

VEDLEJŠÍ PRODUKTY DEZINFEKCE PITNÉ VODY

VÁCLAV JANDA a MARIE ŠVECOVÁ*

Ústav technologie vody a prostředí, Vysoká škola chemicko-technická, Technická 5, 166 28 Praha 6

Došlo dne 18.X.1999

Klíčová slova: dezinfekce pitné vody, vedlejší produkty dezinfekce

Obsah

1. Úvod
2. Dezinfekční činidla a jejich vedlejší produkty
 - 2.1. Chlor a jeho sloučeniny
 - 2.1.1. Chlor, chlornan sodný, anorganické chloraminy
 - 2.1.2. Oxid chloričitý
 - 2.2. Ozon
3. Závěr

1. Úvod

Při vodárenské dezinfekci pitné vody se jako chemická činidla uplatňují především látky se silným oxidačním účinkem. Cílem jejich aplikace je samozřejmě usmrcení nebo alespoň inaktivace ve vodě přítomných (patogenních) mikroorganismů. Dezinfekční činidlo avšak nereaguje pouze s cílovými mikroorganismy, ale i s dalšími látkami, které jsou ve vodě běžně přítomny, za vzniku nežádoucích vedlejších produktů dezinfekce. Dále je třeba mít na paměti, že i koncentrace samotného dezinfekčního činidla je limitována. Do pitné vody se mohou dostávat i chemikálie, ze kterých se toto činidlo připravuje.

Dosud používaná norma definující kvalitu pitné vody¹ uvádí limitní hodnoty pro některé vedlejší produkty dezinfekce. I když normy řady ČSN nejsou dnes již obecně závazné, orgány dohlížející na zabezpečení kvality pitné vody využívají nadále hodnoty limitních koncentrací uvedených v této normě a vyžadují jejich plnění, respektive jejich nepřekročení. Je pochopitelné, že tato norma již nevyhovuje dnešním potřebám – byla schválena 5.1.1989 – a není schopna postihnout vývojové trendy a nové poznatky, kterých bylo dosaženo v posledním desetiletí. Proto je připravována vyhláška² Ministerstva zdravotnictví ČR, ve které budou zakotveny nové požadavky na jakost pitné vody. Mezi těmito požadavky figurují i limitní hodnoty pro dezinfekční činidla a vedlejší produkty dezinfekce vody v mnohem širší škále, než tomu bylo v předchozí normě. Pravděpodobně nekomplexnější přehled o limitních koncentracích dezinfekčních činidel a vedlejších produktů de-

zinfekce lze nalézt ve směrnici Světové zdravotnické organizace³. Diskutované limitní hodnoty v této publikaci jsou převzaty především z této práce. Většina vedlejších produktů dezinfekce vykazuje karcinogenní účinky. Pro tyto látky s bezprahovým působením je limitní hodnota odvozena pro riziko vzniku rakoviny 10^{-5} (vyvolá u populace 10^5 průměrných spotřebitelů při celoživotní konzumaci jeden případ úmrtí navíc).

I v odborné veřejnosti často padá otázka, proč se neustále rozšiřuje spektrum vedlejších produktů dezinfekce, po kterých v pitné vodě pátráme. Důvody jsou zřejmě dva: neustále se vylepšují analytické metody používané pro jejich analýzu a současně se rozšiřuje paleta používaných chemických dezinfekčních prostředků. Druhý důvod je přímým důsledkem populačního tlaku. V globálním měřítku je kvalitní pitné vody stále větší nedostatek (to ovšem není případ ČR, kde potřeba vody v posledním desetiletí po určitém narovnání cenových relací poklesla). Její zvýšená potřeba je saturována exploatací méně kvalitních zdrojů. Paleta dezinfekčních chemikálií se tedy neustále rozšiřuje. Před 25 lety nebylo o vedlejších produktech dezinfekce pitné vody známo téměř nic, i když například její chlorace byla z tohoto hlediska vždy podezřelá. V roce 1974 byla popsána jednoznačná identifikace a kvantifikace prvních vedlejších produktů chlorace vody – trichlormethanu a dalších trihalogenmethanů^{4,5}. Tento objev byl učiněn především díky tehdejšímu bouřlivému rozvoji plynové chromatografie a s ní souvisejících prekoncentračních technik. Od té doby se právě díky chromatografickým technikám dosáhlo významného pokroku v oblasti identifikace nových vedlejších produktů dezinfekce vody.

Snad je na tomto místě také vhodné zdůraznit, že dezinfekce pitné vody je jedním z nejdůležitějších kroků její úpravy. Odstranění patogenních mikroorganismů z upravené vody je jedním z nejzákladnějších úkolů a nemělo by nikdy být kompromisem.

2. Dezinfekční činidla a jejich vedlejší produkty

Většina vedlejších dezinfekčních produktů je spjata s používáním chloru a jeho sloučenin. Je to pochopitelné, protože výzkum vedlejších produktů chlorace je nejvíce rozpracován. Chlor a jeho sloučeniny jsou nejen v ČR, ale i ve světě používány pro dezinfekci pitné vody daleko nejčastěji.

2.1. Chlor a jeho sloučeniny

2.1.1. Chlor, chlornan sodný, anorganické chloraminy

Z hydrochemického hlediska je celkem lhostejné, dávkujeme-li do vody chlor (chlorovou vodu) nebo chlornan sodný. Chlor reaguje s vodou za vzniku kyseliny chlorné. Ve vodě je pak v obou případech aktivní chlor přítomen jako směs nedisociované kyseliny chlorné a chlornanového aniontu. Poměr těchto dvou forem výskytu závisí již jen na pH vody (pK kyseliny chlorné činí 7,4). Elementární chlor rozpuštěný ve

* Současná adresa: Ústav silniční a městské dopravy DEKRA a.s., Jánkův vršek 11, 118 20 Praha 1

vodě se vyskytuje až v oblastech extrémně nízkých hodnot pH, které v technologii vody nepřicházejí v úvahu⁷. Přesto se běžně hovoří o „chlóru ve vodě“. Chlór se ve vodě postupně spotřebovává na oxidaci jak anorganických, tak na oxidaci a chlóraci organických látek. Některé z těchto reakcí (například reakce chlóru s huminovými látkami) mají velmi pomalý průběh a dostávají se do ustáleného stavu až po několika dnech. Tomu odpovídá i rychlost poklesu koncentrace chlóru ve vodě. Chlór nemá na člověka významný toxikologický vliv ani v koncentracích několika mg.l⁻¹.

Nejznámějšími vedlejšími produkty chlórce vody jsou trihalogenmethany (haloformy), jejichž objev spadá do první poloviny sedmdesátých let^{4,6}. Vedle trichlormethanu byly v pitných vodách nacházeny i dibromchlormethan, dibromchlormethan a tribrommethan. Bromované haloformy vznikají díky přítomnosti bytí i stopového množství bromidů ve vodách. Bromidy jsou nejprve oxidovány chlorem na brom, který má k haloformové reakci vyšší afinitu než chlór. Hlavními prekurzory haloformů jsou přirozené makromolekulární organické látky přítomné především v povrchových vodách. Jedná se hlavně o huminové látky^{8,9}, avšak i řasy a jejich metabolické produkty mohou po chlóraci haloformy poskytnout¹⁰. Haloformy vznikají pravděpodobně chlórací seskupení dvou hydroxylových skupin v poloze 1,3 na benzenovém jádře¹¹. Rychlost haloformové reakce je velmi nízká, a proto největší podíl koncentrace haloformů v pitné vodě vzniká až ve vodovodní síti. Koncentraci vznikajících haloformů ovlivňuje samozřejmě teplota vody a dávka chlóru, ale i další faktory, jako např. pH. Směrem k vyšším hodnotám těchto veličin roste i výtěžek haloformů¹². V osmdesátých letech byly v českých zemích provedeny první studie týkající se obsahu haloformů v našich pitných vodách¹³. Bylo zjištěno, že není z tohoto hlediska nikterak tristní. Dnes je analýza haloformů v pitných vodách standardní součástí kontroly kvality pitné vody. To, zda vyhovuje koncentrace haloformů v pitné vodě v konkrétním případě, doporučuje WHO vypočítat podle následujícího vzorce:

$$\frac{p_{\text{bromoform}}}{GV_{\text{bromoform}}} + \frac{p_{\text{bromdichlormethan}}}{GV_{\text{bromdichlormethan}}} + \frac{p_{\text{dibromchlormethan}}}{GV_{\text{dibromchlormethan}}} + \frac{p_{\text{chloroform}}}{GV_{\text{chloroform}}} \leq 1$$

kde p jsou aktuální koncentrace a GV směrnice hodnoty WHO³ (100 $\mu\text{g.l}^{-1}$ pro tribrommethan, 100 $\mu\text{g.l}^{-1}$ pro dibromchlormethan, 60 $\mu\text{g.l}^{-1}$ pro bromdichlormethan a 200 $\mu\text{g.l}^{-1}$ pro trichlormethan). Navrhovaná nejvyšší mezní hodnota pro koncentraci haloformů v distribuční síti se v ČR pro jednoduchost předpokládá² 150 $\mu\text{g.l}^{-1}$.

Další významnou skupinou sloučenin vznikajících při chlóraci vody jsou haloctové kyseliny¹⁴⁻¹⁸. Jedná se především o kyseliny di- a trichloroctovou, jejichž koncentrace v pitné vodě může dosahovat až 100 $\mu\text{g.l}^{-1}$. Koncentrace kyseliny chloroctové bývá na úrovni maximálně několik jednotek $\mu\text{g.l}^{-1}$. Doporučené limitní hodnoty jsou podle WHO³ pro kyselinu dichloroctovou 50 $\mu\text{g.l}^{-1}$ a pro kyselinu trichloroctovou 100 $\mu\text{g.l}^{-1}$. V některých státech již byl provedena screeningová měření

a zjišťována frekvence výskytu těchto vedlejších produktů chlórce v pitných vodách sloužících k zásobování obyvatelstva¹⁹⁻²¹. Dále jsou v chlórovaných vodních vodách, nebo při modelových pokusech s chlórací vodných roztoků humátů, nacházeny další nižší alifatické chlórované kyseliny²², bromované haloctové kyseliny²³, chlórované a bromované acetonitril²⁴, chlórované aldehydy a ketony²⁵, zvláště pak chlórovaný acetaldehyd²⁶, popřípadě do různého stupně bromované acetaldehyd²⁷ a chlorkyan²⁸ (ten se tvoří především za přítomnosti vyšších koncentrací amonných iontů, resp. chloraminů). Doporučené limitní koncentrace v pitné vodě pro některé z těchto látek podle WHO³ jsou uvedeny v tabulce I.

Tabulka I

Limitní koncentrace některých vedlejších produktů chlórce vody³

Látka	Limitní koncentrace [mg.l^{-1}]
Chloralhydrát	10
Dichloracetonitril	90
Dibromacetonitril	100
Trichloracetonitril	1
Chlorkyan	70 ^a

^a Suma všech kyanosloučenin (včetně kyanidů)

Další skupinou látek, které patří mezi vedlejší produkty chlórce vody a okolo kterých je situace dnes již poměrně dobře zmapována, jsou chlórphenoly. Fenolické látky se i ve velmi nízkých koncentracích ve vodě snadno chlórují za vzniku silně páchnoucích a chuťově postižitelných chlórphenolů. Prekurzory chlórphenolů mohou být v tomto případě i přirozeného původu. Chlórphenoly vykazují zpravidla tak silný zápach, že koncentrační limit pro pitnou vodu se odvíjí od senzorickejších hledisek a nikoli toxikologických. Například mezní hodnota referenčního rizika pro 2,4,6-trichlorfenol činí 200 $\mu\text{g.l}^{-1}$. Prahová koncentrace chuti má hodnotu již 2 $\mu\text{g.l}^{-1}$ (obdobný práh pro 2-chlorfenol a 2,4-dichlorfenol je na koncentračních úrovních 0,1 $\mu\text{g.l}^{-1}$, resp. 0,3 $\mu\text{g.l}^{-1}$) (cit.³). Je tedy zřejmé, že pokud voda nemá zjevnou chuť např. po 2,4,6-trichlorfenolu, nepředstavuje pro spotřebitele žádné zdravotní nebezpečí.

Mezi vedlejší produkty chlórce vody můžeme zařadit i anorganické chloraminy. Tyto látky vznikají reakcí chlóru s amonnými ionty přítomnými ve vodě. Amonné ionty jsou běžnou složkou vod (limitní koncentrace pro pitnou vodu¹ má hodnotu 0,5 mg.l^{-1}). Při nízkých koncentracích není vliv amonných iontů na kvalitu dezinfekce pitné vody chlorem nijak výrazný, zvláště je-li dávka chlóru vyšší, než odpovídá stechiometrii reakce s amonnými ionty. Při vyšších koncentracích amonných iontů však jejich přítomnost ovlivňuje průběh dezinfekce poměrně výrazně. Amonné ionty reagují s chlorem za vzniku mono- a dichloraminu. Trichloramin může vznikat až při poměrně vysokých dávkách chlóru a vyšších hodnotách pH. Kromě toho může chlór oxidovat složitým a dosud ne zcela probádaným komplexem reakcí amonných iontů na elementární dusík, oxid dusný a dokonce až na dusičnany⁷. Reakci amonných iontů s chlorem lze technologicky využít dvěma způsoby. Buď pro odstraňování amonných iontů z vody, kdy jsou vyšší dávkou chlóru (až za tzv. bod zlomu) oxidovány

na výše uvedené produkty a nadbytek chloru je pak z vody odstraněn filtrací přes granulované aktivní uhlí, nebo pro tzv. chloraminaci vody. Anorganické chloraminy jsou dezinfekčním činidlem, i když poněkud slabším než chlor. Na druhou stranu, jejich rozklad ve vodě je pomalejší než u chloru. To lze využít tam, kde má voda poměrně dobrou mikrobiologickou kvalitu a kde je dlouhá doba zdržení mezi úpravnou vodou a spotřebitelem. Pro tyto účely jsou amonné ionty do vody dávkovány ve formě síranu amonného a dávka chloru je dávce amonných iontů přizpůsobena. Výhodou chloraminace je také to, že reakcí anorganických chloraminů s přirozenými organickými látkami ve vodě téměř nevznikají látky typu haloformů, jako při reakci s volným chlorem. Využití chloraminace pro dezinfekci vody se však ukázalo v posledních letech v ČR problematičké. Souvisí to s tím, že poklesla potřeba pitné vody v důsledku útlumu hospodářství a cenového narovnání. Doby zdržení pitné vody v sítích se prodloužily a v rozvodech probíhají procesy, na které jsme nebyli zvyklí. Jedním z nich je i neúplná biologická nitrifikace amonných iontů na dusitan²⁹, které způsobují methemoglobinemii. Biologická nitrifikace může probíhat i za přítomnosti chloraminů a existují indicie, že nitrifikující mikroorganismy je dokáží využívat jako substrát. V budoucnu bude spíše nutné amonné ionty z vody při její úpravě odstraňovat, než je využívat pro chloraminaci. Nadějným způsobem odstraňování amonných iontů z pitné vody jsou právě biologické metody³⁰.

2.1.2. Oxid chloričitý

Oxid chloričitý na rozdíl od chloru nereaguje s přirozenými organickými látkami ve vodě chloračně, ale atakuje je pouze oxidačně. Nevznikají tedy vedlejší produkty dezinfekce typu haloformů nebo halooctových kyselin.

Oxid chloričitý je však explozivní plyn a není jej možno skladovat v čistém stavu. Proto se připravuje přímo na úpravách vody reakcí chloritanu sodného s chlorem nebo kyselinou chlorovodíkovou. Vzniklý koncentrovaný roztok oxidu chloričitého je pak dávkován do pitné vody. Při použití oxidu chloričitého není podle současných (a zatím velmi kusých) toxikologických údajů o jeho vlastnostech ani tak problém se samotným ClO₂, jako spíše s nezreagovaným chloritanem (který způsobuje methemoglobinemii) a sloučeninami chloru ve vyšším oxidačním stupni, než v chloritanu. Směrníková hodnota pro koncentraci chloritanu v pitné vodě³ je 200 µg.l⁻¹. Obdobná hodnota bude zřejmě uvedena i v připravované vyhlášce MZ ČR².

2.2. Ozon

Ozon je nejsilnějším dezinfekčním činidlem, které je ve vodárenské praxi používáno. Koncentrace ozonu v pitné vodě nemá být vyšší² než 0,05 mg.l⁻¹. Ozon je po absorpci ve vodě subjektem řady komplexních následných a bočných reakcí, při nichž vznikají hydroxylové radikály, které jsou považovány za nejrazantnější složku oxidační směsi. Ozon sám o sobě samozřejmě neposkytuje vedlejší produkty dezinfekce typu haloformů a halooctových kyselin. Rozklad ozonu ve vodě je ve srovnání s redukcí chloru daleko rychlejší. Pokud má být voda zabezpečena proti rekontaminaci ve vodovodní síti, je nutné ji dochlorovat, což se běžně děje. Při vyšších dávkách chloru pak mohou vznikat i vyšší koncentrace haloformů, než

když není použita předozonizace³¹, protože ozonizačním štěpením makromolekulárních organických látek může paradoxně dojít ke tvorbě nového podílu prekurzorů haloformů.

Při použití ozonu jakožto dezinfekčního činidla byly pozitivně prokázány i některé další vedlejší produkty dezinfekce. Jedná se například o formaldehyd. O toxicitě formaldehydu bylo v posledních desetiletích řečeno mnohé, a to nejenom v souvislosti s pitnou vodou. Jedná se o dráždivou a pravděpodobně i karcinogenní látku. Směrnice^{2,3} doporučují maximální koncentraci 900 µg.l⁻¹.

Další vedlejší produkt používání ozonu jsou bromičnany³². Vznikají oxidací stopových koncentrací bromidů, které jsou běžně přítomny ve vodách. Ukazuje se, že bromičnany jsou poměrně silným karcinogenem. Mezní hodnotě referenčního rizika 10⁻⁵ odpovídá koncentrace bromičnanů v pitné vodě 3 µg.l⁻¹. Vzhledem k tomu, že pro analýzy takovýchto koncentrací jsou naše metody zpravidla omezeny vyšším detekčním limitem, je doporučována³ směrníková hodnota 25 µg.l⁻¹. Referenční riziko se potom zvyšuje na 7.10⁻⁵. Naše národní směrnice² bude respektovat tuto hodnotu.

3. Závěr

Je zřejmé, že výčet vedlejších produktů dezinfekce pitné vody je poměrně široký. Ani v budoucnu se však nedá předpokládat, že se tato paleta zúží. Důvody byly naznačeny v úvodu tohoto článku: jednak se stále ještě bude rozšiřovat škála používaných dezinfekčních činidel, jednak budou vyvinuty nové a citlivější analytické postupy pro stanovení těchto látek ve vodě. Navíc jsou naše znalosti o toxicitě vedlejších produktů dezinfekce vody často kusé a nespolehlivé, což se projevuje například tím, že směrníková hodnota je mnohdy definována jako provizorní (tedy hodnota vycházející z nedostatku jednoznačných údajů – o vlivu xenobiotik na lidský organismus viz např. nedávný článek Knejzlíka a Rumla³³). Nejistota v požadovaných limitech pro pitnou vodu však má silný vliv na ekonomiku provozu úpraven pitné vody. Je možné, že někdy jsou aplikovány drahé technologie zbytečně, protože by stačila aplikace méně náročných a levnějších postupů. Mnohdy se v zavedení nových a nákladnějších technologií odrážejí komerční zájmy, určitá módnost a jiná, co se týče kvality pitné vody, více či méně iracionální hlediska.

LITERATURA

1. ČSN 757111: *Pitná voda*.
2. *Vyhláška Ministerstva zdravotnictví ČR, kterou se stanoví požadavky na pitnou vodu a rozsah a četnost její kontroly, v přípravě*.
3. World Health Organization: *Guidelines for Drinking Water Quality*. WHO, Geneva 1993.
4. Rook J. J.: *J. Water Treat. Exam.* 23, 234 (1974).
5. Bellar T. A., Lichtenberg J. J., Kroner R. C.: *J. Am. Water Works Assoc.* 66, 703 (1974).
6. Bellar T. A., Lichtenberg J. J.: *J. Am. Water Works Assoc.* 66, 739 (1974).
7. Pitter P.: *Hydrochemie*. Vydavatelství VŠCHT, Praha 1999.
8. Rook J. J.: *Environ. Sci. Technol.* 11, 478 (1977).
9. Babcock D. B., Singer P. C.: *J. Am. Water Works Assoc.* 71, 149 (1979).

10. Hoehn R. C.: J. Am. Water Works Assoc. 72, 344 (1980).
11. Gonzales A. C., Olson T. M., Rebenne L. M., v knize: *Water Disinfection and Natural Water Organic Matter, Characterization and Control* (Minear R. A., Amy G. L., ed.), str. 48. American Chemical Society, Washington D.C. 1996.
12. Janda V., Moucha A.: Acta Hydrochim. Hydrobiol. 11, 3 (1983).
13. Janda V., Žáček L.: *Omezení vzniku haloformů při úpravě vody*. Ministerstvo lesního a vodního hospodářství ČSR, publikace 60/526/85-1, Praha 1985.
14. Christman R. F., Nowood D. L., Millington D. S., Johnson J. D., Stevens A. A.: Environ. Sci. Technol. 17, 625 (1983).
15. Reckhow D. A., Singer P. C.: J. Am. Water Works Assoc. 82, 173 (1990).
16. Reckhow D. A., Singer P. C., Malcolm R. L.: Environ. Sci. Technol. 24, 1655 (1990).
17. Uden P. C., Miller J. W.: J. Am. Water Works Assoc. 75, 524 (1983).
18. Stevens A. A., Moore L. A., Miltner R. J.: J. Am. Water Works Assoc. 81, 54 (1989).
19. Peters R. J. B., Erkelens C., De Leer E. W. B., De Galan L.: Water Res. 25, 473 (1991).
20. Singer P. C., Obolensky A., Greiner A.: J. Am. Water Works Assoc. 87, 10, 83 (1995).
20. Arora H., LeChevallier M. W., Dixon K. L.: J. Am. Water Works Assoc. 89, 6, 60 (1997).
22. Christman R. F., Nowood D. L., Millington D. S., Johnson J. D., Stevens A. A.: Environ. Sci. Technol. 17, 625 (1983).
23. Pourmoghaddas H., Stevens A. A., Kinman R. N., Dressman R. C., Moore L. A., Ireland J. C.: J. Am. Water Works Assoc. 85, 82 (1993).
24. Reckhow D. A., Singer P. C.: J. Am. Water Works Assoc. 82, 173 (1990).
25. Reckhow D. A., Singer P. C., Malcolm R. L.: Environ. Sci. Technol. 24, 1655 (1990).
26. Uden P. C., Miller J. W.: J. Am. Water Works Assoc. 75, 524 (1983).
27. Xie Y., Reckhow D. A.: Analyst 118, 71 (1993).
28. Symons J. M., Xia R., Diehl A. C., Speitel G. E., Hwang C. J., Krasner S. W., Barrett S. E., v knize: *Water Disinfection and Natural Water Organic Matter, Characterization and Control* (Minear R. A., Amy G. L., ed.), str. 78. American Chemical Society, Washington D.C. 1996.
29. Janda V.: SOVAK 1, 5/89, 4 (1992).
30. Janda V., Rudovský J.: J. W. S. R. T. – Aqua 43, 3, 120 (1994).
31. Janda V., Strnadová J.: Vod. Hosp. B32, 13 (1982).
32. Haag W. R., Hoigne J.: Environ. Sci. Technol. 17, 261 (1983).
33. Knejzlík Z., Ruml T.: Chem. Listy 93, 607 (1999).

V. Janda and M. Švecová (*Department of Water Technology and Environment, Institute of Chemical Technology, Prague*): **By-products in Drinking Water Disinfection**

Disinfection of drinking water and formation of disinfection by-products in the water treatment process is discussed. Chlorination, the most used method for the purpose, provides a great number of by-products such as chloroamines (by the reaction of chlorine with ammonia), chlorophenols (if phenols are present), haloforms (by the reaction of chlorine with natural organic matter, e.g. humic substances), haloacetic acids (predominantly di- and trichloroacetic acids) and others like chloral hydrate, cyanogen chloride and chlorinated acetonitriles. On the other hand, there is no evidence that chlorine dioxide reacts with organic compounds to give chlorinated products. The residual chlorite, which is used for the production of chlorine dioxide in water treatment plants, is probably the most harmful by-product in this case. When ozone is used for the disinfection, there is a great probability of formation of bromates by the oxidation of bromides in raw water. Generally, formaldehyde can also occur in drinking waters if oxidation agents are used for the water treatment. Many disinfection by-products are known as potential carcinogens.

Česká společnost chemická přijme

novou výkonnou redaktorku Chemických listů

Kvalifikační předpoklady: VŠ vzdělání chemického zaměření
Předpokládaný nástup: jaro 2001, několikaměsíční zaškolení
Bližší informace: prof. B. Kratochvíl, tel. 02/3113908, 0606/870366, e-mail: kratochb@vscht.cz
 Ing. C. Jiráťová, tel. 02/21082370, e-mail: jiratova@csvts.cz
 Ing. M. Bláhová, tel. 02/22220184, e-mail: mblahova@csvts.cz