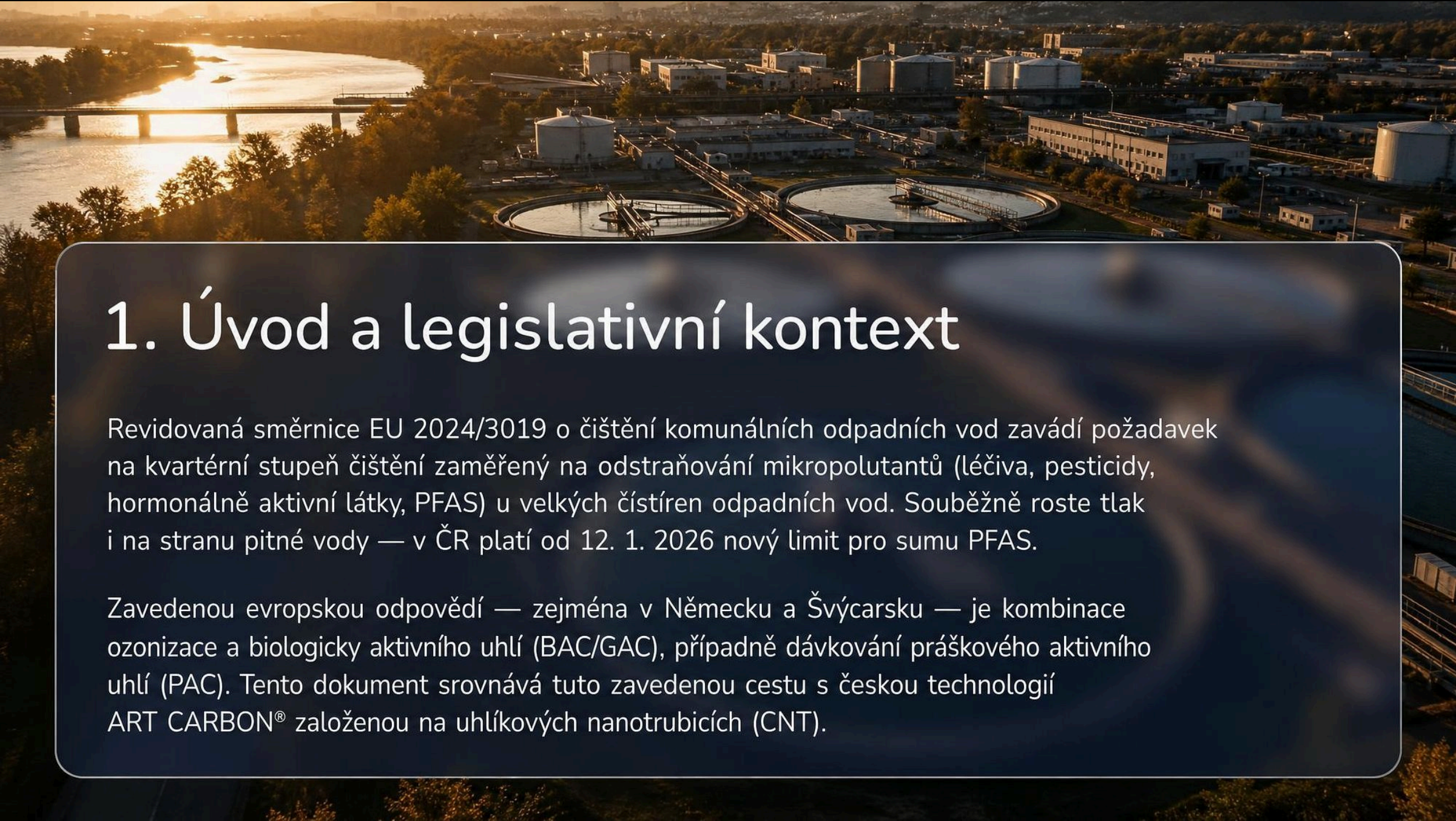


ART CARBON® v kvartérním dočištění odpadních vod

Proč je naše technologie odlišná od zavedené praxe v
Německu a Švýcarsku — energetika, regenerace a záchyt
léčiv, drog a hormonů

Technický a obchodně srozumitelný srovnávací podklad pro
vodohospodářské společnosti, provozovatele ČOV, města a investory.

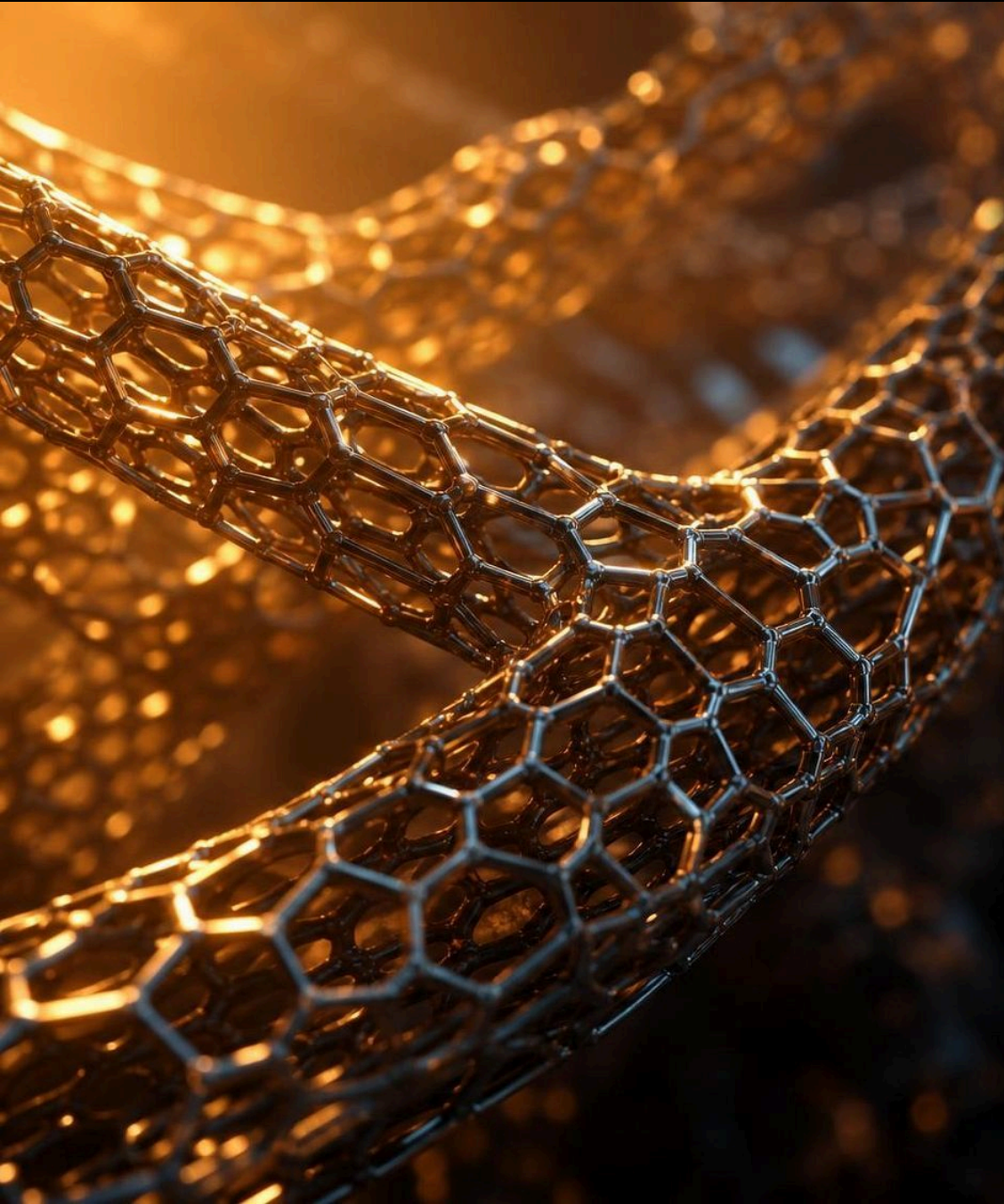
DANIEL-LM s.r.o. — AquaTech North Bohemia · Vinořské nám. 34, Praha 9 – Vinoř ·
info@aquanotech.eu · www.aquanotech.eu · Září 2026

An aerial photograph of a wastewater treatment plant during the golden hour of sunset. The sun is low on the horizon, casting a warm, orange glow over the scene. In the foreground, there are two large circular clarifiers with metal walkways. Behind them are several rectangular aeration tanks and numerous large cylindrical storage tanks. The plant is situated next to a river, with a bridge visible in the distance. The background shows a residential area with houses and trees.

1. Úvod a legislativní kontext

Revidovaná směrnice EU 2024/3019 o čištění komunálních odpadních vod zavádí požadavek na kvartérní stupeň čištění zaměřený na odstraňování mikropolutantů (léčiva, pesticidy, hormonálně aktivní látky, PFAS) u velkých čistíren odpadních vod. Souběžně roste tlak i na stranu pitné vody — v ČR platí od 12. 1. 2026 nový limit pro sumu PFAS.

Zavedenou evropskou odpovědí — zejména v Německu a Švýcarsku — je kombinace ozonizace a biologicky aktivního uhlí (BAC/GAC), případně dávkování práškového aktivního uhlí (PAC). Tento dokument srovnává tuto zavedenou cestu s českou technologií ART CARBON® založenou na uhlíkových nanotrubicích (CNT).



2. Proč je princip ART CARBON® odlišný

2.1 Dva mechanismy záchytu

Klasické granulované aktivní uhlí (GAU) zachytává znečištění difúzí do vnitřních pórů — funguje jako houba. ART CARBON® pracuje na zcela jiném principu: jde o adsorbent na bázi uhlíkových nanotubic s velmi rozsáhlým vnějším povrchem. Nečistoty se nezachytávají difúzí dovnitř materiálu, ale okamžitě na vnějším povrchu nanotubic — mechanismus lze přirovnat spíše k mucholapce než k houbě.

2.2 Chemická oxidace vs. fyzikální záchyt celé molekuly

Ozonizace nerozkládá molekuly léčiv rovnou na CO_2 a vodu — ozon je chemicky štěpí na menší fragmenty. ART CARBON® naproti tomu zachytává molekulu v její původní podobě přímo na povrchu nanotubic. Nevznikají žádné nové, neznámé transformační produkty.

2.3 Počet provozních kroků a doba kontaktu

V německé a švýcarské praxi se BAC vždy zapojuje do řetězce se třemi dalšími kroky: ozonizace před BAC, mechanický post-filtr / ultrafiltrace za BAC a silná koncová dezinfekce. Výsledkem jsou čtyři na sobě závislé provozní kroky, kde výpadek jednoho ovlivňuje funkci celého řetězce.

ART CARBON® potřebuje před vlastní adsorpcí jen keramickou ultrafiltraci — tedy dva kroky místo čtyř. Zatímco orientační kontaktní čas BAC je 5–10 minut (plus 10–20 minut ozonizace), ART CARBON® dosahuje vysokého zachytu v řádu vteřin až jednotek minut.

✓ **OVĚŘENO LABORATORNĚ** — Nezávislé testy Technické univerzity v Liberci (TUL)

Krok / parametr	Tradiční BAC řetězec	ART CARBON® řetězec
 Počet provozních kroků	4	2
 Orientační kontaktní čas	5–10 min (+10–20 min ozonizace)	Vteřiny až jednotky minut
 Koncová dezinfekce	Ano (silná)	Ano (silná)
 Závislost kroků	4 na sobě závislé	2 na sobě závislé





3. Energetická náročnost

3.1 Kde se spotřebovává energie u ozonizace

Ve Weißenburgu tvořila ozonizace 52 % celkové spotřeby elektřiny nového dočišťovacího stupně. Měrná spotřeba: 0,04–0,17 kWh/m³ vyčištěné vody. Přibližně 80–90 % přivedené elektřiny se přemění na odpadní teplo, které se musí odvádět vodním chlazením.

3.2 Energetická bilance ART CARBON®

Kompletní linka s ART CARBON® nepotřebuje žádný krok výroby oxidantu. Keramická ultrafiltrace cca 0,10 kWh/m³ + čerpání cca 0,50 kWh/m³ = celkem cca 0,60 kWh/m³ na kompletní separaci mikropolutantů.

3.3 Chování v náročných ročních obdobích

U ozonizace + BAC se zpomalí bakteriální metabolismus v zimě — nutný cca 2× delší kontaktní čas. ART CARBON®: nulový vliv teploty — záchyt je čistě fyzikální. Sterilní chování — TUL 2023 potvrdila 0 kolonií i po 14 dnech stagnace.

4. Regenerace — ekonomická a ekologická stránka

4.1 GAC/BAC — termická reaktivace

Vyčerpané aktivní uhlí se musí mechanicky vytěžit, odvézt kamiony do reaktivací pece a vypalovat při 700–900 °C. Při tomto procesu se nenávratně ztrácí 5–15 % hmoty uhlí na cyklus.

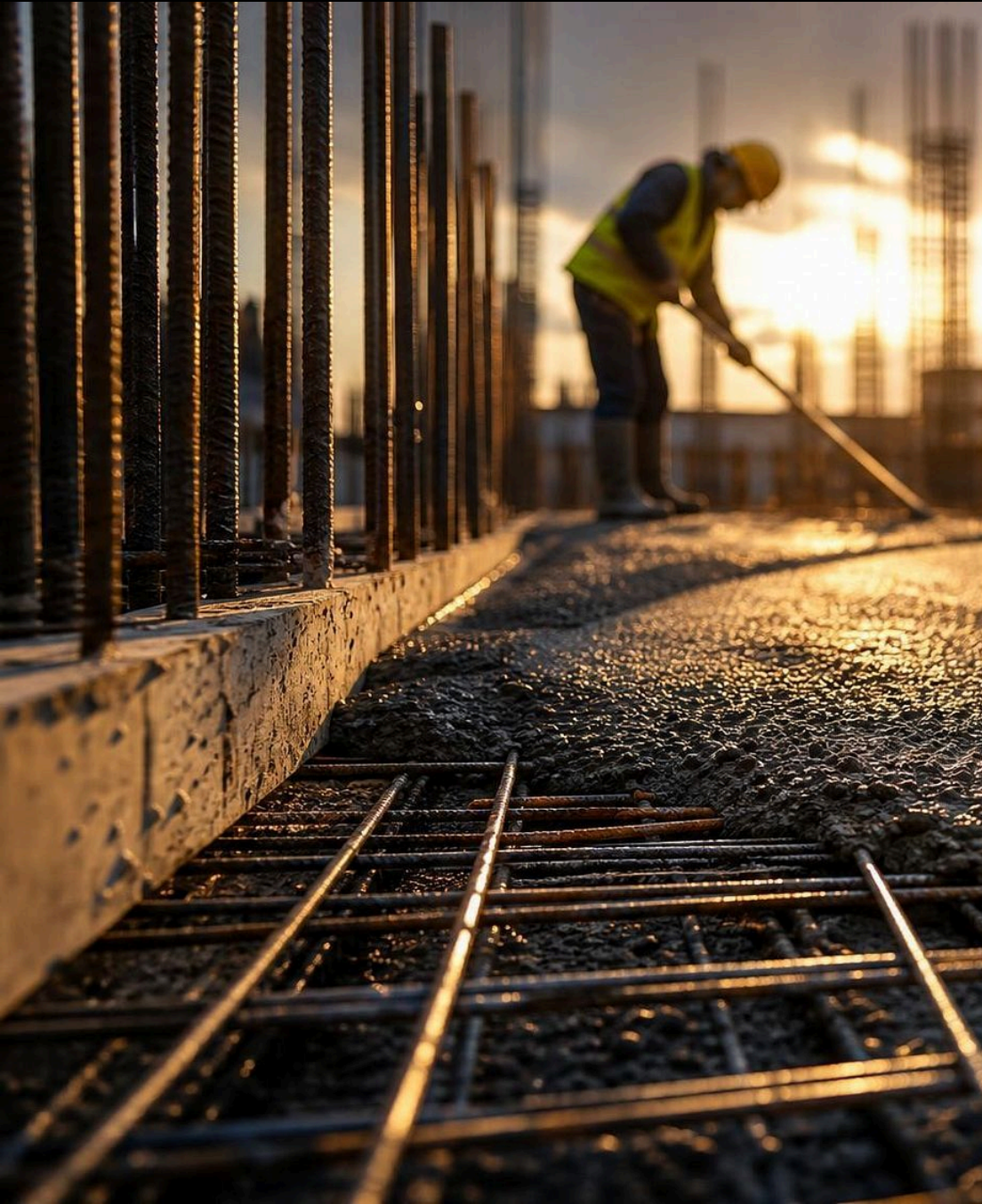
4.2 ART CARBON® — in-situ za studena

Regenerace probíhá přímo v koloně, bez vyjmutí adsorbentu. Lože se propláchne zředěným (cca 5%) roztokem potravinářského etanolu při 20–40 °C po dobu cca 30 minut. Reverzní osmóza odděluje regenerát — cca 90 % objemu se vrací zpět jako recyklovaný etanol, zbylých cca 10 % tvoří zkoncentrovaný kapalný koncentrát k termické likvidaci (cca 0,02 l/m³).

4.3 Životnost

✓ OVĚŘENO V PROVOZU — až 32 plných regeneračních cyklů bez ztráty sorpční výkonnosti; celková životnost adsorbentu 2 roky nepřetržitého provozu.





4.4 Konec životnosti materiálu — cirkularita

Vyřazené nanotrubice se ještě jednou regenerují a následně přidávají do plastifikátoru jako funkční přísada, která se dále aplikuje do vysokopevnostních betonů a malt, kde zlepšuje mechanické vlastnosti (zvláště pevnost v tlaku) a umožňuje snížit spotřebu cementu — jednoho z největších průmyslových zdrojů CO₂. Materiálový cyklus se tímto uzavírá: vyřazený adsorbent nekončí jako odpad k likvidaci, ale jako vstupní surovina v navazujícím průmyslovém odvětví.

4.5 Provozní ekonomika (OPEX)

Přímé výrobní náklady technologie (energie, chemikálie, regenerace, recyklace, likvidace koncentráту, obměna CNT) přibližně 3,00 Kč/m³ vyčištěné odpadní vody.



TECHNICKÝ PŘEDPOKLAD — *Technický propočet dle interního referenčního podkladu; nejde o víceletě auditovanou provozní bilanci OPEX.*

5. Záchyt léčiv, drog a hormonů

5.1 Jak se účinnost hodnotí v Německu a Švýcarsku

Německá a švýcarská praxe hodnotí kvartérní stupeň podle sady tzv. indikátorových látek (např. diclofenac, carbamazepin, metoprolol, citalopram, clarithromycin, benzotriazol, candesartan, irbesartan a další) – zákonným cílem je průměrný úbytek alespoň 80 % u sledovaných látek. Ozon velmi dobře štěpí reaktivní látky (diclofenac, carbamazepin přes 95 %), zatímco méně reaktivní látky (benzotriazol, metoprolol, candesartan, irbesartan) závisí na dočištění na navazujícím aktivním uhlí (dalších 70–95 %).

⚠ *EXTERNÍ ZDROJ – K OVĚŘENÍ: Německé/švýcarské metodiky (DWA, KomS-BW) a plnoprovozní data z Weißenburgu – externí zdroje, doporučeno ověřit u primární publikace.*

5.2 Slabší místa ozonizace

- **Antibiotika:** clarithromycin patří k nejproblematictějším látkám pro ozonizační linky – ve Weißenburgu dosahuje kombinovaná účinnost (ozon + BAC/pískový filtr) v průměru jen 64–65 %. Ozon navíc clarithromycin chemicky přemění na metabolit clarithromycin N-oxid, který musí zachytit až koncový filtr. Po ozonizaci se navíc v pískových a BAC filtrech popisuje riziko vyplavování antibioticky rezistentních bakterií a genů rezistence.
- **Hormony:** estrogeny reagují s ozonem rychle, ale při nedokonalé dávce mohou vznikat částečně oxidované meziprodukty, které si zachovávají estrogení aktivitu – proto se doporučují speciální bioeseje (např. YES assay) k ověření skutečného poklesu hormonální aktivity, nejen zmizení mateřské látky.

5. Záchyt léčiv, drog a hormonů

5.3 Kinetika záchytu ART CARBON® (nezávislé testy TUL)

- Naproxen (analgetikum) — 30 s — ART CARBON® >91 % · GAU/BAC 0 %
- Karbamazepin (psychofarmakum) — 2 min — ART CARBON® 93 % · GAU/BAC 8 %
- Metoprolol (betablokátor) — 5 min — ART CARBON® 97 % · GAU/BAC 9 %
- Simazin (pesticid) — 5 min — ART CARBON® 96 % · GAU/BAC 1 %

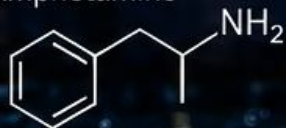
5.4 Šíře záchytu na reálné odpadní vodě

V pilotním ověření na reálné odpadní vodě z ÚČOV Praha – Císařský ostrov bylo identifikováno 37 účinných léčivých látek. Při kontaktní době cca 8 sekund bylo 35 z 37 léčiv odstraněno pod mez detekce.

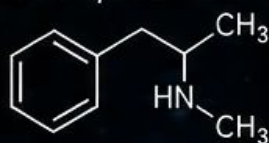
✓ OVĚŘENO V PROVOZU — Pilotní ověření, ÚČOV Praha – Císařský ostrov.



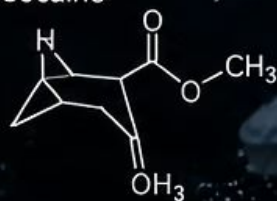
Amphetamine



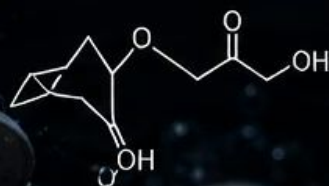
Methamphetamine



Cocaine



Benzoyllecgonine



PHARMACEUTICALS

DRUGS

METABOLITES

CLEANER WATER
SAFER TOMORROW

5.5 Nelegální drogy a jejich metabolity

Pro nelegální návykové látky a jejich metabolity (např. amfetaminy, metamfetamin, kokain/benzoyllecgonin) nemáme k dispozici samostatně naměřená data. Jde chemicky o malé polární až aromatické organické molekuly srovnatelné s testovanými farmaky, takže lze technicky očekávat obdobné chování při adsorpci — jde ale zatím o nepodložený technický předpoklad, nikoli o ověřený výsledek, a před jakýmkoli tvrzením o účinnosti na konkrétní návykové látky je nutné provést cílené testování.



TECHNICKÝ PŘEDPOKLAD

Nepodloženo měřením — extrapolace z chemické podobnosti k testovaným farmakům.



Pozn.: Čísla v tabulkách 5.3 a mezi kapitolami 5.1–5.2 pocházejí z různých vod, laboratoří a protokolů — nejde o přímé měření na jedné a téže vodě, ale o orientační srovnání. Před použitím v konkrétní nabídce či jednání doporučujeme čísla z německých/švýcarských zdrojů ověřit u primární publikace.



ČISTĚJŠÍ VODA



ZDRAVĚJŠÍ SPOLEČNOST



BEZPEČNĚJŠÍ BUDOUCNOST

TECHNOLOGY
FOR A CLEANER
TOMORROW

6. Ionizace při výrobě ozonu — co u ART CARBON® nehrozí (1/2)

Ozon používaný v německém a švýcarském přístupu se na místě vyrábí z kyslíku pomocí vysokonapěťového elektrického výboje (koronový výboj), který ionizuje molekuly kyslíku a štěpí je na reaktivní kyslíkové radikály, z nichž vzniká ozon. Jde tedy o energeticky náročný ionizační proces, nikoli jen o „přidání chemikálie“.

ART CARBON® tento krok vůbec neobsahuje — záchyt je čistě fyzikální adsorpce na povrchu nanotubic, bez elektrického výboje, bez výroby oxidantu a bez chemické reakce s cílovou látkou. Následující rizika a provozní zátěže, které vyplývají právě z kroku ionizace/výroby ozonu, proto u ART CARBON® strukturálně odpadají — nejsou „ošetřena“ dodatečným zařízením, ale krok, který je způsobuje, v procesu vůbec není přítomen.

- **Riziko bromičnanů:** je-li ve vodě přítomen bromid, oxiduje ho ozon na karcinogenní bromičnan (BrO_3^-); v Německu proto platí závazný limit 10 $\mu\text{g/l}$ a povinný předběžný „test ozonovatelnosti“ surové vody, který může ozonizaci jako řešení zcela vyloučit.
- **Nepředvídatelné transformační produkty:** ozon štěpí molekuly na fragmenty a metabolity (např. clarithromycin na clarithromycin N-oxid), které musí zachytit až navazující biologický/adsorpční stupeň.
- **„Ozonový paradox“ (chlorpikrin):** pokud BAC stupeň nefunguje stoprocentně, mohou rozštěpené, ještě nerozložené fragmenty po setkání s koncovým chlorem vytvářet vedlejší produkty dezinfekce, mimo jiné chlorpikrin. Jde o obecně popsáný jev spojený s kombinací ozonizace a chlorace v oboru úpravy vody — před použitím tohoto argumentu v konkrétním jednání doporučujeme ho podložit nezávislým zdrojem nebo prezentovat jako obecné riziko dané kombinace technologií, ne jako změřenou hodnotu pro konkrétní instalaci.
- **Velké tepelné ztráty:** 80–90 % elektřiny přivedené do ozonogenerátoru se přemění na odpadní teplo, které se musí odvádět vodním chlazením.



6. Ionizace při výrobě ozonu — co u ART CARBON® nehrozí (2/2)

- **Nutná destrukce zbytkového ozonu:** zbytkový plyn z ozonizační komory nelze volně vypustit — musí se energeticky i katalyticky destruovat zpět na kyslík (tzv. Restozonvernichter).
- **Logistika kyslíku:** vyrábí-li se ozon z čistého kyslíku, je nutný nájem kryogenního zásobníku a pravidelné závozy kapalného/plynného O_2 .
- **Nároky na online měření:** bezpečné dávkování ozonu vyžaduje kontinuální spektrofotometrická měření UV absorbance (SAK254/UVA254) a redoxního potenciálu.
- **Riziko vyplavování rezistence:** z pískových a BAC filtrů po ozonizaci se popisuje riziko vyplavování antibioticky rezistentních bakterií a genů rezistence (ARB/ARG).



7. Souhrnné srovnání

Oblast	Ozonizace + BAC/GAC (DE/CH)	ART CARBON®
Princip	Chemická oxidace ozonem + biologický rozklad na uhlí	Fyzikální adsorpce celé molekuly na povrchu CNT
Počet kroků	4 závislé kroky (O ₃ , UF/post-filtr, BAC, dezinfekce)	2 kroky (keramická UF + adsorpce)
Kontaktní čas	Cca 10–20 min ozonizace + 5–10 min BAC	Vteřiny až jednotky minut
Energie	0,04–0,17 kWh/m ³ jen na ozon (+ chlazení, kyslík); ozon = až 52 % spotřeby stupně	Cca 0,60 kWh/m ³ na kompletní UF + adsorpci (bez výroby oxidantu)
Chladné počasí	Cca 2× delší kontaktní čas nutný v zimě	Bez vlivu — fyzikální kinetika nezávislá na teplotě
Teplo / stagnace	Riziko přemnožení biofilmu a patogenů (<i>Legionella</i>)	Sterilní chování, bez biofilmu (TUL 2023)
Regenerace	Termická reaktivace 700–900 °C, ztráta 5–15 % hmoty, doprava	In-situ, 20–40 °C, bez dopravy; až 32 cyklů / 2 roky provozu
Léčiva/hormony	Cca 92 % průměr (12 indik. látek); slabší u antibiotik (clarithromycin 64–65 %)	35/37 API pilotně odstraněno; TUL kinetika 91–97 % dle látky
Vedlejší produkty	Riziko bromičnanů, N-oxidů, ozonový paradox (chlorpikrin)	Žádné oxidační meziprodukty — čistě fyzikální záchyt

Kontakt

DANIEL-LM s.r.o. — Divize AquaTech North Bohemia



Vinořské nám. 34, Praha 9 – Vinoř



Vedení: +420 777 321 846



Technologie / technická podpora: +420 777 919 877



Obchod: +420 773 992 321



Export / International: +420 730 330 353



info@aquanotech.eu



www.aquanotech.eu



QR kód