

SEPARACE ŽLUTÝCH VOD – MOŽNOST MINIMALIZACE ODTOKU NUTRIENTŮ NA ODTOKU Z ČOV

Jakub Vrána², Darina Vinklárková³, Karel Plotěný⁴

Abstrakt

Z hlediska obsahu využitelných nutrientů jsou komunální odpadní vody nejvíce zatíženy koncentrovanou močí (žlutými vodami) a tato část odpadních vod se jeví i jako nejzajímavější pro efektivní získávání a využití živin z odpadních vod. Separační/oddělené toalety umožňují získání málo naředěných žlutých vod. Ještě více zakoncentrované pak mohou být žluté vody z bezvodých urinalů/pisoárů. KZ výsledků sledování jednotlivých frakcí odpadních vod z hlediska obsahu nutrientů. V případě odseparování frakce moči lze předpokládat významné ovlivnění odtokových parametrů při čištění odpadních vod.

Úvod

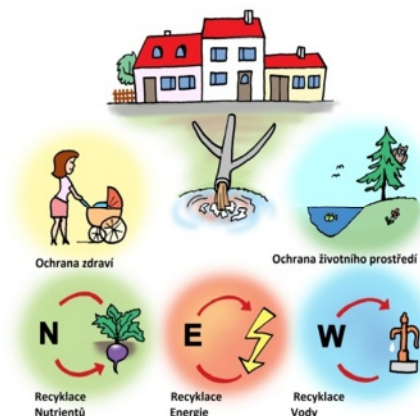
Hlavní myšlenková paralela při rozboru problematiky separace moči a jejího využití souvisí s recyklací tuhých odpadů, kde bylo zjištěno a ověřeno, že oddělený, separovaný sběr odpadu dle povahy a materiálu odpadu již v místě vzniku, tedy u zdroje, je jednoznačně nejefektivnější cestou při znovuvyužití a recyklaci surovin. Obdobně i při čištění průmyslových odpadních vod jsou technologie, které mohou vody před zpracováním rozdělit podle obsahu znečištění, nejefektivněji jak po stránce nákladů, tak kvality výsledných produktů.

V současnosti při čištění komunálních odpadních vod je problematický obsah nutrientů a bakterií, jejichž nejpodstatnějším zdrojem jsou fekálie a moč. Na tyto dva produkty lidského vylučování je možné se zároveň nově podívat jako na zdroj surovin, resp. hnojiva či energie. Myšlenka to není nová, lidské výkaly byly tradičně používány v mnoha zemích jako hnojivo pro pěstování rostlin. V Japonsku byla recyklace moči a výkalů zavedena v 12. století a v Číně jsou kompostovány lidské a zvířecí výkaly už tisíce let (Esrey et al., 1998). Nový by ale asi měl být způsob jejich zpracování a využití v podmínkách dnešní Evropy. V současné době se stále více mluví o udržitelnosti technologií, intenzifikaci procesů, udržitelném rozvoji a do této strategie dělení vod zapadá. Pro zobrazení strategií se někdy využívá i akronymu NEW, který strategií názorně zobrazuje.

² Ing. Jakub Vrána, Ph.D., Ústav TZB Fakulta stavební VUT v Brně, JakubVrana@seznam.cz

³ Mgr. Darina Vinklárková, ASIO, spol. s r.o., Tuřanka 1, 627 00 Brno, asio@asio.cz

⁴ Ing. Karel Plotěný, ASIO, spol. s r.o., Tuřanka 1, 627 00 Brno, asio@asio.cz



Obr. 1: Odpadní voda je celek obsahující nutrienty (N), energii (E) a vodu (W)

Z hlediska obsahu využitelných nutrientů jsou komunální odpadní vody nejvíce zatíženy koncentrovanou močí (žlutými vodami) a tato část odpadních vod se jeví i jako nejzajímavější pro efektivní získávání a využití živin z odpadních vod. Separační/oddělené toalety umožňují získání málo naředěných žlutých vod. Ještě více zakonzentrované pak mohou být žluté vody z bezvodých urinalů/pisoárů. K dispozici je dnes již celá řada sledování různých druhů odpadních vod a obsahu nutrientů v jednotlivých frakcích odpadních vod. V podstatě se stále potvrzuje, že nejvíce živin využitelných např. v zemědělství (N,P,K) je v moči. Z hodnot lze také usuzovat na míru ovlivnění odtokových parametrů při čištění odpadních vod v případě odseparování některé frakce, např. moči.

Tab. 1: Zhodnocení obsahu N, P, K ukazuje, které živiny ztrácíme v podobě odpadu. Čísla ukazují průměrné procentuální zastoupení (Jönsson, 1994).

Typ odpadu	dusík %	fosfor %	draslík %
Z potravinářského průmyslu a restaurací	8	10	15
Domácností (kuchyní)	15	26	18
Moč	64	43	52
Výkaly	7	22	9

Pokud by byly recyklovány všechny zdroje uvedených odpadů, mohli bychom ušetřit 35-45% komerčních hnojiv. Použití samotné moči může nahradit 20-25% konvenčních hnojiv používaných v zemědělství.



Obr. 2: Shrnutí celkového obsahu nutrientů v jednotlivých složkách odpadní vody. Na obrázku je ukázková koupelna SIKA

druh vod	Šedé vody	Moč	Výkaly
produkce [l/osoba/den]	20-200	1,5	0,15 kg
Obsah nutrientů Průměrná produkce [kg/osoba/rok]	N 0,3-0,4 P 0,07-0,37	N 2-4 P 0,2-0,37	N 0,3-0,55 P 0,1-0,2
charakteristika	Chemická/mikrobiální kvalita odráží producenta (např. zda pere plenky) a používání chemikálií v domácnosti.	Extremně nízký obsahu kovů a nízký obsah patogenů (mnoho nemocí se šíří díky moči, riziko závisí na křížové kontaminaci výkaly).	Nízký obsah kovů a vysoký obsah patogenů.

Lidská moč jako zdroj nutrientů

Moč je na nutrienty nejbohatší ze všech domovních odpadů. Na druhé straně moč tvoří méně jak 1% celkového objemu odpadních vod z domácností produkovaných na 1 EO.

Tab. 2: Obsah prvků v separované moči (Ek et al., 2006)

	Koncentrace [kg/m ³]
dusík	3,60
draslík	0,9
fosfor	0,31
síra	0,3

Tab. 3: Charakteristika a složení moči (Ek et al., 2006)

Parametr	Jednotka	Testovaná moč	Normální moč	Vypouštěná odpadní voda z domácnosti
pH		9,2-9,3	7,2	7,9
Vodivost	mS/cm	15-20	25	5,8
Nerozpuštěné látky	mg/l	4400-7000	8100	2100
Podíl sušiny	mg/l	3500-4800	5800	1100
Rozpuštěné látky	mg/l	51-73	-	100
CHSK	mg/l	2200-2800	2100*	270
Celkový oxidovatelný uhlík, TOC	mg/l	910-1200	-	110
Celkový fosfor	mg/l	170-240	310	130
Fosforečnany	mg/l	160-230	-	130
Celkový dusík _{Kjeldahl}	mg/l	2200-3200	3600	820
Amoniak	mg/l	2000-2900	-	740

*BSK₇

Tab. 4: Obsah těžkých kovů nalezen v moči, dvou frakcích výkalů a součtů dvou frakcí výkalů v porovnání se švédskou normou, pokud lidé strávili doma 24h (mg/osoba/rok) (Vinneras, 2002)

	Separovaná moč z lokality	Švédská norma	Separované výkaly z lokality	Separovaná voda	Odpadní voda z fekáliemi z lokality	Švédská norma s
Cu	1487	37	213	851	1064	402
Cr	10,3	16,1	17,6	50,6	68,2	7,3
Ni	32,7	51,1	36,8	71,5	108,4	27
Zn	147	172	1365	3499	4865	4015
Pb	15,3	8,8	37,5	424,6	462,1	7,3
Cd	0,48	0,88	1,53	4,84	6,36	3,65
Hg	0,30	0,37	1,12	<1,64	<2,75	23,0

Patogenní mikroorganismy v moči

Obecně lidská moč zdravého jedince neobsahuje patogenní organismy, které by se mohly šířit do životního prostředí. Indikátory bakteriálního znečištění nejsou vhodné pro stanovení kontaminace výkalů ve zdroji s oddělenou močí kvůli bleskové inaktivaci *E.coli* v moči.

Riziko šíření choroboplodných zárodků je závislé na teplotě, druhu organismu, rozdílu mezi laboratorními podmínkami a podmínkami *in situ* a délce skladování moči. Všeobecně je popsána perzistence pro dezinfekční prostředky následovně: cysty prvoků>bakterie tvořící spory>enterické viry>vegetativní bakterie (Bitton, 1994). Gram-pozitivní bakterie jsou všeobecně více perzistentní než gram-negativní bakterií díky jiné stavbě buněčné stěny (Sinton et al., 1994; Madigan et al., 1997).

Proč a kdy oddělovat moč

Obecně, z pohledu udržitelnosti, by to bylo výhodné a potřebné oddělovat moč pokaždé. Existují už i řešení umožňující oddělení moči v centrálních systémech. Tato centrální nebo decentrální řešení jsou zvažována v zemích, kde ekonomická situace nutí investory hledat nejekonomičtější řešení – obvykle to jsou rozvojové země, nebo oblasti, pro které se tvoří nové koncepce. Evropa díky historickému vývoji má prozatím kritéria pro posouzení výhodnosti jiná.

Zásadním důvodem pro separaci a čištění žlutých vod v evropských zemích je:

- Snížení koncentrace nutrientů s ohledem na následné problémy s trofizací a s ohledem na náklady spojené s odstraněním jejich následků;
- Minimalizace množství odtékajících živin v OV s ohledem na ekonomiku čištění vod, zejména snížení koncentrace dusíku zlevní proces čištění;
- Odlehčení nátokových parametrů na vstupu do ČOV, díky čemuž je možno uvažovat o dalších, ekonomicky méně náročných technologiích pro ČOV např. u domovních čistíren;
- Znovuzískání a recyklace živin obsažených v moči ve formě hnojení - zásoby fosforu a cena fosforečnanových i dusičnanových hnojiv roste.

Zpracování moči je tak jednou z možností jak konkrétně uskutečňovat požadavky na proklamovanou ekologickou sanitaci a udržitelný přístup – recyklovat suroviny, energii a samotnou vodu.

Stávající centrální směsné systémy a jejich slabiny z hlediska udržitelnosti

Centrální a individuální směsné sanitační systémy jsou dnes vystaveny kritickému hodnocení, zejména tam, kde zatím není instalováno centrální čištění odpadních vod, a tedy tam, kde se hledá nejefektivnější způsob likvidace bez závislosti na řešení realizovaná v minulosti.

Analýzu aktuálních problémů a závěrů lze shrnout do těchto bodů:

- Výsledkem klasických řešení, kdy se všechny odpadní vody smíchají do jedné komunální, je produkce organických a anorganických nutrientů smíchaných s dalšími znečišťujícími látkami, včetně hormonů a zbytků léčiv a tedy se sníženou možností jejich recyklace;
- Dostupná nákladně vyrobená pitná voda je zneužita jako nosič pro nutrienty a polutanty;
- Cena pitné vody pak roste i díky znečištění a trofizaci zdrojů povrchových vod;
- Dostupné nutrienty zatím nejsou recyklovány z odpadních vod, je to ekonomicky náročné;
- Díky vyšší investic, nárokům a nákladům na provoz a údržbu u konvenčních čistíren odpadních vod jsou tato řešení nevhodná pro rozvojové země;
- Centralizované komunální systémy produkují velká množství čistírenských kalů na jednom místě.

Příkladové uspořádání zkoumající vliv dělení vod na odtokové parametry u domovní ČOV

V rámci projektu TANDEM (VUT Brno a ASIO, spol. s r.o.) byla na rodinné farmě instalována oddílná kanalizace a zařizovací předměty umožňující dělení vod v místě vzniku a možnosti kombinování nátoků různých vod natékajících na domovní biologickou aktivační ČOV. Vždy asi po měsíčním provozu zvolené kombinace pak byl zkoumán vliv na odtokové parametry. V tabulce je uveden obsah P_{celk} a N_{celk} ve vyčištěných odpadních vodách v závislosti na kombinaci (VAR.I-IV) vypouštěných odpadních vod (voda použitá v kombinaci=X):

Tab. 5: Obsah P_{celk} a N_{celk} ve vyčištěných odpadních vodách v závislosti na kombinaci (VAR.I-IV) vypouštěných odpadních vod.

Zdroje P/varianty	VAR.I	VAR. II	VAR. III	VAR. IV
Komunální vody bez žlutých vod	X	X	X	X
Žluté vody	X	X		
Myčka na nádobí	X		X	
Zbytkový obsah P_{celk} v mg/l	10,2	6,4	8,0	1,1
Zbytkový obsah N_{celk} v mg/l	38	68	17	31

Výsledky testování prokázaly, že zatímco u parametru celkový dusík (N_{celk}) nemělo dělení vod až tak velký vliv, u parametru celkového fosforu (P_{celk}) byl úbytek fosforu ve vyčištěných vodách v závislosti na dělení vod zjevný. Zároveň se také prokázalo, že význačným zdrojem fosforu je prášek do myček nádobí. Co se týká dusíku, lze předpokládat, se dělení vod projeví podstatně, podobně jako je tomu u fosforu, na snížení koncentrace N_{amon} . Tento poznatek je využitelný zejména v případě vypouštění odtoku do podzemních vod z občasné obývaných objektů.

Vliv oddělení moči na čisticí proces u objektů s velkou produkcí moči

Mnohem větší důsledky má pak dělení vod např. na motorestech, ubytovnách a dalších objektech s velkou produkcí moči. Pokud by odpadní voda obsahovala veškerou produkovanou moč, pak by bylo potřeba při procesu čištění nejen upravovat pH, ale bylo by nutné pracovat s mnohem většími objemy aktivace, větší spotřebou vzduchu a pokud by měl být odstraněn i celkový dusík, pak by se pravděpodobně musel ještě dávkovat substrát pro denitrifikaci.

Při posouzení jednoho typického objektu na dálničním odpočívadle na dálnici Brno – Praha byly vypočteny trojnásobně vyšší investiční náklady pro variantu s čištěním vod bez jejich rozdělení než pro variantu s oddělením moči. Provozní náklady v tomto hodnocení zahrnuté nebyly, neboť likvidace moči nebyla detailně dořešena, dá se však předpokládat, že zvýšené náklady na provoz ČOV (obsluha, technika a chemikálie) by byly vyšší, než náklady na odvážení a likvidaci moči.

Tab. 6: Nasbíraný objem a obsah makronutrientů ve třech frakcích ze záchodů, sběru moči, separovaných pevných výkalech, separované vodě a součet dvou frakcí výkalů (výkaly a voda), uváděno za předpokladu, že bychom strávili 24h denně doma (g osoba⁻¹rok⁻¹)

Parametr	Separovaná moč	Separované pevné látky z odpadní vody	Odpadní komunální voda	Voda s výkaly
dusík	2544±430	609±52	1220±195	1829±143
NH ₄	2209±597	298±53	887±203	1185±148
fosfor	232±44	86±16	149±12	235±22
draslík	807±181	287±24	630±89	917±72

Problematika zpracování moči

Pokud se zaměříme na moč, je největším zdrojem dusíku v surové odpadní vodě vyskytující se ve formě močoviny (NH₂-CO-NH₂) a fosfor ve formě ortho-fosfátů (o-PO₄⁻³). Močovina, která se vyskytuje v moči ve vysoké koncentraci, se může rozkládat na amoniak a na hydrogenuhličitan, které způsobují růst pH: NH₂(CO)NH₂+2H₂O→NH₃+NH₄⁺+HCO₃⁻
Tato skutečnost dovoluje optimální znovuzískávání nutrientů, proto míchání s dalšími proudy odpadních vod bychom se měli vyhnout a zpracovat je odděleně.

Srovnání sanitárních systémů MIX a NOMIX a bezvodých systémů z hlediska produkce odpadní vody s obsahem moči

Tab. 7: Faktor průměrného zředění

Sanitární systém	Produkce odpadní vody [l/osobu/rok]	Objem fekálií [l/osobu/rok]	Spotřeba vody na splachování [l]
MIX – konvenční splachovací toalety a pisoáry	13.000	600 (5%) objemu odpadní vody	12.400 (95%)
NOMIX Separační toalety a bezvodé pisoáry	8-10.000	100 fekálií	8-9.000
Bezvodé toalety a pisoáry	-	600 (500 l moči + 100 l fekálií)	Zanedbatelná, pouze na čištění odpadní trubky

Přehled metod a procesů využívaných ve zpracování moči

Tyto metody a procesy lze rozdělit podle hlavního účelu do sedmi skupin. Konečná technologie zpracování moči bude kombinací těchto procesů.

- Systém sběru a uskladnění
- Snížení objemu

- Stabilizace
- Získávání fosforu
- Získávání dusíku
- Hygienizace
- Biologické odstraňování mikropolutantů a nutrietů

Uskladnění a akumulace

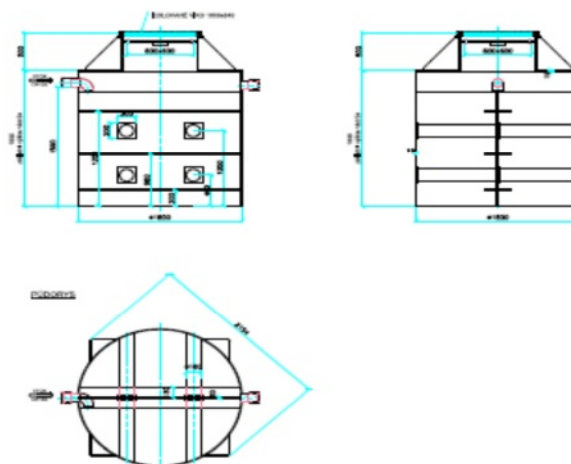
Během skladování moči dochází samovolně k hydrolýze močoviny a degradaci organických látek. Dochází k posunu pH do alkalické oblasti (pH 9), což způsobuje v rovnováze amonné ionty – amoniak výrazný posun směrem k výskytu nedisociované formy. Amoniak vytéká z roztoku, dokud není ustálena rovnováha mezi kapalnou a plynnou fází.

Existuje i jiná alternativa, a ta spočívá v možnosti zabránit tvorbě amoniaku, tudíž potlačit hydrolýzu močoviny např. enzymaticky, popřípadě posunout rovnováhu směrem k disociované formě – NH_4^+ .

Skladování a likvidace moči – dvojnádrž a zabezpečení proti zápachu, úprava před použitím a během skladování

Objekty pro skladování moči

Příkladem nádrže na skladování moči je nádrž AS-STAB. Při návrhu akumulační nádrže AS-STAB se vycházelo z informací zjištěných na základě projektu TANDEM FT-TA3-012. Akumulační nádrže AS-STAB slouží pro zachycení (akumulaci) a stabilizaci moči, která je vyprodukována během denního provozu na dané lokalitě. Tato stabilizovaná moč by měla následně sloužit po konkrétním zředění s pitnou a/nebo užitkovou vodou jako kvalitní hnojivo. Nádrž je konstruována jako dvoukomorová, kdy je rozdělena příčkou. Nátok do nádrže je usměrněn pomocí plastového kolena. Objemy nádrže jsou navrženy na dobu zdržení 6 měsíců.



Obr. 3: Nádrž na skladování moči (ASIO)

Snížení objemu - zakoncentrování

Z pohledu využití moči jako průmyslového hnojiva je obsah nutrientů v ní obsažených stále ještě malý. Z tohoto důvodu a z důvodů nákladů na dopravu je vhodné zakoncentrování roztoku. K tomu mohou být využity metody: evaporizace, destilace, reverzní osmóza, zmrazování a rozmrazování, znovu využití jako splachovací vody.

Evaporizace, destilace

Evaporizace s sebou nese dva základní problémy:

- Snížení koncentrace amoniaku v roztoku
- spotřeba energie

Existuje několik variant – moderních technologických postupů jak odpaření vody provést:

- VPS – Vapour Compression Distillation.
- TIMES – Thermoelectric Integrated Membrane Evaporation Systems.
- AES – Air Evaporation Systems.
- Lyofilizace – sublimace z ledu.

Reverzní osmóza

Probíhá zadržováním dusíku ve formě amonných iontů (NH_4^+). Účinnost je silně závislá na pH.

Zmrazování a rozmrazování

Při zmrazování moči při -18°C je přibližně 80% nutrientů zakoncentrováno cca v 25% původního objemu.

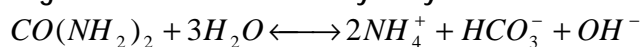
Elektrochemické čištění moči pro její čištění a znovu využití jako splachovací vody

Moč lze „čistit“ za účelem potlačení tvorby nepříjemného zápachu, který vzniká uvolňováním amoniaku – konečného produktu rozkladu močoviny. Moč skladována při tomto elektrochemickém čištění neemituje nepříjemný zápach a může být využita jako splachovací voda na toaletách.

Stabilizace

Hodnota pH moči zdravého člověka je slabě kyselá pH= 6,5-7,0, všeobecně více alkalická pH 7,5-8,0. U nemocných lidí se pH moči pohybuje v rozmezí 4,5-8,5.

Čerstvá moč obsahuje soli, rozpuštěné organické látky a amoniak vázaný v močovině. Její pH se pohybuje v rozmezí 5,6 – 6,8. Po mikrobiální kontaminaci je organická hmota degradována a močovina hydrolyzována.



Cílem celkové stabilizace moči je:

- redukce hydrolyzy močoviny a ztráty dusíku ve formě amoniaku,
- zamezení rozkladu organických látek,
- srážecích procesů (ucpávání trubek),
- snížení vysokého pH při nitrifikaci části amoniaku na nitráty (Hellström *et al.*, 1999),
- zamezení těkání amoniaku z roztoku (negativní vlivy na kvalitu vzduchu a zápach během skladování, transportu a používáním jako tekutého hnojiva)
- prevence mikrobiálního růstu

Kolem 50% celkového amoniaku v moči by mohlo být stabilizováno biologickou nitrifikací v biofilmu. Přidáním kyseliny může být redukována hydrolyza. Způsoby jak stabilizace dosáhnout jsou: acidifikace, nitrifikace (částečná, úplná), přídavek inhibitorů ureasy.

Acidifikace

Jednou z možností, jak zabránit hydrolyze močoviny, je udržovat nízké pH. Pokud hodnota pH je nízká, dochází k inaktivaci některých antibiotik. Acidifikace může být využita i jako předstupeň pro další technologické kroky, např. evaporizace.

Nitrifikace

Nitrifikaci lze použít jako metodu pro snižování pH a tudíž i stabilizaci. Část amoniakálního dusíku bude přeměněna na dusitany popřípadě dusičnany. Bez úpravy pH se množství znitřifikovaného dusíku bude pohybovat kolem 50 %. Pokud ovšem bude pH upravováno na hodnotu 8 a udržována vysoká koncentrace rozpuštěného kyslíku, může být dosaženo nitrifikace až 95 %.

Ultrafiltrace a nanofiltrace

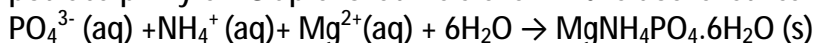
Pro stabilizaci moči nebyly tyto dvě metody podrobně studovány, spíše jsou dostupné studie, kdy byly využity pro odstraňování reziduí farmaceutik z moči.

Získávání fosforu

Fosfor je v moči přítomen ve formě orthofosforečnanů. Vzhledem ke složení moči se nejčastěji mluví o srážení struvitu ($\text{MgNH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) - v zahraniční literatuře uváděn pod zkratkou MAP nebo AMP.

Srážení struvitu

Struvit je pevná krystalická látka, která je navíc využitelná jako hnojivo. Srážení struvitu je pro znovuzískání nutrientů z roztoku velmi výhodné, protože ve své molekule spojuje oba makronutrienty (P, N). Hydrolyzovaná moč má ideální pH pro srážení struvitu, tudíž není potřeba pH výrazně upravovat. Ke srážení může docházet i samovolně.



Získávání dusíku

Adsorpce na zeolity

Zeolity jsou krystalické, hydratované aluminosilikáty alkalických kovů a kovů alkalických zemin. Jsou charakterizovány jejich schopností zadržovat a ztrácet vodu a jejich schopností vyměňovat atomy kovů ve své krystalické mřížce. Nejvíce zkoumaným v této oblasti je klinoptylolit.

Adsorpce amoniaku na všechny testované zeolity proběhla během několika minut a dosahovala velice dobrých výsledků: pro klinoptylolit až 70 – 80 %, okolo 50 % pro wollastonit a 50 – 60 % pro „směsný zeolit“. Účinnosti jsou vyšší při menší zrnitosti materiálů.

Srážení IBDU (isobutylaldehyd-diurea)

V čerstvé nehydrolyzované moči je dusík přítomen hlavně ve formě močoviny. Močovina tvoří komplex s IBU (isobutylaldehydem) a tvoří tak spolu komerčně dostupné pomalu se uvolňující hnojivo. Za určitých podmínek může být dosaženo konverze močoviny až 75 %.

Stripování amoniaku

Skladovaná moč je stripována pod vakuem a proud plynu je podroben adsorpci ve vodě. Nejsou dostupné informace o zbytkových koncentracích v moči po stripování. Pro stripování amoniaku lze dosáhnout účinnosti odstranění až 95 %. Při zvýšeném pH nad 10 dojde k převedení amonových iontů NH_4 na rozpuštěný plynný amoniak. Vysoká intenzita aerace je drahá a vhodná pro silně znečištěné průmyslové vody.

Při stripování přichází odpadní voda do kontaktu se silným proudem plynu (vzduchu/párou) tak, že dochází k přenosu takových znečišťujících látek z vodní fáze do fáze plynné. Znečišťující látky se ze stripovacího plynu odstraňují, což umožňuje opětovné použití. Těkavé organické a anorganické látky přecházejí z odpadní vody do odpadního plynu (zvětšením exponovaného povrchu kontaminované vody). Odpařováním vody (snížení její teploty) do odpadního plynu (zvětšením exponovaného povrchu kontaminované vody). Odpařováním vody (snížením její teploty) snižuje i těkavost znečišťujících látek. Stripování je nutné doplnit následným čištěním plynu (např. praním, adsorpce).

Hygienizace

Moč zdravého jedince je v močovém měchýři sterilní. Z těla vylučována moč je obohacena o druhy dermálních bakterií a čerstvá moč potom obsahuje koncentraci bakterie <10 000 počet bakterií na 1 ml (Tortora et al. 1992). V případě infekcí močového měchýře, které jsou více než z 80% způsobeny *E.coli* (Murray et al. 1990), je potom vylučováno významně více bakterií. Nebylo dokumentováno, že by došlo k přenosu těchto chorob přes vodní prostředí. Patogeny způsobující venerické choroby mohou být také vylučovány močí, ale nebyl zaznamenán žádný potenciál, že by zárodky mohly přežít mimo tělo a představovaly poté zdravotní riziko. Patogenní organismy, které se mohou vyskytovat ve vylučované moči, jsou

Leptospira interrogans, *Salmonella typhi*, *Salmonella paratyphi* a *Schistosoma haematobium* (Feachem et al. 1983).

Vliv délky uskladnění na bakteriální znečištění

Uskladnění nabízí možnou cestu, jak omezit zdravotní rizika. Tři základní parametry ovlivňují tento proces: pH, teplota a doba skladování. Např. někteří vědci (Höglund et al., 2001) předpokládají, že při skladování moči po dobu šesti měsíců při teplotě 20°C, může být moč považována za bezpečnou při jejím použití jako tekutého hnojiva. Dle standardů WHO se anaerobně skladovaná moč považuje za stabilizovanou, pokud je skladována již zmíněných 6 měsíců.

V rámci projektu TANDEM bylo mimo jiné ověřeno, že skladování po dobu 6 měsíců zabezpečí snížení množství bakteriálního znečištění nejméně na úroveň doporučovanou pro hygienizovaný kal. Rozbory výsledků bakterie *E.coli* u moči uskladněné po 6 měsících prokázaly, že u moči nastal pokles množství a četnosti výskytu této bakterie (cca z hodnoty 10^3 - 10^6 na hodnotu 10^2) a po 9 měsících se *E.coli* nevyskytovala vůbec.

Srovnání některých technologií zpracování moči ověřovaných v praxi

Pro posouzení zpracování moči byly vybrány tři různé technologie:

High tech řešení představuje srážení PO_4^{3-} za vzniku hořečnato-amonného fosfátu (MAP, struvit) s následným stripováním NH_3 – postup publikovaný firmu Huber AG.

Druhou metodou je solární sušení moči, díky němuž vzniká pevné hnojivo N-P-K a kapalné N-hnojivo. Jako třetí metoda byla zkoumána nejjednodušší možnost ošetření moči a to skladováním.

Tab. 8: Srovnání různých technologií úpravy moči

	Srážení/stripování „high tech“	Vysoušení moči	Uzavřené skladování „low technology“
<i>předpoklady</i>	<i>Separovaná moč/žluté vody</i>		
Čištění odpadních vod	~80% N a 50% P díky separátnímu oddělení žlutých vod		
Produkty	Pevná a tekutá hnojiva	Pevná a tekutá hnojiva	Tekutá moč jako hnojivo
Koncentrace nutrientů – živin [%]	Prášek-pevná fáze N/P (6/13) Kapalná N (cca.8)	Zrnka N/P (ca.20/2) Tekuté N (ca.5) K zůstane 100% zadrženo	N/P (ca.0,6/0,05) Draslík zůstane 100% zadrženo
Transfer živin			
N	Více jak 90%	Více jak 75%	>95% po 3 měsících >90% po 9 měsících
P	Více jak 95%	Více jak 95%	Více jak 95%
Transfer živin do rostlin	velký	Středně velký	Středně velký (závislý na technice rozmetání)
Redukce choroboplodných zárodků	účinná	Účinná	Účinná dle doby skladování
Energetická náročnost, technické know-how	vysoká	Nízká	Není nutná
Provoz/příjem	Obtížný	jednoduchý	Jednoduchý
Nároky na plochu	<0,03m ² /osobu	>0,5m ² /osobu	<0,1 m ² /osobu
Přijetí technologie uživateli	vysoká	Vysoká	Střední až nízká
Stavební náklady	vysoké	Nízké	Velmi nízké
Určeno pro:	Hotel/průmysl, městské prostory	Pro oblasti bezprostředně sousedící s městy, zemědělské/vesnické prostředí	Pro oblasti bezprostředně sousedící s městy, zemědělské/vesnické prostředí

Poznámka:

V rámci projektu TANDEM – ev. č. FT-TA3-012 byly v podstatě potvrzeny výsledky získané při pokusech UNI Bonn, navíc byl ověřen vliv různých ředění na produkci a kvalitu rajčat. Ukázalo se, že hnojit naředěnou močí lze bez vlivu na kvalitu plodů (byl sledován obsah dusičnanů) a že takové hnojení je rovnocenné minerálním hnojivům.

Tab.9: Znovuzískání nutrientů a redukce objemu pomocí různých metod, % z celku

metoda	dusík	fosfor	draslík	Faktor redukce objemu	Komentáře
Moč, reverzní osmóza	95	90	99	5	Vysoce salinní, všechny nečistoty
Evaporace	95	100	99	20	Vysoce salinní
Hořečnato-amonný fosfát+amoniak	3+85	90+0	0+0	125+10	Relativně čistý
Retentát, reverzní osmóza	90	92	97	20	Vysoce salinní, všechny nečistoty
evaporace	95	100	100	50	Vysoce salinní, všechny nečistoty
Hořečnato-amonný fosfát+amoniak	5+85	65+0	0+0	330+10	Relativně čistý

MAP – magnesium ammonium phosphat

Zařizovací předměty a využití moči

Na pánských záchodech v budovách občanského vybavení sídlišť a budovách průmyslových, na veřejných pánských záchodech a někdy i na záchodech soukromých se pro pánské uživatele zřizují pisoáry. Jsou známy také pisoáry pro ženy, které se však u nás téměř nevyskytují. Oproti záchodovým mísám mohou být pisoáry splachovány menším množstvím vody (min. 1,5 l), takže jsou důležitějším zařízením pro úsporu vody. Vyrábějí se také pisoáry nesplachované. Pisoáry umožňují také odděleně odvádět moč nebo vodu s obsahem moči od ostatních splaškových odpadních vod a moč potom dále využívat.

Pisoárové mísy

Nejčastějším, v současné době u nás používaným druhem pisoárů, jsou pisoárové mísy (obr. 1), které můžeme rozdělit na splachované a nesplachované. Materiálem pisoárových mís bývá nejčastěji zdravotně technická keramika, vyrábějí se však také z korozivzdorné oceli a plastů.

Splachované pisoárové mísy

Splachované pisoárové mísy se vyrábějí v různých provedeních a tvarech. Přívodní splachovací potrubí a zápachová uzávěrka pro napojení na kanalizační potrubí mohou být instalovány viditelně nebo zakryty.

Zápachové uzávěrky se vyrábí jako odsávací nebo bez odsávání. Mohou být vytvořeny v keramice pisoárové mísy, ale častěji se používají zápachové uzávěrky montované na mísu dodatečně.

Dříve používané nádržkové splachovače se příliš neosvědčily. Existovaly také samočinné splachovače časované splachující více pisoárů současně po určitých nastavitelných časových intervalech. Pro splachování pisoárových mís se, kromě pitné vody, může použít také voda

užitková nebo voda provozní (srážková nebo vyčištěná šedá voda). Šedou vodou rozumíme splaškové odpadní vody bez fekálií a moče.

V Japonsku se začaly firmy nabízet splachované pisoáry, které co nejvíce šetří vodou a jsou přímo napojeny na umyvadla, která při mytí rukou spláchnou pisoáry.



Obr. 4: Zapojení umyvadel na splachování pisoárů

Nesplachované pisoárové mísy

Nesplachované pisoárové mísy (obr. 5) se vodou nesplachují, a proto musí mít zápachovou uzávěrku speciální konstrukce.

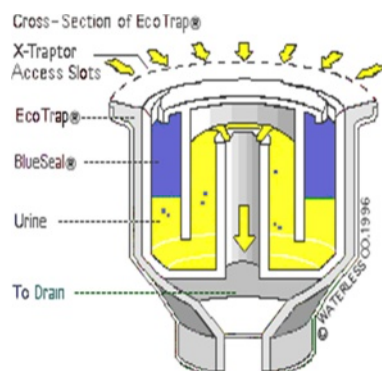


Obr. 5: Nesplachovaná pisoárová mísa z korozivzdorné oceli (Franke) a keramiky

U nesplachovaných pisoárů se používají tři druhy konstrukcí zápachových uzávěrek:

- s chemickou tekutinou pro neutralizaci (systém Waterless);
- s magnetickým systémem (Urimat), vyžadujícím přívod elektrického proudu;
- s plastovou membránou (obr. 6).

Výrobci nesplachovaných pisoárových mís tvrdí, že při absenci vody nedochází ke krystalizaci moči v zápachových uzávěrkách a potrubí, a ty se potom nezanášejí. U nesplachovaných zápachových uzávěrek je nutné pravidelné vyměňování chemické tekutiny, uzávěry nebo membrány.



Obr. 6: Nesplachovaná zápachová uzávěrka systému Waterless v řezu



Obr. 7: Rozebraná nesplachovaná zápachová uzávěrka s membránou Franke (membrána je třetí díl zleva)

Pisoárové mísy pro ženy

Pisoárové mísy pro ženy mají jiný tvar než pisoárové mísy pro muže a u nás se téměř nepoužívají. Na obrázku 8 jsou znázorněny dámské pisoárové mísy.



Obr. 8: Pisoárová mísa pro ženy

Pisoárová stání

Pisoárová stání jsou zařizovací předměty ze zdravotně technické keramiky nebo korozi-vzdorné oceli (obr. 6), které se osazují vedle sebe a vytvoří tak estetickou pisoárovou stěnu. Jsou vhodné v méně kontrolovaných provozech, např. v levných restauracích a některých veřejných záchodech. Podlaha místnosti pisoáru může být vyspádovaná ke žlábkům pisoárových stání. Pisoárová stání se splachují splachovací hlavici umístěnou v jejich horní části. Ovládání splachování pisoárových stání a připojení na vodovodní potrubí je obdobné jako u pisoárových mís. Automatické tlakové splachovače bývají skryty v krabici ve stěně.



Obr. 9: Pisoárové stání z korozi-vzdorné oceli

Pisoárové stěny

Kromě pisoárových mís a stání se můžeme v současné době už méně často setkat také s obloženými nebo jen asfaltem natřenými pisoárovými stěnami splachovanými děrovanou trubkou z nádržkového splachovače nebo nesprávně přímo z vodovodního potrubí. Takové pisoáry vykazují hygienické závady, a proto se v nových stavbách už nenavrhují. Pokud jsou navrženy, pak z korozi-vzdorné oceli – v některých případech se na splachování používá vyčištěná voda (letišť Adelaide).



Obr. 10: Pisoárové stěny v olympijské vesnici v Sydney a na letišti v Adelaide

Pisoárová koryta

Pisoárová koryta nejsou u nás rozšířena. Jsou tvořena korytem osazeným v příslušné výšce na stěně.

Separční toalety NOMIX systémy

Separční toalety jsou toalety, v nichž je zakoncentrovaná moč odváděna odděleně z toalety samostatným potrubím, mají tedy dva samostatné odtoky. Sebrané fekálie spolu s určitým množstvím splachované vody jsou odváděny do kanalizace, protože většina instalovaných NOMIX záchodů mají konvenční splachovací systémy. Zařízení Aquatron na obr. 12 umožňuje snadnější a lepší separaci tuhých látek s využitím dynamiky splachované vody, odstředivé síly a gravitace.

Kompostovací latríny, dehydratační latríny s jednotkou na separaci moči jsou určeny pro individuální rekreační objekty. Odpadní voda je dále čištěna ve vegetačních čistírnách odpadních vod.



Obr. 11: Separční toalety Dubbleten a zadní díl separční toalety



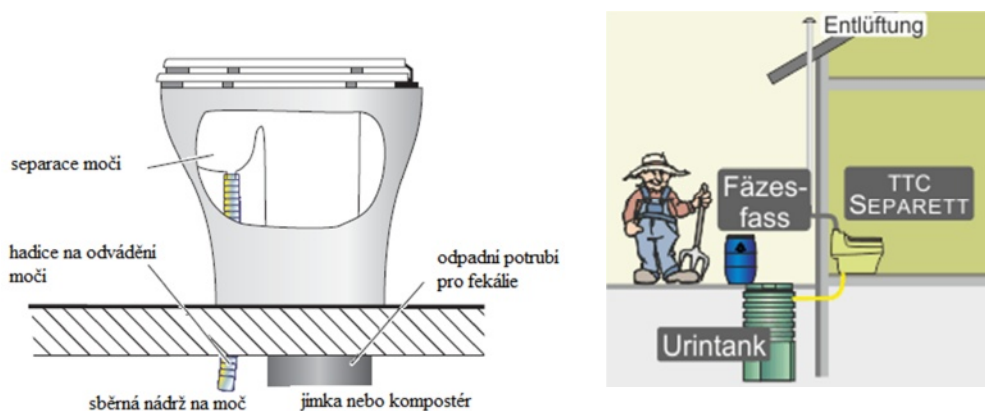
Obr. 12: Separátor tuhých částic

Zařízení Aquatron na obr. 12 umožňuje snadnější a lepší separaci tuhých látek s využitím dynamiky splachované vody, odstředivé síly a gravitace. Právě bez použití chemikálií či pohyblivých částí pro separaci a kompostovací procesy.

Na následujících obrázcích jsou jednoduchá zařízení na principu bezvodých toalet a pisoárů.



Obr. 13: Bezvodá toaleta s oddělením moči



Obr. 14: Separální toaleta - výrobek fy. Holzapfel+Konsorten

Díky separační technologii je sbírána žlutá voda prakticky nezředěná a vysoce koncentrovaná, takže dle předpokladů může být získáno až 100 % živin.

Závěr

Volba řešení odvádění moči má podstatný vliv na odtokové parametry, spotřebu vody a možnosti využití nutrientů. Dnes již existuje velký výběr zařizovacích předmětů umožňujících jak oddělení moči, tak minimalizaci naředění. K dispozici jsou také jak technologie, tak i výrobky umožňující odvádění, skladování a zpracování moči. Nic tak nebrání hospodaření s močí jako využitelnou surovinou. Výhodné je také využít možnosti odseparování moči k dosažení potřebných odtokových parametrů zejména na lokalitách se zvýšenými požadavky na odstranění nutrientů nebo zefektivnění procesů čištění vod na lokalitách, kde díky vysokým koncentracím lidí není možné bez problémů a efektivně odpadní vodu čistit běžným způsobem.

Literatura

1. ČSN 13407 Pisoárové mísy nástěnné – Funkční požadavky a zkušební metody
2. ČSN EN 15091
Zdravotnětechnické armatury – Elektronicky otevírané a uzavírané zdravotnětechnické armatury
3. ČSN 75 5409 Vnitřní vodovody
4. ČSN EN 12056-2 Vnitřní kanalizace – Gravitační systémy – Část 2: odvádění splaškových odpadních vod – Navrhování a výpočet
5. ČSN 75 6760 Vnitřní kanalizace
6. Bitton, G. 1994. Wastewater microbiology. Wiley-Liss, Inc., New York, NY, USA.
7. Ek, M., Bergström, R., Bjurhem, J. E., Björlenius, B., Hellström, D.: Concentration of nutrients from urine and reject water from anaerobically digested sludge. *Water Science and Technology*, vol. 54, No. 11-12, p. 437-444.
8. Esrey S, 1996, Water, waste and well-being: a multi-country study, *American Journal of Epidemiology*, 143(6): 608-623.
9. Esrey, S.A., Gough, J., Rapaport, D., Sawyer, R., Simpson-Hébert, M., Vargas, J. and Winblad, U. 1998. Ecological Sanitation. Swedish International Development Cooperation Agency, Stockholm, Sweden.
10. Feachem, R.G., Bradley, D.J., Garelick, H. and Mara, D.D. 1983. Sanitation and Disease - Health aspects of excreta and wastewater management. John Wiley and Sons, Chichester, UK.
11. Höglund, C., Vinnerås, B., Stenström, T.A. and Jönsson, H. 2000. Variation of chemical and microbial parameters in collection and storage tanks for source separated human urine. *Journal of Environmental Science and Health A35(8):1463-1475*.
12. Jönsson, H., Burström, A. and Svensson, J. 1998. Measurements on two urine separating sewage systems – urine solution, toilet usage and time spent at home in an eco village and an apartment district. (Mätning på två utrinsorterande avloppssystem - urinlösning, toalettanvändning och hemvaro i en ekoby och i ett hyreshusområde). Report 228, Department of Agricultural Engineering, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden. (In Swedish, English summary).
13. Jönsson, H., Eriksson, H. and Vinnerås, B. Collection tanks for human urine - ventilation and ammonia loss. (Uppsamlingsstankar för humanurin - gasväxling och ammoniakförlust). Department of Agricultural Engineering, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden. Manuscript. (In Swedish, English summary).
14. Jönsson, H., Vinnerås, B., Höglund, C., Stenström, T.A., Dalhammar, G. and Kirchmann, H. 2000. Recycling source separated human urine. (Källsorterad humanurin). VA-Forsk Report 2000-1, VAV AB, Stockholm, Sweden. (In Swedish, English summary).
15. Madigan, M.T., Martinko, J.M. and Parker, J. 1997. Brock - Biology of microorganisms, 8th ed. Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ, USA.

16. Sinton, L.W., Davies-Colley, R.J. and Bell, R.G. 1994. Inactivation of enterococci and fecal coliforms from sewage and meatworks effluents in seawater chambers. *Applied and Environmental Microbiology* 60(6):2040-2048.
17. Vinneras, B., Jönsson, H.: The performance and potential of faecal separation and urine diversion to recycle plant nutrients in household wastewater. *Bioresource Technology* 84 (2002), p. 275-282.
18. Murray, P.R., Drew, L.W., Kobayashi, G.S. and Thompson, J.H. 1990. *Medical microbiology*. Wolfe Publishing Ltd., USA.
19. Tortora, G.J., Funke, B.R. and Case, C.L. 1992. *Microbiology: An introduction*. The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc., Redwood City, California, USA.
20. Závěrečná zpráva o řešení projektu v programu TANDEM FT-TA3-012: Minimalizace množství nutrientů a odpadních vod vypouštěných do vod povrchových a podzemních – postupy a zařízení. Projekt byl řešen v letech 2008-2010.

Poděkování

Tento příspěvek vznikl za podpory Technologické agentury ČR projektu TA02021032 Anaerobní separátor nerozpuštěných látek a nutrientů.