

Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta tělesné kultury



Fakulta
tělesné kultury

NANOMATERIÁLY A MOŽNÁ RIZIKA JEJICH POUŽÍVÁNÍ

Bakalářská práce

Autor: Monika Fišerová

Studijní program: Tělesná výchova se zaměřením na vzdělávání a
ochranu obyvatelstva

Vedoucí práce: prof. Ing. Pavel OTŘÍŠAL, Ph.D., MBA

Olomouc 2024

Bibliografická identifikace

Jméno autora: Monika Fišerová

Název práce: Nanomateriály a možná rizika jejich používání

Vedoucí práce: Prof. Ing. Pavel OTŘÍŠAL, Ph.D., MBA

Pracoviště: Katedra aplikovaných pohybových aktivit

Rok obhajoby: 2025

Abstrakt:

Bakalářská práce pojednává o problematice využívání nanomateriálů v oblasti ochrany dýchacích cest a potenciálních rizik. Teoretická část se zabývá vysvětlením základních pojmů spojených s tímto tématem, jako je například legislativa či výroba prostředků pro ochranu dýchacích cest vyrobených z nanomateriálů. Praktická část je věnována analýze reálného využití těchto prostředků v různých oblastech a situacích z provedených strukturovaných rozhovorů. Závěrečné kapitoly se věnují shrnutí výsledků praktické části a návrhům pro možné zlepšení současné situace v oblasti vývoje, výroby a využití nanomateriálů k ochraně obyvatelstva.

Klíčová slova:

Nanomateriál, riziko, ochrana dýchacích cest, pandemie, respirátor, rouška, integrovaný záchranný systém

Souhlasím s půjčováním práce v rámci knihovních služeb.

Bibliographical identification

Author: Monika Fišerová
Title: Nanomaterials and Possible Risks of Using Them

Supervisor: prof. Ing. Pavel OTŘÍŠAL, Ph.D., MBA
Department: Department of Adapted Physical Activities
Year: 2025

Abstract:

The bachelor thesis discusses the problematics of the use of nanomaterials in the field of respiratory protection and potential risks. The theoretical part deals with the explanation of basic terms connected with this topic, such as legislation or the production of respiratory protection products made of nanomaterials. The practical part is devoted to the analysis of the real use of these resources in various areas and situations from structured interviews. The final chapters are dedicated to summarizing the results of the practical part of thesis and proposals for possible improvement of the current situation in the field of development, production and use of nanomaterials for the protection of the population.

Keywords:

Nanomaterial, risk, respiratory protection, pandemic, respirator, mask, integrated rescue system

I agree the thesis paper to be lent within the library service.

Prohlašuji, že jsem tuto práci zpracovala samostatně pod vedením prof. Ing. Pavla Otřísala, Ph.D., MBA, uvedla všechny použité literární a odborné zdroje a dodržovala zásady vědecké etiky.

V Olomouci dne 20. dubna 2024

.....

Děkuji vedoucímu práce prof. Ing. Pavlu Otřísalovi Ph.D., MBA, za pomoc a rady při zpracování závěrečné práce. Dále děkuji všem, kteří mi poskytli své poznatky a zkušenosti formou rozhovorů na stěžejní témata této práce.

OBSAH

Obsah	7
1 Úvod	10
2 Přehled poznatků	12
2.1 Nanomateriály	12
2.1.1 Nanotechnologie a jejich historie.....	12
2.1.2 Nanomateriály a současnost	13
2.1.3 Výroba nanoobjektů.....	13
2.1.4 Rozdělení nanomateriálů	15
2.1.5 Využití nanomateriálů	15
2.1.6 Produkty z nanomateriálů	16
2.2 Legislativa	17
2.2.1 Registrace, hodnocení, autorizace a omezení chemických látek.....	17
2.2.2 Nařízení o klasifikaci, označování a balení	18
2.3 Rizika nanomateriálů	19
2.3.1 Hodnocení toxicity.....	19
2.3.2 Expozice nanomateriály	20
2.3.3 Oxidační stres	21
2.3.4 Vliv nanočástic na člověka.....	23
2.4 Využití nanomateriálů při ochraně dýchacích orgánů.....	23
2.4.1 Meltblown	25
2.4.2 Nanovlákna.....	26
2.4.3 Membrána a membránové procesy	27
2.4.4 Nanovláknenná membrána	30
2.5 Využití ochrany dýchacích cest v IZS.....	31
2.6 Rozvoj v souvislosti s koronavirem SARS-CoV-2	32
2.6.1 Dostupnost prostředků pro ochranu dýchacích cest v pandemii.....	34
3 Cíle	35
3.1 Omezení cílů práce	35
3.2 Výzkumné otázky.....	35

4	Metodika.....	36
5	Analýza současného stavu a zjištěné výsledky	37
	5.1 Škodlivé nanomateriály	37
	5.2 Prostředky pro ochranu dýchacích cest v IZS	38
	5.3 Porovnání dostupnosti ochranných prostředků dýchacích orgánů.....	40
6	NÁVRHY	43
	6.1 Oblast techniky a technologií.....	43
	6.2 Oblast ochrany obyvatelstva.....	43
7	Závěr	45
8	Souhrn	46
9	Summary.....	47
10	Referenční seznam	48

SEZNAM VYUŽITÝCH ZKRATEK

AOX	antioxidant
ARI	akutní respirační infekce
AV	Akademie věd
CLP	klasifikace, označování, balení - anglicky classification, labelling, packages of substances and mixtures
COVID-19	koronavirové nemoci 2019
ČR	Česká republika
ČVUT	České vysoké učení technické
ECHA	Evropská agentura pro chemické látky
ENM	uměle vytvořený nanomateriál - anglicky engineered nanomaterial
EU	Evropská unie
GFFF	pozemní hašení lesních požárů
HZS	hasičský záchranný sbor
IZS	integrovaný záchranný sbor
NČ	nanočástice
PET	polyethylentereftalát
REACH	registrace, hodnocení, autorizace a omezování chemických látek - anglicky registration, evaluation, authorisation and restriction of chemicals
ROS	reaktivní forma kyslíku - anglicky reactive oxygen species
SARS-CoV-2	koronavir těžkého akutního respiračního syndromu 2 - anglicky severe acute respiratory syndrome coronavirus 2
TUL	Technická univerzita v Liberci
ZZS	zdravotnická záchranná služba

1 ÚVOD

Současné bezpečnostní hrozby a pandemie, kterou celý svět prožil přibližně před dvěma lety, otevřely možnosti nových materiálových technologií, o kterých se do té doby moc nevědělo. Témata z oblasti nanomateriálů a výrobků z nich zhotovených začala být veřejností hojně diskutována v souvislosti s pandemickou situací koronavirové nemoci 2019 (Covid-19), která vypukla v prosinci roku 2019 a byla způsobena koronavirem těžkého akutního respiračního syndromu 2 (SARS-CoV-2). V době pandemie bylo nutno využívat prostředky pro ochranu dýchacích cest ve veřejných prostorech, v hromadné dopravě, potažmo v jakémkoli místě s vyšší koncentrací osob. Zdravotnická zařízení nevyjímaje. Následkem bylo značné zvýšení zájmu laické i odborné veřejnosti o co možná nejúčinnější způsob ochrany dýchacích cest. Velké procento veřejnosti vyhodnotilo nanomateriálové roušky a respirátory jako ideální variantu. Zájem tedy postupně začal směřovat také na účinnost těchto produktů a jejich potenciální zdravotní rizika. Důsledkem toho bylo rozšíření povědomí o existenci nanomateriálů mezi širokou veřejnost.

Se zájmem veřejnosti se logicky pojil zájem mnohých médií, organizací a podobně. Zásadním tématem byla zejména bezpečnost ochrany dýchacích cest pomocí roušek či respirátorů ve kterých se používají nanomateriály. Rizika spojená s použitím řešily různé odborné studie a výzkumy. Za důležitý faktor lze také považovat názory a zkušenosti všech, kteří prostředky pro ochranu dýchacích cest obsahující nanomateriály využívali, a to včetně složek integrovaného záchranného systému (IZS), kde je použití těchto prostředků společně se zdravotnickými zařízeními nejčastější. Zmínit je třeba také to, že prostředky pro ochranu dýchacích cest mohou mít škodlivé nežádoucí účinky. Důležitou součástí této práce je zjistit, zdali existuje prostředek pro ochranu dýchacích cest, u kterého byla rizika zjištěna a jeho případné zdraví škodlivé účinky. Dále má práce za cíl analyzovat současnou kvalitu využívaných ochranných prostředků v IZS a poskytnout informaci o tomto stavu.

Téma jsem si vybrala na základě svého vlastního zájmu o problematiku fyziky zachytu škodlivin na materiálech, jejichž struktura není vnímatelná běžným okem. Tajemství nepoznaného ve mě vzbudilo zájem o studium možností využití přírodních vlastností technicky vyvinutých, vytvořených a následně vyrobených vláken, které jsou v přírodě zcela běžně aplikována a člověkem zcela nevědomě využívána. Ukázalo se, že možnosti studia povrchů vláken a tajemství mikrosvěta si zasluhuje pozornost nejenom z pohledu technických a technologických aplikací, ale i ve vztahu k záchranně životů při mimořádných událostech a krizových situacích. Současný vývoj epidemií spojených se současnou a možná i předpokládanou migrační krizí nepochybně ukazuje, že využití filtračních materiálů na bázi

nanovláken není záležitostí jednoznačně uzavřenou. Pojdme se nadále učit od přírody, pojdme ji společně poznávat a její dlouhodobě zkušenosti využijme ve prospěch lidstva.

2 PŘEHLED POZNATKŮ

2.1 Nanomateriály

Nařízení Evropské komise 2011/696/EU uvádí následující definici: „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.“

Nanomateriály se vyznačují charakteristickými znaky, které jsou u všech druhů stejné. Prnka (2001) uvádí, že: „Stavebními jednotkami jsou nanočástice (dále jen „NČ“) s definovanými vlastnostmi: rozměry, tvarem, atomovou strukturou, krystalinitou, mezifázovým rozhraním, homogenním/heterogenním složením a chemickým složením. Rozměry jsou limitovány v oblasti od molekul k pevným částicím menším než 100nm. Vlivem malých rozměrů v některých případech počet povrchových atomů převyšuje počet atomů ve vnitřním objemu. Tyto stavební jednotky jsou uspořádány v makroskopických multi-klastrových materiálech s velmi různorodým topologickým pořádkem. Chemicky identické částice mohou být těsně uspořádány a kompaktovány za vzniku hranic zrn. Částice mohou být oddělené nebo spojené koalescencí nebo podložkou a mohou vytvářet nanodrátky, nanotrubice, nanokompozity, keramické nebo jiné tenké filmy nebo vrstvy. Stavební jednotky a jejich topologie mohou sloužit pro vytváření rozměrnějších materiálů vhodných pro technické aplikace.“

Nanomateriály se v přírodě nevyskytují pouze jako důsledek lidských aktivit a činů. Různé NČ jsou přítomny v podstatě ve všech oblastech životního prostředí počínaje u litosféry a konče v atmosféře. V atmosféře se vyskytující NČ označovány jako ultrajemné částice, kdežto v půdě a vodě jsou označovány jako koloidy. (Motyka, 2019)

2.1.1 Nanotechnologie a jejich historie

První důkazy o existenci nanotechnologie sahají až do středověku, kdy například skláři používali kovové či jiné prášky, které bychom jejich velikostí zařadili do kategorie nano, aby získali různé barvy pro své výrobky. Příkladem jsou tzv. Lykurgovy poháry. Při chemické analýze těchto pohárů se ukázalo, že využitě sklo obsahuje 73 % SiO_2 , 14 % Na_2O a 7 % CaO , což je považováno jako přibližně stejné složení, které má sklo využívané v současné době. Sklo pohárů je složeno z malého množství zlata (cca 40 ppm) a také malé množství stříbra (cca 300 ppm). Jsou obsaženy ve formě nanokrystalů, které jsou slitinou zlata a stříbra v poměru 3:7. Nanokrystaly těchto dvou kovů se ve skle pohárů nachází ve velikosti cca 70 nm. V dnešní době

ovšem stále není známo, jakou technologii výroby využívali římsí skláři pro vytvoření těchto pohárů. (Barabaszová, 2006)

Jako první začal se začal myšlenkou nanotechnologie zabývat laureát Nobelovy ceny Richard Philips Feynman. V roce 1959 měl přednášku s názvem „Tam dole je spousta místa“ na které vyzval celý svět, aby se začal zabývat nanomateriály. Dalším byl Kim Eric Drexler, otec pojmu „nanotechnologie“ a Timothy Leary. (Barabaszová, 2006)

Největším průkopníkem se stal prof. RNDr. Oldřich Jirsák CSc., který v roce 2003 na Technické univerzitě v Liberci (TUL) vyvinul unikátní stroj pro průmyslovou výrobu nanovláken. Je to první člověk, na světě, kterému se podařilo vyvinout technologii, která je schopna vytvořit velmi vysoké množství nanovláken. Následně společně se svým týmem a s libereckou firmou Elmarco vymyslel a zrekonstruoval prototyp stroje zvaný Nanospider a díky tomuto objevu začalo vznikat zcela nové průmyslové odvětví. (Czech Innovation Expo, n.d.) Metoda Nanospider™ představuje inovativní přístup ke zvlákňování z volného povrchu roztoku polymeru ve velmi silném elektrostatickém poli. Tento postup umožňuje vytvoření nanovláken z celého povrchu tenké vrstvy polymeru, což vede k výrobě nanovláknenného materiálu s vysokou kvalitou v průmyslovém měřítku. Technologie Nanospider™ využívá zvlákňovací elektrodu ve formě tenkého vlákna a aplikační hlavu pro nanášení roztoku polymeru na celou délku vlákna. Díky silnému elektrostatickému poli se poté nanovláknena vytváří z tenké vrstvy polymeru na elektrodě. (Elmarco, n.d.)

2.1.2 Nanomateriály a současnost

Pro všechny nově vzniklé či zjištěné nanomateriály existuje obrovské množství studií o vztahu těchto nanomateriálů k atmosféře, o jejich dopadu na fyziologii rostlin a živočichů, dále také o jejich dopadu na lidské zdraví a dalších vlivech. Úplně poprvé v historii lidstva byl aplikován princip předběžné opatrnosti: hodnotí se syntéza nového materiálu a jeho environmentální aspekty, které se postupně dostávají i do legislativ států i nadnárodních uskupení. (Motyka, 2019)

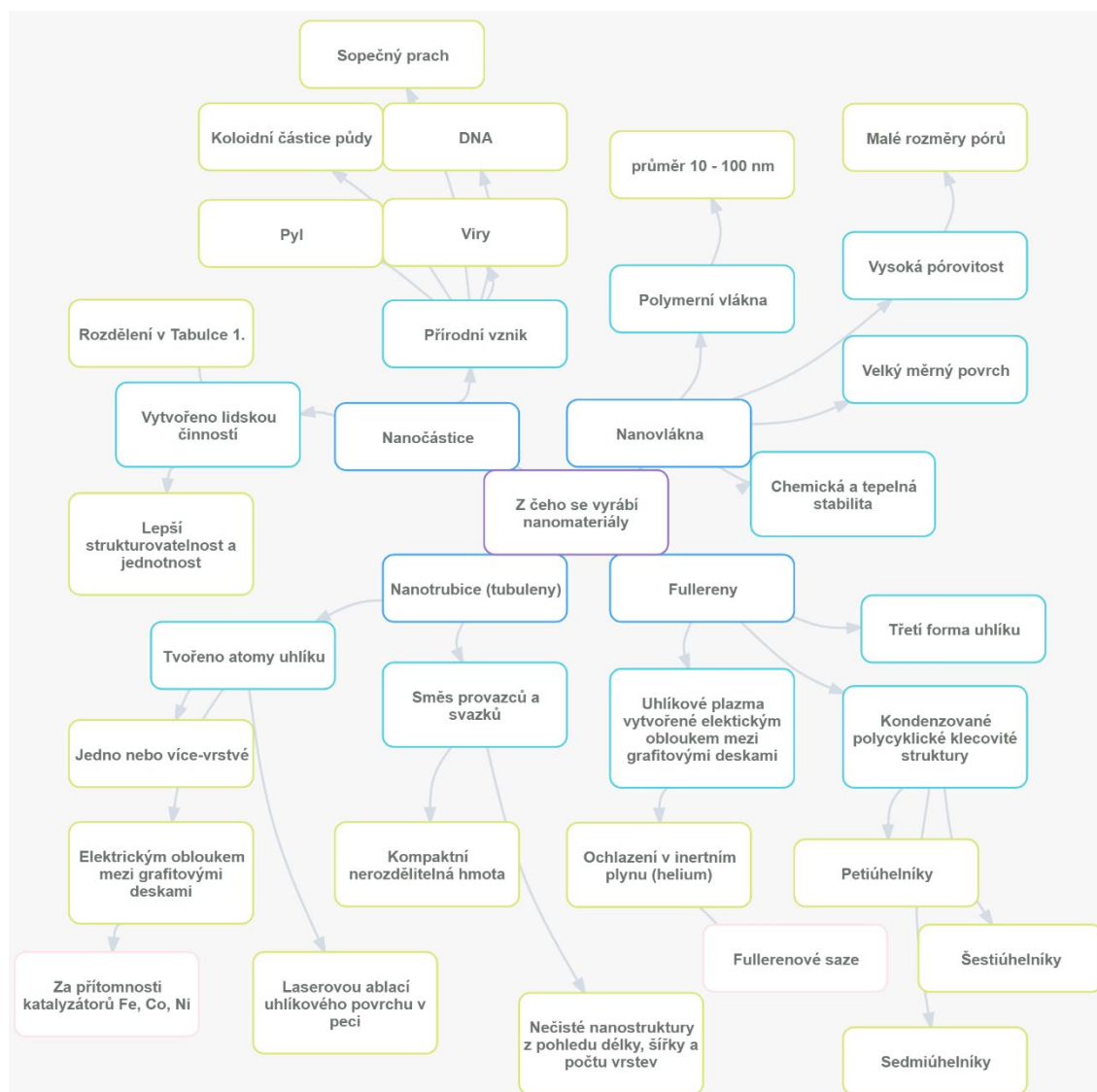
Mezi nanomateriály, které jsou v současné době využívány nejvíce řadíme například uhlíkovou čern nebo amorfní oxid křemičitý. Tyto nanomateriály jsou na trhu již velmi dlouho, a proto pro ně existuje velká škála využití. (Danihelka, 2016)

2.1.3 Výroba nanoobjektů

Nanoobjekty rozdělujeme dle normy ISO/TS 27687 na tři skupiny, dle počtu souřadnic, ve kterých materiál dosahuje velikosti 1–100 nm. Rozdělení:

- Ve výrobě nanoobjektů jsou v současné době využívány dvě základní technické metody. První je metoda Top-down, což je výroba nanoobjektů pomocí zmenšování struktury již existujícího objektu. Zároveň je tento přístup označován jako fyzikální. Druhou možností je metoda Bottom-up, což je v podstatě přesný opak metody první, tedy vytváření nanoobjektů z menších částí jako jsou atomy a molekuly. Tento přístup je označován jako chemický. (Hošek, 2010)

Rozdělení využívaných nanoobjektů pro výrobu nanomateriálů



14

2.1.4 Rozdělení nanomateriálů

Nanomateriály je možno rozdělit do několika skupin dle jejich struktury, chemického složení, výrobních metod a aplikací jednotlivých z nich. Využívané nanoobjekty pro výrobu nanomateriálů jsou zobrazeny na Obr. 1. Hojně využívány jsou také cíleně produkované NČ na bázi uhlíku jejichž druhy jsou vypsány v Tab. 1.

Tabulka 1

Rozdělení cíleně produkovaných nanočástic

Typ nanočástic	Popis
Uhlíková čern	Čistá forma uhlíku. Velmi jemný černý prášek. Částice menší než 100 nm.
Kovy, oxidy kovů, keramika	Množství kompaktních forem NČ včetně nano oxidu titaničitého a křemene. Často v agregované podobě. Kompozity obsahují např. kovové jádro a povrch z oxidu kovu či slitiny.
Fullereny	Sférické molekuly složené z atomů uhlíku.
Uhlíkové nanotrubice	Alotropní forma uhlíku s cylindrickou strukturou. Mohou být jednostěnné (single-walled) či víceštěnné (multi-walled).
Nanodrátky	Vodivé či polovodivé nanodrátky o velikosti desítek nm, např. Co, Au, Cu, Si.
Kvantové tečky	Malé (2–10 nm) útvary polovodičového materiálu s elektronickými, optickými nebo katalytickými vlastnostmi.
Dendrimery	Polymery s rozvětvenou strukturou, často symetrické okolo jádra. Možnost funkcionizace periferních funkčních skupin.
Nanojíly	Keramické NČ, např. bentonit, kaolinit aj.

Poznámka. Zdroj: (Dohnal & Dohnalová, 2015)

2.1.5 Využití nanomateriálů

Využití nanomateriálů je velmi rozmanité, sahající od běžných spotřebních výrobků až po specializované technické aplikace, jako je elektronika a biomedicína. Nejrozšířenější použití nanomateriálů je v podobě zpevňujících látek pneumatik a dalších pryžových výrobcích, následovaných funkčními plnivými v polymerech. Elektronika, kosmetika a biomedicína jsou další oblasti s významným využitím nanotechnologií. V elektronice jsou nanomateriály často

využívány v chemicko-mechanických abrazivech a vícevrstvých keramických kondenzátorech. V kosmetickém průmyslu jsou populární oxidy, například syntetický amorfní oxid křemičitý, oxid titaničitý nebo oxid zinečnatý. V biomedicině jsou používány například NČ zlata pro diagnostiku a NČ stříbra pro antimikrobiální vlastnosti. Další oblasti využití nanomateriálů zahrnují barvy a nátěry, katalyzátory, solární a palivové články. Mezi hospodářská odvětví s nejvyšším využitím nanomateriálů je zahrnuto letectví, automobilový průmysl, zemědělsko-potravinářský sektor, stavebnictví, výrobu energie a životní prostředí. Nanomateriály také nacházejí uplatnění v kosmetickém průmyslu, zdravotnictví, informačních technologiích, zabezpečení a textilním průmyslu. Jejich aplikace zahrnuje od opalovacích krémů až po cílený transport léčiv. (Danihelka, 2016)

2.1.6 Produkty z nanomateriálů

Nanomateriály jsou široce využívány ve všech odvětvích průmyslu a ve všech kategoriích výrobků, včetně kosmetiky, průmyslových chemikálií a léků. Toto široké využití znamená, že spotřebitelé, zaměstnanci a životní prostředí mohou být vystaveni nanomateriálům různými způsoby. Zaměstnanci se s nimi setkávají během výrobních procesů, kde jsou nanomateriály používány jako suroviny. Poté, co jsou tyto suroviny zpracovány do různých výrobků, jsou nanomateriály používány mnoha uživateli v různých produktech, jako jsou nátěrové hmoty nebo tiskárny.

V červenci 2017 Evropská komise zveřejnila katalog všech nanomateriálů používaných v kosmetických přípravcích v Evropské unii (EU), který je pravidelně aktualizován. Mnoho látek uvedených v tomto katalogu je také registrováno podle nařízení o registraci, hodnocení, autorizaci a omezování chemických látek (REACH).

Nanomateriály jsou také součástí potravin a mají různé využití. Mohou sloužit ke zvýšení výživové hodnoty potravin nebo k omezení množství přídavných látek, jako jsou cukr, sůl, aroma a barviva. Dva příklady nanomateriálů používaných v potravinářství jsou oxid titaničitý (E171) a syntetický amorfní oxid křemičitý (E551). Amorfní oxid křemičitý se používá jako čiridlo a pro prevenci hrudek v práškových potravinách, zatímco oxid titaničitý se využívá pro zlepšení vzhledu potravin. Další oblastí využití nanomateriálů je zlepšení příjmu živin a dalších látek v doplňcích stravy. Tyto materiály mohou pomáhat dispergovat látky, které samy o sobě nejsou ve vodě rozpustné.

Některé nanotechnologické aplikace jsou stále ve fázi výzkumu, ale některé již byly povoleny k uvedení na trh členskými státy EU a Evropskou komisí. Příkladem může být nitrid titanu používaný v polyethylentereftalátových (PET) lahvích. Nanomateriály v obalech potravin

v Evropě musí projít hodnocením Evropským úřadem pro bezpečnost potravin předtím, než budou povoleny k uvedení na trh. Nanoforma nitridu titanu je jedním z mála schválených nanomateriálů a používá se jako přísada do plastových lahví.

Využití nanomateriálů v životním prostředí zahrnuje širokou škálu aplikací, jako je úprava vody, čištění, získávání a ukládání energie. Nanomateriály jsou například využívány při úpravě vody k čištění a zlepšení kvality vody pro pití. Dalším příkladem je jejich využití v technologiích pro získávání a ukládání energie, jako jsou termočlánky, solární články a uhlíkové nanotrubicové větrných elektráren. Tyto aplikace pomáhají snižovat negativní dopady lidských činností na životní prostředí a zvyšovat udržitelnost energetických procesů.

První nanoléčivo získalo schválení Evropskou komisí již v roce 1996. Evropská agentura pro léčivé přípravky publikuje pro každý lék, který posuzuje, Evropskou veřejnou zprávu o hodnocení na svých webových stránkách, která detailně popisuje použití a vlastnosti daného léku. (European Union observatory for nanomaterials, n.d.)

2.2 Legislativa

Mnoho kategorií produktů podléhá platné legislativě EU, která stanovuje požadavky na ochranu zdraví, bezpečnost zaměstnanců a spotřebitelů, a také na ochranu životního prostředí. Tyto právní předpisy specifikují požadavky pro konkrétní produkty, jako jsou léčivé přípravky, přípravky na ochranu rostlin, kosmetika, potravinářské přídatné látky, doplňkové látky ve krmivech a další. Spotřební zboží, na které se nevztahují speciální právní předpisy, musí splňovat požadavky stanovené v obecné směrnici o bezpečnosti výrobků (směrnice 2001/95/ES). (Danielka, 2016)

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2001/95/ES je platná pouze do 12.12.2024. Od 13.12.2024 vstupuje v platnost Nařízení evropského parlamentu a rady EU 2023/988, které bylo schválené ve Štrasburku 10.05.2023. (EUR-lex, n.d.)

Nanomateriály jsou zahrnuty v existující definici látky podle nařízení REACH a nařízení o klasifikaci, označování, balení (CLP) a podléhají ustanovením obou nařízení. Evropská komise vydala v roce 2011 doporučení pro definici nanomateriálů, které slouží k harmonizaci definice nanomateriálů v různých právních rámcích. Toto doporučení je dodržováno v řadě evropských nařízení, včetně nařízení REACH a CLP. (European chemicals agency, n.d.)

2.2.1 Registrace, hodnocení, autorizace a omezení chemických látek

Nařízení REACH je legislativa EU, která byla vytvořena s cílem posílit ochranu lidského zdraví a životního prostředí před riziky spojenými s chemickými látkami a zároveň podpořit

konkurenceschopnost chemického průmyslu v EU. Toto nařízení podporuje také vývoj alternativních metod hodnocení rizik látek s cílem minimalizovat testování na zvířatech. Nařízení REACH se vztahuje na široké spektrum chemických látek, včetně těch, které jsou používány v průmyslových procesech, ale i v běžném životě, jako jsou čisticí prostředky, barviva a látky obsažené v předmětech denní potřeby, jako jsou oblečení, nábytek a elektronika. Toto nařízení proto ovlivňuje většinu společností v EU. Společnosti mají podle REACH povinnost identifikovat a řídit rizika spojená s látkami, které vyrábějí nebo uvádějí na trh v EU. Musí prokázat agentuře Evropské agentuře pro chemické látky (ECHA), jak bezpečně lze látku používat, a sdílet opatření k řízení rizik s uživateli. Pokud není možné rizika účinně řídit, mohou příslušné orgány omezit použití látek nebo je zakázat. Cílem na dlouhodobé bázi je nahradit nebezpečné látky méně škodlivými.

Nařízení bylo zavedeno 1. června 2007 a stanovuje postupy pro shromažďování a hodnocení informací o vlastnostech a nebezpečnosti látek. Společnosti musí registrovat své látky a spolupracovat s ostatními, které stejné látky registrují. Registrace jsou posuzovány agenturou ECHA a následně členskými státy EU, které vyhodnocují potenciální rizika pro lidské zdraví a životní prostředí. Orgány mohou zakázat nebezpečné látky, pokud jsou rizika nekontrolovatelná, nebo omezit jejich použití. (European chemicals agency, n.d.)

2.2.2 Nařízení o klasifikaci, označování a balení

Nařízení č. 1272/2008 Evropského parlamentu a Rady, známé jako Nařízení o klasifikaci, označování a balení (CLP), vychází z globálně harmonizovaného systému Organizace spojených národů. Jeho hlavním účelem je zajistit vysokou úroveň ochrany zdraví a životního prostředí zároveň umožnit volný pohyb chemických látek, směsí a předmětů v rámci EU. Nařízení CLP nahradilo předchozí legislativu, jako byla směrnice o nebezpečných látkách (67/548/EHS), směrnice o nebezpečných přípravcích (1999/45/ES) a nařízení REACH (ES č. 1907/2006). Od 1. června 2015 je jediným platným právním předpisem v EU pro klasifikaci a označování chemických látek a směsí. CLP je závazné pro všechna průmyslová odvětví v členských státech EU. Požaduje, aby výrobci, dovozci a uživatelé chemických látek nebo směsí tyto látky nebo směsi klasifikovali, označovali a balili před jejich uvedením na trh. Hlavním cílem CLP je určit, zda jsou látky nebo směsi nebezpečné, a následně je klasifikovat. Tato klasifikace je základem pro označování látek a směsí, které informuje uživatele o přítomných nebezpečích a nutnosti řídit související rizika. Nařízení CLP stanovuje piktogramy, signální slova a standardní věty pro označování nebezpečnosti, prevenci, odezvu, skladování a likvidaci pro každou třídu a kategorii nebezpečnosti. Dále zahrnuje normy pro bezpečné balení nebezpečných

látek a směsí. Součástí systému CLP jsou také postupy harmonizované klasifikace a označování, alternativní chemické názvy ve směsích, seznam klasifikací a označení a toxikologická střediska, která slouží jako zdroj informací pro nouzové situace ohrožující zdraví. (European chemicals agency, n.d.)

2.3 Rizika nanomateriálů

Anglickým termínem „engineered nanomaterial“ (dále jen „ENM“) je označován nanomateriál, který byl vytvořen buď cíleně anebo omylem, tedy neúmyslně, při nějakém produkčním procesu.

Bezpečnostní strategie nanotechnologií se zabývá analýzou rizik, která zahrnuje tři hlavní propojené složky: hodnocení rizika, řízení rizika a komunikaci o riziku.

Řízení rizik spočívá především v navrhování a implementaci příslušných právních norem a výkonu státního dozoru k zajištění dodržování těchto právních předpisů, tedy provádění úředního dohledu.

Komunikace o riziku představuje vzájemné sdílení informací, včetně výsledků hodnocení rizika a informací důležitých pro rozhodování v procesu řízení rizik, mezi odborníky na hodnocení rizika, manažery a dalšími zúčastněnými stranami.

Hodnocení rizik ENM probíhá postupně a zahrnuje analýzu jejich chemického složení, fyzikálně-chemických vlastností, interakce s biologickými tkáněmi a úrovně potenciální expozice. Když je materiál klasifikován jako ENM a následně testován, výsledky testů poskytují informace o potenciálních nebezpečích, které, v kombinaci s úrovněmi expozice, tvoří základ pro zhodnocení rizik. Proces absorpce a distribuce ENM v organismu závisí na jejich chemickém složení a fyzikálně-chemických vlastnostech. (Filipová et. al, 2012)

2.3.1 Hodnocení toxicity

Z hlediska toxicity lze částice rozdělit na primární částice, které jsou cíleně syntetizovány (známé jako ENM) a sekundární částice, které vznikají jako nechtěný produkt v různých spalovacích, fyzikálních nebo chemických procesech. Sekundární částice mohou být vytvářeny během degradace materiálu, což může nastat v mechanických nebo termálních procesech, nebo interakcí primárních částic s jinými komponenty.

Primární částice, které jsou cíleně syntetizovány, mohou mít oproti NČ vytvořeným náhodně v prostředí homogenní tvar a rozměr. Expozice těmto ENM může vést k vyšším dávkám materiálu s biologicky specifickými charakteristikami, jako je velká plocha povrchu a reaktivita, i když samotná dávka materiálu (hmotnosti) je relativně nízká. (Filipová et. al, 2012)

Existuje několik faktorů, které ovlivňují toxicitu konkrétní látky. Dle Motyky (2019) se jedná o druh jedince, kdy u některého organismu může být látka po vstupu přeměněna na látku netoxickou a u jiného může být vysoce toxická. Dále se také zmiňuje o velikosti jedince, věku jedince a pohlaví, které má na toxicitu také vliv, zejména rozdílné hormony typické pro ženy a pro muže. Mezi další faktory patří strava jedince, jeho fyzická aktivita, stres a hormonální stav. Motyka říká, že nejvíce ovlivňují toxicitu částic fyzikálně-chemické vlastnosti toxikantu. Jedná se například o rozpustnost ve vodě, v olejích, chemická stabilita, velikost částic a jeho krystalická forma. Nejvíce ale ovlivňuje toxicitu materiálu způsob a míra jeho expozice.

2.3.2 Expozice nanomateriály

Existují možnosti, kterými lze do lidského těla dostat nanomateriál a jedná se o tři základní způsoby:

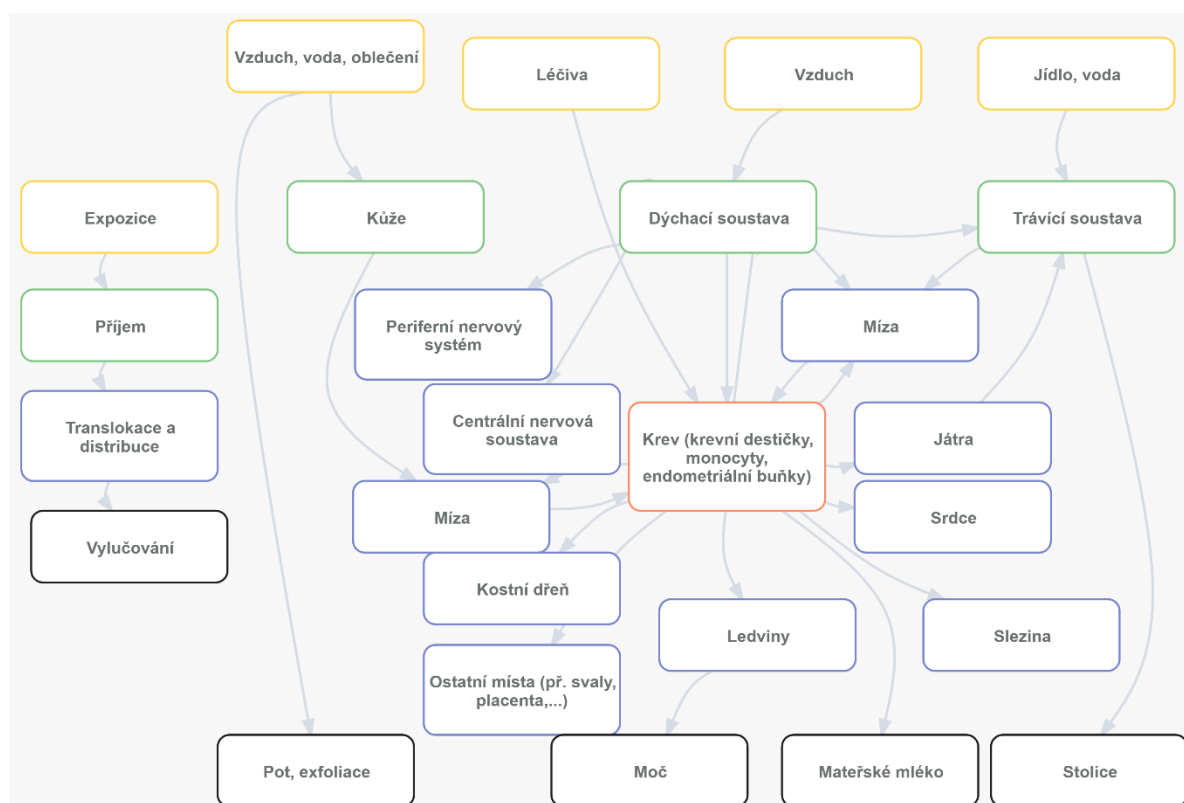
- Inhalace dýchacími cestami – u inhalovaných umělých nanomateriálů je pravděpodobným cílovým místem zasažení plíce. Existují důkazy naznačující, že inhalace nanomateriálů může způsobit zánětlivé reakce, ale faktory ovlivňující závažnost těchto reakcí ani dlouhodobé zdravotní dopady expozice nanomateriálům touto cestou nejsou stále zcela pochopeny. Epidemiologické studie týkající se účinků znečištění ovzduší naznačují, že lidé vdechující vzduch obsahující velké množství ultra jemných částic (včetně NČ) mohou být náchylnější k onemocnění kardiovaskulárního systému, ale relevanci tohoto zjištění je třeba dále zkoumat. (Bozp.cz, 2022)
- Vstřebání skrz kůži – kromě inhalace mohou nanomateriály také přijít do kontaktu s kůží a gastrointestinálním traktem v důsledku expozice na pracovišti. Existuje omezený výzkum týkající se účinků nanomateriálů na kůži s výjimkou těch, které jsou používány v kosmetických přípravcích. Je očekáváno, že veškeré účinky na kůži budou omezeny na místa kontaktu. Studie zkoumající absorpci nanomateriálů kůží naznačují, že množství absorbované prostřednictvím kůže je obvykle nízké. (Bozp.cz, 2022)
- Přímé požití ústy – nanomateriály mohou vstoupit do lidského těla také prostřednictvím trávicího traktu, tedy přímým požitím ústy, například konzumací potravy, pitím, aplikací kosmetiky nebo užíváním léků. Studie ukázaly, že titanové částice o velikosti 150-500 nm, které jsou větší než ty obvykle používané v opalovacích krémech, mohou být absorbovány střevy a dále se dostat do jater a sleziny. Více informací o osudu požitých částic můžeme získat ze studií radioaktivních kovů, které ukázaly, že nanomateriály mohou projít z gastrointestinálního systému do dalších orgánů. Nicméně, obecné závěry

o osudu nanomateriálů, které vstoupí do trávicího traktu v důsledku expozice na pracovišti, zatím nejsou k dispozici. (Bozp.cz, 2022)

Danihelka (2016) uvádí, že riziko spojené s používáním nanotechnologií v obalech potravin také souvisí s možností migrace nanomateriálů do potravin. Aktuálně je k dispozici jen málo údajů o této migraci, ale dostupné informace zatím naznačují velmi nízkou úroveň migrace.

Obrázek 2

Příjem a následná distribuce nanočástic v živočišných tělech



Poznámka. Zdroj: (Vlastní, zpracováno dle: Motyka, 2019)

2.3.3 Oxidační stres

V případě ideálních podmínek je v organismu rovnováha mezi antioxidanty (dále jen „AOX“) a reaktivními formami kyslíku (ROS). Tato rovnováha je jedním z významných parametrů homeostáze, jelikož redoxní stav ovlivňuje rozsáhlé množství signálních molekul. (Filipová et. al, 2012)

Přebytek reaktivních forem kyslíku může potenciálně vyvolat biologickou odpověď v podobě oxidačního stresu. Tento stav nastává kvůli nesouladu mezi tvorbou reaktivních forem a schopností biologického systému neutralizovat tyto vedlejší produkty nebo opravit způsobené

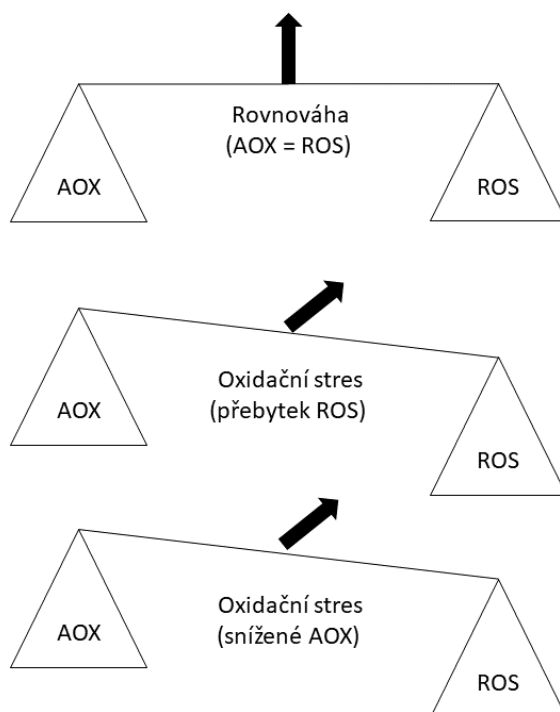
poškození. Buňky mohou reagovat na nadměrnou produkci aktivací různých enzymatických a neenzymatických antioxidačních mechanismů. (Sies, 1997; Walters et. al, 2016)

Oxidační stres je stav, který může nastat, v případě, že je v těle příliš velké množství volných radikálů, tedy nestabilních molekul a zároveň příliš malé množství antioxidantů. Tento stav může vést k trvalému poškození buněk a tkání. Vyobrazeno na Obr.3. (Národní zdravotnický informační portál, 2024)

Studie provedené jak in vivo (na živém organismu), tak in vitro (mimo živý organismus) potvrzují, že nanomateriály mohou vyvolat toxické účinky zvýšením koncentrace mezibuněčných ROS a/nebo koncentrace signálních molekul spojených s vznikem zánětu, jako jsou histamin a cytokiny. Tyto ROS mohou narušit homeostatickou redoxní rovnováhu v organismu. Transkripci mnoha genů spojených se zánětlivou odpovědí také zvyšují NČ, včetně faktoru nádorové nekrózy α a interleukinů, což má za následek oxidační stres, který může vést k poškození DNA a následné apoptóze (programované buněčné smrti). (Motyka, 2019)

Obrázek 3

Oxidační stres je výsledkem nerovnováhy mezi hladinou antioxidantů a reaktivních kyslíkových forem.



Poznámka. Zdroj: (Vlastní, zpracováno dle: Filipová et. al, 2012)

2.3.4 Vliv nanočástic na člověka

Vdechnutí je jedno z hlavních způsobů příjmu NČ do lidského těla. V horních cestách dýchacího ústrojí, kde se nachází čichový bulbus, který je součástí centrální nervové soustavy a je těsně propojen s respiračním systémem, mohou být zachycené NČ transportovány po axonech neuronů směrem k mozku, přičemž obcházejí hematoencefalickou bariéru. Tato bariéra, která odděluje mozkovou tkáň od krevního oběhu, má za úkol chránit mozek před vstupem patogenů přítomných v krvi. Tuto bariéru jsou schopny NČ malých rozměrů překonat, což bylo prokázáno u laboratorních zvířat v případě NČ Cu a Ag. (Motyka, 2019)

Morones et. al, (2005) popsali několik možných účinků těchto NČ. Toxicita u NČ stříbra může být vykazována pomocí různých mechanismů. Jedním z těchto mechanismů je změna vlastností buněčných membrán, kdy se NČ zachytí na membránách a ovlivní jejich průchodnost a metabolické procesy buněk. Dále mohou NČ pronikat dovnitř buněk a způsobovat poškození DNA. Také mohou uvolňovat toxické ionty stříbra (Ag^+) do buňky, což přispívá k jejich toxickému účinku.

V případě, že je ryzí metalické stříbro rozptýleno a rozloženo v destilované vodě, je označováno jako koloidní stříbro. V tomto případě je jeho velikost menší, než velikost bakterií a využívá se pro svou baktericidní schopnost bakteriím a virům čelit. (Šiftová, 2008)

2.4 Využití nanomateriálů při ochraně dýchacích orgánů

Pro ochranu před expozicí NČ a nanomateriálů jsou klíčové prostředky pro ochranu dýchacích cest. Na trhu jsou dostupné různé typy ochranných prostředků, včetně filtračních polomasek, filtračních masek a ochranných prostředků s ventilací. Filtrační polomaska Obr.4, obecně označovaná jako respirátor, kryje nos, ústa a bradu a může obsahovat výdechový ventil. Důležitým faktorem je zajistit, aby těsně seděla na obličeji uživatele, i při pohybu hlavou a při různých typech pokožky (suchá nebo vlhká). Účinnost filtrace je označována třídami FFP1, FFP2 a FFP3 u respirátorů a třídami P1, P2 a P3 u filtrů proti částicím připojených k vhodné celooobličejové masce, polomasce nebo prostředku s pomocnou ventilací. Nejvyšší účinnost mají vždy výrobky s indexem 3. (Skřehot & Rupová, 2011)

Standardy FFP (FFP2, FFP3) jsou navrženy tak, aby testovaly schopnost respirátorů zachytit částice o velikosti 360 nm. Avšak viry, jako je koronavirus, jsou obvykle menší, s rozměry kolem 100 nm až 180 nm. Přestože certifikace FFP2 nebo FFP3 poskytuje určitou úroveň ochrany, není to záruka, že respirátor poskytne dostatečnou ochranu proti virům, jako je koronavirus. Nanovlákná membrána použitá v respirátorech umožňuje zachytit i tyto ultrajemné částice. Díky velmi husté síti nanovláken jsou nano-respirátory extrémně účinné

při zachycování virů a bakterií, které by jinak prošly konvenčními respirátory. Tato technologie zlepšuje ochranu před infekcemi přenášenými vzduchem. (NanoSpace, n.d.)

Obrázek 4

Filtrační polomaska třídy FFP2



Poznámka. Zdroj: (NanoSpace, n.d.)

U průmyslových respirátorů je nejmenší částice zachycována na elektrostaticky nabitě netkané textilii meltblown. Avšak tato textilie ztrácí svou účinnost pro zachytávání drobných částic virů a bakterií, protože vlhkost z dechu uživatele narušuje elektrostatické vlastnosti. Na rozdíl od průmyslových respirátorů jsou nano respirátory vybaveny nejen elektrostaticky nabitým filtrem z netkané textilie meltblown, ale také mnohem účinnější nanovláknennou membránou. Filtr z netkané textilie meltblown se stará o zachycení větších nečistot, zatímco nanovláknenná membrána je schopna zachytit i nejmenší částice, včetně virů a bakterií, díky své stonásobně vyšší hustotě. Použitím nano respirátoru uživatel vlastně využívá dva účinné filtry současně, což mu poskytuje efektivní ochranu před vdechnutím virů a bakterií. Na rozdíl od průmyslových respirátorů nano respirátory udržují svou účinnost i při zvlhčení během nošení a skladování, což představuje významnou výhodu. (Mobler, n.d.)

2.4.1 Meltblown

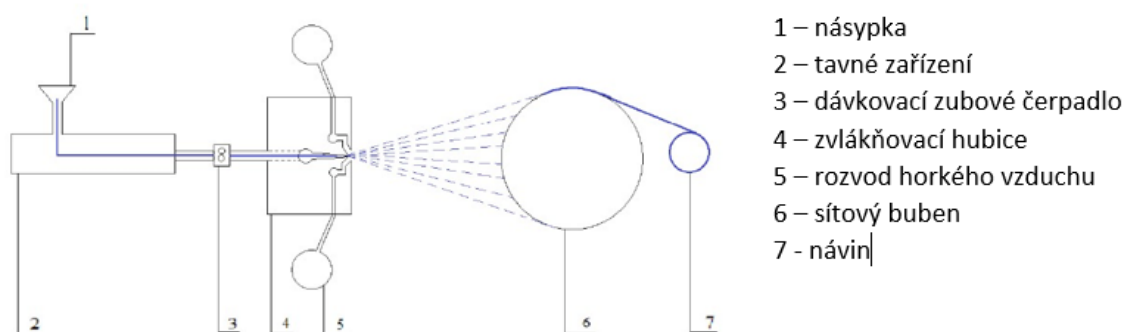
Název technologie Meltblown pochází z procesů, které se při ní odehrávají: melt=tavení a blown=foukání. První výrobní linka této technologie byla uvedena v České republice (ČR) v roce 1992 firmou Ecotherm Mělník.

Meltblown je technologie, která spočívá v tavení a rozfukávání polymerů. Nejčastěji používanými polymery jsou polyamid, polyester, polyetylen a polypropylen. Ke zpevnění textilií vyrobených touto technologií se využívá metoda kalandrování. (Michetslägerová, 2016)

Z násypky je polymer dopravován zásobníkem do tavného zařízení, kde je rozpouštěn. Roztavený polymer je poté přepraven k hubici, která obsahuje několik otvorů pro vytváření vláken. V této fázi je polymer formován do vláken, kdy horký vzduch pomáhá při jejich oddělování. Poté se na vlákna aplikuje studený vzduch, což způsobí jejich prodlužování. Výsledná vláknitá vrstva je pak uspořádána na sběrný buben nebo pás, kde probíhá spojování a navíjení. Tento proces je zobrazen na Obr. 5 a Obr.6. (Michetslägerová, 2016)

Obrázek 5

Schéma stroje pro technologii Meltblown

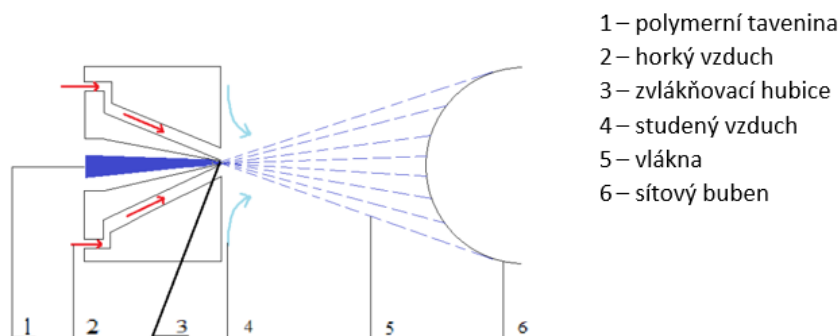


Poznámka. Zdroj: (Michetslägerová, 2016)

Díky svým výjimečným vlastnostem mají textilie vyrobené technologií Meltblown široké spektrum možného využití. Jsou využívány jako filtrační materiál a textilní prachovky, kde vyniká jejich vysoká jemnost. Dále se používají jako různé hygienické a ochranné pomůcky, jako jsou například roušky, masky a ochranné oděvy. Jsou také oblíbené pro speciální oděvy pro čisté prostory a čisticí utěrky. (Michetslägerová, 2016)

Obrázek 6

Zvětšená zvlákňovací tryska



Poznámka. Zdroj: (Michetslägerová, 2016)

2.4.2 Nanovlákná

Nanovlákná jsou nositeli specifických charakteristik. Díky svému extrémně malému průměru mají vysoký měrný povrch. Jejich vnitřní struktura je silně krystalicky orientovaná, což jim dodává vysokou pevnost. Další významnou vlastností je trvalý elektrostatický náboj, který je vázán na materiál. Nanovláknenné vrstvy jsou také velmi porézní, přičemž póry mají malé rozměry. Tato charakteristika je zvláště důležitá pro účinnou filtraci.

Momentálně existuje více způsobů, jak vyrobit nanovlákná. Patří mezi ně dloužení, podložková syntéza, samo-organizování, fázová separace a elektrostatické zvlákňování. (Smýkalová, 2014)

Drawing, tedy dloužení – jedná se o proces, který se svým principem podobá zvlákňování za sucha ve vlnářském průmyslu. Tímto způsobem jsou produkována velice dlouhá jednotlivá vlákna. (Blešová, 2007)

Elektrospinning, tedy elektrostatické zvlákňování - častá metoda výroby nanovláken. Při této metodě se ultra jemná vlákna vytvářejí z polymerního roztoku nebo taveniny pomocí elektrostatických sil. Většinou se polymery zvlákňují ve formě roztoku, jelikož polymerní taveniny s vyšší viskozitou neumožňují tvorbu jemných vláken. Metoda Nanospider, známá také jako válečková metoda, je modifikovanou variantou elektrostatického zvlákňování z roztoků polymeru. Tento postup umožňuje vytvářet vlákna na tenkých vrstvách polymerního roztoku bez použití trysky nebo kapiláry, což nazýváme bezjehlové zvlákňování. Vlákna jsou formována elektrostatickým polem z tenké vrstvy polymerního roztoku a následně sbírána z kolektoru ve formě netkané textilie. Průměr těchto vláken se obvykle pohybuje mezi 100 a 300 nm a plošná hmotnost se typicky pohybuje v rozmezí 0,1 až 5 g/m². (Honková, 2021)

Template synthesis, tedy podložková syntéza - metoda využívající membránu s nadrozměrnými póry k vytváření nanovláken nebo nanotrubiček z různých materiálů, jako jsou elektricky vodivé polymery, kovy, polovodiče a uhlík. Tímto postupem však není možné získat jednotlivá nanovláčna.

Phase separation, tedy fázová separace - probíhá za využití několika po sobě jdoucích kroků:

- rozpouštění;
- želatinace;
- extrakce (za použití různých rozpouštědel);
- zmrazení;
- sušení;

Tyto kroky vedou k vytvoření nanorozměrné pórovité hmoty nebo pěny. Tento proces vyžaduje časově náročný přechod pevného polymeru na nano-porézní pěnu.

Self assembly, tedy samoorganizace, je proces, při kterém se jednotlivé funkční mechanismy automaticky organizují do požadovaných vzorců a funkcí. Tento proces zahrnuje časově náročné zpracování kontinuálních polymerních nanovláken. (Blešová, 2007)

2.4.3 Membrána a membránové procesy

Sarbatly et. al (2021) se v práci zaměřené na výhody nanovláknenných membrán mimo jiné zmiňují, že: „Membránová technologie se v posledních desetiletích stala významnou separační technikou. Převaha membránové technologie nad konvenční separací spočívá v tom, že pracuje s relativně nízkou spotřebou energie, vyžaduje malou plochu, nevyžaduje přidávání chemikálií a snadno se obsluhuje. Membránová separační technologie využívá polopropustnou membránu, která funguje jako filtr propouštějící menší částice, zatímco částice větší než její póry zadržuje. Membránová technologie se skládá z několika různých separačních procesů, které jsou si obdobné tím, že jako separační nástroj se používá membrána. Příklady membránových separačních procesů jsou mikrofiltrace, ultrafiltrace, nanofiltrace, reverzní osmóza, přímá osmóza, pervaporace, separace plynů, membránová destilace a elektrodialýza.“

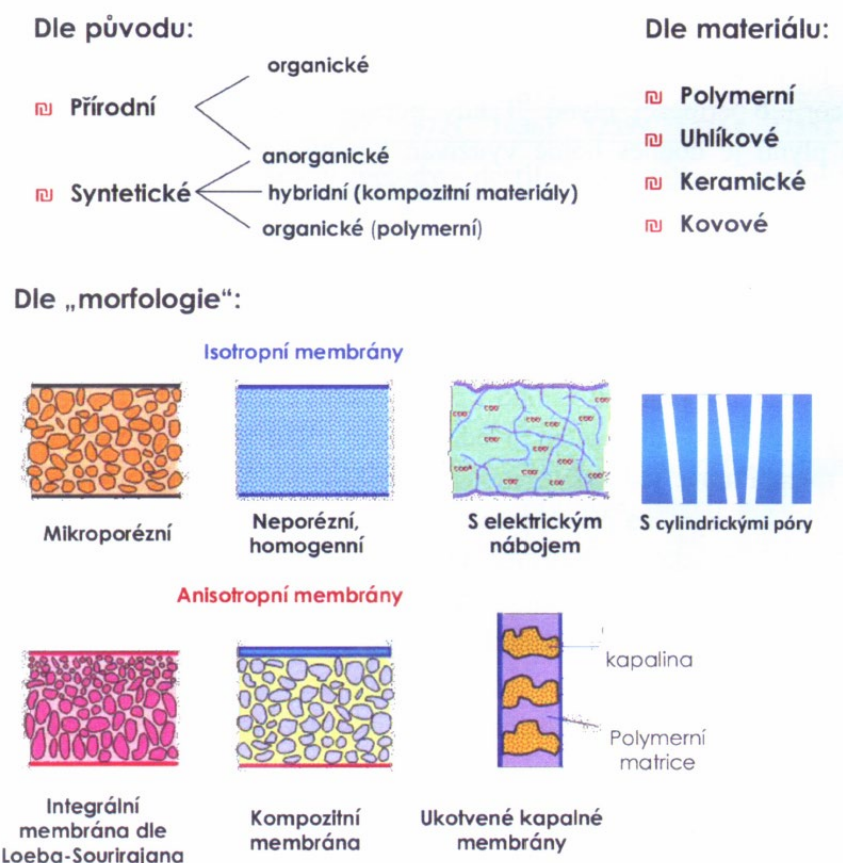
Membrány představují zásadní součást membránových procesů a jsou klíčové pro optimalizaci kvality a výkonnosti těchto procesů. Jsou považovány za multifunkční bariéry, které oddělují různá média a selektivně umožňují či brání transportu látek. Jejich úloha je zajišťovat vysoce selektivní separaci látek v širokém spektru aplikací, včetně výroby pitné vody, energetických transformací, tkáňové regenerace, balení, separace v potravinářském průmyslu,

chemickém průmyslu, automobilovém průmyslu, elektronice a dalších odvětvích. Kromě tradičních separačních funkcí se membrány stále častěji využívají i pro katalytické reakce v membránových reaktorech a jako membránové stykače pro fázový kontakt. (CZEMP, n.d.)

Hlavním prvkem každého membránového separačního procesu je separační membrána, která působí jako pasivní nebo aktivní bariéra mezi dvěma fázemi. Tato membrána umožňuje selektivní transport jednotlivých složek dělené směsi skrze ni, což je způsobeno rozdílnou rychlostí transportu jednotlivých složek membránou. (Šípek, 2018) Rychlost transportu je ovlivněna velikostí hnacích sil, pohyblivostí a koncentrací jednotlivých složek v membráně. Tyto hnací síly mohou zahrnovat gradienty chemického potenciálu (tlaku a koncentrace), elektrického potenciálu, teploty a gravitačního zrychlení. Separací membrány, které jsou semipermeabilní nebo permselektivní, jsou klasifikovány podle jejich původu a morfologie. (Peter, 2016) Membrány pro separaci plynů lze klasifikovat podle povahy separační vrstvy na polymerní a anorganické. (Šípek, 2018) Technologií výroby je možno ovlivnit vnitřní mikrostrukturu membrán a vytvořit tak membrány porézní a membrány neporézní. (Palatý, 2012) Rozdělení jednotlivých druhů membrán je zobrazeno na Obr.7.

Obrázek 7

Klasifikace separačních membrán



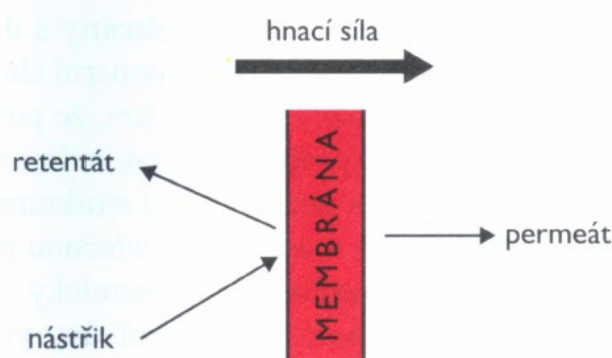
Poznámka. Zdroj: (Peter, 2016)

Porézní membrány mají strukturu kanálků, označovány jako póry, které propojují obě strany membrány. Velikost jednotlivých pórů určuje, jak vysokou mají porézní membrány dělicí schopnost. Vlastnosti materiálu, ze kterého je membrána vyrobena, mají obvykle zanedbatelný vliv. Porézní membrány mohou být vyrobeny z organických, ale i anorganických materiálů. Neporézní membrány transportují dělené složky za pomoci difúze. Konvektivní tok tekutin není strukturou neporézní membrány možný. Dělení složek v těchto membránách je prováděno na základě rozdílných difuzit jednotlivých složek a rozpustností v membráně. Vyráběny jsou nejčastěji z polymerních organických materiálů, a to z důvodu příliš nízké difuzity a rozpustnosti u praktických aplikací pro anorganické materiály. (Palatý, 2012)

Na Obr.8 je zachycen charakteristický fyzikální princip transportu nebo zadržení látek každého separačního membránového procesu. Látky přivedené k povrchu separační membrány jsou nazývány nástřík. Látky, které membránou vůbec neprocházejí, tvoří retentát, zatímco látky, které polopropustnou membránou procházejí jsou nazývány permeát, nebo pervaporát v případě pervaporace. (Šípek, 2014)

Obrázek 8

Schéma membránové separace



Poznámka. Zdroj: (Šípek, 2018)

Šípek (2018) membrány studuje z hlediska účinností separací plynů a par a stanovuje podmínku, že: „Separační membrána musí mít určité specifické vlastnosti tzn. dostatečnou mechanickou a chemickou stálost, hlavně však dostatečnou propustnost (výkon) a dělicí schopnost (selektivitu). Selektivita se kvantitativně vyjadřuje jako separační faktor, který je dán poměrem složení permeátu ke složení nástříku. Složení lze vyjádřit pomocí molárních nebo hmotnostních zlomků.“

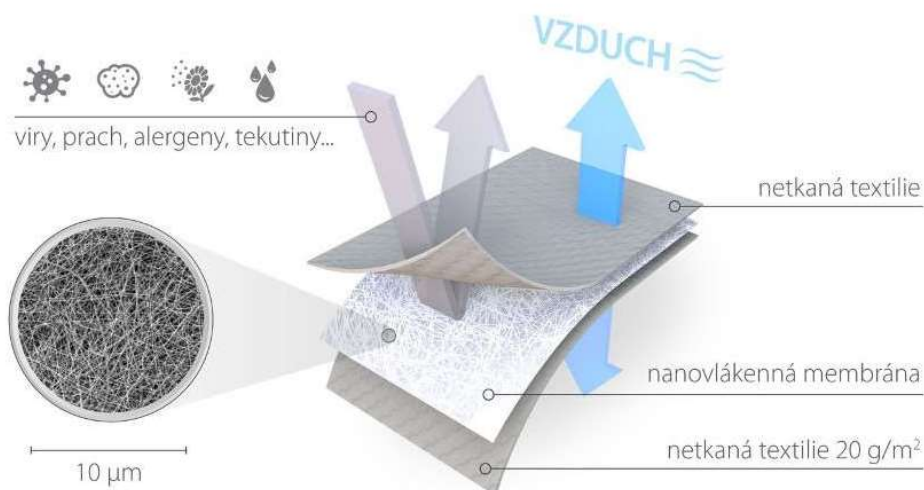
2.4.4 Nanovláknenná membrána

Nanovláknenná membrána je netkaná textilie vytvořena z náhodně propletených a spojených nanovláken pomocí electrospiningu. Nanovláknena je možno vyrábět více způsoby, jako je například fázová separace nebo podložková syntéza, ale electrospinning je nejčastěji využívaná metoda pro výrobu nanomembrán. Díky svým vnitřním vlastnostem, jako je vysoce porézní struktura, malá velikost pórů a velký měrný povrch se staly významným nástrojem pro separační procesy. V současné době jsou tyto membrány využívány pro různé aplikace v oblasti odsolování, filtrace vody a vzduchu, tkáňového inženýrství, ochranných oděvů a spoustu dalších. (Sarbatly et. al, 2021)

Nanovláknena používaná jako filtrační materiál v rouškách a respirátorech fungují na principu mechanického zachycení částic. Díky této struktuře jsou schopna účinně zachytit i velmi malé částice, jako jsou viry a bakterie, aniž by jejich funkčnost byla ovlivněna vlhkostí z dýchání nebo dlouhodobým nošením. To znamená, že filtrační účinnost zůstává nezměněna ani při dlouhodobém používání a není snížena kondenzací vlhkosti z dýchání. (Spur, n.d.) Na Obr.9 je zobrazena struktura filtru s nanomembránou.

Obrázek 9

Filtr s nanomembránou



Poznámka. Zdroj: (Čížek, 2020)

Nanovláknenná membrána s příměsí aktivního stříbra je díky jeho antibakteriálním vlastnostem velmi účinná v boji proti bakteriím a virům. Nanovláknena a nízká poréznost membrány zajišťují zachyt i těch nejmenších bakterií, virů a alergenů. Nanostříbro, které bylo

vyhodnoceno jako jedna z nejlepších antimikrobiálních látek, v membráně zabraňuje množení a přežívání těchto mikroorganismů. (NANO4FIBERS, n.d.)

Obrázek 10

Detail nanovláknenné membrány s aktivním stříbrem



Poznámka, Zdroj: (NANO4FIBERS, n.d.)

2.5 Využití ochrany dýchacích cest v IZS

Prostředky ochrany dýchacích cest jsou součástí vybavení také příslušníků IZS. V praxi je využíváno mnoho druhů těchto prostředků, přičemž se využití konkrétních typů liší na základě závažnosti situace i druhu sboru, u kterého je prostředek využíván. Obecně jsou využívány dva způsoby ochrany, a to ochrana filtrační a izolační. Filtrační ochrana funguje na principu filtrace vdechovaného vzduchu od škodlivin pomocí ochranných masek s filtry, polomasek a roušek. Izolační ochrana je realizována pomocí izolovaného zdroje, ze kterého je vdechován vzduch nebo kyslík. Jedná se o izolační a dýchací přístroje.

Momentálně jsou u IZS využívány roušky, respirátory, filtrační polomasky a celoobličejové masky pro ochranu jednotlivých pracovníků těchto složek. Využívány jsou především uhlíkové

filtry s třídou účinnosti P3 a respirátory FFP2. Dále se také využívají přetlakové masky a WPA nanomasky H105581 s nanofiltrem. (Osobní sdělení, 10. dubna 2024)

Do této kategorie spadají také prostředky individuální ochrany. V současné době jsou v oblasti ochrany dýchacích cest k dispozici tyto prostředky:

- dětské ochranné vaky;
- dětské ochranné kazajky;
- dětské ochranné masky;
- ochranné masky pro dospělou populaci.

K ochranným maskách náleží také filtry, které je nutno našroubovat, aby fungovaly. Existuje také několik typů těchto filtrů, které jsou označeny na základě sorbční kapacity. (Hasičský záchranný sbor České republiky, n.d.)

2.6 Rozvoj v souvislosti s koronavirem SARS-CoV-2

Situace spojená s pandemií Covid-19 způsobila, že bylo nutno zaměřit se na řešení problému i z pohledu vědy. Bylo třeba zastavit, nebo alespoň zpomalit šíření virů mezi obyvateli. K tomu bylo zapotřebí nových poznatků a technologií.

Tento impuls byl vyslán z TUL, kde se během několika týdnů začaly využívat nanotextilie pro ochranu dýchacích cest. Fulková (2020) ve svém článku uvádí: „Liberecký kraj v době začátku celorepublikového stavu nouze vyhlášeného kvůli koronaviru nečekal na pomoc vlády ČR a sám začal vyjednávat možnost a způsoby výroby osobních ochranných pomůcek přímo v regionu. Ve spolupráci s Technickou univerzitou v Liberci a s místními společnostmi DryLock Technologies s.r.o. a Elmarco s.r.o., které podnikají ve výrobě netkaných textilií a nanomateriálů, byl kraj schopen během několika dnů zajistit výrobu 100.000 ks nanofiltrů denně. Liberecký kraj jimi zásoboval zdravotníky, hasiče, policisty i pracovníky v sociálních a pobytových službách.“

Jetmarová a Trčka (2022) použili kvalitativní výzkumnou strategii a poznatky získaly z několika hloubkových rozhovorů s hlavními představiteli celé iniciativy Roušky s TULkou. „Rozhovory probíhaly od prosince 2020 do dubna 2021, vzhledem k pandemické situaci musela být většina rozhovorů realizována v online prostředí, kde byly rovněž se svolením dotazovaných fixovány. Kde to bylo možné, byly rozhovory důsledně anonymizovány. V případě některých aktérů ovšem ponecháváme u pseudonymu akademický titul z toho důvodu, že uvedení pozice v akademické hierarchii je nezbytné pro pochopení jejich specifické role v týmu.“

Hlavním aktérem byl prof. N (TUL), který na přelomu ledna a února 2020 uspořádal informační seminář o koronaviru pro členy svého týmu a to na základě varovných signálů, které

vycházely ze všech částí světa zasažených pandemií. Začal uvažovat o materiálu, který by byl schopen zachytit a přefiltrovat i ty nejmenší částice virů a využít ho tak pro ochranu dýchacích cest. Se svými spolupracovníky začal tyto materiály později testovat. Prof. N zkoumal a testoval různé typy ochrany dýchacích cest. První verzi ochranné roušky vytvořil v druhém březnovém týdnu, když události začaly nabírat dramatický spád a na našem území byl vyhlášen první lockdown. První prototyp roušky vytvořil doma na šicím stroji dle návodu, který si našel na youtube a netěsnost roušky v oblasti nosu vyřešil rozloženou kancelářskou sponkou, kterou vložil do roušky. Následně představil tento prototyp na zasedání na TUL, kde obdržel podporu a laboratorní zázemí univerzity. V se účastnil schůzky na Českém vysokém učení technickém (ČVUT), která se zaměřila na přínos technických vysokých škol v boji s pandemií. Zde se setkal s dr. V z Ústavu chemických procesů Akademie věd (AV) ČR, který náhodně disponoval testovacím zařízením určeným k testování materiálů na zachyt částic viru. Na tomto zařízení byla provedena zkouška vyvíjené nanotextilie a dalších ochranných pomůcek. V následujících dnech požádal profesor N svůj tým a přátele z Fakulty strojní, aby se zapojili do improvizované výroby roušek, a tým začal pracovat v laboratoři. Během této doby inženýři vyvinuli prototyp zvlákňovacího zařízení, na kterém byly vyrobeny první vzorky textilie. Ty byly následně převezeny k testování do laboratoře dr. V. Zjistilo se, že i když tato technologie nebyla původně určena k výrobě filtrů, vyvinutá nanotextilie má výjimečné filtrační vlastnosti. Místnost Ústavu pro nanomateriály, pokročilé technologie a inovace na TUL se stala dočasnou šicí dílnou, kde začaly vznikat roušky z nové textilie. Dobrovolníci z různých fakult TUL se střídali u šicích strojů. Univerzita podepsala dohodu s Libereckým krajem, ve které se zavázala, že veškerý materiál, s výjimkou testovacích vzorků, bude poskytován výhradně Krajskému krizovému štábu. Od 16. 3. 2020 se do výroby roušek zapojovaly i externí subjekty: kraj uzavřel smlouvy se šicími dílnami, které TUL poskytovala materiál pro šití roušek, a Severochema (český výrobce chemických produktů) začala zajišťovat dodávky denaturovaného lihu pro výrobu polymeru, základní suroviny pro nanovláknenné textilie. Do 19. 3. 2020 TUL ve spolupráci s externími subjekty odevzdala Krajskému krizovému štábu přibližně 3 000 jednorázových roušek a poskytla šicím dílnám 10 km materiálu, z něhož bylo vyrobeno přibližně 18 000 roušek. Nicméně, v situaci, kdy byl nedostatek ochranných prostředků, se produkce hotových nanovláknenných roušek ukázala jako málo efektivní. Tým navrhl efektivnější řešení, které mělo potenciál ochránit širší skupinu uživatelů: nanovláknenné filtry, které by bylo možné vložit do bavlněných kapsových roušek. Prof. Z, další klíčový aktér iniciativy, navrhl výzvu, která by oslovovala podnikatele a firmy, schopné vyrábět filtry do roušek podle určených parametrů, a zároveň byla k výrobě bavlněných kapsových roušek vyzvána široká veřejnost. Externí společnosti se zapojily do výroby ochranných prostředků. Firma Elmarco poskytla své výrobní kapacity a začala vyrábět

nanotextilii pro výrobu filtrů. Pobočka společnosti Drylock z Hrádku nad Nisou, specializující se na výrobu dětských plenek, přestavěla svou nečinnou linku a adaptovala ji na výrobu nanovlákněných filtrů do roušek. Do výroby filtrů se zapojila také firma Obrokov ze Šanova, která spustila výrobu filtrů z mikrovláknitého materiálu meltblown. Tento materiál byl následně distribuován široké veřejnosti prostřednictvím e-shopu firmy Adler.

Když se výroba ochranných prostředků rozjela, studenti jako členové týmu začali kontaktovat představitele vládních institucí a informovali je o možnostech domácí výroby ochranných prostředků s využitím místního know-how a domácích firem. Avšak vláda neprojevila zájem o spolupráci podle všech oslovených aktérů. Dne 4. května 2020 byla výroba nanofiltrů a nanoroušek ukončena. Univerzita dodala Krajskému krizovému štábu 65,5 km materiálu z nanovláken a meltblownu. Zároveň dodala přes 30 500 kusů nanofiltrů a 4 700 jednorázových nanoroušek. Externí firmou Drylock bylo vyrobeno přes 2 000 000 kusů filtrů a prostřednictvím e-shopu Adler bylo prodáno přes 20 000 000 kusů filtrů. Během necelých dvou březnových týdnů se tedy podařilo vytvořit a optimalizovat filtrační materiál, následně zajistit jeho průmyslovou výrobu a dále distribuovat široké veřejnosti. (Jetmarová & Trčka, 2022)

2.6.1 Dostupnost prostředků pro ochranu dýchacích cest v pandemii

V době pandemie byly prostředky pro ochranu dýchacích cest, zejména respirátory třídy FFP2, velmi nedostatkovým zbožím. Z toho důvodu byla vláda České republiky nucena zajistit dodávky těchto produktů. Ministerstvo zdravotnictví ČR uzavřelo v březnu 2020 smlouvu na dodávku jedenácti tisíc respirátorů třídy FFP1, kdy za jeden kus byla účtována částka 390 Kč. Dále také byla podepsána smlouva o dodání devíti tisíc respirátorů třídy FFP2 za bezmála 900 Kč za jeden kus. V obou případech se jedná o nákup osvobozený od platby DPH. Mluvčí Ministerstva zdravotnictví uvedla, že tyto cenové podmínky museli být z důvodu nedostatku ochranných prostředků zejména pro zdravotnické pracovníky bezpodmínečně akceptovány. V případě, že by existovala levnější varianta, bylo by jí využito. Dále mluvčí uvedla, že tato vysoká cena za jeden kus byla akceptována pouze pro první urgentní dodávky a následně vyjednalo nižší cenu a to na 641 Kč za 1 kus respirátoru třídy FFP2. I přes tuto sníženou cenu nakupovala Česká republika jedny z nejdražších respirátorů v Evropě. (Holcová, 2020)

3 CÍLE

- 1) Na základě literární rešerše zjistit, jak významné jsou hrozby a z nich plynoucí rizika používání nanomateriálů při ochraně dýchacích orgánů nejenom běžného obyvatelstva, ale i příslušníků integrovaného záchranného systému.
- 2) Pozornost zaměřit na nanomateriály a výrobky z nich zhotovené, které byly vyhodnoceny jako zdraví škodlivé v souvislosti s pandemickou situací SARS-CoV-2. Zdravotní rizika konzultovat s odborníky.
- 3) Formou sociologického (dotazníkového) šetření (výzkumu) zjistit u vybraného vzorku laické a odborné veřejnosti aktuální informace a názory týkající se technologií výroby nanomateriálů. Získaná data kriticky zhodnotit a navrhnout možné přístupy ke zlepšení současného stavu.

3.1 Omezení cílů práce

Na základě doporučení vedoucího práce bylo ustoupeno od realizace vlastního výzkumného šetření.

3.2 Výzkumné otázky

- 1) Byly vyhodnoceny některé nanomateriály jako zdraví škodlivé v souvislosti v pandemií SARS-CoV-2?
- 2) Jaké se u jednotlivých složek IZS využívají prostředky pro ochranu dýchacího ústrojí a jsou to prostředky zhotovené z nanomateriálů?
- 3) Jaká je dostupnost prostředků pro ochranu dýchacích orgánů v běžných obchodech a institucích oproti době pandemie?

4 METODIKA

Teoretická část práce byla zpracována na základě literární rešerše a rešerše internetových zdrojů týkajících se zejména nanomateriálů a výrobků z nich zhotovených pro ochranu dýchacího ústrojí. Důraz je kladen především na ochranu dýchacích orgánů nanovláknennými rouškami a respirátory. Dále je též pojednáno o legislativě nanomateriálů, historii, výrobě a druzích nanomateriálů. Je zde také část, která se věnuje ostatním produktům zhotovených z nanomateriálů.

Pro zpracování byla využita historicko-popisná metoda. Byla provedena klasifikační a vztahová analýza pro zjištění a určení vzájemných vztahů mezi získanými daty. Dále také systémová analýza, pro pochopení a schopnost vysvětlení dané problematiky rizik nanomateriálů. Další využitou metodou byla syntéza získaných dat. V práci byla použita také metoda dedukce a indukce, a to pro práci s předpoklady a následnými výsledky, které díky těmto metodám byly nalezeny. Poslední využitou metodou byla metoda komparace, která byla aplikována zejména v praktické části práce.

5 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU A ZJIŠTĚNÉ VÝSLEDKY

V této kapitole jsou analyzovány a následně porovnány jednotlivé získané poznatky a vyhodnoceny výzkumné otázky. Je zde vysvětleno a následně porovnáno, jaký je současný stav využití prostředků ochrany dýchacích cest u příslušníků IZS, kvalita těchto prostředků a změny tohoto vybavení po pandemii Covid-19. Pozornost je zaměřena také na využití prostředků vyrobených z nanomateriálů a potenciálních rizik, která z využití nanomateriálových prostředků plynou. Je zde zodpovězena i otázka týkající se aktuálních změn na trhu s ochrannými prostředky v porovnání s rokem 2020, tedy dobou pandemické situace SARS-CoV-2.

5.1 Škodlivé nanomateriály

První výzkumná otázka byla řešena průzkumem, jak významné jsou hrozby využívání nanomateriálů při ochraně dýchacích cest běžného obyvatelstva a členů IZS. V souvislosti s tímto tématem byly prostudovány zdroje v podobě odborných internetových článků a knih, které o tomto tématu pojednávají. Při důkladné rešerši dostupných pramenů jsem ovšem neobjevila žádnou zmínku o škodlivosti kteréhokoli výrobku z nanomateriálů využívaného v pandemické situaci SARS-CoV-2. Ověření správnosti jsem provedla formou strukturovaného rozhovoru s Ing. Ondřejem Šedivkou, DiS., který zastává funkci vedoucího pracoviště krizové připravenosti Zdravotnické záchranné služby (ZZS) hlavního města Prahy. Část rozhovoru byla zaměřena zejména na ověření zjištěných informací na základě zkušeností s častým využíváním prostředků pro ochranu dýchacích cest, které obsahují nanomateriály ve složkách IZS. Pracovníci ZZS měli k dispozici několik druhů prostředků pro ochranu dýchacích cest vyrobených z nanomateriálů. Jednalo se především o roušky a respirátory s nanovláknennou membránou. Žádný z testovaných produktů ovšem nebyl přímo vyhodnocen jako zdraví škodlivý. Vyskytlo se sice několik případů podrážděné kůže, vyrážky či dušnosti, ale žádný z těchto případů nebyl následně vyhodnocen jako následek využívání nanovláknenných struktur pro ochranu dýchacích cest. Potíže byly vyhodnoceny jako důsledek častého nošení prostředků pro ochranu dýchacích cest, nedostatečné hygieny či například citlivosti kůže na dlouhodobé mechanické odírání. (Osobní sdělení, 12. dubna 2024)

Průzkumem určeným pro teoretickou část jsem zjistila, že inhalací dýchacími cestami, vstřebáním skrz kůži, nebo přímým požitím ústy mohou být nanočástice pro lidské tělo velmi škodlivé. Nanočástice a struktury, které jsou využity v nanomateriálových prostředcích ochrany dýchacích cest ovšem nepředstavují pro lidské tělo žádná prokázaná rizika.

5.2 Prostředky pro ochranu dýchacích cest v IZS

Druhá výzkumná otázka byla zaměřena na využití prostředků pro ochranu dýchacích cest u IZS. Druh použité ochrany dýchacích cest závisí na mnoha faktorech. Mohou jimi být místo použití, účel, míra rizika, nebo třeba i doba po jakou bude mít dotyčný prostředek nasazen.

Jednorázové (chirurgické) roušky chrání pouze osoby v blízkosti, mohou být tedy vhodné pro běžné občany, kteří chtějí chránit své okolí, případně pro zdravotnický personál, který potřebuje udržet prostředí bez vydechovaných mikrobů. Tato rouška je jednorázová a po několika hodinách nošení je třeba ji vyměnit kvůli použité technologii elektrostatických nábojů, která vlhkostí ztrácí účinnost.

Jednotlivým složkám IZS je doporučeno využívat k ochraně vlastních dýchacích cest v běžných případech respirátor. Pro ochranu před nakažením virem SARS-CoV-2 je třeba využít respirátor s třídou minimálně FFP2, u které se účinnost pohybuje okolo 95 %. Respirátor má výhodu přilnavosti a přináší tím jistotu, že nebudete vdechovat nefiltrovaný vzduch.

Pro získání odpovědí v této problematice byli formou strukturovaného rozhovoru dotázáni tři pracovníci z různých složek IZS. Prvním z dotazovaných byla osoba pracující u cizinecké policie ČR. Tato osoba si nepřeje sdělovat své jméno, a proto zůstane v anonymitě. Dotyčná osoba odpověděla, že při výkonu své profese nemá stanoveno, za jakých podmínek musí mít nasazen prostředek pro ochranu dýchacích cest. V praxi využívá tyto prostředky pouze v případě, cítí-li se zdravotně ohrožen osobou či jakýmkoli jiným způsobem při výkonu svého povolání. Běžným vybavením této osoby je respirátor třídy KN95. U jinak zaměřených oddělení Policie České republiky je využíváno větší množství prostředků pro ochranu dýchacích cest, například polomasky s filtrem s označením P3 či respirátory s uhlíkovým vláknem. (Osobní sdělení, 5.dubna 2024) Respirátor třídy KN95 byl v souvislosti s pandemií SARS-CoV-2 často zmiňován jako diskutabilní. Respirátor je totiž označen dle čínské normy, která se ovšem neshoduje s normou ČSN EN 149 pro použití prostředků ochrany dýchacích cest. Členské státy EU mohly udělit výjimku pro dovoz prostředků, které nesplňují evropskou certifikaci na základě doporučení vydaného EU z důvodu nedostatku zboží v období pandemie SARS-CoV-2. Tehdejší vláda dokonce využívání těchto prostředků v naší republice doporučovala. Vydala prohlášení o tom, že respirátory s označením KN95 jsou srovnatelné s respirátory označované FFP2, a tudíž jich na tuzemský trh bylo dovezeno velké množství, které je v současné době stále využíváno. (Štorkán, 2021)

Druhým dotazovaným byl dobrovolný hasič T. Konečný. Na otázku, jaké využívají prostředky pro ochranu dýchacích cest odpověděl následovně: Prostředky pro ochranu dýchacích cest jsou využívány dle pravidel, kterými se řídí HZS. Při výkonu jsou využívány izolační

dýchací přístroje s celoobličejovou maskou, respirátory třídy FFP2 a filtrační dýchací přístroje, tj. polomaska s filtrem. U této polomasky je využíván nano filtr WPA pro nano masku H105581. Zmíněné respirátory jsou využívány zejména při zásazích u dopravních nehod, jako je například vyprošťování z automobilu za pomoci řezání skla či jiných částí automobilu. Izolační dýchací přístroj je využíván nejčastěji, například při požárech. Filtrační polomasky se využívají spíše ve výjimečných případech. Jsou využity zejména při likvidaci nebezpečných biologických materiálů. (Osobní sdělení, 10.dubna 2024)

Posledním, tedy třetím dotazovaným, byl příslušník ZZS O. Šedivka. Během tohoto rozhovoru mi byly poskytnuty velice obsáhlé odpovědi na jednotlivé otázky. Využívá se několik stupňů ochrany dýchacích cest. Nejnižším využívaným stupněm je třída FFP2. Využívanými produkty jsou celoobličejové masky CM6 s filtrem P3, dále je při zásahových akcích spojených s chemikáliemi využíván filtr ABEK P3. Ve speciální případech je nasazena filtrační jednotka 3M ABEK P3. Pro modul lesního hašení (GFFF) je k dispozici tzv. wildfire mask. Jedná se o speciální tzv. kapsy, do kterých je vkládán respirátor třídy P3 s uhlíkový vláknem.

Složky IZS dodržují v určitých případech i tzv. trvalá opatření. Povinný respirátor je v případech pacienta s anamnézou nespecifikované dušnosti nebo akutní respirační infekce (ARI). Vyhodnocení situace jako Biosafety level 2 relevantní udává povinnost použití celoobličejové masky s filtry účinnosti P3. Pokud dojde k úniku nebezpečných chemických látek, užívá se maska s kombinovaným filtrem. Přetlakovou masku využívá skupina speciální činnosti Biosafety level 3. Maska vytváří přetlak v dýchacích cestách a díky tomu nejsou drobné netěsnosti problémem. Masky využívající přetlak v dýchacích cestách se uplatňují i v případech událostí radiačního charakteru.

Během pandemie SARS-CoV-2 byly složkami IZS využívány respirátory, filtry i roušky z nanovlákn vyrobené v Liberci. Dále také polomaska s filtrem – Nanologic respira. Polomaska se jeví při porovnání ceny, účinnosti a možnosti využití jako méně výhodná než již využívané celoobličejové masky, a proto se polomasky po pandemii přestaly využívat. Nanorespirátory se z důvodu vysoké pořizovací ceny a využití u ZZS pouze v malém procentu výkonů též přestaly využívat. Úplně v první řadě se upustilo od využívání nanoroušek. Jejich účinnost je sice vysoká, ale netěsní, a neposkytovala mentální ochranu jednotlivým pracovníkům. Dlouhou dobu byly využívány respirátory a najednou jim bylo řečeno, že stačí využít „tenký kus látky“, což v očích neinformovaného člověka nevzbuzuje důvěru. U ZZS se po pandemii v oblasti prostředků ochrany dýchacích orgánů pouze rozšířilo vybavení těmito prostředky, a to pouze o filtry účinnosti P3. (Osobní sdělení, 12. dubna 2024)

Tabulka 2

Porovnání jednotlivých prostředků ochrany dýchacích cest

Název prostředku	Popis	Účinnost
Bavlněná rouška	Bavlněná rouška žádné viry nezachytí, pomůže pouze neřízenému roztroušení kapének do okolí. Do některých roušek je možno vložit filtr, kde účinnosti závisí na typu.	0 % bez filtru
Ústenka (jednorázová rouška)	Roušky se certifikují podle Evropské normy pro Zdravotnické obličejové roušky: EN 14683:2019. Tato norma testuje filtrační účinnost roušky aerosolem s velikostí částic přibližně 3,0 µm.	Typ I ≥ 95 % Typ II ≥ 95% Typ IIR ≥ 98% Závisí na podmínkách (doba použití, zvlhnutí roušky)
Nanorouška	V roušce je použit nanomateriálový filtr, rouška je tedy funkční i například po zvlhnutí.	92-99 %
Respirátor	Jedná se o respirační polomasky, které zakrývají nos a ústa, doléhají těsně na obličej a při jejich správném nasazení nedochází k vdechování nefiltrovaného vzduchu.	FFP1 určen spíše k zachytávání prachových částic FFP2/N95 95% FFP3/N99 ≥ 99%

Poznámka. Zdroj: (Vlastní, zpracováno dle: INZEP Centrum, n.d.)

Doporučit lze pro zajištění maximální ochrany pomocí roušky, či respirátoru s potřebou dlouhodobého vysokého účinku v různých prostředích nanoroušky, či nanorespirátory. Vzhledem k technologii využití nanomateriálové membrány na rozdíl od jiných technologií funguje i při zvlhnutí a obecně se účinnost těchto prostředků v kategorii FFP3 blíží 100 %.

Velmi dobrou variantou mohou být také roušky s vyměnitelnou prostřední vrstvou (například bavlněné, které lze vyrobit i doma a je možné opakované praní a sterilizace), kterou může tvořit právě výše zmíněná nanomateriálová membrána. Výhodná může být tato možnost i při přihlédnutí k ceně, kdy není nutné pokaždé vyměnit celou roušku, ale správným zacházením měnit pouze membrány, které jsou běžně samostatně prodejné. Porovnání účinnosti jednotlivých běžně dostupných druhů prostředků ochrany dýchacích cest je uvedeno v Tab. 2.

5.3 Porovnání dostupnosti ochranných prostředků dýchacích orgánů

Výzkumná otázka č.3 se zaměřuje na zmapování dostupnosti prostředků pro ochranu dýchacích orgánů v běžných obchodech. Navštíveno bylo několikero kamenných prodejen i internetových obchodů. Prostředky pro ochranu dýchacích cest jsou dnes velmi dobře dostupné, včetně široké možnosti výběru. Vybrat je tak možné dle požadovaného druhu

prostředku i materiálu použitého v něm, včetně prostředků, ve kterých jsou použity nanomateriály. Prostředky pro ochranu dýchacích cest je v současné době možné najít téměř v každé lékárně. Běžně se tyto prostředky objevují také v drogeriích a internetových obchodech, které nabízejí možnost dovezení nákupu domů. Samozřejmostí je dnes i nákup těchto prostředků přes internet, kde portály disponují velmi širokým sortimentem a také jednotlivým i velkoobchodním množstvím. Celkově se sortiment v těchto obchodech většinou dělí na roušky vyrobené z běžných filtračních vrstev a respirátory s nanovláknennou membránou. Nelze to ale považovat jako pravidlo. Žádný z prostředků pro ochranu dýchacích cest se naopak neobjevil v nabídce supermarketu či hypermarketu, které byly navštíveny.

Během pandemie SARS-CoV-2 byla velmi omezena možnost cestování, proto v následujícím sdělení vycházím pouze z omezených zdrojů. Pandemie měla na obyvatelstvo tak velký vliv, že respirátory i roušky byly (s výjimkou některých období s problémovou dostupností, které jsou podrobněji rozebírána níže v této kapitole) běžně dostupné v lékárnách, drogeriích, na internetu, ale i v informačních centrech, supermarketech a u menších obchodníků. Informační centra většinou nabízela pouze obyčejné prostředky pro ochranu dýchacích cest, ovšem ostatní zmíněné instituce nabízely také variantu nanomateriálových produktů. V některých obdobích pandemie byly dýchací prostředky téměř každodenní nutností, tomu odpovídala i jejich dostupnost a distribuce. Určité množství dávali k dispozici mnozí zaměstnavatelé svým zaměstnancům, ať už pro pracovní, či soukromé využití. Vzhledem k množství využívaných prostředků k ochraně dýchacích cest se bylo možné setkat zejména v počátečních obdobích pandemie s nedostatkem ochranných prostředků. Vládní rezervy nebyly dostatečné a vzhledem k rychlému a nečekanému šíření nemoci se vyprázdnily sklady dodavatelů a výrobci nestíhali prostředky dodávat. Lidem bylo tedy doporučováno jakékoli zakrytí dýchacích cest, a to například šálou, šátkem s vloženým kapesníčkem, nebo doma vytvořenou vícevrstvou rouškou. Občané, kteří neměli k dispozici prostředek pro ochranu dýchacích cest byli vybízeni právě k domácí výrobě, zapojeny byly i například galanterie. Doporučovaným filtračním materiálem byl například perlan, tedy netkaná textilie používaná v nemocnicích jako jednorázová hygienická podložka na stůl pod pacienty, nebo nanovláknno, které bylo ale velmi těžko sehnatelné. Problémové bylo z hlediska nedostatku prostředků také zdravotnictví, policie, nebo pracovníci lékáren, kteří měli poměrně velkou šanci na setkání s nakaženým a potřebovali v ideálním případě respirátory s ochranou FFP2, nejlépe FFP3. Z tohoto důvodu bylo také v tomto v kritickém období zavedeno mimořádné opatření Ministerstva zdravotnictví ČR o možnosti veřejného prodeje ochranných pomůcek pouze třídy FFP2 a nižší. Respirátory a další ochranné pomůcky typu FFP3 bylo možné prodat pouze státu a jeho organizačním složkám, které poté organizovali jejich centrální distribuci zejména

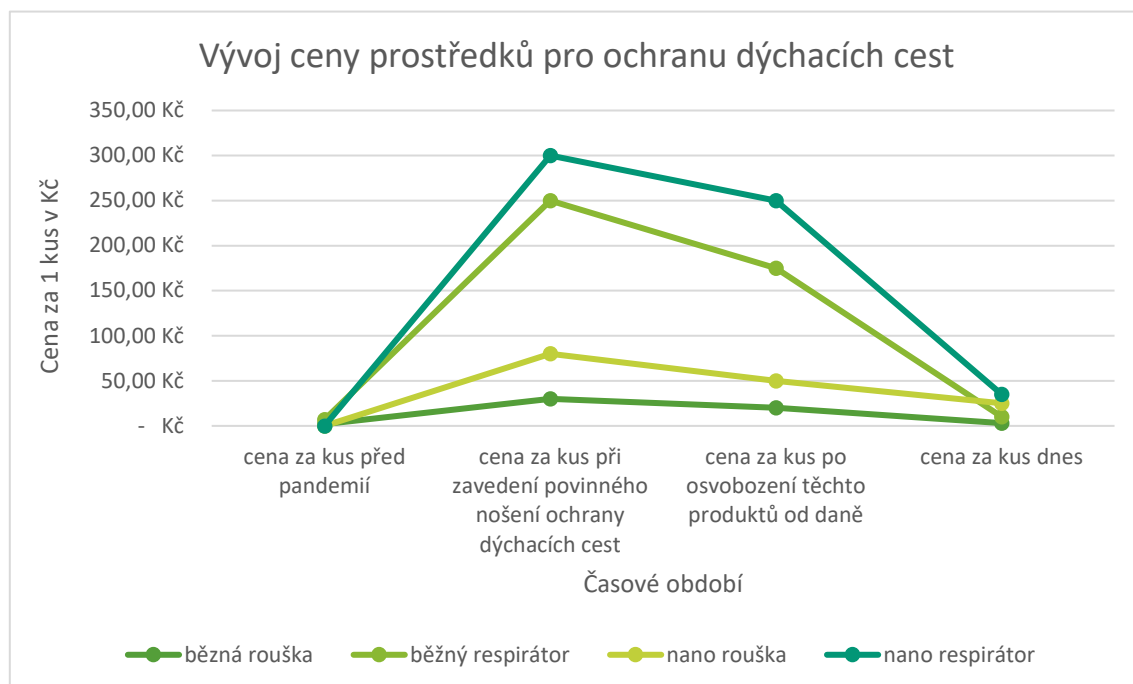
pracovníkům v tzv. první linii. V dalším průběhu pandemie byl v některých obdobích oproti dnešku omezenější výběr druhů, probíhal také vývoj nových metod, některé produkty, které známe dnes nemusely být tedy v době pandemie ještě dostupné.

Během pandemie byla oproti dnešku značně proměnlivější cena za kus, byly evidovány případy, kdy vláda byla nucena kvůli nedostatku ochranných prostředků nakupovat za velmi vysoké ceny. Obchodníci se také snažili při tomto stavu na svých produktech nepřiměřeně vydělávat, což vládu donutilo stanovit horní hranici ceny ochranných produktů. Dnes už cenu můžeme považovat za poměrně stabilní.

Vývoj cen roušek a respirátorů v době před pandemií, v průběhu pandemie a dnes jsou zobrazeny v Tab.3. Znárodněny jsou průměrné ceny za 1 kus, které byly zpracovány na základě rešerše účtů z dob pandemie, momentální ceny v obchodech a cen před pandemií. Cena za kus jedné kategorie produktů se velmi liší v závislosti na výrobci, parametrech produktu a místu prodeje, proto je vyobrazená cena průměrem z každé kategorie porovnávaných produktů. Dle tabulky je možno vidět, že ceny před a po pandemii jsou takřka srovnatelné, vezmeme-li v potaz určitou míru inflace. Výše cen produktů v pandemii byla ovlivněna tehdejší poptávkou. Osvobození těchto produktů od daně způsobilo úměrné klesnutí výše ceny. Tvary jednotlivých křivek jsou z tohoto důvodu srovnatelné.

Tabulka 3

Vývoj ceny prostředků pro ochranu dýchacích cest



Poznámka. Zdroj: (vlastní, 2024)

6 NÁVRHY

Na základě popisu současného studovaného problému, analýzy vybraných aspektů nanomateriálových technologií a jejich provázanosti do oboru ochrany obyvatelstva navrhuji:

6.1 Oblast techniky a technologií

- vybavení bezpečnostních a zasahujících složek prostředky ochrany dýchacích orgánů
Navrhuji vybavit pracovníky IZS nanovláčnými rouškami a respirátory. Pozornost přitom zaměřit na pracovníky, kteří se běžně nezapojují při řešení situací spojených například s chemickým nebezpečím, jako jsou silniční hlídky.
- zásobení nanorouškami a nanorespirátory
Navrhuji dostatečné zásobení nanovláčnými rouškami a respirátory jednotlivých supermarketů a obchodů pro případný nástup jiné infekční nemoci či například vysokého rozšíření černého kašle.
- zásobení prostředky ochrany dýchacích cest
Navrhuji nakoupení prostředků ochrany dýchacích cest vyrobených z nanomateriálů do státních zásob, zásob nemocnic, zdravotnických zařízení i do všech sborů IZS.
- spolupráce a vývoj nových technologií
Navrhuji spolupráci mezi IZS a vývojáři v oblasti nanovláčných produktů. Aktualizovat vybavení prostředků individuální ochrany za moderní vybavení vyrobené ve spolupráci Ministerstva vnitra ČR (případně HZS) například s firmou NANOLOGIX, která se momentálně věnuje výrobě ochranných pomůcek.

6.2 Oblast ochrany obyvatelstva

- vzdělávání v oblasti ochrany dýchacích cest nanomateriály
Navrhuji zavést na základní či střední školy jako součást výuky fyziky část zaměřenou na membránové procesy a techniku zachytu částic. Zaměřit pozornost na nanovláčenné membrány a účinnost jejich zachytu vyučovat například pomocí fyzikálních pokusů.
- vzdělávání v oblasti bezpečnosti práce
Navrhuji pravidelné vzdělávání o bezpečnosti práce, které se bude také zaměřovat na nanomateriálové produkty. Provádět školení způsobem, aby byla přednášená data aktuální a zaměstnanci měli přehled o současných trendech v oblasti ochrany dýchacích cest

- vzdělávání obyvatelstva

Navrhuji pořádat pravidelné přednášky a konference uzpůsobené pro laickou veřejnost, aby byly zábavnou a zajímavou formou vysvětleny základní principy fungování, výroby a využití nanomateriálů včetně možnosti interaktivní, případně virtuální, výroby různých produktů.

- workshop

Navrhuji uspořádat workshop se zástupci výrobců nanomateriálových produktů, zástupců vysokých škol a vývojových institutů zabývajících se touto problematikou, příslušníků IZS. Veřejnosti, studentům i obchodním zástupcům by byl umožněn volný přístup pro vyzkoušení produktů v praxi, rozšíření povědomí o produktech chránících dýchací cesty vyrobených z nanomateriálů nebo praktické ukázky možného využití u IZS. Workshop by mohl napomoci k rozšíření využití nanomateriálových prostředků pro ochranu dýchacích cest v mnoha oblastech a také rozšíření zájmu o výzkum a studia této problematiky.

7 ZÁVĚR

Bakalářská práce byla zpracována na téma „Nanomateriály a možná rizika jejich používání“. Problematika v posledních letech rezonovala odbornou i laickou veřejností zejména v souvislosti s prožitím pandemické situace.

Nejprve bylo třeba přistoupit k základnímu porozumění nanomateriálů. Základním popisem počínaje, přes rozdělení, výrobu, nebo legislativu jsem se dostala k produktům a využití nanomateriálů. Jedním z jejich využití jsou právě prostředky pro ochranu dýchacích orgánů.

Během pandemické situace byla poptávka po těchto prostředcích enormně vysoká. Poptávkou se zároveň zvýšil i zájem o povědomí, jaké prostředky máme k dispozici, jejich účinnosti a zejména, zda jsou při dlouhodobém používání pro člověka bezpečné.

Nanomateriálové roušky, respirátory, nebo jen filtry se začaly hojně používat kvůli jejich velmi vysoké účinnosti. Zkušenosti s nimi mají tedy jak běžní občané, tak zdravotníci. Vzhledem k nízkému obecnému povědomí neodborné veřejnosti o nanomateriálech jsem o zkušenost prostřednictvím rozhovorů oslovila zejména příslušníky IZS. Důležitým poznatkem z jejich strany je nezjištění žádného zdravotního rizika při používání prostředků chránících dýchací cest, které obsahují nanomateriály.

Vzhledem k vysoké účinnosti, dobré dostupnosti a žádným zdravotním rizikům se rozhodně dají prostředky pro ochranu dýchacích cest využívající nanomateriály doporučit dnes i do budoucna. Zkušenost s Covidem-19 ukázala, že pandemie může přijít velmi rychle a nečekaně, a i v dnešních dnech vidíme problémy se šířícím se černým kašlem i přesto, že na něj existuje již dlouhá léta očkování. Poučení nedávno proběhlou pandemií, kdy se nejen Česká republika potýkala s obdobími, kdy prostředky pro ochranu dýchacích cest byly nedostatkové zboží nejen pro běžné občany, ale také pro pracovníky v první linii, by se tedy měli zásobit soukromí prodejci, nemocnice, ale také státní aparáty. Kvalita a velmi vysoká účinnost produktů z nanomateriálů se odráží i na ceně, která je vyšší než u běžných prostředků. Není tedy nutné, aby zásoby byly tvořeny pouze těmito produkty, nicméně alespoň poměrné zastoupení roušek, respirátorů, nebo filtrů vyrobených z nanomateriálů lze doporučit.

8 SOUHRN

Práce se zaměřuje zejména na problematiku zdravotních rizik při používání prostředků na ochranu dýchacích cest vyrobených z nanomateriálů. Teoretická část seznamuje se základními pojmy z oblasti nanomateriálů, způsobem výroby, legislativou a v neposlední řadě s produkty vyráběných z nanomateriálů, což jsou také prostředky pro ochranu dýchacích cest. Praktická část pojednává o dostupnosti prostředků na ochranu dýchacích cest, včetně těch z nanomateriálů, v aktuální době a v době pandemie v soukromém i státním sektoru a tyto dvě situace také porovnává. Dále zkoumá použití těchto prostředků v praxi, zejména u členů IZS, kteří mají širší povědomí o této problematice, než laická veřejnost a čerpá z jejich poznatků. Na základě těchto zjištění objasňuje zdravotní rizika použití nanomateriálů v prostředcích chránících dýchací cesty a následně navrhuje jejich další použití v budoucnosti. Zčásti kriticky hodnotí nepoučenost některých institucí z pandemické doby a nedostatečnou tvorbu zásob prostředků pro ochranu dýchacích cest pro případ dalších neočekávaných situací. V závěrečné části práce je navržen i možný přesah téma do dalších publikací vzhledem k aktuální situaci.

9 SUMMARY

The thesis focuses in particular on the problematics of health risks when using equipment for respiratory protection made of nanomaterials. The theoretical part introduces the basic terms in the field of nanomaterials, the method of production, legislation and, last but not least, products made from nanomaterials, which are also equipments for respiratory protection. The practical part discusses the availability of respiratory protection products, including those made of nanomaterials, at the current time and during the pandemic in both the private and state sectors, and also compares these two situations. It also examines the use of these equipments in practice, especially among members of the Integrated rescue system, who have a wider awareness of this problematics than the lay public and draws on their knowledge. Based on these findings, it clarifies the health risks of the use of nanomaterials in equipments protecting the respiratory tract and subsequently proposes their further use in the future. In part, he critically evaluates the ignorance of some institutions from the pandemic period and the insufficient stockpiling of equipments for respiratory protection in case of other unexpected situations. In the final part of the thesis, a possible overlap of the topic into other publications is proposed due to the current situation.

10 REFERENČNÍ SEZNAM

Anonym, osobní sdělení. 5. dubna 2024

Barabaszová, K. (2006). *Nanotechnologie a nanomateriály* (1st ed.).

Bezpečnost práce. (2020). *Rozdíly mezi respirátory s filtrační třídou ochrany FFP1, FFP2 a FFP3.*

Retrieved from: <https://www.bozp.cz/aktuality/respiratory-filtracni-tridy-ffp/>

Bezpečnost práce. (2022). *Potenciální rizika nanomateriálů a nanočástic. Toxicita, expozice a hodnocení rizik.*

Retrieved from: https://www.bozp.cz/aktuality/rizika-nanomaterialu/#kap_1

Blešová, I. (2007). *Čistitelné vzduchové filtry obsahující nanovláknovou vrstvu*. Technická univerzita v Liberci.

Retrieved from: <https://dspace.tul.cz>

Borovcová, L. (2010). *Nanomateriály a nanotechnologie v analytické chemii*. Bakalářská práce. Univerzita Palackého v Olomouci.

Retrieved from: <https://theses.cz/id/8xwgy/108208-580016488.pdf>

Czech Innovation Expo. (n.d.). *Čeští vynálezci - Oldřich Jirsák.*

Retrieved from: <https://www.ciexpo.cz/rodokmen/oldrich-jirsak/>

CZEMP. (n.d.). *Membránové materiály.*

Retrieved from: <https://www.czemp.cz/cs/membranove-procesy/membranove-materialy>

Čížek, J. (2020). *Běžná rouška vás před chřipkou neochrání. Vyzkoušeli jsme ústenku z nanovláken od české špičky v oboru.*

Retrieved from: <https://vtm.zive.cz/clanky/bezna-rouska-vas-pred-chripkou-neochrani-vyzkoušeli-jsme-ustenku-z-nanovlaken-od-ceske-spicky-v-oboru/sc-870-a-202226/default.aspx>

Danihelka, P. (2016). *Bezpečnost nanomateriálů v rámci ČR a EU.*

Retrieved from: <https://www.techportal.cz/33/bezpecnost-nanomaterialu-v-ramci-cr-a-eu-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4Ev-T5YuBcORP5dY72C7ZP7o/?query=nanomateri%E1ly&serp=1>

Danihelka, P. (2016). *Nanomateriály, jejich použití a přínosy.*

Retrieved from: <https://www.techportal.cz/33/nanomaterialy-jejich-pouziti-a-prinosy-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4Ev-T5YuBcORPcwTPEPk3euY/?query=nanomateri%E1ly%20jejich%20pou%BEit%ED%20a%20p%F8%EDnosy&serp=1>

Danihelka, P. (2016). *Produkty z nanomateriálů.*

Retrieved from: <https://www.techportal.cz/33/produkty-z-nanomaterialu-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4Ev-T5YuBcORP54rOkewCctI/?query=produkty%20z%20nanomateri%E1l%F9&serp=1>

Dohnal, V., & Dohnalová, L. (2015). *Nanočástice a jejich toxicita. Chemické Listy.*

Retrieved from: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2015_06_444-450.pdf

Elmarco. (n.d.). *Vyvinuto v laboratoři, připraveno pro skutečný život.*

Retrieved from: <https://www.elmarco.com/cs/nanospider>

European chemicals agency. (n.d.). *Právní předpisy.*

Retrieved from: <https://echa.europa.eu/cs/legislation>

European Union observatory for nanomaterials. (n.d.). *Nanomateriály v každodenním životě.*

Retrieved from: <https://euon.echa.europa.eu/cs/uses>

EUR-lex. (n.d.). *Právo EU.*

Retrieved from: <https://eur-lex.europa.eu/homepage.html>

Filipová, Z., Kukutschová, J., & Mašláň, M. (2012). *Rizika nanomateriálů.*

Fulková, A. (2020). *Kraj daroval pracovníkům IZS ochranné nanopomůcky, které nechal vyrobit.*

Retrieved from: <https://www.kraj-lbc.cz/aktuality/kraj-daroval-pracovnikum-izs-ochranne-nanopomucky-ktre-nechal-vyrobit-n536674.htm>

- Hasičský záchranný sbor České republiky. (n.d.). *Katalog vydaných technických podmínek požární techniky a věcných prostředků*.
Retrieved from: <https://www.hzscr.cz/clanek/katalog-vydanych-technicky-podminek-pozarni-techniky-a-vecnych-prostredku.aspx>
- Holcová, P. (2020). *Nejdražší respirátory v Evropě se nakupovaly v Česku*.
Retrieved from: <https://www.investigace.cz/nejdrazsi-respiratory-v-evrope-se-nakupovaly-v-cesku/>
- Honková, N. (2021). *Nanovlákná - slibný sorbent pro SPE*. Bakalářská práce. Univerzita Karlova.
Retrieved from: <https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/150577/130320348.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hošek, J. (2010). *Úvod do nanotechnologie* (Vol. 1).
- INZEP centrum. (n.d.). *Normy na respirátory a roušky aneb tajemné zkratky FFP2, N95 a KN95*.
Retrieved from: <https://www.inzep.cz/informace-o-zbozi-a-normach/normy-na-respiratory-a-rousky-aneb-tajemne-zkratky-ffp2-n95-a-kn95>
- Jetmarová, J., & Trčka, M. (2022). *Roušky s TULkou: Věda a etika v liminalitě*.
Retrieved from: <https://web.p.ebscohost.com/abstract?site=ehost&scope=site&jrnl=12100250&AN=161459269&h=%2fv%2bdLtTqjNbDIE912igvynXOIXUxw%2b9Qo5B89Y9BGtv4K%2bj%2fG4XZ7WPtx%2fkde16VwGLFyrhbCxTm3Z6xW%2fm5vw%3d%3d&urlNoResults&resultNs=Ehost&urlhashurl=login.aspx%3fdirect%3dtrue%26profile%3dehost%26scope%3dsite%26authtype%3dcrawler%26jrnl%3d12100250%26AN%3d161459269>
- Konečný, T., osobní sdělení. 10. dubna 2024
- Michetschlägerová, L. (2016). *Zvýšení účinnosti objemného částicového vzduchového filtru*. Bakalářská práce. Technická univerzita v Liberci.
Retrieved from: <https://dspace.tul.cz>
- MOBLER. (n.d.). *Poznejte rozdíl mezi průmyslovým respirátorem a nano respirátorem*.
Retrieved from: <https://www.mobler.cz/edu/nano-respiratory/>
- Morones, J. R., Elechiguerra, J. L., Camacho, A., Holt, K., Kouri, J. B., Ramírez, J. T., & Yacaman, M. J. (2005). The bactericidal effect of silver nanoparticles. *Nanotechnology*, 16.
Retrieved from: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0957-4484/16/10/059>
- Motyka, O. (2019). *Nanomateriály a životní prostředí*.
- NANO4FIBERS. (n.d.). *NnF MBRANE® BreaSAFE*.
Retrieved from: <https://www.nano4fibers.com/breasafe-products>
- NanoSpace. (n.d.). *Proč nanovlákná membrána?*
Retrieved from: <https://www.nanospace.cz/ffp3-respiratory/>
- Národní zdravotnický informační portál. (n.d.). *Oxidační stres*.
Retrieved from: <https://www.nzip.cz/rejstrikovy-pojem/5024>
- Palatý, Z. (2012). *Membránové procesy*.
- Peter, J. (2016). *Membránová separace plynů a par*.
- Prnka, T. (2001). *Pátý rámcový program evropského výzkumu a technického rozvoje (5) VÝZKUM NANOTECHNOLOGIÍ A NANOMATERIÁLŮ V EVROPĚ A USA*.
- Sarbatly, R., Sariau, J., & Alam, M. F. I. (2021). Advances in nanofiber membrane. In *Materials Today: Proceedings*.
Retrieved from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214785321040852>
- Sies, H. (1997). *Oxidative stress: oxidants and antioxidants. Experimental Physiology*.
Retrieved from: <https://physoc.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdfdirect/10.1113/expphysiol.1997.sp004024>

- Smýkalová, B. (2014). *Vývoj nano-vlákněné kompozitní membrány s obsahem antibakteriálních aditiv*. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci.
Retrieved from: <https://dspace.tul.cz/server/api/core/bitstreams/55a5220f-4585-4e0c-bda7-d20c3d3e7876/content>
- SPUR. (n.d.). *Nanoprodukty*.
Retrieved from: <https://eshop.spur.cz/nano-produkty/>
- Šedivka, O., osobní sdělení. 12. dubna 2024
- Šiftová, M. (2008). *Nanočástice stříbra - příprava a depozice na textil*. Diplomová práce. Technická univerzita v Liberci.
Retrieved from: <https://dspace.tul.cz/server/api/core/bitstreams/77c85b6d-7735-4993-9cd0-42dce390705f/content>
- Šípek, M. (2014). *Membránové dělení par a plynů*.
- Šípek, M. (2018). *Základní membránové procesy*.
- Skřehot, A. P., & Rupová, M. (2011). *Nanobezpečnost*.
- Štorkán, M. (2021). *Vláda lidem doporučuje čínský respirátor KN95 bez evropské certifikace. Prodejci ho zaměňují za FFP2*.
Retrieved from: https://www.irozhlas.cz/zpravy-domov/respirator-ffp2-koronavirus-covid-nemoc-kn95_2102030500_sto
- Walters, C., Pool, E., & Somerset, V. (2016). *Nanotoxicology: A Review. Toxicology - New Aspects to This Scientific Conundrum*.
Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/309524218_Nanotoxicology_A_Review