


# Nanočástice, nanotechnologie a nanoproducty a jejich vazba na bezpečnost a ochranu zdraví při práci

 21.11.2016

## Nanoparticles, Nanotechnology and Nanoproducts and their Relation to Occupational Safety and Health

Karel Klouda<sup>1</sup>, Lenka Frišhansová<sup>1</sup>, Josef Sencík<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Výzkumný ústav bezpečnosti práce, v.v.i., Jeruzalémská 9, 116 52 Praha 1, [klouda@vubp-praha.cz](mailto:klouda@vubp-praha.cz), [frishansova@vubp-praha.cz](mailto:frishansova@vubp-praha.cz), [sencikj@vubp-praha.cz](mailto:sencikj@vubp-praha.cz)

nanočástice

pracovní prostředí

### Abstrakt

Příspěvek v první části uvede základní charakteristiku nanočástic, jejich historii, důvod jejich odlišného chování, rozdělení nanočástic na přirozené, vzniklé lidskou činností a na záměrně vytvářené (ing-nanočástice). Příspěvek upozorňuje na potenciální rizika nanomateriálů vůči zdraví, nebezpečí pro životní prostředí, fyzikálně-chemické nebezpečí či záměrné zneužití. Zvláštní riziko představují nanočástice ve formě aerosolů, protože vdechování aerosolů nanočástic vede k jejich ukládání v dýchacím ústrojí člověka a vzhledem k jejich velikosti se předpokládá další transport v organismu. V příspěvku jsou uvedeny příklady dílčích výsledků měření aerosolových nanočástic při běžných situacích a semi-systematického měření v klasických prašných provozech (zpracování dřeva, ocelárny, kovohutě).

**Klíčová slova:** nanočástice, rozdělení nanočástic, toxicita nanočástic, pracovní prostředí, princip předběžné opatrnosti

### Abstract

Contribution in the first part containing the basic characteristics of nanoparticles, their history, due to their different behavior, distribution of nanoparticles on natural, caused by human activity and intentionally created (ing-nanoparticles). Emphasize their risks and adherence to the precautionary principle in contact with them. Specific risk represent nanoparticles in the form of aerosols, inhalation aerosols because nanoparticles leads to deposition in the respiratory tract of humans and due to their size, a further transport in the body. The paper presents partial results of the semi-systematic measurements in conventional plants (wood processing, steel plant, metal recycling and metal works).

**Keywords:** nanoparticles, nanoparticle distribution, toxicity of nanoparticles, working environment, the precautionary principle

## Úvod

Definice nanomateriálů dle nařízení Evropské komise 2011/696/EU „Nanomateriálem se rozumí přírodní materiál, materiál vzniklý jako vedlejší produkt nebo materiál vyrobený obsahující částice v nespoutaném stavu nebo jako agregát či aglomerát, ve kterém je u 50 % nebo více částic ve velikostním rozdělení jeden nebo více vnějších rozměrů v rozmezí velikosti 1 nm – 100 nm.“ [1]. Na to lze navázat definici Nanotechnologie, která se zabývá **jejím chováním** - oddělováním, spojováním a deformací nanomateriálů. Zjednodušený princip odlišného chování nanomateriálů spočívá v tom, že fyzikálně-chemické vlastnosti pevných látek nejsou stejné uvnitř materiálu a na jeho povrchu. Při zmenšení částic daného materiálu pod 100 nm začínají fyzikálně-chemické vlastnosti povrchu převládat nad vlastnostmi daného materiálu a částice se začne chovat, jako by celá byla tvořena jen povrchem. Jeden z nejvýraznějších jevů tohoto procesu je silné zvýšení chemické reaktivity, jejímž důsledkem může být i změna toxicity.

Nanočástice našly uplatnění již v době, kdy uživatelé neznali jejich podstatu (skláři, keramika-glazury, chemická katalýza, metalurgie, výroba sazí, apod.). Zároveň je realitou, že se nanočástice nacházejí vedle nás od nepaměti. Vznikají při požárech, erupcích sopek, erozí, chemickým rozkladem organických látek antropogenní činností, tj. např. spalování fosilních paliv (tepelné elektrárny, spalovací motory, apod.) a v poslední době vznikají také cíleně v laboratořích či ve výrobě.

Moderní chemie a fyzika v oblastech nanotechnologií přechází k novým typům experimentů a to ne ve zmenšování mikroobjektů postupem „TOP-DOWN“ (miniaturizace i při použití suprakulových mlýnů je na hranici svých možností), ale naopak ve výstavbu nanoobjektů z atomů a malých molekul. Stavba těchto objektů je založena na intra a intermolekulárních ne vazebných interakcích s cílem vytvoření supramolekulárních komplexů velikosti nanočástic. Toto je nový přístup vycházející z principu „BOTTOM UP“ (tzv. směrem vzhůru). Úspěch výsledného uspořádání závisí na vhodné architektuře stavebních kamenů, ploše a vhodné orientaci funkčních skupin.

Vzhledem ke skutečnosti, že se rozměry nanočástic nacházejí pod hranicí optického rozlišení, stala se důležitým faktorem, který přispěl k rozvoji nanotechnologií, zejména nová technika. Zcela zásadní význam měl vynález elektronového mikroskopu, který umožnil spatřit a identifikovat trojrozměrnou strukturu nanočástic. Následné konstrukční změny elektronového mikroskopu v 80. a 90. letech 20. stol. umožnily spolu s dalšími technikami instrumentální analýzy identifikovat a prokázat řadu originálních struktur nanomateriálů a výskyty nanočástic v prostoru.

Vědní obor, který se věnuje studiu nanomateriálů (nanočástic), včetně vývoje materiálů a zařízení o nano-rozměrech, se nazývá nanotechnologie. Ačkoli tento vědní obor nepojmenoval, ale položil a formuloval jeho základní myšlenky v roce 1959 fyzik Richard Feynman, a to na výroční schůzi Americké společnosti fyziků v Kalifornii svoji přednáškou „[\*There's Plenty of Room at the Bottom\*](#)“ („*Tam dole je spousta místa*“).

Současné nanotechnologie jsou interdisciplinární vědní obor, které zahrnují klasické obory jako fyzika, kvantová mechanika, chemie, biochemie, elektronika apod. O nanotechnologiích se hovoří jako o fenoménu konce 20. a počátku 21. stol. Tomu odpovídá i obrovský nárůst podpory výzkumu v dotčených oblastech, a proto lze učinit závěr, že život nanotechnologie bude mít v budoucnu podstatný dopad na světovou ekonomiku. Do chodu jsou uváděny nové nanotechnologické společnosti, které využívají tzv. rizikový kapitál. V Evropě převládají investice z veřejných zdrojů oproti soukromým investorům, v USA a Japonsku je vyváženější poměr.

Lze tedy těžko najít oblast, kde by nedocházelo k aplikacím či výzkumu v oblasti nanotechnologií. Ať chceme, či

nechceme, setkáváme se s produkty v běžném každodenním životě například zubní pasty, krémy na opalování, deodoranty, šampony, kosmetické pleťové a antibakteriální přípravky apod. Využití nanotechnologií a nanomateriálů je velmi rozsáhlé, v současnosti nalézají uplatnění v mnoha oblastech, jako je *elektronika* (paměťová média, spintronika, bioelektronika, kvantová elektronika), *zdravotnictví* (cílená doprava léčiv, umělé klouby, chlopně, náhrada tkání, desinfekční roztoky nové generace, analyzátoři, ochranné roušky), *strojírenství* (supertvrdé povrchy s nízkým třením, samočisticí nepoškrabatelné látky, obráběcí nástroje), *stavebnictví* (nové izolační materiály, samočisticí fasádní nátěry, antiadhézní obklady), *chemický průmysl* (nanotrubice, nanokompozity, selektivní katalýza, aerogely), *textilní průmysl* (nemačkávané, hydrofobní a nešpinící se tkaniny), *elektrotechnický průmysl* (vysokokapacitní záznamová média, fotomateriály, palivové články), *optický průmysl* (optické filtry, fotopické krystaly a fotopická vlákna, integrovaná optika), *automobilový průmysl* (nesmáčivé povrchy, filtry čelních skel), *kosmický průmysl* (katalyzátory, odolné povrchy satelitů), *vojenský průmysl* (nanosenzory, konstrukční prvky raketoplánů), *životní prostředí* (odstraňování nečistot, biodegradace, značkování potravin), apod.

Oblastí s nejvyšší vývojovou aktivitou je elektronika, informatika a medicína. Výzkum v medicíně se zaměřuje na transport diagnostických a terapeutických látek na požadované místo v organismu s minimalizací vedlejších účinků.

### Jaká potenciální rizika nanomateriály představují?

Po záporných zkušenostech s některými látkami (např. DDT, PCB, dioxiny apod.) se světová veřejnost snaží apelovat na výzkumná centra i výrobce, aby v případě nanomateriálů a nanotechnologií zachovávali tzv. princip předběžné opatrnosti. Přijímají se doporučení k regulaci, evidenci, stanovení metod hodnocení rizik a monitorování nanosloučenin [2] (COM 1 2000, COM 243 2005, COM 338 2004, COM 345 2008), politický záměr státu Kalifornie pro zacházení s nanolátkami [3], nemožnost použití nanosloučenin v potravinách bez provedení hodnocení rizik (Evropský parlament březen 2009) apod.

Pokud si položíme otázku, jaká potenciální rizika nanomateriály představují, zjistíme, že je lze rozdělit na:

- nebezpečí pro zdraví (toxicita),
- nebezpečí pro životní prostředí (ekotoxicita),
- fyzikálně-chemické nebezpečí, tj. způsobení požárů, exploze, neřízené a nežádoucí reakce,
- v budoucnosti nelze vyloučit i neetické využití nanotechnologií a nanočástic třetí osobou (kriminální či teroristický čin, válečný konflikt).

První dva potenciální zdroje nebezpečí [4-6] spolu velmi úzce souvisí, protože právě výskyt nanočástic ve složkách životního prostředí umožní jejich kontakt s živými organismy. Přítomnost nanočástic v živém organismu navozuje řadu interakcí mezi jejich povrchem a biologickými systémy. Tyto interakce mohou vést ke vzniku proteinových koron, obalování částic, vnitrobuněčné absorpci a biokatalytickým procesům, které mohou mít kladné či záporné výsledky z pohledu toxicity. Dochází k prolínání organického světa se syntetickým světem vyrobených nanomateriálů. Vznikají nano-bio rozhraní spojená s dynamickými fyzikálně-chemickými interakcemi, kynetickými a termodynamickými výměnami mezi povrchy nanomateriálů a povrchy biologických komponent (bílkoviny, membrány, lipidy, DNA, biologické tekutiny apod). Z rešeršní práce [4-5] vyplynulo, že je jen málo vědomostí o tom, co se s nanočásticemi děje uvnitř buňky. Nanočástice mohou způsobit široké spektrum vnitrobuněčných reakcí v závislosti na jejich fyzikálně-chemických vlastnostech, vnitrobuněčných koncentracích, době trvání kontaktu apod.

Analýza chování a osud nanočástic v životním prostředí je rovněž komplikován, protože je mnoho neznámých faktorů a vlivů. Každý druh nanočástice vedle svého rozměru (ten ji vlastně zařazuje do kategorie „nano“) lze popsat a charakterizovat:

- chemickým složením

- funkčními skupiny na povrchu (hydrofilita, lipofilita)
- tvarem
- distribučním rozložením částic
- hustotou
- krystalickou strukturou
- zeta potenciálem
- schopností agregace, aglomerace, sedimentace.

Toto jsou jejich vlastnosti, se kterými vstupují do vnějšího prostředí. V ovzduší hraje roli tzv. abiotický faktor vlivu, pod který lze zahrnout teplotu, vlhkost, sanitu, intenzitu slunečního záření, smog polutanty anorganického a organického původu, apod. U vodného prostředí musíme vzít v úvahu fyzikálně-chemickou charakteristiku vodné fáze: spodní voda, povrchová voda, říční a mořská voda, teplota, pH, inotová síla, koncentrace divalentních iontů, koncentrace přírodní organické hmoty a složení sedimentu.

Co ovlivňuje osud nanočástic ve vodném prostředí:

- hydrofilita povrchu (rozpuštěnost),
- hydrolyza (oxidace-redukce),
- adsorpce,
- agregace,
- heteroagregace,
- přítomnost vodních organismů (bakterie, řasy, prvoci, plankton, larvy, ryby, apod.),
- rychlost sedimentace,
- složení sedimentu a jeho reaktivity (adsorpce, redukce fytoextrakty a biologickým materiálem, přítomnost části půdní organické hmoty, přítomnost polutantů-PAU, heteroagregace, apod.).

I u půdního prostředí musíme vzít v úvahu jeho fyzikálně-chemickou charakteristiku. Aby půda byla půdou, musí obsahovat tuhou, kapalnou a plynnou fázi. Tuhá fáze (složka) obsahuje minerální podíl (primární a sekundární minerály) různého zrna (dělení podle obsahu frakce 0,01 mm) a organický podíl – půdní organická hmota. Základem této hmoty jsou huminové látky, což jsou směsi polydisperzních sloučenin s vysokou molekulovou hmotností s aromatickou a alifatickou částí s funkčními skupinami -COOH, -OH, fenolické -OH, -NH<sub>2</sub>, N-heterocykly apod. Základní dělení huminových látek je podle rozpustnosti v závislosti na pH. Fulvinové kyseliny jsou rozpustné ve vodě, huminové kyseliny v zásaditém prostředí a huminy jsou zcela nerozpustné ve vodě. Půdní voda, též nazývaná půdním roztokem, může obsahovat fulvinové kyseliny, fytoextrakty s látkami polyfenolové struktury, glycidy, ionty apod. Díky půdnímu roztoku bude ovlivnění nanočástic obdobné jako v případě vodného prostředí.

Co tedy ovlivní osud nanočástic v půdním prostředí:

- hydrofilita a lipofilita povrchu,
- hydrolyza,
- redukce (green redukce látkami z fytoextraktů)
- heteroagregace (jílové půdy),
- přítomnost půdních mikroorganismů a živočichů (bakterie, larvy, žížaly apod.),
- adsorpce (pí-vazebné interakce, vodíkové vazby, elektrostatická interakce, acidobázická interakce).

Velmi zjednodušeně lze transport a osud obecných nanočástic v životním prostředí rozdělit na tři možnosti, a to působící samostatně, mohou se navzájem prolínat nebo mít synergický efekt, a to:

- **modifikací** (hlavní roli zde bude hrát adsorpce),

- **změnou složení** (vzájemná reakce funkčních skupin s organickými či organickými látkami),
- **degradací** (může být fyzikální, chemická, biologická).

Mezi autory [7] zabývajícími se toxicitou nanomateriálu je vcelku shoda, že je to hlavně plocha nanočástic, která je hybnou silou bioaktivity. Povrchový povlak nanočástice (například hydrofobní polymer) zvyšuje bezpečnost nanočástic a snižuje jejich bioreaktivitu.

Největším problémem však zůstává, že získáme-li poznatky o konkrétním nanomateriálu, nemusí být vůbec pravdivé, budou-li tyto samé částice vyrobeny jinou syntetickou cestou nebo budou-li modifikovány. Dalším problémem je charakterizace jejich povrchů jednoduchým a dostupným měřicím zařízením. Rovněž se předpokládá, že přírodní nanočástice se budou chovat odlišně od tzv. „ing-nanočástic“ – tj. vyrobených průmyslově či laboratorně [8-9].

Zůstává otázkou, zda tradiční přístupy (metodiky) hodnocení rizik, tj. identifikace nebezpečí, popis nebezpečí a konečná charakteristika rizika pokryjí celou složitou problematiku spojenou s nanotechnologiemi. Toto hodnocení bude pravděpodobně ovlivněno např. formou vyráběného nanomateriálu (jedná se o nanočástice, nanotyče a nanovrstvy) či skutečností, že je nanomateriál ve výrobě začleněn do jiného výrobku. Nepochybně bude řešit, jakým způsobem je zajištěna bezpečnost výroby, bezpečnost pracovníků ve výrobě a v případných dalších zpracovatelských zařízeních, zda je ohrožena veřejnost v blízkosti výroby a zpracovatelských zařízení, zda a případně jakým způsobem je ohrožen spotřebitel, jaká mohou být rizika spojená s likvidací či recyklací nanoproductů apod. A v neposlední řadě se bude hledat odpověď na otázku, jaký je vliv jednotlivých nanomateriálů na zdraví a na jednotlivé složky životního prostředí.

**Fyzikálně-chemické nebezpečí** představuje především výroba nanočástic systémem „TOP-DOWN“, kdy nanočástice vznikají mechanickou cestou tj. např. broušením, řezáním, supermletím apod. Zde je nutné si připomenout a uvědomit, že nanočástice jsou přítomny v podstatě ve všech prašných provozech, kde dochází například k obrábění kovů, opracování dřeva, mletí, broušení, svařování, apod. Jejich počet a reaktivita jsou ovlivněny stupněm vzájemné agregace nebo aglomerace.

Obecně je pro prachovzdušné směsi typické, že nejsou v čase ani místě stálé, nejsou homogenní. Na výbušnost prachu má podstatný vliv velikost částic. Obecné riziko výbuchu se zvýší snížením velikosti částic. Toto tvrzení je experimentálně prověřeno u mikročástic a lze předpokládat, že tento trend bude pokračovat i u částic rozměru nanometrů.

Řada nanočástic například Fe, Ni, Al, Mn, Co podléhá samovznícení a díky svému velikému povrchu jsou katalyticky aktivní a tím mohou iniciovat nekontrolovanou reakci s exotermním průběhem. Nanočástice samy o sobě jsou reaktivnější než jejich makroverze stejného chemického složení.

Zvláštní riziko představují nanočástice ve formě aerosolu, tedy ty, které jsou suspendovány ve vzduchu. Vdechováním aerosolu nanočástic vede k jejich depozici v dýchacím ústrojí člověka, ale lze předpokládat, že v závislosti na průměru, ploše, povrchu apod. nanočástic dojde k jejich transportu do dalších koncových orgánů.

Zdravotní rizika nanočástic lze z logiky věci, aproximovat na dlouhodobé zkušenosti s ultrajemnými částicemi, které při vdechování měly za následek zvýšení výskytu respiračních a kardiovaskulárních chorob. Zásadní rozdíl oproti mikročásticím, je v tom, že nanočástice mohou procházet do buňky řadou endocytických procesů, zejména fagocytózou a makropinocytózou. Jejich vstup do buňky je provázen zejména oxidačním stresem a mohou zasahovat do řady metabolických a regulačních procesů.

### **Neznalostní zneužití/ záměrné zneužití**

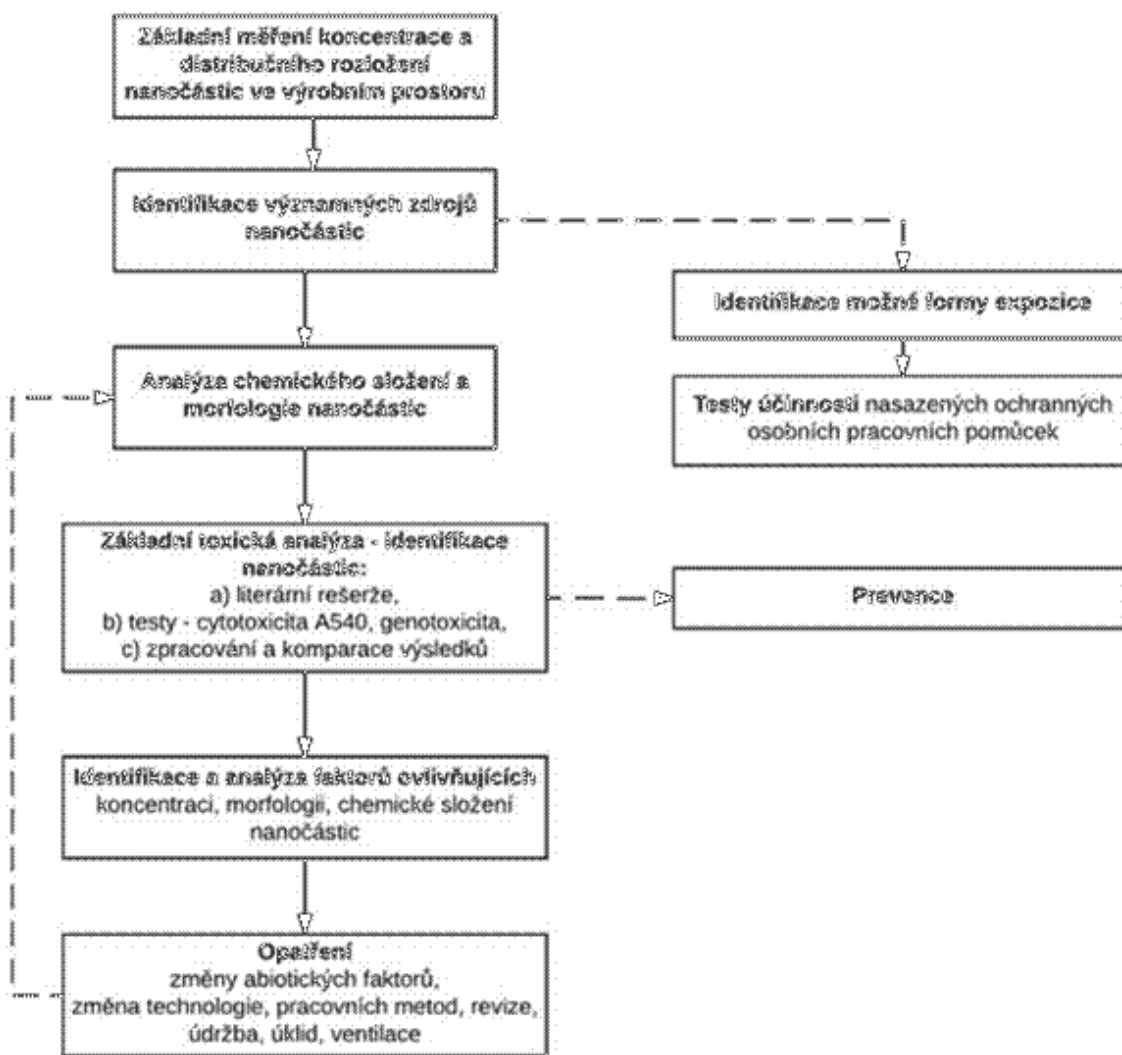
Z historie lze doložit řadu příkladů, kdy rozvoj a aplikace nových technologií (využití nových sloučenin) mělo v daném

období a při daném stavu znalostí opodstatnění a společenský a ekonomický význam, viz výroba freonů, DDT, asbestových izolačních hmot apod. I v dnešní době se v případě freonů (ledonů) vedou diskuze, kolik životů toto chladící medium zachránilo (například válečné konvoje, potravinová pomoc). Obdobný osud může potkat i nanotechnologie, chybějí mechanismy k jednoznačné klasifikaci toxických efektů nanočástic – vliv mnoha měnících faktorů, ovlivnění reprodukovatelnosti a spolehlivosti výsledků testů.

Ve výzkumech aktivních nanotechnologií lze najít oblasti, které se již dnes dají zneužít, například jako nosiče rizikových a vysoce rizikových biologických agens s cílem zvýšení jejich rezistencí. U veřejnosti, a to díky novinářům a autorům sci-fi literatury, lze identifikovat dva krajní přístupy – *futorologové*, kteří považují nanotechnologie jako za základ budoucího blahobytu a trvalého života a *fanaticní odpůrci* nanotechnologií. Mezi stojí i řada vědeckých autorit a politiků, zastávající názor, že kombinace genetiky, nanotechnologií a robotiky může tvořit potenciál k rozvoji nového typu zbraní hromadného ničení [10].

Uvědomujeme si, že začínají převažovat studie a výzkumné práce o vlivu ing-nanosloučenin na životní prostředí oproti vlivu přírodních a tzv. antropogenních nanočástic. Toto je logicky způsobeno obrovským rozvojem nanotechnologií. Většina syntéz nanočástic, či nanomateriálů probíhala ve výzkumných centrech vybavených špičkovou instrumentální technikou, kde vedle identifikace fyzikálně-chemických vlastností a hledání unikátních aplikací, většinou následují i testy bioaktivity, a tím vzniká základní návaznost na toxicitu, resp. ekotoxicitu.

Člověk se při běžném životě vystavuje kontaktu s nanočásticemi o rozdílných koncentracích, se zvýšenou koncentrací nanočástic se může setkat na určitých místech (industriální část města) či při určitých činnostech (sportovní střelba, kouření, ohňostroj) nebo při práci v „klasických“ provozech, viz níže. Z těchto důvodů uvádíme některé postřehy z provedených měření koncentračních znečnění nanočástic v „běžných“ situacích a semi-systematické měření ve vybraných provozech, kde jsme se snažili přijmout i exaktní závěry s následným doporučením. Níže uvádíme schéma doporučeného postupu při tzv. semi-systematického měření, které se již použilo v konkrétních technologických provozech (graf č. 1).



**Graf č. 1 Návrh postupu či opatření při a po semi-systematickém měření nanočástic v technologickém**

### **Příklady z výsledků měření nanočástic**

I při měření koncentrace a distribučního rozložení nanočástic v tzv. „**běžných situacích**“ jako je jízda v pražském metru - trasa C, jízda městským autobusem linkou č. 189, okolí městské části Kačerov při jízdě v osobním automobilu, v administrativní budově, malém požáru, výfuk od dieselových motorů, zábavní pyrotechnika, sváření, střelbě, apod. jsme byli schopni definovat určité závěry (zajímavosti) [11]:

#### ***jízda v pražském metru***

Jednoznačně nelze definovat malé navýšení množství nanočástic v závislosti na obsazenosti vagonu metra. Může zde sehrát i roli pozemní lokalita stanic a tratě, které se nacházejí v blízkosti dopravně silně vytížené magistrály (větrací šachty).

#### ***jízda městským autobusem linkou č. 189***

Koncentrace nanočástic, kterým jsou vystaveni cestující na trati linky autobusu MHD č. 189 má o řád vyšší hodnotu než v metru na trase C (max.  $36,7 \cdot 10^3$  N/cm<sup>3</sup> v metru,  $260 \cdot 10^3$  N/cm<sup>3</sup> v autobusu). Ani v tomto případě nelze prokázat

jednoznačný vliv počtu cestujících na koncentraci nanočástic, ale je to pravděpodobně vliv hustoty a složení okolní dopravy.

### **okolí městské části Kačerov při jízdě v osobním automobilu**

Vliv okolní hustoty dopravy byl prokázán při měření za jízdy v automobilu, navýšení množství částic v blízkosti nájezdu na Pražský okruh a D1 (lokalita Kačerov).

Určitou ochranu osob proti nanočásticím při jízdě v automobilu tvoří nižší stupeň větrání a pylový filtr.

Pravděpodobně nejrizikovější částice mají rozměr do 50 nm, a to z důvodu jejich možnosti překonat ochrannou bariéru buňky. Částice těchto rozměrů byly přednostně identifikovány v okolí lokality Kačerov, což je opět lokalita nájezdu na Pražský okruh a D1. V metru je to úsek (i když s mnohem nižší hodnotou než v autobusu), který projíždí centrem Prahy u magistrály (Pankrác – Florenc).

Alarmující je zjištění, že částice pod 40 nm byly nejčtetnějšími částicemi při měření v jízdě městským autobusem.

### **administrativní budova**

Počet nanočástic v pracovních administrativní budovy, kde nepracují kuřáci a probíhá klasická úřednická činnost, je mírně nižší, než v okolí budovy (cca jednotky  $\cdot 10^3$  N/cm<sup>3</sup>).

Při měření v pracovních v patrech nad sebou v traktu ul. Dlážděná nebyla prokázána závislost množství nanočástic na výši patra.

Extrémní nárůst počtu nanočástic je v pracovních, kde se pravidelně kouří. Když v této pracovních kouřili najednou 3 kuřáci, došlo k nárůstu počtu nanočástic až o dva řády (ovšem srovnatelné hodnoty s jízdou v městském provozu).

Nárůst počtu nanočástic byl prokázán i v běžné údržbářské dílně.

### **požáry**

Při požárech a rovněž i při jejich hašení dojde k vysokému nárůstu aerosolových částic v nanorozměrech, a to v závislosti na složení hořících složek (zahlcení měřicího přístroje při požáru produktů převážně ropného původu).

### **výfuk od dieselových motorů**

Nárůst součtového množství aerosolových nanočástic u diesel motorů klasického typu je vyšší než u moderního, ale u moderního dieselového motoru byl zaznamenán nárůst počtu nanočástic v rozměrech, které mají zvýšené riziko pro zdraví a životní prostředí.

Byla prokázána změna koncentrace a velikosti nanočástic v závislosti na vzdálenosti od jejich zdroje. Toto způsobuje rozptyl a hlavně koagulace částic (agregace, aglomerace, adsorpce nanočástic na mikročásticích, apod).

Riziková oblast rozměru nanočástic se projevila i u klasického motoru, a to před jeho zahřátím na provozní teplotu.

Zasahující hasiči jsou ohroženi vedle částic z požáru a jeho hašení i nanočásticemi, které může produkovat jejich zasahující technika, a to automobily, dieselagregáty, apod.

### **zábavní pyrotechnika**

Nárůst počtu nanočástic po zapálení záabavné pyrotechniky je o dva řády větší oproti pozadí.

Rozměr nanočástic při zapálení záabavné pyrotechniky je nad 100 nm, což je údaj změřený v relativně velké vzdálenosti



od zdroje. I zde je patrna časová závislost koagulace.

### **sváření**

Bezprostředně při svařování vznikají nebezpečné nanočástice pod 100 nm, které následně koagulují.

### **střelba**

Při střelbě nejvíce nanočástic ohrožuje střelce při použití revolveru (typ: Colt King Cobra - průměrný počet částic 825 tis. N/cm<sup>3</sup>) a nejméně u samopalu (typ: H&K MP5 KA4 - průměrný počet částic 81 tis. N/cm<sup>3</sup>).

Při „**semi-systematickém**“ měření koncentrace a distribučního rozložení nanočástic v truhlářském provozu, ocelárně a kovohutích jsme byli schopni definovat tyto závěry:

**truhlářský provoz** - zpracování exotických dřev: Ipé, Jatoba, Massaranduba, Merbau, Balau, Yellow (Bangkirai), Faveira [12].

Hlavní zdroj mikro a nanočástic bylo broušení dřeva Massaranduba na pásové brusce (obr. č. 1).



**Obr. č. 1 Umístění měřící aparatury na separaci frakcí na pásové brusce**

Hlavní riziko představoval tvar nanočástic, které byly ve tvaru ostrých jehliček (nejvíce od dřeva Massaranduba (obr. č. 2) koncentrace a distribučního rozložení (obr. č. 3), chemické složení dřeva).

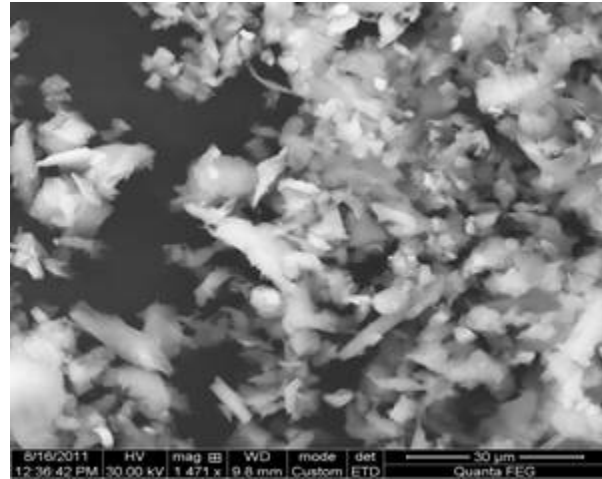
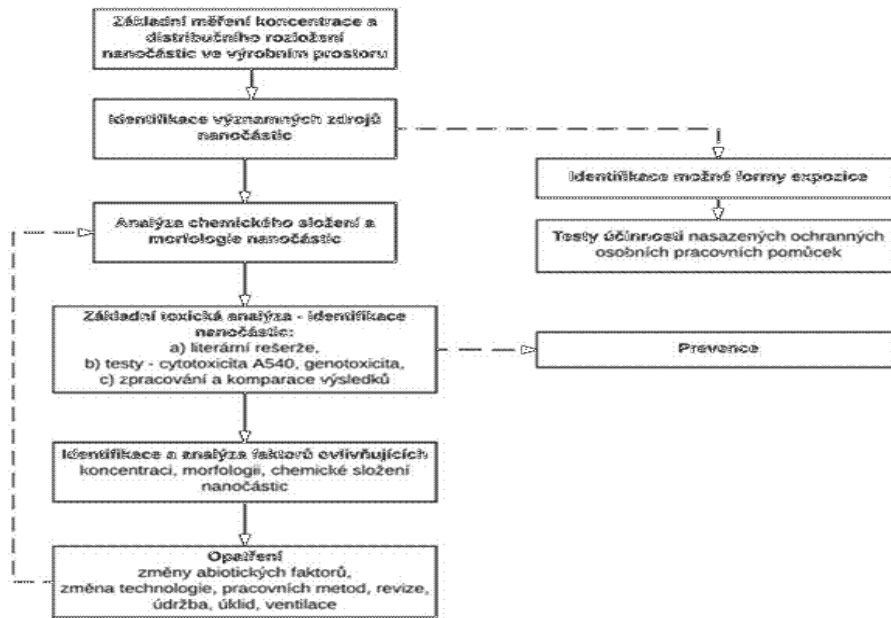


Image not found or type unknown

Obr. č. 2 Porovnání tvaru částic a jejich velikostí u dřeva Massaranduba vzniklých broušením



Obr. č. 3 Distribuční rozložení aerosolových částic dřeva Massaranduba při broušení

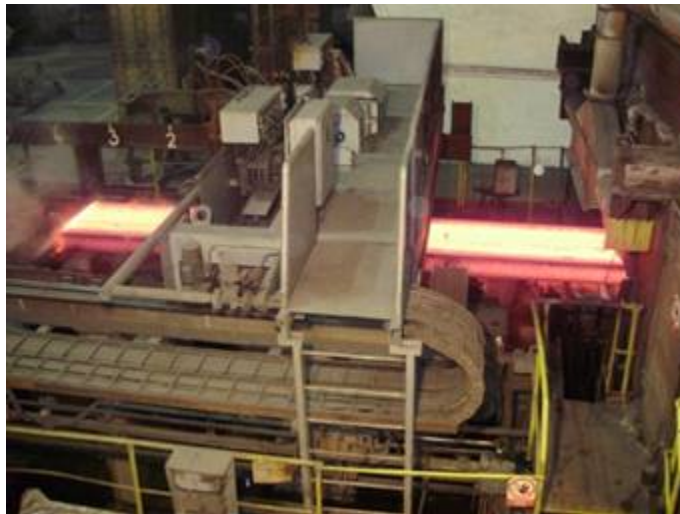
### Metalurgický provoz - ocelárna - Kyslíková výroba oceli [13]

Zvýšený obsah nanočástic byl u:

- lití surového železa (obr. č. 4),
- odlévání bram (obr. č. 5).
- u skartovacího stroje (obr. č. 6)



**Obr. č. 4 Lití surového železa z vysoké pece s názvem "Veronika"**



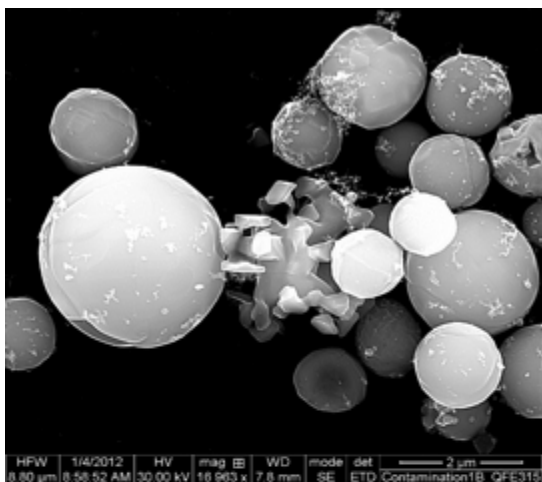
**Obr. č. 5 Měřicí místo u bramového kontilití**



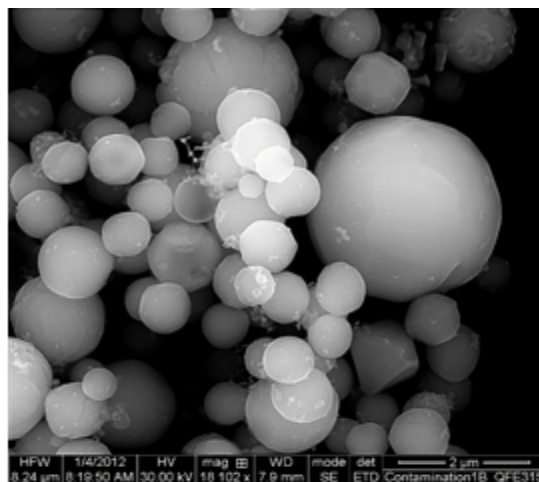
**Obr. č. 6 Měřicí místo u skartovacího stroje**

Změna tvaru nanočástic u přelévání surového železa závisela na venkovní teplotě. V zimním období krásné kulové

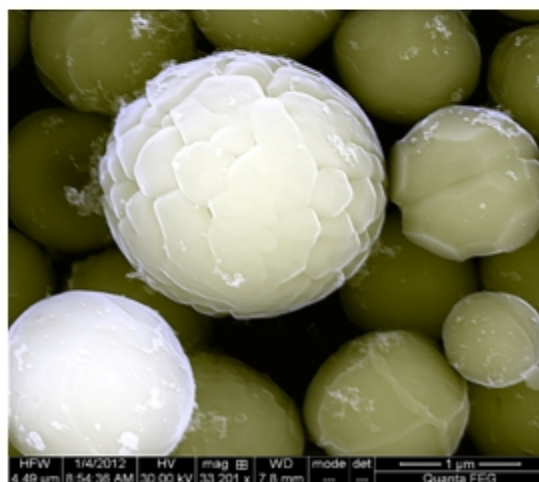
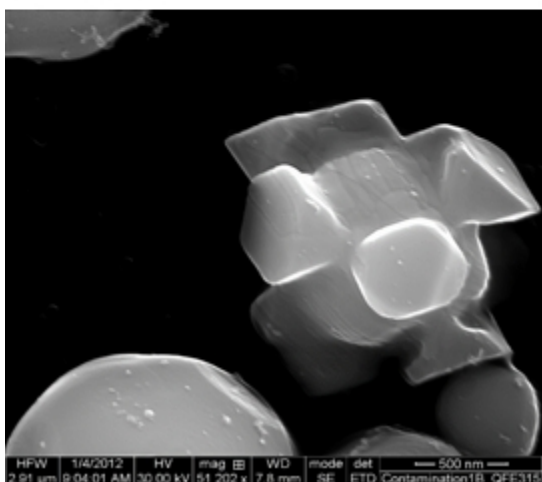
částice (potenciálně nižší toxicita) viz obr. č. 7.



Letní období



Zimní období



Obr. 7 Elektronové snímky zachycených částic atypických tvarů pocházejících z prostředí lití surového železa

#### ***Kovohutě - tavba olověného odpadu, rafinace surového olova [14]***

Zvýšení obsahu nanočástic

- u šachtové pece při opichu surového olova (obr. č. 8),
- u rafinačního kotle při přidávání struskových přísad (obr), ať je to zinek, síra, siřník (obr. č. 9)



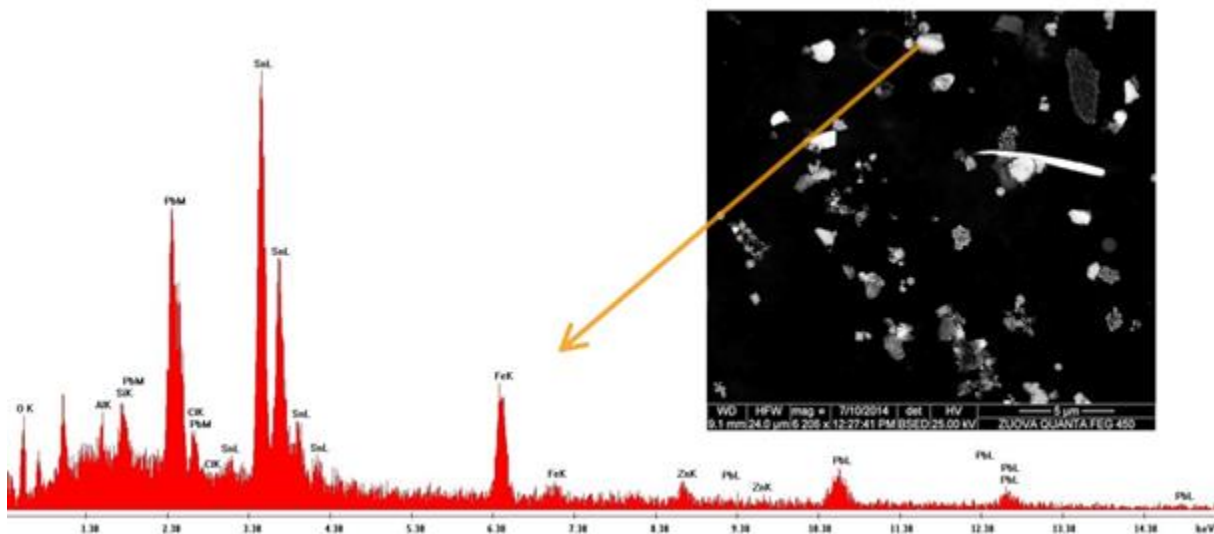


**Obr. č. 8 Odpich roztaveného surového olova ze sifonu do formy**



**Obr. č. 9 Hala rafinace - část rafinačních kotlů**

V ovzduší byly identifikovány nanočástice řady těžkých kovů, zároveň nanočástice s atypickým složením a tvarem (obr. č. 10, obr. č. 11).



**Obr. č. 10** Pestré složení částic různých kovů nacházejících se v pracovní atmosféře rafinace surového železa

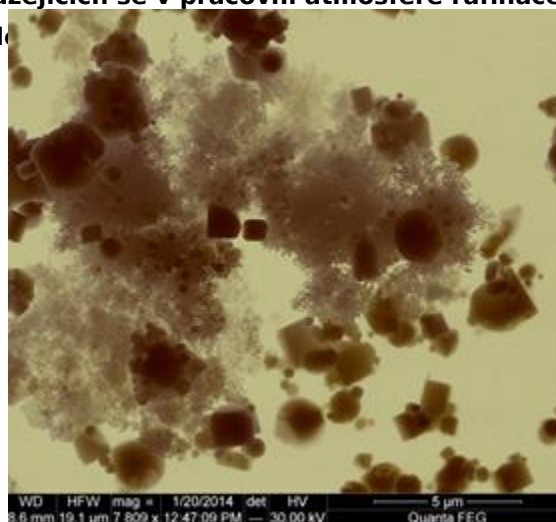


Image not found or type unknown

**Obr. č. 11** Morfologická pestrost nanočástic a mikročástic vyskytující se v oblasti šachtové pece

## Závěry a poděkování

Máme k dispozici stovky originálních separátů publikovaných k toxicitě a ekotoxicitě nanočástic. Zestručnění příspěvku nám neumožnilo u každého uvedeného faktu poskytnout citaci a diskuzi. Uvedená fakta jsou podložena a my se s nimi ztotožňujeme. U příkladu semi-systematických měření uvádíme pouze ilustrační zlomek získaných výsledků. Tak například v truhlářském provozu bylo distribuční rozložení nanočástic měřeno u všech dřev, a to i při dalších technologických operacích (řezání, frézování, vrtání, apod.), kde byl prováděn odběr nanočástic pro analýzu tvaru pomocí elektronového mikroskopu, dále byl sedimentovaný povrch chemicky analyzován (měřena infračervená ATR spektra technikou FT-IR), testován na tepelnou odolnost (GTA - termogravimetrická analýza/DSC - diferenční kompenzační kalorimetrie), extrahován, apod. Paralelně při odběru probíhal test účinnosti ochranných osobních pracovních pomůček, konkrétně respirátorů.

Děkujeme panu Ing. Karlovi Lachovi, CSc. a ze Státního zdravotního ústavu se sídlem v Ostravě a panu Mgr. Petrovi

Otáhalovi ze Státního ústavu jaderné, chemické a biologické ochrany, v.v.i., z Odboru chemické ochrany, pracoviště Kamenná u Příbrami za poskytnutí měřicího týmu a aktivního zapojení při měření a analýze výsledků.

## Literatura

- [1] Doporučení komise o definici nanomateriálu ze dne 18. října 2011 (2011/696/EU). *ÚV*, L275, 20.10 2011.
- [2] KVASNIČKOVÁ, A. *Aplikace nanotechnologií v potravinářství* [online]. ÚZEI [cit. 2016-07-20]. Dostupný z: [http://www.nanotechnologie.cz/storage/Nanotechnologie\\_web-final.pdf](http://www.nanotechnologie.cz/storage/Nanotechnologie_web-final.pdf)
- [3] *A Nanotechnology Policy Framework for California* [online]. NSTI [cit. 2009-06-8]. Dostupný z: [http://www.nsti.org/proces/Nanotech\\_2009v2/](http://www.nsti.org/proces/Nanotech_2009v2/).
- [4] PODILA, Ramakrishna; BROWN, Jared M. Toxicity of Engineered Nanomaterials: A Physicochemical Perspective [online]. *J Biochem Mol Toxicol*, 2013, Vol. 27, No. 1, s. 50-55. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3778677/>.
- [5] FU, Peter P. ...[et al.]. Mechanisms of nanotoxicity: generation of reactive oxygen species. *Journal of Food and Drug Analysis* [online], March 2014, Vol. 22, No. 1, s. 64-75 [cit. 2016-07-25]. Dostupné z: [http://www.jfda-online.com/article/S1021-9498\(14\)00006-4/fulltext](http://www.jfda-online.com/article/S1021-9498(14)00006-4/fulltext).
- [6] BRUININK, Arie; WANG, Jing; WICK, Peter. Effect of particle agglomeration in nanotoxicology. *Arch. Toxicol.*, May 2015, Vol. 89, No. 5, s. 59-675.
- [7] NEL, A. E. ...[et al.]. Understanding biophysicochemical interactions at the nano-bio interface. *Nature Materials*, 2009, Vol. 8, No. 7, s. 543-557.
- [8] KLOUDA, K.; KUBÁTOVÁ, H.; VEČERKOVÁ, J. Záměrně vyráběné nanomateriály: návrh metodiky řízení rizik při produkci a manipulaci s nimi. In: *Ochrana obyvatel 2010: sborník*. Ostrava, 2010. S. 138-151, ISBN 978-80-7385-080-7.
- [9] KLOUDA, K.; KUBÁTOVÁ, H.; VEČERKOVÁ, J. Záměrně vyráběné nanomateriály: návrh metodiky řízení rizik při produkci a manipulaci s nimi. *Spektrum*, 2010, č. 1, s. 41-45. ISSN 1211-6920
- [10] TŮMA, Miroslav. Nanotechnologie: "spása lidstva" s bezpečnostními riziky? *Mezinárodní vztahy*, 2004, roč. 39, č. 2, s. 36-48.
- [11] KLOUDA, K. ...[et al.]. Výsledky měření nanočástic pocházejících z vybraných antropogenních zdrojů. *Bezpečnost a hygiena práce*, 2010, č. 11, s. 16-23. ISSN 1338-2691.
- [12] KLOUDA, K.; MATHEISOVÁ, H.; WEISHEITLOVÁ, M. Some Properties of Sedimented Dusts from Selected Exotic Woods. *Wood Research*, 2014, Vol. 59, No. 1, s. 51-66.
- [13] KLOUDA, K. ...[et al.]. Množství a distribuční rozložení nano a mikroaerosolových částic ve vybraných provozech ocelárny=The Amount and Distribution of Nano and Micro Aerosol Particles in Selected Locations of the Steelworks. *Hutnické listy*, 2013, roč. LXVI, č. 5, s. 33-39. ISSN 0018-8069.
- [14] KLOUDA, K. ...[et al.]. Množství a distribuční rozložení nano a mikročástic kovů u tavicí pece olověného odpadu=Quantities and Distribution of Metal Nano- and Microparticles at a Melting Oven for Lead Wastes. In: *Bezpečnost a ochrana zdraví při práci 2014, Sborník přednášek XIV. ročníku mezinárodní konference, VŠB-TU Ostrava 14. - 15. května 2014*. Ostrava: VŠB-TU, 2014. S. 46-52. ISBN 978-80-7385-145-3.

## Vzorová citace

KLOUDA, Karel; FRIŠHANSOVÁ, Lenka; SENČÍK, Josef. Nanočástice, nanotechnologie a nanoprodukty a jejich vazba na bezpečnost a ochranu zdraví při práci. *Časopis výzkumu a aplikací v profesionální bezpečnosti* [online], 2016, roč. 9, speciální č. Bezpečnost práce a kvalita života. Dostupný z: <http://www.bozpinfo.cz/josra/nanocastice-nanotechnologie-nanoprodukty-jejich-vazba-na-bezpecnost-ochranu-zdravi-pri-praci>. ISSN 1803-3687.

---

Autor článku:

[doc. Ing. et Ing. Karel Klouda, CSc., Ph.D., M.B.A.](#)

[Ing. Lenka Frišhansová](#)

[Mgr. et Mgr. Josef Senčík](#)