinking-water. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality*. WHO/SDE/WSH/03.04/08. Geneva: World Health Organization.
- WHO. (2004). *Trihalomethanes in Drinking-Water. Background Document for Development of WHO Guidelines for Drinking-Water Quality*. WHO/SDE/WSH/03.04/64. Geneva: World Health Organization.
- WHO. (2022). *Guidelines for Drinking-Water Quality: Fourth Edition Incorporating the First and Second Addenda*. Geneva: World Health Organization.
- Young, W.F., Horth, H., Crane, R., Ogden, T., Arnott, M. (1996). Taste and odour threshold concentrations of potential potable water contaminants. *Water Research*, 30(2), 331-340.
- Zhang, L., Hu, R., Yang, Z. (2006). Routine analysis of off-flavor compounds in water at sub-part-per-trillion level by large-volume injection GC/ MS with programmable temperature vaporizing inlet. *Water Research*, 40(4), 699-709.
- Zhang, K., Cao, C, Zhou, X., Zheng, F., Sun, Y., Cai, Z., Fu, J. (2018). Pilot investigation on formation of 2,4,6-trichloroanisole via microbial O-methylation of 2,4,6-trichlorophenol in drinking water distribution system: An insight into microbial mechanism. *Water Research*, 131, 11-21.
- Zvěřinová, I., Otáhal, J., Hanusová, K., Ščasný, M. (2024). Bottled or tap water? Factors explaining consumption and measures to promote tap water. *Water Research*. In press.  
<https://www.preprints.org/manuscript/202407.0349/v1>