
Nespalovací technologie pro nakládání se zdravotnickými odpady

září 2003



The campaign for environmentally
responsible health care

Nespalovací technologie pro nakládání se zdravotnickými odpady

září 2003

Health Care Without Harm

Chlumova 17

130 00 Praha 3

tel.: 222 782 808

fax: 222 781 471

www.noharm.org

Informace obsažené v této publikaci vycházejí především ze zprávy "Non-Incineration Medical Waste Treatment Technologies: A Resource for Hospital Administrators, Facility Managers, Health Care Professionals, Environmental Advocates, and Community Members" vydané koalicí Health Care Without Harm v srpnu 2001, a jsou doplněné údaji vztahujícími se k situaci v Evropě a v České republice.

Předmluva

Téměř výhradním způsobem nakládání s nebezpečnými zdravotnickými odpady v nedávné minulosti bylo jejich spalování. V roce 1996 zveřejnil Úřad Spojených států pro ochranu životního prostředí (U.S. Environmental Protection Agency) studii, která označila spalovny nemocničních odpadů za hlavní zdroj dioxinů ve Spojených státech amerických. Následoval zákon o čistotě ovzduší, který zavedl nové emisní limity, a tak stávající spalovny musely být dovybaveny zařízeními na čištění kouřových plynů, pokud měly vyhovět novým legislativním požadavkům. Pro naprostou většinu nemocnic a dalších provozovatelů spaloven nemocničních odpadů byla však investice do účinných filtrů příliš velká, a proto raději spalovny uzavřeli a začali zavádět nespalovací technologie. Od roku 1998 bylo v USA uzavřeno přes pět tisíc spaloven nemocničních odpadů.

V roce 2000 byly zavedeny přísnější emisní limity pro spalovny nemocničních odpadů i v zemích Evropské unie a posléze v kandidátských zemích EU, což vedlo k uzavření mnoha desítek spaloven a k nárůstu počtu nespalovacích zařízení pro zpracování infekčních odpadů ze zdravotní péče. Jejich zavádění do praxe je ovšem pomalejší než v USA a spalování zůstává nadále převažujícím způsobem nakládání s tímto druhem odpadu v Evropě. Nespalovací technologie však získávají stále větší podporu i na evropském kontinentu. Jako příklad může sloužit nedávné rozhodnutí Společné rady Irsko pro nakládání s odpady (The Joint Waste Management Board of Ireland) dekontaminovat naprostou většinu zdravotnického odpadu pomocí autoklávů využívajících horké páry.

Česká republika přijala po vzoru Evropské unie emisní limity pro spalovny. V současné době naprostá většina spaloven nemocničních odpadů v ČR překračuje limit pro emise dioxinů ($0,1 \text{ ng/m}^3 \text{ TEQ}$). Aby mohly být v budoucnu dodrženy zákonné limity, nabízejí se dvě cesty - buď spalovny velmi draze dovybavit filtry nebo je zavřít a dát se cestou alternativní, cestou nespalovacích technologií. Ty jsou šetrnější k životnímu prostředí a zpravidla levnější než spalovny. Nespalovací technologie (na rozdíl od spaloven) neprodukují jedovaté dioxiny a jejich zavádění je tak v souladu se Stockholmskou úmlouvou o eliminaci POPs (perzistentních organických polutantů) z roku 2001.

Health Care Without Harm doufá, že Česká republika bude podporovat zavádění nespalovacích technologií pro nakládání se zdravotnickými odpady namísto rekonstrukce a dovybavování stávajících nevyhovujících spaloven nebo podpory výstavby spaloven nových.

Obsah

<i>Předmluva</i>	<i>iii</i>
<i>Obsah</i>	<i>iv</i>
<i>1) Úvod: Proč upřednostňovat nespalovací technologie namísto spaloven</i>	<i>1</i>
Spalovny emitují toxické látky do ovzduší.....	1
Nebezpečné látky zůstávají v popelu a strusce.....	1
Spalovny jsou drahé.....	2
Spalovny musí splnit nové emisní limity.....	2
Mezinárodní úmluva o eliminaci perzistentních organických polutantů (POPs).....	2
<i>2) Minimalizace, třídění odpadů – základní koncept pro zavádění nespalovacích technologií</i>	<i>3</i>
<i>3) Kategorie zdravotnického odpadu</i>	<i>5</i>
<i>4) Nespalovací technologie – základní rozdělení</i>	<i>7</i>
Nízko-termické procesy.....	7
Chemické procesy.....	8
Radiační procesy.....	8
Biologické procesy.....	8
Mechanické procesy.....	9
<i>5) Nízko-termické technologie : autoklávy, mikrovlnná zařízení a další systémy založené na působení horké páry</i>	<i>10</i>
Zařízení založené na působení horké páry – autoklávy, retorty.....	10
Příklady systémů založených na působení páry.....	12
Mikrovlnné systémy.....	15
Příklady systémů založených na působení mikrovln.....	16
<i>6) Nízko-termické technologie založené na působení horkého vzduchu</i>	<i>18</i>
<i>7) Technologie založené na působení chemikálií</i>	<i>20</i>
Příklady systémů založených na působení chemikálií.....	21
Jiné systémy.....	22
<i>8) Radiační, biologické a další technologie</i>	<i>23</i>
Radiační technologie.....	23
Příklady systémů založených na elektronovém svazku.....	24
Biologické systémy.....	24
<i>9) Faktory, které je třeba zohlednit při výběru nespalovací technologie</i>	<i>26</i>
<i>10) Ekonomické zhodnocení nespalovacích technologií</i>	<i>28</i>
Nákladové položky.....	28
Náklady na nespalovací technologie.....	29

Úvod: Proč upřednostňovat nespalovací technologie namísto spaloven

Spalovny emitují toxické látky do ovzduší

Spalovny nemocničních odpadů emitují do ovzduší množství polutantů včetně dioxinů a furanů, těžkých kovů (jako například olovo, rtuť nebo kadmium), jemné prachové částičky, chlorovodík, oxid siřičitý, oxid uhelnatý, oxidy dusíku a mnohé další znečišťující látky. Tyto emise mají vážné negativní důsledky pro zdraví zaměstnanců spaloven, veřejnosti a životní prostředí. Nejtoxičtější zástupce dioxinů, 2,3,7,8 TCDD je klasifikován Mezinárodní agenturou pro výzkum rakoviny (IARC – International Agency for Research on Cancer) jako lidský karcinogen 1. skupiny a některé další dioxiny jako pravděpodobné rakovinotvorné látky pro člověka¹. Dioxiny rovněž narušují hormonální systém, snižují obranyschopnost organismu, jsou spojovány s vývojovými vadami, cukrovkou, endometriózou a dalšími onemocněními^{2,3,4,5}.

Spalovny nemocničních odpadů jsou podle Stockholmské úmluvy o eliminaci perzistentních organických polutantů (POPs) jedním z podstatných zdrojů dioxinů v životním prostředí. V ČR proběhlo v roce 2001 měření dioxinů ve více jak dvaceti spalovnách nemocničního odpadu, přičemž pouze u dvou bylo naměřeno podlimitní množství v plynných emisích (< 0,1 ng TEQ/m³)⁶. Tento limit platí v ČR od roku 2003, nicméně pro spalovny, které do konce roku 2002 předložily plán snižování emisí pro následující 2 roky, začne platit až od roku 2005.

Dovybavením, resp. instalací různých zařízení pro snížení plynných emisí se zpravidla zvýší obsah těchto škodlivin v pevné fázi odpadu. Navíc účinnost filtrů pro zachytávání velmi jemných částic je značně omezená; pro velmi jemné částičky menší než 2,5 μm se uvádí 5 – 30 %, částice menší než 1 μm jsou prakticky nezachytitelné. Tyto velmi jemné částice jsou vysoce velice reaktivní, a to i v případě, že pocházejí z relativně inertního materiálu. Výzkumy z poslední doby naznačují, že vdechování těchto extrémně malých částiček může mít negativní vliv na lidské zdraví⁷.

Nebezpečné látky zůstávají v popelu a strusce

Dovybavení spaloven zařízeními na čištění plynných emisí zpravidla nesníží množství emitovaných dioxinů, pouze je převede do jiné fáze odpadu. U spalovny s nejlepší dostupnou technologií (BAT) představovalo množství dioxinů v plynných emisích pouze 2 % z celkového množství dioxinů zjištěných ve všech odpadech ze spalovny. Dioxiny v popelu činily 6 %, strusce 72 %, kalech 2 % a popílku 18 % z celkového množství uvolněných dioxinů⁸. Kromě dioxinů a furanů jsou v popelu přítomny i další nebezpečné látky, včetně vysokého obsahu některých kovů (železo, chrom, nikl, olovo, zinek, měď)⁹, které se mohou vylučovat do prostředí.

Popílek unášený horkým vzduchem a kouřovými plyny do komína spalovny obsahuje těžké kovy, dioxiny, furany a další toxické látky, které se váží na povrch pevných částic. Účinnost zachycení těchto látek na zařízeních pro čištění kouřových plynů závisí na účinnosti a kvalitě filtru. Ani nejlepší filtry nejsou ale schopny zachytit všechny plynné emise. Škodlivé

¹ McGregor, DB., Partensky, C., Wilbourn, J., Rice, JM., 1998. 'An IARC evaluation of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and polychlorinated dibenzofurans as risk factors in human carcinogenesis.' *Environ Health Perspect*, 106(2):755-60

² Egeland, G., Sweeney, M., Fingerhut, M., Wille, K., Schnoor, T., 1994. Total serum testosterone and gonadotropins in workers exposed to dioxin. *Am. J. Epidemiol.*, 139:272-281.

³ Birnbaum, L., 1995. Developmental Effects of Dioxins. *Eviron. Health Perspect* 103(Suppl 7):89-94.

⁴ Weisglas-Kuperus, N., 1998. Neurodevelopmental, immunological and endocrinological indices of perinatal human exposure to PCBs and dioxins. *Chemosphere* 37:1845-1853.

⁵ Sweeney, M., Hornung, R., Wall, D., Fingerhut, M., Halperin, W., 1992. Prevalence of diabetes and elevated serum glucose levels in workers exposed to 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin (TCDD). Presented at the 12th International symposium on Dioxins and Related compounds, Tampere, Finland, 24-28 August 1992.

⁶ Seznam spaloven vypracovaný na základě protokolů jednorázových měření koncentrace dioxinů v roce 2001 zveřejněný sdružením Arnika 11.12.2002

⁷ Howard C.V., 2000. Particulate Aerosols, Incinerators and Health, v knize P.Nicolopoulou-Stamati et.al. (eds.), *Health Impacts of Waste Management Policies*, 155-174, Kluwer Academic Publishers, 2000.

⁸ Giugliano, M., Cernuschi, S., Grosso, M., Miglio, R., and Aloigi, E., 2002. "PCDD/F mass balance in the flue gas cleaning units of a MSW incinerator plant." *Chemosphere* 46:1321-1328.

⁹ Čížek Zdeněk, 2000 - K problematice laboratorního hodnocení vlastností odpadu ze zdravotnictví. Odpady ze zdravotnictví, sborník referátů, BIJO, 2000.

látky se během procesu čištění kouřových plynů koncentrují a ukládají se ve filtračních koláčích, aktivním uhlí a odpadních vodách z procesu čištění spalin. Takový odpad je ovšem klasifikován jako nebezpečný¹⁰ a musí s ním být náležitě nakládáno.

Zbytkový odpad jak ze spaloven, tak z nespalovacích technologií pro úpravu zdravotnických odpadů je nutno ukládat na skládky odpadů. V hierarchii nakládání s odpady by mělo být upřednostňováno skládkování dekontaminovaných odpadů, které jsou svými vlastnostmi podobné komunálním odpadům, před skládkováním nebezpečných odpadů vznikajících při spalování. Navíc poplatky za ukládání nebezpečného odpadu ze spaloven na skládky nebezpečných odpadů jsou několikanásobně vyšší než poplatky za ukládání dekontaminovaného zdravotnického odpadu na skládky komunálního odpadu, a tudíž zvyšují náklady zdravotnických zařízení.

Spalovny jsou drahé

Náklady na výstavbu, respektive dovybavení a provoz spalovny nemocničních odpadů představují zvláště pro nemocnice a další zdravotnická zařízení potýkající se s nedostatkem financí důležitý faktor při volbě nejvhodnějšího způsobu zpracování odpadů. V současné době, kdy naprostá většina spaloven nemocničních odpadů v ČR nesplňuje emisní limity pro dioxiny, je třeba vzít v potaz náklady na instalaci účinných dioxinových filtrů, náklady na měření emisí, poplatky za ukládání popílku na skládky nebezpečných odpadů, atd. Odhaduje se, že pouze dovybavení vybraných spaloven nemocničních odpadů v České republice tak, aby splňovaly limit 0,1 ng TEQ/m³, by stálo 270-280 mil. Kč¹¹.

Náklady na vybudování a provoz spalovny nebo vybrané nespalovací technologie se mohou lišit v různých státech například v závislosti na legislativních podmínkách – kategorizaci odpadu, poplatcích za skládkování nebezpečných a komunálních odpadů, na dostupnosti technologie a dalších faktorech. Všeobecně však platí, že různé nespalovací technologie jsou zpravidla levnější než spalovny nemocničních odpadů. Pro ilustraci, v USA jsou náklady na vybudování spalovny 3 až 4 krát vyšší než na autokláv zpracovávající stejné množství odpadu (viz. tabulka 4)¹². Rovněž náklady na provoz nespalovacích technologií jsou většinou nižší než náklady na provoz spalovny.

Spalovny musí splnit nové emisní limity

Podle direktivy Evropské unie 2000/76/EC o spalování odpadů musí spalovny nemocničních odpadů splňovat emisní limit, který je stanoven pro dioxiny a furany na 0,1 ng TEQ/m³. Tento limit je převzat i do legislativy České republiky nařízením vlády 354/2002 Sb. a začne platit nejpозději od roku 2005. V současné době naprostá většina spaloven nemocničních odpadů v České republice daný emisní limit nesplňuje. Pokud mají spalovny tohoto limitu dosáhnout, je nutné je zrekonstruovat či dovybavit účinnými filtry. To si vyžádá výdaje řádově ve stovkách miliónů korun. Vhodnější alternativou se jeví možnost investovat do levnějších, k životnímu prostředí šetrnějších nespalovacích technologií.

Mezinárodní úmluva o eliminaci perzistentních organických polutantů (POPs)

V květnu 2001 byla ve švédském Stockholmu přijata mezinárodní Úmluva o eliminaci perzistentních organických polutantů (POPs). Článek 5 této dohody požaduje, aby státy eliminovaly vznik POPs, mezi něž patří i dioxiny vznikající jako vedlejší produkty průmyslových procesů. Příloha C této úmluvy uvádí spalovny nemocničních odpadů mezi hlavními zdroji dioxinů v prostředí¹³.

Česká republika jako signatář Stockholmské úmluvy má vypracovat plán na snižování perzistentních organických látek v životním prostředí. Na rozdíl od spaloven nevznikají během zpracování nemocničních odpadů v nespalovacích technologiích perzistentní organické polutanty (POPs), a tak zavádění nespalovacích technologií pro zdravotnický odpad je vhodným nástrojem k naplňování závazků vyplývajících ze Stockholmské úmluvy.

¹⁰ Vyhláška č. 381/2001 Sb. (Katalog odpadů), příloha č.2, která uvádí seznam nebezpečných odpadů.

¹¹ Zimová M., 2003. Nakládání s odpady ze zdravotnických zařízení, odpadové fórum, 6/2003.

¹² Emmanuel. J., 2002. Non-incineration Alternatives to the Treatment of Medical Waste. Prezentováno na konferenci: Environmentally friendly management of medical waste, Debeli rtič, Slovenia, 12th April 2002.

¹³ Český překlad Stockholmské úmluvy o perzistentních organických polutantech lze nalézt na stránkách MŽP www.env.cz

Minimalizace, třídění odpadů – základní koncept pro zavádění nespalovacích technologií

Předcházení vzniku odpadů a jejich minimalizace jsou prioritami odpadového hospodářství v zemích EU i v ČR a měla by jim být věnována náležitá pozornost i ve zdravotnictví. Zavádění nespalovacích technologií pro nakládání se zdravotnickými odpady je proto nutno posuzovat v širším kontextu. I když jsou nespalovací technologie na rozdíl od spaloven šetrnější k životnímu prostředí, neprodukují dioxiny ani další perzistentní organické látky a mohou redukovat objem odpadu až o 80 %, zbytkový podíl (stejně jako strusku a popílek ze spaloven) je nutno zabezpečit uložením na skládku odpadů. Rozhodnutí zavést nespalovací technologii by měl proto předcházet účinný program minimalizace a třídění odpadů, aby množství odpadů bylo co nejnižší.

V minulosti - a v některých případech stále i dnes - se veškerý odpad ze zdravotnických zařízení – od papírového odpadu v kancelářích, kartónových obalů, kuchyňských odpadů až po odpady z operačních sálů, kontaminované ostré předměty a odpady z laboratoří – likvidoval společně ve spalovnách. Téměř se zde neuplatňovala logická priorita odpady třídít, znovu využívat nebo recyklovat. S uzavíráním mnohých spaloven se situace mění a nemocnice stále více zvažují, jakým způsobem, kde a za jakou cenu odpad zlikvidovat. S ohledem na priority odpadového hospodářství se nabízí možnost zavést účinný program minimalizace odpadů, což přispívá k ochraně životního prostředí a navíc šetří ve zdravotnictví tolik potřebné finanční prostředky.

Opětné využívání a recyklace odpadů, materiálová náhrada produktů, změna technologií či zavedených pracovních postupů má mnohé výhody. Nižší množství vznikajících odpadů přispívá k ochraně životního prostředí, snižuje možnost nákazy a tím zvyšuje bezpečnost zdravotnického personálu a pacientů. Současně klesají náklady na zneškodňování odpadů a v neposlední řadě se zlepšují vztahy s okolními obyvateli.

Důsledným tříděním se podíl infekčních odpadů, které jsou považovány za nebezpečné, může znatelně snížit¹⁴. Tím se zároveň ušetří, protože poplatky za nakládání s nebezpečnými odpady jsou několikanásobně vyšší než za nakládání s odpady komunální povahy.

Minimalizaci odpadů rozumíme co možná největší snížení jejich množství při použití různých postupů. Následně uvádíme praktiky minimalizace odpadů seřazené hierarchicky podle důležitosti:

1) Snižování odpadů v místě vzniku

Některé postupy, které snižují množství nebo nebezpečné vlastnosti odpadů:

- Eliminace používání různých materiálů nebo jejich náhrada - například zavedení nových biologicky odbouratelných čisticích prostředků; zavádění pomůcek pro vícenásobné použití namísto jednorázových tam, kde je to možné a bezpečné; náhrada rtuťových teploměrů; zavádění pomůcek bez PVC.
- Změna technologie nebo procesu – používání zařízení pro dezinfekci pracujících na bázi UV záření nebo páry namísto metod využívajících chemická činidla.
- Zavádění vhodných pracovních postupů – zlepšení inventarizace; zakrývání nádob s dezinfekčními roztoky, aby se zabránilo vypařování; nepoužívání nadměrných koncentrací účinných látek pro dezinfekci.
- Vhodný nákup pomůcek a zdravotnického materiálu. Upřednostňování prodejců, kteří používají minimální množství nutných obalů.

2) Třídění různých kategorií odpadů

3) Opětné využití a recyklace materiálů pocházejících z odpadů. Jako specifické příklady lze uvést:

- Sběr novinového papíru, plastů, skla, hliníkových folií a jejich předání k recyklaci.
- Upřednostňování nákupu produktů z recyklovaných materiálů.
- Oddělené shromažďování a případné kompostování využitelných zbytků z kuchyně.
- Znovuzískávání stříbra a dalších látek z fotografického materiálu.

¹⁴ Institute of Environmental Medicine and Hospital Epidemiology, 2000. Reduction and utilization of hospital waste, with the focus on Toxic and infectious waste. Final report, LIFE96/ENV/D/10, Freiburg, August 2000.

- 4) **Nakládání s odpady** – v případě infekčního odpadu to znamená odstranění nebezpečných vlastností, potlačení patogenních organismů. Zde dochází k uplatnění nespalovacích technologií.
- 5) **Zneškodňování odpadů** – poté, co jsou vyčerpány všechny možnosti minimalizace odpadů a jejich dalšího využití, zbytkový odpad by měl být zneškodněn metodou s nejmenším možným dopadem na životní prostředí. Naprostá většina nespalovacích technologií zbaví infekční odpad nebezpečné vlastnosti a s dezinfikovaným odpadem tak lze nakládat jako s odpadem komunálním. HCWH nepodporuje spalování zdravotnických odpadů jako vhodnou metodu zneškodňování odpadů.

Kapitola 3

Kategorie zdravotnického odpadu

Odpady vznikající ve zdravotnických zařízeních jsou různorodé povahy. Zdravotnické odpady lze rozdělit do 4 základních skupin:

- **Odpady komunální povahy** – jedná se o odpady, které nevykazují infekční nebo jiné nebezpečné vlastnosti a může s nimi být nakládáno jako s odpadem komunálním. Patří mezi ně kancelářský papír, kartony, plastové obaly a další plasty, neznečištěné sklo, kovy, odpady z kuchyně atd. Odpady této kategorie tvoří naprostou většinu zdravotnických odpadů a lze je opětně využít, recyklovat, kompostovat či použít dalších metod jejich využití.
- **Infekční odpad** – jedná se o odpad, který obsahuje patogenní zárodky a může způsobit infekční onemocnění.
- **Nebezpečný odpad** – odpad, který je nebezpečný z hlediska svého chemického složení a působení na živé organismy. Patří sem například chemikálie, cytostatika, odpadní amalgám ze stomatologické péče.
- **Radioaktivní odpady**

Kategorie nebezpečného zdravotnického odpadu specifikuje zpravidla národní legislativa té či oné země. Světová zdravotnická organizace dělí nebezpečný odpad ze zdravotnictví do 9 kategorií¹⁵. Katalog odpadů ČR¹⁶ stanovuje 9 kategorií pro odpad ze zdravotnictví (srovnání viz. Tabulka 1).

Tabulka 1: Srovnání kategorií nebezpečných odpadů ve zdravotnictví, WHO, Katalog odpadů

Světová zdravotnická organizace (WHO)	Katalog odpadů ČR*
Ostré předměty	18 01 01 Ostré předměty (kromě čísla 18 01 03)
Patologický odpad	18 01 02 Části těla a orgány včetně krevních vaků a krevních konzerv (kromě čísla 18 01 03)
Infekční odpad	18 01 03 Odpady, na jejichž sběr a odstraňování jsou kladeny zvláštní požadavky s ohledem na prevenci infekce
Chemický odpad	18 01 06 Chemikálie, které jsou nebo obsahují nebezpečné látky
Radioaktivní odpad	18 01 07 Chemikálie neuvedené pod číslem 18 01 06
Genotoxický odpad	18 01 08 Nepoužitelná cytostatika
Farmaceutický odpad	18 01 09 Jiná nepoužitelná léčiva neuvedená pod číslem 18 01 08
Odpady s vysokým obsahem těžkých kovů	18 01 10 Odpadní amalgám ze stomatologické péče
Přetlakové nádoby	

* 18 01 04 - odpady, na jejichž sběr a odstraňování nejsou kladeny zvláštní požadavky s ohledem na prevenci infekce (např. obvazy, sádrové obvazy, prádlo, oděvy na jedno použití, pleny) nepatří do kategorie nebezpečných odpadů.

Zvláštní pozornost zasluhují odpady infekční, které se řadí mezi odpady nebezpečné. Infekční odpady představují naprostou většinu nebezpečných odpadů vznikajících ve zdravotnictví. Průměrné zastoupení infekčního odpadu z celkového množství zdravotnického odpadu se udává mezi 10 až 15 %¹⁷. Při zavedení účinného třídění a důsledné definice infekčního odpadu, vycházející z reálné možnosti nárůstu, lze minimalizovat jeho množství na 5 až 3 %¹⁸. V roce 2000 činil v ČR nebezpečný

¹⁵ Pruss, A., Giroult, E., Rushbrook, P. 1999. Safe management of wastes from health-care activities, WHO, Geneva,

¹⁶ Vyhláška MŽP 381/2001 Sb. o katalogu odpadů

¹⁷ Health Care Without Harm, 2001. Non-incineration medical waste treatment technologies. A Resource for Hospital Administrators, Facility Managers, Health Care Professionals, Environmental Advocates, and Community Members.

¹⁸ Institute of Environmental Medicine and Hospital Epidemiology, 2000. Reduction and utilization of hospital waste, with the focus on on Toxic and infectious waste. Final report, LIFE96/ENV/D/10, Freiburg, August 2000.

odpad ze zdravotnictví, veterinární a sociální péče 18 % z celkového odpadu ze zdravotnictví¹⁹, což znamená, že je u nás poměrně velký prostor pro snižování podílu infekčního odpadu.

Ačkoliv infekční odpady představují pouze malou část z celkových odpadů vznikajících ve zdravotnických zařízeních, podílí se výraznou měrou na nákladech za odstranění zdravotnických odpadů. Zatímco infekční odpady představovaly v Nemocnici Na Homolce v roce 2001 pouhých 17 % všech odpadů z nemocnice, náklady na jejich likvidaci činily 81 % z celkových nákladů na zneškodnění všech odpadů²⁰.

Infekční odpady ze zdravotnictví jsou definované v ČR vyhláškou 381/2001 Sb. (Katalogu odpadů) jako odpady, na jejichž sběr a odstraňování jsou kladeny zvláštní požadavky s ohledem na prevenci infekce. US EPA rozděluje infekční odpad do 10 kategorií, které mohou posloužit jako příklad, co se považuje za infekční odpad²¹:

- Tkáňové kultury
- Patologicko-anatomický odpad
- Krev, krevní produkty, jiné tělní tekutiny
- Ostré předměty
- Odpad z veterinární péče (části těl, krev, tělní tekutiny)
- Odpady z infekčních oddělení
- Kontaminované zdravotnické pomůcky
- Chirurgický odpad
- Laboratorní odpad (odpad kontaminovaný infekčními agens)
- Odpady z dialýzy (pomůcky a tekutiny, které přišly do styku s krví)

Pro výběr nespalovacích technologií je důležité znát charakter odpadů vznikajících ve zdravotnickém zařízení, jejich množství i místo vzniku. Tyto informace podává tzv. audit odpadů, který se provádí před zavedením nespalovacích technologií. Při výběru je vhodné se řídit popisem technologie, který uvádí výrobce. Většina z nich udává, jaký druh odpadu je možno v zařízení zneškodňovat. Výrobci často udávaná kategorie "měkký odpad" zahrnuje obvazový materiál, tampóny, bandáže, chirurgické roušky, pláště, povlečení, atd.

¹² MŽP, ČSÚ, 2001. Statistická ročenka životního prostředí České republiky.

²⁰ Na základě údajů poskytnutých Nemocnicí Na Homolce.

²¹ Guide for Infectious Waste Management, 1986. EPA/530-SW-86-014, Washington, DC, May 1986.

Kapitola 4

Nespalovací technologie – základní rozdělení

Nespalovací technologie pro zneškodňování infekčních zdravotnických odpadů mohou být klasifikovány podle různých hledisek – typu zpracovávaných odpadů, velikosti, ceny, atd. Z hlediska procesů dekontaminace infekčního odpadu se rozdělují do čtyř kategorií:

- Nízko-termické procesy
- Chemické procesy
- Radiační procesy
- Biologické procesy

Většina nespalovacích technologií pro dekontaminaci nemocničního odpadu spadá do prvních dvou kategorií: nízko-termických a chemických procesů, a proto budou podrobněji popsány. Jako doplněk k uvedeným technologiím se používají tzv. mechanické procesy, které odpad nedezinfikují, ale slouží k mechanické úpravě odpadů a redukci jeho objemu.

Nízko-termické procesy využívají tepelnou energii k dekontaminaci odpadů avšak při teplotách, které nezpůsobují chemické štěpení molekul anebo při nichž nedochází ke spalování či pyrolýze odpadů. Mezi vysoko-termické procesy patří spalovny odpadů, pyrolýzní i zplynovací jednotky a technologie využívající plazmový oblouk. Spalovny nemocničních odpadů jsou považovány za primární zdroj emisí nebezpečných látek, včetně toxických dioxinů^{22,23}. Vzhledem k jejich negativnímu působení na lidské zdraví^{24,25} by nemělo být spalování nemocničních odpadů doporučovaným a preferovaným způsobem nakládání s nemocničními odpady.

Nízko-termické procesy

Teplota působení nízko-termických procesů se udává mezi 93 – 177° C. K dezinfekci odpadů se používá buď horká pára nebo suché teplo. Působení horké páry je základním principem autoklávů a retort. Mikrovlnná desinfekce/sterilizace je v principu také působení páry, protože dezinfekce probíhá působením vlhkého tepla a páry, která se vytváří působením mikrovlnného záření²⁶. Při použití suchého tepla není přidávána žádná voda či pára. Odpad je zahříván buď pomocí kondukce, přirozeným či umělým prouděním horkého vzduchu nebo pomocí tepelné radiace využívající infračervené záření jako zdroj tepla. Příklady nízko-termických metod jsou popsány podrobněji v další části.

²² US EPA ve svém dokumentu z roku 1994 "Estimating Exposure to Dioxin-like compound, Vol. II, Properties, Sources, Occurrence and Background Exposure, Office of Research and Development, EPA/600/6-88/005Cb, external review draft" klasifikuje spalovny nemocničních odpadů jako největší zdroj dioxinů v USA.

²³ Stokholmská úmluva o perzistentních organických polutantech, podepsaná v květnu 2001 ve Švédsku klasifikuje v příloze C spalovny nemocničních odpadů jako primární zdroj emisí dioxinů do životního prostředí.

²⁴ Jorge Emmanuel, 2002. Souhrn epidemiologických studií vlivu spalování odpadů na lidské zdraví prezentovaný na: Conference on environmentally friendly management of medical waste. Debeli rtič, Slovenia, 12th April 2002"

²⁵ M. Allsoppe et al, 2001. Incineration and Human Health: State of knowledge of the Impacts of Waste Incinerators on Human Health, Greenpeace Research Laboratories, University of Exeter, UK, March 2001.

²⁶ Různé studie poukazují na skutečnost, že letální působení mikrovln na bakterie se děje převážně pomocí vlhkého tepla; samotné působení mikrovlnného záření bez vody či páry nepůsobí dostatečnou inaktivaci na buněčné úrovni. Pro příklad: "G.R. Vela and F. Wu: *Applied and Environmental Microbiology*, 37 (3), 552, 1979.

Tabulka 2: Nízko-termické nespalovací technologie pro úpravu zdravotnického odpadu

Nespalovací technologie	Výrobci
NÍZKOTERMICKÉ METODY	
Autokláv nebo retorta	Bondtech (Somerset, KY, USA)
Autokláv nebo retorta	Environmental Techtonics Corp. (Southampton, PA, USA)
Autokláv nebo retorta	Mark Costello (Carson, CA, USA)
Autokláv nebo retorta	Sierra Industries (Santa Ana, CA, USA)
Autokláv nebo retorta	SteriTech (Bloomington, IN, USA)
Autokláv nebo retorta	Tuttner (Ronkonkoma, NY, USA)
Vakuum-působení páry-zhutňování	San-I-Pak (Tracy, CA, USA)
Působení páry-promíchávání-fragmentace/sušení/drcení	Tempico (Madisonville, LA, USA)
Drcení/působení páry-promíchávání/sušení, působení chemikálií	Sterile Technologies Inc. (West Chester, PA, USA)
Drcení-působení páry-promíchávání/sušení	Antaeus Group (Hunt Valley, MD, USA)
Drcení-působení páry-promíchávání/sušení	Ecotec (Union Grove, AL, USA)
Drcení/působení páry/odvodnění	Ecodas (Roubaix, Francie)
Působení páry-promíchávání-fragmentace/sušení	Hydroclave Systems Corp. (Kingston, Ontario, Kanada.)
Působení páry-promíchávání-fragmentace/sušení	Steridos (IDOS, Česká republika)
Předdrcení/působení páry-promíchávání	Aegis Bio-Systems (Edmond, OK, USA)
Drcení/působení páry-promíchávání-zhutňování	LogMed (Erdwich ZerkleinerungsSysteme GmbH, Německo)
Mikrovltný systém	Sanitec (West Caldwell, NJ, USA)
Mikrovltný systém	Sintion/CMB (Rakousko)
Mikrovltný systém	Medister (Meteka, Rakousko)
Elektrotermická deaktivace	Stericycle (Lake Forest, IL, USA)
Působení horkého vzduchu	KC MediWaste (Dallas, TX, USA)
Působení horkého vzduchu	Demolizer (Bethel, CT, USA)

Chemické procesy

Základem chemických procesů je působení chemických činidel. Tyto technologie jsou doplněny mechanickými procesy, například drcením a promícháváním odpadů, aby došlo k dostatečnému kontaktu odpadů s dezinfekčními činidly. Až do nedávné doby se používaly hlavně technologie založené na působení sloučenin chloru. O jejich vlivu na životní prostředí se ovšem vedou četné polemiky, což se týká zejména chlornanů v odpadních vodách. Mezi metody založené na působení činidel, které neobsahují sloučeniny chloru, patří například systémy Steris EcoCycle10 (kyselina peroxyoctová), Lynntech (plynný ozon), Delphi MEDETOX CerOx (využívající kovy jako katalyzátory) či WR² (využívající louhů k hydrolyze tkání v zahříváné nádrži z nerezavějící oceli)²⁷.

Radiační procesy

Tyto procesy zahrnují působení elektronového svazku, kobaltu 60 nebo UV záření. Takové metody vyžadují práci v uzavřeném prostoru, aby se zabránilo expozici pracovníků. Elektronový svazek využívá proud elektronů s vysokou energií, které zneškodňují mikroorganismy v odpadech štěpením chemických vazeb a narušením buněčných stěn. Účinnost destrukce patogenů závisí na dávce elektronů a na hustotě odpadu. Iradiace nemění fyzickou strukturu odpadu a je nutné použít drtiče nebo jiného rozměňovacího zařízení, aby byl odpad nerozpoznatelný.

Biologické procesy

Patří k novým metodám dekontaminace infekčních odpadů. Využívají enzymů, které rozkládají organickou hmotu. Pouze několik technologií pro úpravu nemocničních odpadů je založeno na biologických procesech a jejich komerční využití je zatím v počáteční fázi.

²⁷ HCWH, 2001. Non-incineration Medical Waste Treatment Technologies. A Resource for Hospital Administrators, Facility Managers, Health Care Professionals, Environmental Advocates, and Community Members, August 2001.

INAKTIVACE MIKROBŮ: STERILIZACE VERSUS DEZINFEKCE

*Termíny sterilizace a dezinfekce se vztahují k inaktivaci mikrobů a dodavatelé je používají při popisu vlastností svých technologií. **Sterilizace** je definována jako úplné zničení všech forem mikrobiálního života. V praxi je však úplná eliminace veškerého mikrobiálního života obtížně prokazatelná a proto není termín sterilizace v této zprávě příliš používán. Některé citace akceptují jako "sterilizaci" snížení mikrobiální populace o 99,9999%. **Dezinfekce** je definována jako snížení mikrobiální kontaminace, zvláště jako redukce mikroorganismů vyvolávajících onemocnění neboli patogenů. Státní a regionální asociace alternativních technologií úpravy v USA (State and Territorial Association on Alternative Treatment Technologies - STAATT) kvantitativně definovala čtyři úrovně dezinfekce. Podle této definice úroveň IV odpovídá snížení počtu vegetativních forem bakterií, kvasinek a plísní, všech virů, mykobakterií a spor *Bacillus stearothermophilus* o 99,9999% nebo více. Tato asociace doporučuje, aby dodavatelé alternativních technologií splňovali přinejmenším kritéria dezinfekce úrovně III.*

Mechanické procesy

Mechanické procesy – jako například rozměňování, drcení, zpracování v kladivových mlýnech, mísení, promíchávání, dělení pevné a kapalné fáze, přeprava (za použití dopravních šneků, pěchovadel nebo pásových dopravníků) a hutnění – doplňují ostatní procesy úpravy. Mechanická destrukce odpad homogenizuje, aby nebyl rozpoznatelný. Používá se k drcení jehel a stříkaček za účelem minimalizace rizika poranění či za účelem jejich znehodnocení pro další použití. V případě tepelných nebo chemických procesů zlepšují mechanická zařízení jako rozměňovače a mixéry rychlost přenosu tepla mezi složkami odpadů a zpřístupňují také větší část povrchu odpadu působení chemických dezinfekčních činidel. Mechanické procesy ovšem významně zvyšují nároky na údržbu.

Mechanické procesy jsou pouze doplňkové a nelze je pokládat za proces úpravy *jako takový*. Pokud rozměňovače, kladivové mlýny nebo jiné mechanické destruktivní procesy tvoří nedílnou součást uzavřeného systému úpravy, neměly by se používat před vlastní dekontaminací odpadu. V opačném případě by pracovníci byli vystaveni působení patogenních zárodků uvolňovaných do prostředí při mechanické úpravě odpadů. Jestliže jsou mechanické procesy součástí systému, technologie by měla být navržena takovým způsobem, aby vzduch z prostoru mechanické úpravy odpadů byl před uvolněním do okolního prostředí filtrován. Zvláště je důležité, aby při vkládání odpadu byl vzduch nasáván do prostoru mechanické úpravy (směrem od vstupu). To se často provádí pomocí odsávacího ventilátoru, který v komoře udržuje podtlak; vzduch odváděný z tohoto prostoru prochází dezinfekční komorou nebo skrze vysoce účinný částicový vzduchový filtr (HEPA) a teprve poté je uvolněn do okolního prostředí.

Rozměňovače, drtiče a kladivové mlýny jsou zařízení všeobecně používaná k rozmělnění odpadu na menší části. Používají se i jiné názvy, jako například granulátory, dezintegrátory nebo řezačky. Rozmělnění je obecně dosahováno pomocí stříhání materiálů mezi dvěma povrchy (jako v rozměňovačích) nebo nárazem proti pevnému povrchu (jako v kladivových mlýnech). Obvykle se přidává síto, které slouží jako kontrola velikosti částic, které zařízení opouštějí. Někdy je použit pěchovací válec, který odpad protlačuje skrze rozměňovač nebo drtič.

Všechna tato zařízení vyžadují intenzivní údržbu. Kladiva potřebují periodickou obnovu povrchu a u rozměňovačů je nutné vyměňovat opotřeбенé nebo zlomené čepele. Některé rozměňovače nebo drtiče mají pojistný čep proti poškození zlomením, který chrání hřídel v situaci, kdy se v zařízení nedopatřením objeví nadměrný, ostrý či jinak nebezpečný předmět, například protetický ocelový kloub. Pokud k takové nehodě dojde, je bezpečnější a snadnější vyměnit pojistný čep než celou hřídel.

Nízko-termické technologie : autoklávy, mikrovlnná zařízení a další systémy založené na působení horké páry

Zařízení založené na působení horké páry – autoklávy, retorty

Autokláv je zařízení skládající se z pracovního prostoru (obvykle kovová komora) hermeticky uzavíratelného pomocí plnicího otvoru pro vkládání odpadu. Autokláv je opatřen dvojitým pláštěm, mezi který se vhání horká pára, stejně jako do vnitřního prostoru autoklávu. Pára vháněná do mezipláště ohřívá vnitřní stěnu autoklávu a snižuje tak kondenzaci par, což umožňuje přivádět do vnitřního prostoru autoklávu páru o nižší teplotě. Jak vnější tak vnitřní plášť jsou vyrobeny tak, aby vydržely vzrůstající tlak.

Protože vzduch je velmi dobrý tepelný izolátor, je třeba ho z pracovního prostoru autoklávu odčerpávat, aby pára mohla dobře pronikat odpady. Vzduch se z autoklávu odstraňuje dvěma způsoby: buď odčerpáváním vakuovou pumpou nebo pomocí gravitačního spádu. Autoklávy s gravitačním spádem využívají skutečnosti, že pára je lehčí než vzduch. Pára se vhání pod tlakem do pracovního prostoru autoklávu a vytlačuje vzduch na dno nádoby, odkud je odváděn výpustním ventilem. Účinnějšími se jeví autoklávy využívající vakuových pump, protože vyžadují méně času pro celý proces dezinfekce.

Retorty fungují na podobném principu jako autoklávy s tím rozdílem, že nemají dvojitý plášť. Jsou levnější než autoklávy, pro dezinfekci je však nutno vhánět páru o vyšší teplotě.

▪ Jak autokláv pracuje

Typický pracovní cyklus autoklávu nebo retorty zahrnuje následující kroky:

Shromáždění odpadů: Vozíky nebo kontejnery na odpad jsou vyloženy plastovou fólií nebo pytli vhodnými pro autoklávování tak, aby nedocházelo k ulpívání odpadu na povrchu kontejneru. Barevné pytle s infekčním odpadem se pak vkládají do takto vystlaného kontejneru.

Přehřívání (pro autoklávy): Pára se přivádí do vnějšího pláště autoklávu.

Vkládání odpadů: Pytle nebo kontejnery s odpady jsou vkládány do pracovního prostoru autoklávu nebo retorty. K odpadu se periodicky přidávají chemické nebo biologické indikátory ke zjištění a prověření účinnosti dezinfekce. Plnicí otvor je následně hermeticky uzavřen.

Odčerpání vzduchu: Vzduch se odstraňuje pomocí gravitačního spádu nebo vakuovou pumpou.

Působení páry: Pára se přivádí do pracovní komory do doby, než je dosaženo potřebné teploty. Dodatečné množství páry se přidává do komory pro udržení dané teploty po stanovený čas.

Vypouštění páry: Pára se vypouští z pracovní komory zpravidla pomocí kondenzátoru, čímž se snižuje teplota a tlak. U některých autoklávů se používá post-vakuový cyklus k odstranění zbytkové páry.

Vykládání odpadů: Zpravidla je potřeba určitého času, aby došlo k ochlazení odpadů. Poté se vyjme dekontaminovaný odpad i s indikátorovými papírky, pokud byly mezi odpad vloženy. Pomocí indikátorů se ověří účinnost dezinfekce.

Mechanická úprava: Dekontaminovaný odpad je většinou drcen v drtiči nebo zhutněn v kompaktoru před tím, než se uloží na skládku odpadů.

▪ Druhy odpadů, s nimiž lze nakládat v autoklávech a retortách

Mezi odpady běžně zpracovávané v autoklávech a retortách patří: tkáňové kultury a kmeny, ostré nástroje, materiály kontaminované krví a omezeným množstvím tekutin, odpady z infekčních oddělení, chirurgické odpady, laboratorní odpad (vyjma chemikálií) a tzv. "měkký" odpad (gázy, obvazy, roušky, pláště, ložní prádlo) pocházející ze zdravotní péče. S dostatečně dlouhou dobou působení, odpovídající vysokou teplotou a následným použitím mechanické úpravy tak, aby nebyl odpad po zpracování rozpoznatelný, je technicky možné zpracovávat také anatomický odpad ze zdravotnictví, avšak etické, legislativní, kulturní a další faktory brání tomuto způsobu nakládání.

Těkávé a částečně těkávé organické sloučeniny, chemoterapeutický odpad, rtuť, chemikálie řadící se mezi nebezpečné odpady a radioaktivní odpady by neměly být zpracovávány v autoklávu nebo retortě. Do těchto zařízení není vhodné

vkładat velké a rozměrné ložní prádlo, velká mrtvá těla zvířat, hermeticky uzavřené teplovzdušné obaly a další odpady, které brání účinnému pronikání tepla.

▪ Emise a rezidua odpadů

Problémovým aspektem u této technologie může být zápach v bezprostředním okolí autoklávů a retort, který nastává, pokud není zajištěno účinné větrání.

Jestliže není zabezpečeno důsledné třídění odpadů, které zamezí vstupu nebezpečných chemikálií do pracovní komory autoklávů, toxické látky se uvolňují do vzduchu, z kondenzují nebo zůstávají ve zpracovaném odpadu. Proto u špatně vyříděného odpadu může docházet k úniku alkoholů, fenolů, aldehydů a jiných organických sloučenin do ovzduší.

Podle studie²⁸ provedené Národním institutem pro bezpečnost práce a zdraví (National Institute of Occupational Safety and Health) v USA nebyla v pracovním prostředí obsluhy autoklávů zjištěna koncentrace těkavých organických látek vyšší než hodnoty povolené normami pro bezpečnost a ochranu zdraví na pracovišti v USA. Nejvyšší hodnoty těkavých organických sloučenin byly v okolí autoklávu naměřeny v případě 2-propanolu, a to 643 mg/m³.

Při hodnocení technologie autoklávů a retort se objevily i pochybnosti o tom, zda v autoklávech a retortách nemohou vznikat dioxiny, a to v koncentracích srovnatelných s procesem spalování. Autor si není vědom žádné vědecké studie, která by toto tvrzení dokládala. Vědci se většinou shodují na tom, že dioxiny vznikají při teplotě mezi 250 až 450°C, tedy za teploty značně převyšující hodnoty, při nichž pracují autoklávy. Navíc tvorbu dioxinů napomáhá popílek vznikající v průběhu spalování, který působí v přítomnosti kovů a chlóru jako katalyzátor. Jak výše zmíněné teploty, tak popílek se v autoklávech neobjevují, protože u této technologie se nejedná o proces spalování. Naopak takové podmínky pro vznik dioxinů se vyskytují v prostorách za spalovací komorou.

▪ Inaktivace mikrobů

U autoklávů i retort je potřeba dodržovat minimální dobu působení a minimální teplotu, při nichž dochází k účinné dezinfekci. Doporučená doba i teplota působení pro různé podmínky jsou popsány v řadě studií²⁹. Často je doba působení odvozena z dvojnásobku času potřebného k usmrcení řádově 10⁶ (uváděná jako 6 log₁₀) bakteriálních spor *B. stearothermophilus* za ideálních podmínek. Všeobecně doporučovaná teplota sterilizace je kolem 121°C po dobu 30 minut. Ekvivalentní dobu působení při lišící se teplotě lze odvodit.

Pro ověření účinnosti dekontaminace se do nádoby či pytle s odpadem vkládají chemické indikátory reagující změnou barvy či biologické indikátory (indikační papírky obsahující např. *B. stearothermophilus* nebo *B. subtilis*). Tím se zjistí, zda pára důkladně pronikla do nádoby s odpadem a působila po dostatečně dlouhou dobu.

▪ Výhody a nevýhody technologie

Autoklávy a retorty mají následující výhody:

- Technologie založená na působení páry je ověřenou metodou zpracování odpadu, u které existují mnohé záznamy o její účinnosti.
- Technologie pracuje na jednoduchém principu, a je tak snadno akceptována vedením nemocnic i jejich okolím.
- Parametry teploty a doby působení potřebné k vysoce účinné míře dezinfekce jsou dobře zdokumentovány a pevně stanoveny.
- Autoklávy jsou ve světě k dostání v široké škále velikostí, kdy je možné zpracovávat od pár kilogramů do několika tun odpadů za hodinu.
- Pokud jsou dodržena veškerá bezpečnostní opatření, aby se do autoklávu nedostaly žádné nebezpečné odpady, z autoklávů a retort neunikají téměř žádné emise.
- Pořizovací cena je poměrně nízká ve srovnání s ostatními nespalovacími technologiemi.
- Mnozí výrobci autoklávů nabízejí další možnosti a služby jako např. programovatelný počítačový kontrolní systém, kolejnice a výtahy na zdvihání vozíků s odpadem, nepřetržitý záznam hodnot teploty a doby působení, vozíky, které je možné autoklávovat, drtiče atd.

²⁸ Owen, K., Leese, K., Hodson, L., Uhorchak, R., Greenwood D., VanOsdell, D., and Cole, E., 1997 "Control of Aerosol (Biological and Nonbiological) and Chemical Exposures and Safety Hazards in Medical Waste Treatment Facilities." (Cincinnati, OH: National Institute of Occupational Safety and Health, November 1997).

²⁹ Viz např.: J.L. Lauer, D.R. Battles, and D. Vesley, 1982 "Decontaminating infectious laboratory waste by autoclaving," *Appl. Environ. Microbiol.* 44 (3), 690-694, September 1982; W.A. Rutala, M.M. Stiegeland, and F.A. Sarubbi, Jr., "Decontamination of laboratory microbiological waste by steam sterilization," *Appl. Environ. Microbiol.* 43, 1311-1316, June 1982; E. Hanel, Jr., "Chemical Disinfection" in *Control of Biohazards in the Research Laboratory*, Course Manual, School of Hygiene and Public Health, Johns Hopkins University, Baltimore, MD, 1981; Herman Koren, *Environmental Health and Safety*, Pergamon Press, NY, 1974.

Mezi nevýhody lze zařadit:

- Tato technologie nepřeměňuje odpad tak, aby nebyl rozpoznatelný a současně nedochází k zmenšení objemu odpadu, pokud k autoklávu není přidán drtič odpadu nebo jiné mechanické zařízení.
- Jakýkoli větší, tvrdý kovový předmět, který se do autoklávu dostane spolu s odpadem, může poškodit drtič či rozmělnovač odpadu.
- V okolí autoklávu se může objevit nepříjemný pach, což však lze minimalizovat řádným větracím systémem.
- Pokud se do odpadu dostanou nebezpečné chemikálie jako např. formaldehyd, fenoly, cytostatika nebo rtuť, pak tyto toxické látky unikají do vzduchu, odpadních vod nebo zůstávají v odpadu, a mohou tak dále kontaminovat skládky.
- Účinnost systému dekontaminace odpadu může být snížena různými překážkami bránícími průniku páry a dosažení dostatečně vysoké teploty (např. nedostatečné vypuštění vzduchu, nadměrné množství odpadu, objemné předměty s nízkou tepelnou vodivostí, odpad zabalený do několika pytlů, vzduchové bubliny, uzavřené teplotvzdorné nádoby na odpad, atd.)

Jako příklad jednotek založených na působení páry lze uvést: Bondtech, ETC, Mark-Costello, Sierra Industries, SteriTech a Tuttnauer. Modernější autoklávy zahrnují vakuování, kontinuální plnění, drcení, promíchávání odpadů, vysoušení, chemické působení a/nebo lisování. Příklady těchto tzv. "pokročilých" autoklávů jsou: San-I-Pak, Tempico Rotoclave, STI Chem-Clav, Antaeus SSM, Ecoletec, Hydroclave, Aegis Bio-systems, Log Med⁷.

Většina nízko-termických technologií je rozšířena v USA, kde bylo během posledních pěti let uzavřeno přes pět tisíc spaloven nemocničního odpadu³⁰. Tyto technologie se však začínají uplatňovat i v Evropě. Mezi zařízení instalovaná v Evropě založená na působení horké páry patří Logmed, Ecodas, Steridos, ZDA-MP3 a další.

Upozornění: HCWH nepodporuje žádnou konkrétní technologii, firmu nebo firemní značku a netvrdí, že v této zprávě uvedené technologie musí představovat úplný seznam technologií.

Příklady systémů založených na působení páry

Tuttnauer: autokláv

Infekční odpad je vkládán do pytlů vhodných k autoklávování umístěných v autoklávovatelných koších na pojízdných vozících. Naplněné koše jsou přemístěny z vozíků do pracovního prostoru autoklávu. Operátor zavře plnicí otvor a zmáčknutím tlačítka se nastartuje předem naprogramovaný cyklus. Pomocí vakuové pumpy se odstraní vzduch. Do pracovního prostoru se vžene pára a odpad je vystaven jejímu působení po daný čas. Po skončení cyklu se odpad ochlazuje a suší za použití vakua. Koš s dezinfikovanými odpady je vytažen z pracovní komory, umístěn na vozík a transportován k drtiči nebo zhuťovači.

<u>Kapacita:</u>	do 680 kg/h
<u>Náklady na pořízení (v USA):</u>	100-200 000 USD
<u>Technické parametry:</u>	teplota - 137°C; tlak - 3,5 bar; doba dezinfekce - 20 minut
<u>Status:</u>	v provozu
<u>Kontakt na výrobce:</u>	Tuttnauer Co. Ltd., 25 Power Drive Hauppauge, NY, 11788, USA, tel.: +1(631)7374850, e-mail: info@tuttnauer.com, http://www.tuttnauer.com/ Tuttnauer Europe b.v., Paardeweide 36, P.O.B. 7191, 4800 GD Breda, The Netherlands, tel: ++31 765 423 510, e-mail: info@tuttnauer.nl

Hydroclave: působení páry-promíchávání-fragmentace/vysoušení

Systém Hydroclave vyvinutý v Kanadě je válcovitá nádoba s dvojitým pláštěm a lopatkami uvnitř pracovní komory, které promíchávají a rozmělnují odpad. Po vložení odpadu se plnicí otvor uzavře a pára o vysoké teplotě je vhnána do vnějšího pláště, který svým povrchem zahřívá odpad uvnitř nádoby. Během této doby se lopatky otáčejí a odpad se rozmělnuje. Vlhkost obsažená v odpadu se zahříváním mění v páru a dochází ke zvýšenému tlaku ve vnitřní nádobě. Pokud odpad není dostatečně vlhký, přidává se malé množství páry do pracovní komory, aby bylo dosaženo potřebného tlaku. Dezinfekce

³⁰ Emmanuel, J., 2002. Non-incineration Alternatives to the Treatment of Medical Waste. Prezentováno na konferenci: Environmentally friendly management of medical waste. Debeleni ritč, Slovenia, 12th April 2002.

probíhá za teploty 132°C po dobu 15 minut či při teplotě 121°C po dobu 30 minut, přičemž lopatky neustále rotují, promíchávají a rozměňují odpad. Po ukončení pracovního cyklu se pára odvádí pomocí kondenzátoru, zatímco se plášť udržuje neustále horký, a tak dochází k vysoušení odpadu. Po vysoušení se zapne zpětný chod hřídele a odpad je vytlačován na dopravník nebo do kontejnerů na odpad.

Test účinnosti zařízení provedený pro výrobce ukázal míru inaktivace vyšší než 10^6 ($6 \log_{10}$) ekvivalentní pro *Bacillus stearothermophilus* při 30 minutovém cyklu při teplotě 121°C nebo při 15 minutovém cyklu při teplotě 132°C³¹.

Kapacita: 90 - 900 kg/h
Náklady na pořízení (v USA): 200-500 000 USD
Technické parametry: teplota - 132°C; doba dezinfekce - 15 minut
Status: v provozu od 1994
Kontakt na výrobce: Hydroclave System Corporation, 672 Norris Court, Kingston, ON, . Canada K7P 2R9, tel.: +1 (613) 389-8373, fax: +1 (613) 389-8554, e-mail: inquire@hydroclave.com, <http://www.hydroclave.com>

Ecodas: drcení/působení páry/odvodnění

Firma Ecodas vyrábí zařízení na principu autoklávu vyšší generace, který má v sobě zabudovaný drtič odpadů. Firma nabízí 3 typy v závislosti na množství zpracovávaného odpadu: T300 (45 kg/h), T1000 (90 kg/h), T2000 (180 kg/h).

Kontaminovaný odpad se do autoklávu vkládá svrchu plnicím otvorem, který je posléze hermeticky uzavřen. Uvnitř autoklávu je těžký drtič, který rozměňuje odpad. Po rozdrčení odpadu je autokláv zahříván pomocí páry na teplotu 138°C, přičemž tlak je zvyšován až na 3,8 bar. Ke sterilizaci dochází při zachování těchto parametrů po dobu 10 minut. Celý, plně automatický proces trvá 40-60 minut (*u typu T.1000*). Po ukončení procesu zůstává dekontaminovaný odpad, který svými vlastnostmi odpovídá komunálnímu odpadu a může s ním být jako s komunálním odpadem dále nakládáno. Zařízení redukuje objem odpadu až o 80 %.

Autoklávy firmy Ecodas jsou instalovány na několika místech ve Francii, většinou v jednotlivých zdravotnických zařízeních, ale existují i jako centrální jednotky pro více nemocnic, například v městech Santes či Loos. Dále jsou zařízení v provozu v Maďarsku, Španělsku, na Kypru a z neevropských zemí v Argentině, Brazílii, Mexiku, Japonsku, Egyptu, Libanonu a Maroku³².

Kapacita: 45/90/180 kg/h
Náklady na pořízení: od 145 000 EUR
Technické parametry: teplota - 138°C; tlak - 3,8 bar; doba dezinfekce - 10 minut
Status: v provozu od 1993
Kontakt na výrobce: Ecodas, 28, rue Sebastopol, 59100 Roubaix, France, tel: ++33 3 20 70 98 65, fax: ++33 3 20 36 28 05, e-mail: contact@ecodas.com, <http://www.ecodas.com>

LOGMED: drcení/působení páry-promíchávání-zhutňování

Systém LOGMED, který je koncipován na zpracování 100-300 kg odpadů/h, využívá k dezinfekci horké páry. Tato technologie existuje ve dvou variantách – LOGMED I a LOGMED II. Stacionární zařízení LOGMED I je používáno k dezinfekci odpadů při teplotě 110°C. Novější systém LOGMED II, který může být jak stacionární, tak mobilní, lze použít díky možnosti nastavení rozdílných teplot (115/121/134°C) k dezinfekci i ke sterilizaci.

Odpady v pytlích se umísťují do speciálního kontejneru, který je po naplnění zvednut zdvihacím zařízením a vyprázdněn do násypky autoklávu. Předtím, než se otevře víko násypky, je z násypného prostoru odčerpán přes filtrační zařízení vzduch, aby nedošlo k uvolnění infekčních agens do prostředí. Po uzavření víka násypky začne rozměňovací zařízení drtit odpad.

Pomocí dávkovače je odpad posouván do pracovního prostoru vybaveného šnekovou hřídelí s dvojitým pláštěm vyhřívanou pomocí topného oleje. V přední části hřídele se vlní pára, která ohřívá odpad. Ohřátý odpad je přiveden k dalšímu

³¹ Springthorpe, S. and Satter, S., 1995. Performance of the Hydroclave for Determination of Biomedical Waste: Trial conducted on unit installed at Kingston General Hospital, University of Ottawa, report submitted to Hydroclave system and Ontario Ministry of Health, November 1995

³² Na základě internetových stránek firmy Ecodas: http://www.ecodas.com/eco_eng.php?p=ref_eng

”horkému” šneku, který je rovněž dvouplášťový s vyhříváním pomocí topného oleje. Zde probíhá dezinfekce a zhutňování odpadu, při němž se podstatně sníží jeho objem.

Podle údajů výrobce byly předchůdci systému LOGMED, zařízení GDA 130S, 170S, 170SL a 200S dodány v letech 1992-1999 do zdravotnických zařízení v SRN, Francii, Španělsku, Rakousku a na Maskarény. Technologie LOGMED I je v současné době schválena v SRN, Francii, Velké Británii a ve státech Beneluxu. Kromě Evropy je instalována v Jihoafrické republice a v Spojených arabských Emirátech³³. Na zařízení LOGMED II probíhá v současné době expertní analýza, aby mohlo být zařazeno na seznam povolených technologií pro dezinfekci odpadů.

Kapacita: 100-300 kg/h
Náklady na pořízení: 950 000 USD
Technické parametry: teplota - 134°C; tlak - 3,1 bar; doba dezinfekce - 20 minut
Status: v provozu od 1990
Kontakt na výrobce: Erdwich ZerkleinerungsSysteme GmbH, Kolpingstrasse 8, D-86916 Kaufering, Germany, tel: +49 8191-9652-0, fax: +49-08191-9652-16, e-mail: infoline@erdwich.de , http://www.logmed.de

STERIDOS: Působení páry-promíchávání-fragmentace/sušení

Autokláv je horizontálně položená, válcová tlaková nádoba s dvojitou stěnou, opatřená dvěma plnicími otvory a jedním výpustním otvorem na dně nádoby. Nádoba o objemu 9 m³ je vybavena axiální hřídelí poháněnou motorem, na níž jsou umístěna ramena s pomalu rotujícími lopatkami uvnitř nádoby. Vnitřní povrch zařízení je opatřen řeznými elementy.

Pytle s nemocničním odpadem se vkládají do tlakové nádoby vrchními plnicími otvory, které se po naplnění hermeticky uzavřou. Do pláště nádoby se zavede topná pára a spustí se pohon hřídele s lopatkami. Při zavedení topné páry do pláště a vnitřního prostoru nádoby dojde k vytvoření takové teploty a tlaku, které zabezpečí dezinfekci a dekontaminaci odpadu. Dekontaminace probíhá po dobu 20 minut při teplotě 135-140°C a tlaku 2,7-3 bar.

Po uplynutí předepsané doby se pomocí ventilového systému zruší přetlak páry v nádobě a za neustálého vyhřívání pláště a pohybu lopatek se obsah nádoby suší. Pára se z vnitřního prostoru autoklávu odvádí do kondenzátoru. V průběhu dekontaminace dochází v autoklávu k nepřetržitému rozmělnění a řezání odpadu. Po programem předepsané době sušení se zastaví pohyb rotoru a obsluha otevře výpustní otvor ve spodní části autoklávu. Po opětovném spuštění pohonu ve směru pro vyhrnování obsahu je dekontaminovaný, rozmělněný a vysušený odpad vyhrnut na pásový dopravník a dopraven na vlečku. V případě potřeby je odpad následně drcen na menší části a odvážen na skládku³⁴.

Kapacita: 2 zařízení po 7 500 t, 15 000 t/ročně
Technické parametry: teplota - 135-140°C; tlak - 2,9-3,1 bar; doba dezinfekce - 20 minut
Status: v provozu od 1999
Kontakt na výrobce: IDOS Praha s.r.o., P.O. Box 77, 261 01 Příbram – Háje, tel.: 318 477 111, fax: 318 627 196, e-mail: idos@idos-praha.cz

ZDA- MP3: působení páry-promíchávání

ZDA – MP3, Typ II je mobilní zařízení na dezinfekci infekčních nemocničních odpadů, které využívá ke zneškodňování odpadů horké páry.

Kontaminovaný odpad je vložen do zařízení, pomocí řezačky rozmělněn a dezinfikován za přítomnosti horké páry. Teplota pro dezinfekci je uváděna 105°C, ale je možné nastavit i vyšší teplotu (až 140°C) pro dosažení sterilizace. Doba dezinfekce trvá 15 minut. Zařízení je kontrolováno počítačem, teplotu, tlak a dobu dezinfekce (sterilizace) je možno nastavit.

Mobilní zařízení ZDA-MP3, Typ II, jehož výrobcem je německá firma Maschinenvertrieb für Umwelttechnik, GmbH a které je schváleno a certifikováno v SRN (podle BGA-Liste, § 10c BSeuchG), se používá pro dezinfekci zdravotnických odpadů ve Slovinsku. Zařízení ZDA- M3 je dále schváleno k použití ve Švýcarsku, Španělsku, v USA ve státu New York a bylo požádáno o schválení ve Francii, Itálii a Beneluxu³⁵. Autokláv je rovněž v provozu v Polsku ve městě Rybnik, kde slouží pro nemocnice a lékařské praxe ve městě.

³³ Na základě Internetových stránek firmy: http://www.logmed.de/Home_Deutsch/___Referenzen/___referenzen.html

³⁴ Zařízení na dekontaminaci specifického odpadu ze zdravotnických zařízení STERIDOS, IDOS Praha, firemní brožura.

³⁵ Informace převzaty z informačního materiálu firmy Maschinenvertrieb für Umwelttechnik, GmbH – Mobile disposal of infectious waste.

<u>Technické parametry:</u>	teplota - 105°C (možnost i vyšší teploty); tlak - 5 bar; doba dezinfekce - 15 minut
<u>Status:</u>	v provozu od 1995
<u>Kontakt</u>	na provozovatele zařízení ve Slovinsku: Mollier, Opekarniška 3, 3000 Celje, Slovinsko, tel: ++386 3 42 88 400, fax: ++386 3 42 88 402, e-mail: info@mollier.si , http://www.mollier.si

Mikrovlnné systémy

Mikrovlnné systémy pro zneškodňování odpadů pracují na obdobném principu jako mikrovlnné trouby, které známe z domácností. Zařízení zvané magnetron mění elektrickou energii o vysokém napětí na energii mikrovln, což jsou velmi krátké vlny elektromagnetického spektra. Mikrovlny jsou usměřovány do specifického místa (prostor pro vaření v mikrovlnných troubách, prostor pro dezinfekci odpadů u mikrovlnných systémů), kde rozkmitávají molekuly vody, přičemž dochází k zvyšování teploty a přeměně vody v páru. V podstatě jsou mikrovlnné systémy založeny rovněž na dezinfekci působením horké vody a páry.

Mikrovlnný dezinfekční systém se skládá z pracovního prostoru (komory), kde probíhá dezinfekce a kam je usměřováno mikrovlnné záření. Většina mikrovlnných zařízení používá 2- 6 magnetronů o jednotlivém výkonu 1,2 kW, což jsou standardní zařízení s kmitočtem 2 450 MHz. Některé systémy používají ruční dávkování, některé jsou poloautomatické. Sanitec, Sintion a Medister jsou příklady mikrovlnných jednotek v Evropě.

▪ Jak mikrovlnný systém pracuje (popsáno na základě systému Sanitec)

Vkládání odpadů: Infekční odpad v pytlích je vložen do vozíku připevněného ke zvedacímu zařízení, které vyklopí odpad do násypného koše umístěného na vrchu systému. Předtím, než ale dojde k otevření násypky, se do ní vžene pára o vysoké teplotě a poté se ohřátý vzduch z prostoru násypky odsaje a přefiltruje přes filtrační zařízení, aby nedošlo k uvolnění patogenním zárodků do okolního prostředí.

Drcení odpadů: Poté, co se víko násypného koše uzavře, je odpad rozmělněn pomocí rotujícího podavače a poté drcen na menší kousky drtičem.

Působení mikrovln: Rozdrcené částičky odpadu jsou automaticky dopravovány do pracovního prostoru pomocí šnekového dopravníku. Zde jsou nejprve vystaveny působení horké páry a poté zahřívány pomocí 4 nebo 6 generátorů mikrovln (magnetronů) s jednotlivým výkonem 1,2 kW. Odpad je zahříván na 95-100°C po dobu minimálně 30 minut. Dezinfikovaný odpad je dále posouván a padá do připravených nádob pro další uložení.

Eventuální druhotný drtič: Dekontaminovaný odpad může procházet dalším drtičem, který je schopen ho drtit ještě na menší kousky. Tento druhotný drtič se používá v případě, kdy se v mikrovlnném zařízení zpracovávají i ostré předměty.

Vykládání odpadů: dekontaminovaný odpad je unášen pomocí dalšího šnekového dopravníku z pracovního prostoru přímo do nádob nebo kontejneru na odpadky. Odpad může být ještě zhutněn v zhutňovači nebo deponován na skládku komunálního odpadu.

▪ Druhy odpadů, s nimiž lze nakládat v mikrovlnných zařízeních

Typy odpadů zpracovávané v mikrovlnných zařízeních jsou identické s odpady dekontaminovanými v autoklávech nebo retortách. Patří k nim tkáňové kultury a kmeny, ostré nástroje, materiály kontaminované krví a omezeným množstvím tekutin, odpady z infekčních oddělení, chirurgické odpady, laboratorní odpad (vyjma chemikálií) a tzv. "měkký" odpad (gázy, obvazy, roušky, pláště, ložní prádlo) pocházející ze zdravotní péče. S dostatečně dlouhou dobou působení, odpovídající vysokou teplotou a následným použitím mechanické úpravy tak, aby nebyl odpad po zpracování rozpoznatelný, je technicky možné zpracovávat také anatomický odpad ze zdravotnictví, avšak etické, legislativní, kulturní a další faktory brání tomuto způsobu nakládání.

Těkávé a částečně těkávé organické sloučeniny, chemoterapeutický odpad, rtuť, chemikálie řadící se mezi nebezpečné odpady a radioaktivní odpad by neměly být zpracovávány v mikrovlnné jednotce.

▪ Emise a rezidua odpadů

Studie³⁶ provedené laboratorní skupinou v Connecticutu v USA, laboratoří v Londýně a výzkumným ústavem v Lyonu indikují, že emise aerosolu (v průběhu procesu plnění) jsou minimalizovány u zařízení Sanitec. Nezávislá studie³⁷

³⁶ Evaluation of the ABB Sanitec Microwave Disinfection System for Aerosol Emissions, North American Laboratory Group, New Britain, CT, 1992; ABB Sanitec Microwave Disinfection System - Ability to Control Aerosol Emissions: Synopsis of Evaluation, a summary of aerosol emissions studies provided by Sanitec, November 1, 1996.

provedená Národním institutem pro bezpečnost práce a zdraví (National Institute for Occupational Safety and Health - NIOSH) v USA nezjistila v pracovním okolí mikrovlnného zařízení vyšší hladiny těkavých organických látek (VOC) než připouští limit stanovený NIOSH. Nejvyšší hladina byla zjištěna u propanolu, 2 318 mg/m³.

▪ Mikrobiální inaktivace

Mikrobiologická studie³⁸ provedená na dekontaminovaném odpadu z mikrovlnného zařízení neprokázala následný růst mikroorganismů (korespondující hladině redukce 7 log₁₀) pro následující testované organismy: *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, *Enterococcus faecalis*, *Nocardia asteroides*, *Candida albicans*, *Aspergillus fumigatus*, *Mycobacterium bovis*, *Mycobacterium fortuitum*.

▪ Výhody a nevýhody technologie

Výhody:

- Protože mnoho lidí používá mikrovlnné trouby v domácnosti, je snadné pro pracovníky nemocnic a veřejnost této metodě porozumět a akceptovat ji.
- Tato metoda je akceptována v mnohých zemích, včetně České republiky.
- Jestliže se zachovává správné třídění odpadů tak, aby se do zařízení nedostal nebezpečný materiál, jsou emise z mikrovlnných zařízení minimální.
- Zpravidla nevzniká tekutý odpad.
- Jeli zabudovaný vnitřní rozmělnovač nebo drtič, dochází k redukci objemu až o 70-80 %.
- Technologie jsou zpravidla automaticky (počítačově) řízeny.

Nevýhody:

- Jestliže se toxické látky dostanou do odpadu, uvolňují se do prostředí.
- V bezprostředním okolí mikrovlnných systémů se může vyskytnout nepříjemný zápach.
- Pokud systém neobsahuje rozmělnovací zařízení, je často nutné použít následně drtič odpadů tak, aby byl odpad nerozpoznatelný.

Příklady systémů založených na působení mikrovln

Sanitec

Zařízení Sanitec je založeno na kombinaci drcení odpadů a působení mikrovlnného záření. Skládá se ze zdvihacího zařízení, násypného koše, drtiče, šnekového hřídele (posouvá odpad směrem k mikrovlnným generátorům), generátoru páry, sekundárního drtiče, výsypky a kontrolního panelu. Firma dodává 2 typy: HG-A 100S s kapacitou zpracování odpadů 100-181kg/h a HG-A 250S s kapacitou 250-408 kg/h. Oba typy jsou k dispozici jak ve stacionárním tak v mobilním provedení. Zařízení je umístěné v celokovovém plášti, systém tedy může být instalován ve venkovním prostředí. Zařízení není nutné napojovat na kanalizační systém, neboť nevznikají žádné tekuté odpady.

Proces je kontrolován senzory a mikroprocesory, které zajišťují dodržování řádné teploty po celou dobu dezinfekce.

Podle informací výrobce jsou instalována dvě zařízení Sanitec v nemocnici Chase Farm v Enfieldu, Middlesexu a jsou provozována firmou Polkacrest / LondonWaste. Roční kapacita těchto dvou zařízení je 3 600 t. Kromě Enfieldu jsou další jednotky instalovány ve Velké Británii a ve Španělsku. Zařízení Sanitec je schváleno k provozu v následujících zemích Evropy: Francie, SRN, Irsko, Velká Británie, Španělsko, Švýcarsko. Mimo Evropu jsou zařízení instalována v následujících státech: Austrálie, Brazílie, Kanada, USA, Indie, Japonsko, Kuvajt, Filipíny, Saudská Arábie, Jižní Afrika, Jižní Korea.

<u>Kapacita:</u>	100 - 480 kg/h
<u>Náklady na pořízení:</u>	500-600 000 USD
<u>Technické parametry:</u>	teplota - 95 -100 °C; doba dezinfekce - min. 30 minut
<u>Status:</u>	V provozu od 1990
<u>Kontakt na výrobce:</u>	Sanitec Group LLC, 59 Village Park Road, Cedar Grove, NJ 07009, USA, tel.: +1-973-227-8855, fax: +1-973-227-9048

³⁷ E. Cole, 1998. Chemical and Biological Exposure and Safety Hazard in Medical Waste Treatment Facilities: An Assessment of Alternative Technologies. Vol. 98/2, No. 9 (Cedex, France: International Healthcare Waste Network, August 31, 1998).

³⁸ Copy of ABB Sanitec Microwave Disinfection System Laboratory Test Results from North American Laboratory Group and Stanford University, provided by Sanitec.)

SINTION

SINTION je mikrovlnná jednotka určena pro malé množství odpadů, která může být instalována v blízkosti místa vzniku odpadů. Je založena na působení mikrovln a nasycené páry pro dezinfekci a sterilizaci zdravotnických odpadů v závislosti na zvoleném programu a teplotě.

Odpad je umístěn do pytle propouštějícího páru, tak aby mohla pára proniknout až k odpadům (neměly by být používány dvojité pytle nebo uzavřené kontejnery; kontejnery pro ostré předměty odolné proti propíchnutí by neměly být hermeticky uzavřeny). Obsluha zvedne víko a vloží pytel s odpadem do dezinfekční komory (1 pytel pro jeden cyklus). Povrch odpadu je vystaven působení páry, zatímco působení mikrovlnného záření zahřívá odpad zevnitř, přičemž dochází usmrcení mikroorganismů.

Teplota v dezinfekční komoře je 121°C, může však dosáhnout až 134°C, pokud je potřeba. Doba působení mikrovlnného záření lze nastavit. Většinou trvá dezinfekce 10 až 30 minut v závislosti na zvolené teplotě. Po ukončení dezinfekčního cyklu se odpad vyjme a může být následně zpracován v drtiči nebo zhuťovači.

Zařízení SINTION bylo testováno a akceptováno jako vhodná technologie Institutem Roberta Kocha v SRN, obdrželo certifikát TUV Rakousko a bylo schváleno ve státu New York, USA. Firma na svých internetových stránkách odkazuje i na další provedené testy a obdržené certifikáty v různých zemích³⁹.

<u>Kapacita:</u>	do 35 kg /h
<u>Technické parametry:</u>	teplota -121/134°; tlak -1/2 bar; doba dezinfekce -10-20 minut
<u>Status:</u>	V provozu od 1995
<u>Kontakt na výrobce:</u>	CMB Maschinenbau und Handels GmbH, Plabutscherstr. 115, 8051 Graz, Austria, tel.: ++43 316 685515-0, fax: ++43 316 685515-210, e-mail: cmb@christof-group.at , http://www.christof-group.at

Medister

Rakouská firma Meteka dodává zařízení Medister vhodné k dekontaminaci infekčních odpadů, které je založené na působení mikrovln. Typy Medister 10, 60, 160 se liší objemem zpracovávaného odpadu a lze v nich dezinfikovat různé druhy infekčního odpadu. MEDISTER 360 slouží pro sterilizaci vysoce infekčního materiálu stejně jako pro odpady z výzkumných laboratoří používající geneticky modifikované organizmy, kde je nutné dokonalé usmrcení biologického agens.

Dalším typem zařízení pro sterilizaci odpadů je Medister HF, který používá běžnou vodu z kohoutku. Voda se v zařízení mění v páru zahříváním pomocí vysokofrekvenční energie. Výrobce uvádí účinnost zařízení pro usmrcení spor *Bacillus stearothermophilus* vyšší než 10⁶ (6 log₁₀)⁴⁰.

Dekontaminační zařízení pro zdravotnický odpad Medister jsou používána i v České republice, např. v nemocnici u sv. Anny v Brně, Fakultní nemocnici v Brně-Bohunicích, Fakultní dětské nemocnici v Brně⁴¹. Jednotka je rovněž instalována v nemocnici v Chomutově, kde probíhají poslední schvalovací procedury. U prvních třech jmenovaných nemocnic je však dekontaminovaný odpad následně spalován, čímž zaniká pravý účel zavádění nespalovacích technologií, tedy eliminace nebezpečných perzistentních organických látek (např. dioxinů) vznikajících při spalování odpadů.

<u>Kapacita:</u>	6-60 l/cyklus
<u>Náklady na pořízení:</u>	od 70 000 USD
<u>Technické parametry:</u>	teplota - 110/121/134°C; doba celého cyklu - 45 minut
<u>Status:</u>	V provozu od 1991
<u>Kontakt na výrobce:</u>	Burgasse 108, 8750 Judenburg, Austria, tel: +43 3572 85166, fax: +43 3572 85166 6, e-mail: info@meteka.com, http://www.meteka.com/

³⁹ <http://www.christof-group.at/www/en/cmb/zertifikate.php>

⁴⁰ Na základě internetových stránek firmy: <http://www.meteka.com/home.htm>

⁴¹ Prezentováno na stránkách <http://www.puro-klima.cz/meteka.html>

Nízko-termické technologie založené na působení horkého vzduchu

Obdobně jako se používají horkovzdušné trouby ke sterilizaci skleněných a jiných předmětů pro opakované použití, byla tato technologie aplikována i pro dekontaminaci zdravotnických odpadů. Procesy založené na působení horkého vzduchu nepoužívají vodu či páru. Odpady jsou ohřívány nuceným prouděním horkého vzduchu nebo s pomocí tepelného zářiče. Systémy založené na působení horkého vzduchu pracují za vyšších teplot než parní přístroje. Doba působení horkého vzduchu závisí na vlastnostech a velikosti odpadů.

Jako příklad systému fungujícího na bázi proudění horkého vzduchu lze popsat technologii KC MediWaste, která byla poprvé instalována v lékařském centru Mercy ve městě Laredo v Texasu. Základ zařízení tvoří vzduchotěsná komora z nerezavějící oceli, do které je přiváděn rozmělněný odpad. Ten je vystaven působení ohřátého vzduchu vhněného vysokou rychlostí do spodní části komory skrze systém lopatek a štěrbin, který se podobá lopatkám turbíny. Horký vzduch je usměrňován tak, aby způsobil rotaci částíček odpadů kolem vertikální osy. Za těchto podmínek může docházet k účinnému přenosu tepla. Během 4-6 minut je získán suchý odpad, u kterého není rozpoznat, že se jednalo o nemocniční odpad. Další systém používající horký vzduch je například TWT Demolizer.

▪ Jak pracuje systém horkovzdušné dezinfekce (popis založen na systému KC MediWaste)

Vkládání odpadů: Pytle s infekčním odpadem jsou naloženy na vozík připevněný k zařízení, které vozík zdvihá a zároveň automaticky otevírá víko vzduchotěsného násypného koše. Po otevření víka je odpad vyprázdněn do násypky, přičemž se zachovává podtlak, aby se zabránilo tvorbě a uvolňování aerosolu.

Rozmělňování odpadů: Odpad je rozmělněn na částičky veliké přibližně 19 mm a je protlačován přes nastavitelné síto do dezinfekčního prostoru.

Dávkování: Množství odpadu vhněného do pracovní komory je kontrolováno plnicí klapkou. Ta se automaticky otevírá po vyprázdnění komory.

Působení horkého vzduchu: Poté, co je rozmělněný odpad dopraven do pracovního prostoru, je vystaven působení rychle proudícího horkého vzduchu (171°C). Teplota v komoře po zavedení odpadu dočasně poklesne, své původní hodnoty dosáhne asi po 4 minutách.

Vykládání odpadů: Po uplynutí doby působení se výpustní otvor otevře a odpad je během několika sekund doslova vyvržen z pracovní komory a padá do připravených nádob.

Zhutňování a ukládání na skládku: Suchý nerozpoznatelný odpad je zhutňován a ukládán do připravených nádob, v nichž se deponuje na skládku komunálního odpadu.

▪ Druhy odpadů, s nimiž lze nakládat

Typy odpadů zpracovávané v zařízeních využívajících horkého vzduchu jsou podobné těm, které lze zpracovávat v autoklávech nebo mikrovlnných zařízeních a zahrnují kultury a infekční materiál, ostré předměty, odpady znečištěné krví a tělními tekutinami, odpady z infekčních oddělení, odpady z laboratoří (kromě chemikálií), chirurgický odpad a měkké odpady (gázy, bandáže, chirurgické roušky, pláště, nemocniční povlečení, atd.). Navíc mohou být v zařízení ošetřovány tekuté odpady jako krev nebo tělní tekutiny. Je také technicky možné zpracovávat anatomické odpady, ale etické, legislativní, kulturní a jiné důvody mohou v různých zemích vyloučit takový způsob zneškodňování odpadů.

Těžké a částečně těžké organické sloučeniny, chemoterapeutický odpad, rtuť, chemikálie řadící se mezi nebezpečné odpady a radioaktivní odpad by neměly být zpracovávány v horkovzdušných systémech.

▪ Emise a rezidua odpadů

Odsávaný vzduch z prostoru násypky je filtrován skrze vysoce účinný částicový vzduchový filtr (HEPA) a uhlíkový filtr, aby došlo k odstranění patogenů v aerosolu a nepříjemných pachů. Mokrý vzduch z pracovní komory je zchlazován ve Venturiho pračce na plyn, která zachytává i malé částice.

▪ Mikrobiální inaktivace

Mikrobiologické testy používající indikátorových papírků s *B. subtilis var. niger* (druh používající se standardně pro testování systémů využívajících působení horkého vzduchu) vložené do pracovní komory prokázaly usmrcení v řádu 10^6 ($6 \log_{10}$) během zhruba 3 minut⁴².

▪ Výhody a nevýhody technologie

Výhody:

- Základní design pracovní komory je jednoduchý (je popisován jako trouba na popcorn). Technologie Torben, na jejímž principu je KC MediWaste založen, se používá řadu let i pro jiné účely (minerály, jídlo).
- Jestliže se zachovává správné třídění odpadů tak, aby se do zařízení nedostal nebezpečný materiál, jsou emise minimální.
- Technologie může zpracovávat odpady s různým obsahem vody, včetně krve a tělních tekutin.
- Nejsou žádné kapalné odpady.
- Vnitřní drtič a zhutňovač používaný po ukončení cyklu snižují objem odpadu až o 80 %.
- Proces je automatizován a je potřeba pouze 1 operátora.

Nevýhody:

- Pokud se toxické odpady dostanou do odpadu, uvolňují se do prostředí.
- V okolí zhutňovače se může vyskytovat slabý zápach.
- Velké tvrdé kovové předměty mohou způsobit problémy s drtičem.
- KC MediWaste je relativně nová technologie.

⁴² Data poskytnutá firmou KC MediWaste

Technologie založené na působení chemikálií

Chemické procesy fungují na principu dezinfekce za přítomnosti chemických činidel. Používá se řada chemických látek - sloučeniny chloru, ozón, oxid vápenatý, hydroxid sodný a draselný, kyselina peroxyoctová a další. Některé chemikálie jako například ozón nemění fyzický vzhled odpadů, jiné vyvolávají chemické reakce, které mění fyzikální a chemické vlastnosti odpadů. Výhodou technologií založených na jiných chemických činidlech než na sloučeninách chloru je skutečnost, že tyto metody neprodukují vedlejší chlorované produkty. Jako příklad nechlorových chemických činidel lze uvést:

Oxid vápenatý známý spíše jako vápno je bílý až šedý prášek bez zápachu vyráběný zahříváním vápence. Reaguje s vodou a vytváří hydroxid vápenatý, který může dráždit oči a dýchací trakt.

Ozón je oxidační činidlo, které obsahuje 3 atomy kyslíku (O_3) namísto běžných dvou (O_2). Protože je ozón vysoce reaktivní, rozkládá se na stabilní formu O_2 . Ozón se používá ke sterilizaci pitné vody, v čistírnách komunálních a průmyslových odpadních vod, při kontrole zápachu, čištění vzduchu, v zemědělství a v potravinářském průmyslu. Ozón může dráždit oči, nos a dýchací trakt.

Zásady jako hydroxid sodný nebo draselný jsou silnými žiravinami. Používají se v chemickém průmyslu, kontrole pH, výrobě mýdel a dalších procesech. Kontakt s různými chemikáliemi včetně kovů může způsobit hoření. Koncentrované roztoky hydroxidů jsou natolik žíravé, že mohou zanechat trvalé popáleniny, způsobit slepotu nebo dokonce i smrt. Aerosol hydroxidů může způsobit poranění plic.

Kyselina peroxyoctová se používá v nemocnicích ke sterilizaci povrchu lékařských pomůcek. Silně dráždí kůži, oči a mukózní membrány. Dlouhodobý kontakt s kůží může způsobit problémy s játry, ledvinami a srdcem.

▪ Druhy odpadů, s nimiž lze nakládat

Odpady běžně zpracovávají v technologiích založených na působení chemikálií zahrnují: kultury a kmeny, ostré předměty, anatomický a patologický odpad včetně krve a tělních tekutin, chirurgické odpady, odpady z infekčních oddělení, laboratorní odpady (vyjma chemikálií) a tzv. měkký odpad (gázy, obvazy, roušky, pláště, ložní prádlo) ze zdravotní péče. Etické, legislativní, kulturní a další faktory mohou bránit zpracování anatomického odpadu v zařízeních využívajících chemikálie.

Typy odpadů, které mohou být dezinfikovány, závisí na specifické technologii a dezinfekčním činidle. Například zásaditá hydrolýza je vhodná pro tkáňový odpad, mrtvá těla zvířat, anatomický odpad, krev a tělní tekutiny. Může také zničit aldehydy, fixativa a cytostatika. Technologie na bázi kyseliny peroxyoctové vybavené mechanickým zařízením na destrukci odpadu mohou dezinfikovat ostré předměty, sklo, laboratorní odpad, krev, jiné tělní tekutiny, kultury a další kontaminovaný materiál.

Těkavé a částečně těkavé organické sloučeniny, chemoterapeutický odpad, rtuť, chemikálie řadící se mezi nebezpečné odpady a radioaktivní odpady by neměly být zpracovávány v zařízeních na bázi působení chemických činidel.

▪ Emise a rezidua odpadů

Chemické systémy zpravidla vyžadují drcení odpadů, a tudíž existuje možnost úniku aerosolu. Aby se únikům zabránilo, pracují chemické systémy v současné době jako uzavřené systémy nebo využívají podtlaku a filtrují odsávaný vzduch přes filtry (např. HEPA). Tato bezpečnostní opatření je nutné vždy dodržovat. Dalším problémem spojeným s bezpečností práce a zdravím mohou být výpary a nechtěné úniky ze zásobníků s chemikáliemi nebo ze zařízení. Chemické dezinfekční prostředky se někdy skladují v koncentrované formě, čímž se zvyšuje riziko nebezpečí poškození zdraví pracovníků.

▪ Mikrobiální inaktivace

Mikroorganismy se liší ve své rezistenci k působení chemikálií. Nejméně odolné jsou vegetativní bakterie a plísňe, spóry plísní a lipofilní viry. Rezistentnější jsou hydrofilní viry, mykobaktérie a bakteriální spóry jako např. spóry *B. stearothermophilus*. Pro každý systém by měly být provedeny bakteriální testy, které prokáží minimální účinnost usmrcení řádově 10^4 u spór *B. stearothermophilus* za normálních provozních podmínek.

▪ Výhody a nevýhody technologie

Výhody:

- Technologie jsou většinou automatizované a jednoduché pro použití.
- Tekuté odpady mohou být zpravidla vypuštěny do běžného odpadního systému.
- Nejsou produkovány žádné vedlejší produkty spalování.
- Jestliže technologie obsahuje drtící zařízení, odpad je nerozpoznatelný.

Nevýhody:

- Existují obavy tvorby možných vedlejších toxických produktů v odpadní vodě velkých systémů využívajících chlor nebo chlornany.
- Používání chemikálií představuje určitá rizika pro pracovníky.
- Jestliže jsou nebezpečné chemikálie přítomny v odpadu, tyto látky se uvolňují do vzduchu a odpadní vody nebo zůstávají v odpadu a kontaminují tak skládku odpadů. Mohou také reagovat s dezinfekčními prostředky a produkovat další látky, které mohou, ale nemusí být nebezpečné.
- Pokud systém používá kladivové mlýny nebo drtící zařízení, hladina hluku může dosahovat vysokých hodnot.
- V okolí některých systémů se může vyskytovat nepříjemný zápach.
- Velké kovové předměty v odpadu mohou poničit mechanická zařízení jako jsou drtiče.

Příklady systémů založených na působení chemikálií

Waste reduction by Waste reduction (WR²) využívá metody alkalické hydrolyzy, která mění mikrobiální a živočišné tkáně na neutrální a dekontaminovaný vodný roztok. WR² využívá proces alkalické hydrolyzy při zvýšené teplotě. Proces rovněž ničí fixativa v tkáních a další nebezpečné chemikálie, včetně formaldehydu a glutaraldehydu. Základ zařízení tvoří tepelně izolovaná nádrž z nerezavějící oceli, která je dvouplášťová a vyhřívána párou. Součástí je také vyndavací koš, kde po procesu zůstávají zbytky kostí a zubů.

Poté, co je odpad v koši vložen do pracovního prostoru zařízení, nádrž se hermeticky uzavře. Do zařízení je dodán hydroxid spolu s vodou v množství, které je úměrné množství odpadu. Obsah, který je neustále promícháván, se konstantně zahřívá na 110 – 127°C (pokud je to nutné i na 150° C). V závislosti na množství zásady a teploty trvá proces hydrolyzy mezi 3 až 8 hodinami.

Podle údajů výrobce může tato technologie údajně zneškodnit i chemoterapeutický odpad, a je tak nespalovací alternativní technologií pro likvidaci cytostatik. Touto technologií mohou být zničeny všechny antineoplastické (protinádorové) léky, které US EPA zařadila mezi nebezpečné odpady.

Kontakt na výrobce:

Waste Reduction by Waste Reduction Europe Ltd.(WRE), Clydebank Riverside Medi-Park, Beardmore Street, Clydebank, Glasgow G81 4SA, UK, tel: +44 (0) 141 951 5980, fax: +44 (0) 141 951 5985, e-mail: wreurope@wreurope.com, <http://www.wreurope.net>

Steris EcoCycle 10⁴³ je kompaktní systém určený pro úpravu malých objemů. Lze ho používat v místě, kde odpad vzniká, nebo poblíž něj. Každých deset minut zpracuje 2,3 – 3,6 kg odpadu včetně stříkaček, jehel, skla, laboratorního odpadu, krve, jiných tělních tekutin, vzorků kultur a jiných kontaminovaných materiálů. Odpady jsou shromažďovány v nádobách na jedno použití, které se umísťují do přenosné zpracovací komory v místě vzniku. Po naplnění je komora pomocí vozíku, poskytovaného na zvláštní objednávku, přepravena k pracovní jednotce. Do komory je vložen dekontaminační prostředek na bázi kyseliny peroxyctové (množství použitého přípravku závisí na množství kapalin v odpadu). Na začátku pracovního cyklu je materiál drcen, poté se otevře lahvička s dekontaminačním prostředkem a odpad se po dobu 10-12 minut chemicky dezinfikuje. Víko pracovní komory obsahuje vyměnitelný HEPA filtr, který brání úniku patogenních zárodků ve formě aerosolu. Na konci cyklu je komora umístěna na výkyvnou konzoli a její obsah je vyklopen do jednotky separace kapalin (plastový vak). Odpad se proplachuje vodou. Odpadní kapalina je přefiltrována a poté vypuštěna do kanalizace, zatímco odpad zůstává v plastovém vaku a je dále likvidován jako běžný komunální odpad. Vedlejšími chemickými produkty dekontaminačního prostředku jsou kyselina octová a určité množství peroxidu vodíku, který se nakonec rozštěpí za vzniku slabého roztoku kyseliny octové. Testy inaktivace mikrobu⁴⁴ ukazují usmrcení v řádu

⁴³ Na základě internetových stránek dodavatele, literatury poskytnuté firmou Ecomed počínaje rokem 1993 a firmou Steris v letech 1995 až 1999 a osobních sdělení různých pracovníků firmy Steris.

⁴⁴ W.L. Turnberg, 1996. *Biohazardous Waste: Risk Assessment, Policy and Management*. (New York, NY: John Wiley & Sons, Inc.).

10^6 až 10^8 u 13 druhů mikroorganismů včetně *B. subtilis*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, bakteriofágu MS-2, *Mycobacterium bovis*, polioviru, *Aspergillus fumigatus*, *Candida albicans* a *Giardia muris*. Firma Steris dodává své dekontaminační činidlo na trh ve dvou dávkách: STERIS-SW, určený především pro pevné odpady s nízkým organickým podílem; STERIS-LW pro odpad s vysokým kapalným podílem a vysokým obsahem organického materiálu.

Kontakt na výrobce: 5960 Heisley Road, Mentor, Ohio 44060-1834, USA, tel.: +1 440-354-2600, fax: +1 440 639 4450, www.steris.com

Firma **Lynntech**⁴⁵ vyvíjí technologii, která jako dekontaminační prostředek využívá ozón. Ozón je silné oxidační činidlo, které dokáže ničit mikroorganismy a snadno se přeměňuje na molekulární kyslík. V systému firmy Lynntech se zdravotnický odpad umístí do úpravní komory obsahující nízko-rychlostní rozmělnovač s vysokým točivým momentem. Elektrochemický generátor ozónu produkuje 2,3 kg ozónu za den v koncentracích až 18 hm. % pod tlakem, jako zdroj přitom využívá vodu. Voda cirkuluje mezi zásobní nádrží a baterií elektrochemických článků, v nichž je při laboratorní teplotě generován ozón a kyslík. Když je 100 kg rozmělněného zdravotnického odpadu vystaveno působení přibližně 14 hm. % ozónu po dobu čtyř hodin, je dosaženo snížení počtu endospor *B. subtilis* v řádu 10^4 . Na základně vojenského letectva Lackland Air Force Base v Texasu byla po tři týdny testována poloprovozní jednotka. Technologii lze používat jako přenosný terénní dezinfekční systém.

Kontakt na výrobce: 7610 Eastmark Drive, Suite 105, College station, TX 77840, USA, tel.: +1 409 693 0017, fax: +1 409 764 7479, info@lynntech.com, <http://www.lynntech.com>

Firma **CerOx Corporation**⁴⁶ vyvíjí technologii katalyzované elektrochemické oxidace, která využívá kovový katalyzátor cerium v kyselém roztoku k oxidaci organického odpadu v reaktoru. Tento systém je vyvíjen za účelem zničení cytotoxického odpadu, farmaceutických preparátů, alkoholů, chlorovaných rozpouštědel, dioxinů, polychlorovaných bifenylů (PCB), pesticidů, slabě radioaktivního odpadu a dalších organických látek.

Kontakt na výrobce: Cerrox Corporation, 2602 Airpark Drive, Santa Maria, CA 93455, phone: +1 805 925 8111, fax: +1 805 925 8218, <http://www.cerrox.com>

Jiné systémy

V této zprávě nejsou zahrnuty technologie, které využívají chemické sloučeniny nikoli pro jejich dezinfekční účinky, ale pro jejich schopnost solidifikace nebo enkapsulace (opouzdření) odpadu. Některá enkapsulační činidla jsou rychle působící polymery na akrylátové nebo epoxidové bázi, které v sobě obsahují antimikrobiální činidla pro dezinfekci odpadu. Mnohé firmy deklarují, že jejich systémy neprodukují toxické emise a že přeměňují biologicky nebezpečné kapaliny na bezpečné materiály. Tyto informace je třeba prověřit.

Zdravotnická zařízení by si měla vyžádat výsledky testů účinnosti inaktivace mikrobů, výluhů, testů toxicity, testů expozice pracovníků atd. a pečlivě je přezkoumat, aby získala jistotu, že výsledný solidifikovaný odpad je skutečně dezinfikovaný a bezpečný. Protože organický materiál v kapalném zdravotnickém odpadu může snižovat účinnost antimikrobiálních prostředků, měly by být provedeny testy dezinfekce s použitím 100% séra, přičemž se má dodržet ředění, specifikované na štítku produktu. Zařízení by si také měla od dodavatelů zjistit, zda solidifikační a sanitační prostředky samy o sobě nejsou nebezpečné látky a zda výsledný zapouzdřený odpad lze likvidovat na skládce.

⁴⁵ Na základě technických údajů poskytnutých firmou Lynntech v letech 1998 až 2000 a osobních sdělení Toma Rogerse.

⁴⁶ Na základě internetových stránek dodavatele: <http://www.cerrox.com>

Radiační, biologické a další technologie

Tato kapitola popisuje technologie, které využívají radiační a biologické procesy pro dekontaminaci zdravotnického odpadu. Popis radiačních technologií je zaměřen na systémy využívající elektronového svazku. Biologických systémů pro úpravu odpadu ze zdravotnictví bylo navrženo poměrně málo. Technologie biologické úpravy jsou stále ještě ve fázi výzkumu a vývoje.

Radiační technologie

Pokud má elektromagnetické záření dostatek energie na vyražení elektronů z jejich atomových orbitů, hovoří se o něm jako o ionizačním záření - jedná se například o rentgenové nebo gama záření. (Neionizační záření, např. mikrovlny nebo viditelné světlo, dostatek energie k vyražení elektronů nemá.) Při dostatečně vysokých dávkách ionizačního záření dochází k rozsáhlému poškození DNA v buněčném jádře, které vede ke smrti buňky. Ionizační záření vytváří také takzvané volné radikály, které vyvolávají další poškození tím, že reagují s makromolekulami v buňce (například s proteiny, enzymy atd.). Zdrojem ionizačního záření mohou být radioaktivní materiály - jako například kobalt 60 - nebo UV-C krátkovlnné ultrafialové záření typu C (253,7 nm), které za určitých podmínek dokáže ničit buňky.

Dalším způsobem získávání ionizačního záření je použití "elektronového děla", z něž je vysokou rychlostí vyslán svazek elektronových paprsků o vysoké energii, který naráží do určitého cíle. Když materiál s volně vázanými elektrony (katoda) přijme energii, nastane emise elektronů. Ty lze pomocí elektrických a magnetických polí soustředit v elektronový svazek a zaměřit tak, aby bombardovaly zvolený terč (anodu). Jestliže se do cesty elektronovému paprsku umístí infekční odpad, elektronová sprška zničí mikroorganismy chemickou disociací, rozbitím buněčných stěn a destrukcí DNA a jiných makromolekul. Protože elektronové paprsky narážejí do kovů obsažených v odpadu, může vznikat také rentgenové záření. Toto rentgenové záření působí na molekuly a v důsledku toho dochází ke štěpení chemických vazeb. Svazek elektronů přeměňuje část kyslíku ze vzduchu na ozón, který sám o sobě má dezinfekční a dezodorizační účinky. Elektrony s vysokou energií spolu s rentgenovým zářením, volnými radikály a ozónem společně ničí v odpadu viry, plísňe, bakterie, parazity, spory a další mikroorganismy, stejně jako zápach.

Na rozdíl od kobaltu 60 nevyužívá technologie na bázi elektronových svazků žádné zdroje radioaktivního záření a po vypnutí systému generujícího elektronový svazek nezanechává žádné zbytkové záření. Je zde však jedna diskutovaná oblast, a to otázka indukované radioaktivity. Výrobci systémů na bázi elektronových paprsků tvrdí, že radioaktivitu nelze indukovat, pokud není použito velmi vysoké energie, přesahující například 10 nebo 16 MeV (megaelektronvoltů). Jiní prohlašují, že nízkou hladinu radioaktivity lze indukovat i při mnohem nižších energiích. Tyto spory vyvstaly v souvislosti s veřejnou polemikou ohledně ozařování potravin pomocí technologie elektronového svazku.

▪ Jak technologie funguje

Technologie využívající elektronového svazku jsou vysoce automatizovaná a počítačem řízená zařízení. Systémy na bázi svazku elektronů obvykle zahrnují tyto jednotky: zdroj energie; urychlovač elektronového svazku, v němž jsou elektrony generovány, urychlovány a zaměřovány na terč; snímací systém, který určuje potřebnou dávku; chladič systém, který chladí urychlovač a další jednotky; vakuový systém pro udržování vakua v urychlovači; štít na ochranu personálu; systém pásových dopravníků pro transport odpadu; čidla a regulátory. Ochranný stínicí systém může mít podobu betonové kobky, podzemní jímky nebo celistvého štítu kolem oblasti, kde úprava probíhá. Elektronové svazky nemění fyzikální vlastnosti odpadu, mohou pouze o několik stupňů zvýšit jeho teplotu. U technologií na bázi elektronového svazku je proto nutné použít rozmělnovače nebo jiná mechanická zařízení, kterými se sníží objem a odpad homogenizuje tak, aby nebyl rozpoznatelný jeho původ.

▪ Typy upravovaného odpadu

Odpady běžně upravované v zařízeních na bázi elektronového svazku vybavených mechanickým destrukčním procesem zahrnují: kultury a kmeny, jehly a ostré nástroje, materiály kontaminované krví a tělními tekutinami, izolační a chirurgické odpady, laboratorní odpad (s výjimkou chemického) a měkké odpady (gáza, obvazy, roušky, pláště, ložní prádlo apod.) pocházející z péče o pacienty. Etické, právní, kulturní a jiné ohledy mohou vylučovat úpravu anatomického odpadu.

Těkavé a částečně těkavé organické sloučeniny, chemoterapeutické odpady, rtuť, jiné nebezpečné chemické odpady a radiologické odpady by se v jednotkách na bázi elektronových paprsků neměly upravovat.

▪ Emise a odpadní zbytky

Systémy využívající elektronového svazku nevytvářejí žádné znečišťující emise, snad s výjimkou malých množství ozónu, který se štěpí na dvouatomární kyslík (O₂). Zbytkový ozón pomáhá odstranit pachy a přispívá k dezinfekčnímu procesu v úpravní komoře, před uvolněním do okolního prostředí nebo pracovního prostoru by však měl být převeden zpět na dvouatomární kyslík. Zbytkový odpad vypadá přesně tak, jako vypadal před úpravou, protože ozáření elektronovými paprsky nemění fyzikální vlastnosti odpadu. Proto je zapotřebí odpad mechanicky upravovat, aby bylo dosaženo homogenizace a snížení objemu odpadu. Systémy na bázi elektronových paprsků mohou ve svých štítech obsahovat olovo; po likvidaci jednotky s elektronovými paprsky je třeba olovo recyklovat nebo s ním nakládat jako s nebezpečným odpadem.

▪ Inaktivace mikrobů

Bakterie vykazují vůči záření různý stupeň odolnosti, která velkou měrou závisí na jejich schopnosti opravovat poškození DNA způsobené zářením. V závislosti na dávce nemusí být bakteriální buňky přímo usmrceny, je však snížena jejich reprodukční schopnost. Pro průkaznost inaktivace mikrobů pomocí záření byly doporučeny spory *B. stearothermophilus* a *B. subtilis*. Vůči záření jsou však odolnější spory *B. pumilus*, které se používají jako standardní biologický indikátor při sterilizaci zdravotnických potřeb ozářeními. Další biologické indikátory, jejichž odolnost vůči záření je dokonce ještě vyšší, například *Deinococcus radiodurans*, nabízejí velmi přísné měřítko a v případě potřeby mohou hranici spolehlivosti dále posunout.

Příklady systémů založených na elektronovém svazku

Firma **BioSterile Technology**⁴⁷ vyvinula kompaktní systém na bázi elektronového svazku, který by měl sloužit jako jednotka pro úpravu zdravotnického odpadu přímo v místě jeho vzniku. Systém využívá jednotku o parametrech 5 MeV, 2 kW, s kapacitou 180 až 225 kg odpadů za hodinu. Odpad je umístěn do úpravní komory, která má otočný táč se dvěma vkladacími otvory na opačných stranách a do které je urychlován svazek elektronů. Magnetická cívka rozmetává elektronový svazek po celé šířce komory, aby bylo dosaženo stejnoměrného ozáření. Typický cyklus trvá přibližně 2 minuty. Patentově chráněný systém měření dávky ověřuje a zaznamenává parametry procesu úpravy, aby byla dezinfekce zdokumentována. Urychlovač a úpravní komoru obklopuje kompaktní stínění proti radiaci. Jsou zde také mechanické uzávěry a další bezpečnostní prvky. Systém je automatizovaný, takže je zapotřebí pouze jeden pracovník obsluhy. Obsluha může volit provozní režimy v závislosti na typu odpadu.

Laboratoře pro technologie omezování znečištění (**Laboratories for Pollution Control Technologies**) Univerzity v Miami⁴⁸ ve spojení s lékařským střediskem UM/Jackson Memorial Medical Center vyvinuly zařízení na úpravu zdravotnického odpadu využívající vysoko-energetické elektronové svazky. U této technologie je odpad umístěn do kontejnerů podobajících se košům nebo plastem potažených boxů a systém pásových dopravníků jej přivede do dráhy svazku. Pomocí regulace rychlosti dopravníku počítač určuje náležitou dávku. Systém dopravníků je navržen tak, aby odpad procházel paprskem dvakrát, přičemž podruhé je paprsku vystavena druhá strana kontejneru. Upravený odpad je pomocí pásového dopravníku transportován ven z jímky a přiveden do rozmělnovače, kde může být dekontaminovaný odpad mechanicky upraven pro uložení na řízené skládce. Zařízení dokáže upravit 180 kg zdravotnického odpadu za hodinu. Systém se skládá především z procesorem řízeného zdroje vysokého napětí, vodou chlazeného urychlovače elektronového svazku, snímacího zařízení, zahrazovače svazku, systému pásových dopravníků, rozmělnovače a počítačové regulace. Protože vzduch je odvětráván ven, používá se zařízení odstraňující ozón. Systém monitorují dálkově ovládané kamery a další přístrojová technika. Radiační kobku uzavírá silný betonový štít, aby pracovníci nebyli vystaveni působení případně vzniklé radiace. Jakmile je systém vypnut, elektronový svazek a produkce rentgenového záření ustane.

Biologické systémy

Bio Conversion Technologies Inc.⁴⁹ (BCTI), divize firmy Biomedical Disposal, Inc., vyvíjí systém úpravy zdravotnického odpadu využívající biologické procesy. Prototyp "biokonvertoru" (Bio-Converter) byl testován ve Virginii, USA. Zdravotnický odpad je dekontaminován pomocí směsi enzymů a výsledný kal prochází extrudérem za účelem odstranění vody, která se vypouští do kanalizace. Technologie se hodí pro velké objemy (10 tun denně) a je vyvíjena také

⁴⁷ Na základě internetových stránek dodavatele, brožur a technických údajů, poskytnutých firmou BioSterile Technology v letech 1994 až 2000, a osobních sdělení Garyho Bowsera.

⁴⁸ Na základě technických údajů poskytnutých univerzitními laboratořemi Laboratories for Pollution Control Technologies v letech 1997 až 2000, novinových výstřižků, údajů, které poskytl Dean Brown, posouzení jednotky na místě v University of Miami-Coral Gables a sdělení Thomase Waitea a Charlese Kurucze.

⁴⁹ Na základě sdělení a materiálů, které poskytl Michael Chelette v roce 1999.

pro použití v zemědělském sektoru pro likvidaci živočišného odpadu. Tato nově vznikající technologie biologické úpravy byla vyvinuta po šesti letech výzkumné a vývojové práce využívající zdroje z firmy Virginia Tech, univerzity ve Virginii (University of Virginia) a lékařské fakulty ve Virginii (Medical College of Virginia). Systém má plnicí násypku, drtič s HEPA filtrem, reakční komoru – nádobu, kde je odpad vystaven působení roztoku enzymů, a separátor, v němž probíhá separace kalu na proud kapalného a tuhého odpadu. Kapalina odchází do kanalizace a pevný odpad je odeslán na skládku (pevný podíl z živočišného odpadu lze recyklovat jako kompost). Technologie vyžaduje regulaci teploty, pH, koncentrace enzymů a dalších parametrů. Jednotka je navrhována pro regionální centrum úpravy zdravotnického odpadu. V současné době se BCTI snaží do dokončení vývoje technologie zapojit další organizace disponující technologickými a finančními zdroji.

Kapitola 9

Faktory, které je třeba zohlednit při výběru nespalovací technologie

Výběr nejlepší technologie nebo kombinace technologií pro konkrétní zdravotnické zařízení závisí na mnoha místně specifických faktorech včetně množství a složení produkovaného odpadu, prostoru, který je k dispozici, schválení ze strany povolovacích orgánů, nákladů a přijatelnosti pro veřejnost. Některé klíčové faktory, které je třeba vzít do úvahy, jsou uvedeny v tabulce č. 3 a popsány v této kapitole.

Tabulka 3: Faktory k uvážení při výběru technologie

- Množství zpracovávaných odpadů
- Typy upravovaných odpadů
- Účinnost inaktivace mikrobů
- Emise do prostředí a zbytkové odpady
- Přijatelnost pro povolovací orgány
- Prostorové nároky
- Požadavky na inženýrské sítě a další instalace
- Snížení objemu a hmotnosti odpadu
- Bezpečnost a hygiena práce
- Hluk a zápach
- Automatizace
- Spolehlivost
- Stupeň komercializace
- Zkušenosti výrobce/dodavatele technologie
- Cena
- Přijatelnost pro veřejnost a personál

▪ Množství zpracovávaných odpadů

Zdravotnické zařízení, které si již stanovilo množství generovaných odpadů pro různé odpadové proudy a zavedlo plán důrazné minimalizace množství odpadu, by mělo nyní zvolit nespalovací technologii úpravy, jejíž kapacita je vhodná pro druh a množství zdravotnického odpadu, který se má zpracovávat.

▪ Typy upravovaných odpadů

Pro popis druhů odpadů, s nimiž technologie dokáže nakládat, se používají široce definované kategorie, obvykle na základě doporučení výrobce. Jakmile zdravotnická zařízení zjistí, co všechno se nachází v pytlích s infekčním odpadem, měla by si ověřit, že zvolená technologie je skutečně schopna úpravy všech kategorií odpadu, a to z hlediska mechanické destrukce, inaktivace mikrobů, emisí, bezpečnosti a přijatelnosti pro povolovací orgány.

Při dimenzování zařízení je nutné vzít do úvahy druhy odpadů, které technologie dokáže upravit. Od regulovaného zdravotnického odpadu je třeba odečíst tu část odpadu, s níž technologie nakládat nedokáže (nebo s níž nakládat nesmí na základě právních předpisů). Pro likvidaci těchto vyčleněných odpadů bude zařízení muset přijmout jiná opatření. Náklady na úpravu tohoto vyčleněného odpadu by měly být započítány při porovnávání celkových nákladů na alternativní úpravu.

▪ Účinnost inaktivace mikrobů

Hlavním účelem dekontaminace odpadu je zničení patogenních zárodků. Zdravotnická zařízení by se měla ujistit, zda technologie dokáže splnit státem určená kritéria pro dezinfekci. V mnoha zemích je pro schválení alternativních technologií nutné doložit účinnost inaktivace mikrobů. V letech 1994 a 1998 se sešlo konsorcium státních povolovacích orgánů v USA

pod názvem State and Territorial Association on Alternative Treatment Technologies (STAATT), aby vypracovalo konsensuální kritéria pro účinnost úpravy zdravotnického odpadu. Z první konference STAATT vzešly následující definice úrovní inaktivace mikrobů:

Úroveň I	Inaktivace vegetativních forem bakterií, kvasinek a plísní a lipofilních virů při snížení v řádu 10^6 nebo více.
Úroveň II	Inaktivace vegetativních forem bakterií, kvasinek a plísní, lipofilních/hydrofilních virů, parazitů a mykobakterií při snížení v řádu 10^6 nebo více.
Úroveň III*	Inaktivace vegetativních forem bakterií, kvasinek a plísní, lipofilních/hydrofilních virů, parazitů a mykobakterií při snížení v řádu 10^6 nebo více; a inaktivace spor <i>B. stearothermophilus</i> a spor <i>B. subtilis</i> při snížení v řádu 10^4 nebo více.
Úroveň IV	Inaktivace vegetativních forem bakterií, kvasinek a plísní, lipofilních/hydrofilních virů, parazitů a mykobakterií a spor <i>B. stearothermophilus</i> při snížení v řádu 10^6 nebo více

* Úroveň III byla STAATT zvolena jako doporučené minimální kritérium pro nespalovací technologie

Snížení v řádu 10^6 (neboli usmrcení řádově o 10^6) je ekvivalentem pravděpodobnosti přežití jedna ku miliónu u mikrobiální populace neboli snížení počtu daných mikroorganismů o 99.9999% v důsledku procesu úpravy. Při testech se používají zvolené zástupné patogenní zárodky, které reprezentují výše uvedené mikroorganismy.

▪ Emise do životního prostředí a zbytkové odpady

Zdravotnická zařízení by měla zvážit úniky nebo emise (včetně těkavých emisí) do všech možných médií – vzduchu na pracovišti, venkovního vzduchu, pevných reziduí, odpadní vody, skládek atd. – a zvolit technologie s nejmenším dopadem na životní prostředí. Od státních povolovacích orgánů je někdy možné získat údaje týkající se veškerých porušení povolení, kterých se jiní uživatelé dané technologie v minulosti dopustili.

Ekonomické zhodnocení nespalovacích technologií

Nákladové položky

Investiční náklady

Celkové investiční náklady by měly zahrnovat všechny přímé a nepřímé náklady vztahující se k přípravě místa a instalaci, stejně jako pořizovací cenu zařízení. Některé technologie vyžadují nízké náklady na instalaci, zatímco jiné mají vysoké požadavky na přípravu místa a instalaci. V následujícím seznamu jsou uvedeny příklady přímých nákladů, které je třeba vzít do úvahy. Některé uvedené položky se nemusí k té či oné technologii vztahovat.

- Příprava místa
- Demolice a likvidace (například odstranění staré spalovny)
- Výstavba (nová stavba nebo renovace)
- Základy a výztuže
- Elektroinstalace
- Potrubní síť včetně vedení páry a vody
- Topný a ventilační systém
- Vzduchový kompresor
- Osvětlení
- Splašková kanalizace
- Požární sprchové zařízení
- Nátěry a izolace
- Manipulace a montáž v místě
- Pořizovací náklady na zařízení (včetně příslušenství, přístrojové techniky, vozíků na transport odpadu, monitorovacího zařízení, přepravních nákladů, daně atd.).

Následují příklady nepřímých nákladů, které je třeba vzít do úvahy:

- Vedení projektu (Project Management)
- Projektová příprava investice
- Stavební poplatky
- Povolení
- Testy povolovacích orgánů
- Honoráře (včetně mediálních nákladů na reakce na vyjádřenou nespokojenost veřejnosti, pokud se jí zvolená technologie nelíbí)
- Spuštění
- Testy funkčnosti
- Nepředvídané výdaje.

Existují také nehmotné nákladové faktory, jako například ztráta dobrého jména v případě, že zvolená technologie není u veřejnosti nebo personálu populární. Tyto náklady nelze kvantitativně vyjádřit.

Roční provozní náklady

Roční provozní náklady jsou náklady vydávané každým rokem po dobu životnosti zařízení na provoz technologie. Velikost těchto nákladů se může v důsledku inflace měnit, druhy vydávaných nákladů však budou stále stejné. Přímé náklady jsou takové, které závisí na množství materiálu zpracovaného v systému, jako například:

- Práce (provoz a dohled)
- Veřejné síť nebo služby
 - Elektřina
 - Pára

- Zemní plyn
- Voda
- Stlačený vzduch
- Jiné
- Zásoby
 - Boxy nebo kontejnery
 - Vaky, které je možné autoklávovat nebo které jsou propustné pro páru
 - Štítky
 - Jiné
- Spotřební materiál
 - Chemické dezinfekční prostředky
 - Elektrody nebo hořáky
 - Jiné
- Údržba (plánovaná a neplánovaná)
 - Materiály
 - Náhradní díly (například žáruvzdorné materiály, čepele rozmělnovačů apod.)
 - Práce při údržbě
- Náklady na uložení na skládce (zahrnují přepravu a poplatky za složení)
- Náklady na likvidaci odpadů, které daná technologie neupravuje
- Náklady na úpravu odpadu během plánované i neplánované odstávky.

Neřímé náklady jsou náklady, které nejsou úměrné množství zpracovaného materiálu, jako například:

- Mimořádné výdaje
- Administrativní náklady
- Pojištění
- Roční poplatky za povolení
- Pravidelné kontroly nebo testy emisí
- Daně

Náklady na nespalovací technologie

Náklady na nespalovací technologie jsou různé podle zvolené technologie.

Většina dodavatelů uvádí odhadované náklady pro svou technologii v přepočtu na jeden kg zpracovaných odpadů. Tyto náklady jsou často vypočteny na základě předpokladů a scénářů, které danou technologii v porovnání s jinými technologiemi představují v tom nejlepším světle. Zdravotnická zařízení by si měla zjistit, které nákladové položky jsou v číslech dodavatele zahrnuty a na základě jakých předpokladů byly náklady vypočteny.

Roční náklady na jeden kg lze nejlépe porovnat za použití některé z používaných metod, jako je například porovnání ročního peněžního toku⁵⁰. Je třeba se pokusit získat odhad úplných nákladů na technologii a započíst všechny možné nákladové položky. Je důležité porovnávat "jablka s jablky" a při provádění srovnávacích ekonomických analýz nespalovacích technologií používat identické nebo analogické scénáře. Všeobecně se zdá, že nejnižší provozní náklady mají technologie na bázi elektronového svazku (navzdory jejich průměrným až vysokým investičním nákladům), po nich zpravidla následují nízko-termické a chemické technologie. Jak již bylo prezentováno výše, vysoké investiční náklady na jednu technologii mohou být kompenzovány jejími velmi nízkými ročními provozními náklady, zatímco nízká pořizovací cena jiné technologie může být relativizována jejími vysokými provozními náklady nebo vysokými náklady na instalaci. Pro představu srovnání cen je uvedena tabulka srovnávající náklady na spalovnu a autokláv v USA.

⁵⁰ Více o jednotlivých metodách v publikaci "Non-incineration medical waste treatment technologies: A resource book for Hospital Administrators, Facility Managers, Health Care Professionals, Environmental Advocates, and Community Members, HCWH, August 2001.

Tabulka 4: Srovnání investičních nákladů na spalovnu a autokláv zpracovávajících 25-40 kg/h (v USD)⁵¹

Položka	Spalovna	Autokláv*
Základní vybavení	150 000	70 000
Náklady na instalaci	22 500	6 500
Náklady na zařízení na zachycování plyných emisí tak, aby byl splněn limit daný US EPA	194 000	0
Náklady na generátor páry	0	16 000
Náklady na monitorování a měření emisí	16 600	2 400
Celkem	383 600	93 100

* *Náklady na autokláv jsou založeny na autoklávu firmy SAN-I-PACK*

Srovnání investičních nákladů na spalovnu a autokláv, které zpracovávají 225-300 kg/h vychází obdobně, výstavba spalovny nemocničního odpadu je přibližně třikrát dražší (1 429 tis. oproti 512 tis. USD). Ne vždy je v zahraničí vyžadováno, aby dekontaminovaný odpad byl drcen před uložením na skládku komunálních odpadů. V případě, že je vyžadována nerozpoznatelnost odpadů před jejich uložením, je nutno k ceně autoklávu připočítat náklady na rozměňovací či drtící zařízení. Některé moderní autoklávy mají drtící zařízení již zabudované a jsou součástí vybavení technologií založených na působení páry.

Upozornění: *HCWH nepodporuje žádnou konkrétní technologii, firmu nebo firemní značku a netvrdí, že v této zprávě uvedené technologie musí představovat jejich úplný seznam.*

⁵¹ Emmanuel. J, 2002. Non-incineration alternatives to the treatment of medical waste. Prezentováno na: Conference on environmentally friendly management of medical waste and the skillshare on non-incineration medical waste treatment technologies, Debeli rtič, Slovenia, 12th April 2002.