

Нанопродукти в европейската строителна промишленост

Най-съвременни достижения 2009г. Резюме

Флор ван Брукхаузен
Питер ван Брукхаузен

Амстердам, ноември 2009



*Инициатива, осъществена с финансовата подкрепа на Европейската комисия,
в рамките на програми и действия в социалния сектор и сектора на
заетостта*

Библиографско каре

Заглавие: Нанотехнологиите в европейската строителна промишленост –Най-съвременни достижения '2009- Резюме
Автори: Ф.А. ван Брукхаузен и Й. К Брукхаузен
Работна група: Р. Геринг (ЕФРСДП), Д. Кампогранд, (FIEC), Х. Гаскон (FCC, Испания), У. Спану (3F, Дания), Й. Baare (FNV Bouw, NL)

Докладът е изготвен по възложение на: ЕФРСДП (Европейската федерация на работниците в строителството и дърводообработващата промишленост) и FIEC (Европейска федерация на строителната индустрия) в контекста на Европейския социален диалог.

Благодарности

Проучването беше възложено от Европейската комисия, Главна дирекция "Заетост", по силата на Споразумение за предоставяне на безвъзмездна помощ № VS/2008/0500 – SI2.512656 в контекста на Европейския социален диалог в областта на строителната промишленост.

Авторите биха желали да благодарят на фирмите (строителни фирми, производители на суровини, производители на продукти, преработватели на отпадъци), браншовите организации, институтите за научнотехническа и развойна дейност и отделни специалисти за техния ценен принос към проучването, предоставените идеи и откритостта им при проведените дискусии.

Повече информация за доклада можете да получите от:

IVAM UvA BV

Амстердам-NL

Тел.: +31 20 525 5080

www.ivam.uva.nl

Електронна поща: office@ivam.uva.nl

Данни от този доклад могат да се използват, при условие че техният източник е подходящо посочен.

IVAM UvA b.v. не поема отговорност за щети или вреди, произтекли от използването или прилагането на резултатите от този доклад.

Резюме

Настоящият доклад съдържа проучване за наличието, използването и аспектите на здравословния и безопасен труд, свързани с нанопродуктите в европейската строителна промишленост към 2009 година. Представените резултати са плод на проведената обобщоевропейска анкета сред работодатели, работници и работнически представители от строителния сектор, подробни устни интервюта с участието на голям брой заинтересовани лица и задълбочено изследване на наличната литература.

Информираността на различните участници в строителната промишленост за наличието и характеристиките на наноматериалите е много ограничена. Това важи за работодателите и работниците в строителството, както и за свързаните професии като архитекти, строителни инженери и специалистите, отговорни за пускането на новите строителни обекти в експлоатация.

До строителните обекти днес достигат само ограничени количества нанопродукти именно заради тази липса на информираност и факта, че съставките с наноразмери често са прекалено скъпи, за да се използват в продукти с конкурентни цени. Основните видове продукти, които се откриват на пазара, са подобрените с наночастици бетонови и циментови материали, нанопокритията и изолационните материали. Въпреки това продължава интензивна научноизследователска и развойна дейност и бъдещите очаквания са пазарният дял на нанопродуктите и тяхното многообразие да расте заради уникалните характеристики, които те демонстрират в момента (и се предвижда да демонстрират в бъдеще).

Същите тези продукти обаче могат да създадат нови рискове за здравето и безопасността на работниците на строителния обект, които науката едва сега започва да установява. Това важи с особена сила когато работата включва генериране на наночастици или аерозоли. Типичните дейности с възможни високи рискове от излагане на въздействието на наночастици са: прилагането на мокри или прашни нанопродукти, машинната обработка на изсушени или готови нанопродукти и почистването или техническото обслужване на използваните материали и оборудване. Като цяло обаче липсва подробна информация за състава на продуктите и евентуалните „наноспецифични“ въпроси, свързани със здравето и безопасността, които те повдигат, а информацията, с която разполага производителят на суровините, сякаш "се губи", слизайки надолу по веригата потребители.

Вследствие на това за средната строителна компания ще бъде много трудно да проведе подходяща оценка на риска и да организира безопасни условия на труд за своите работници. Една възможност за справяне със самите неизвестни е да се следва „подход на предпазливост“. За преодоляване на проблема с недостатъчната информираност е препоръчително разработването на подбран набор от инструменти в подкрепа на строителните компании за въвеждането на този подход в действие (като например система за регистрация и известяване (нотификация), нано-референтни стойности или най-добри практики за подбрана група високорискови дейности).

Съдържание

Резюме	3
1. Въведение.....	5
2. Нанотехнология в строителния сектор.....	7
2.1 Фактори, имащи влияние върху използването на нанопроductи в строителството.....	8
2.2 Дейности за осигуряване на безопасност на труда.....	14
3. Нанопроductи на строителния обект	16
3.1 Въведение	16
3.2 Цимент, бетон и мокър хоросан	17
3.3 Покрития и бои.....	18
3.4 Нанотехнологии и инфраструктура	21
3.5 Изолационни материали	21
4. Здравни рискове.....	23
4.1 Въведение	23
4.2 Пътища за излагане на вредно въздействие.....	24
4.3 Въпроси, свързани със здравето и безопасността, касаещи някои типове наночастици	25
4.4 Възможни подходи за безопасно използването на нанопроductи.....	26
5. Варианти за по-нататъшни дейности в подкрепа на безопасна работна среда	30

1. Въведение

В контекста на Европейския социален диалог FIEC (Европейска федерация на строителната индустрия) и ЕФРСДП (Европейска федерация на работниците в строителството и дървообработващата промишленост) поеха инициативата да възложат на IVAM UvA BV да проучи текущото ниво на информираност сред заинтересованите и да направи обзор на реалните нанопродукти на европейския строителен пазар. Настоящото резюме обобщава резултатите от задълбочено изследване на актуалното състояние към 2009г. по отношение на наличието, използването и аспектите на здраве и безопасност на нанопродуктите в европейския строителен сектор. Основният доклад "Нанотехнологиите в европейската строителна промишленост – актуално състояние 2009г." подробно описва констатациите от това проучване.

Заради вечния стремеж на пазара към по-трайни, по-устойчиви и по-евтини продукти, продуктите за строителната индустрия са обект на непрекъсната научноизследователска и развойна дейност. Нанотехнологиите представляват едно от най-новите технологични развития в тази научнотехническа и развойна дейност. Елементарно представена, нанотехнологията просто означава възможността да се наблюдават, следят и да се въздейства върху материали (и тяхното поведение) до размера на един нанометър (nm) (т.е. размер 10 000 по-малък от дебелината на човешки косъм). Това включва усъвършенствани техники за изучаване и подобряване на поведението на материалите, но освен това разработване и производство на много фини прахови, течни или твърди материали, съдържащи частици с размер между 1 и 100nm, т.нар. "наночастици". Фирмите използват тези наночастици, за да придадат на своите продукти нови или подобрени свойства. Примери за това са прозрачните инфрачервени отразителни покрития за прозоречни стъкла, които подобряват управлението на климатичните условия в помещенията, ултраздравни бетонни материали, които позволяват създаване на по-тънки и по-леки конструкции и самопочистващи се покрития, които освен това подпомагат за намаляване на органичното замърсяване на въздуха.

Макар че в Интернет се намира богата информация относно нанотехнологията в строителството и бъдещите очаквания са високи, реалността днес е, че само ограничен брой нанопродукти достигат до строителните обекти, тъй като техниките и наносъставките са твърде скъпи за производство на продукти, които да могат да се конкурират с вече съществуващите. Според някои крупни участници в тази сфера: *"в това отношение строителната индустрия изостава с около 10 години зад промишлеността като цяло - заради разходите и заради техническите стандарти и стандарти за безопасност, необходими за използваните материали"*.

Въпреки това е важно да се отбележи по-големият избор на такива продукти. Нанопродуктите за строителството са уникални по своите характеристики, но биха могли да създадат нови рискове за здравето и безопасността на работниците на обекта. Поради новостта на наноматериалите и продуктите по принцип, тези рискове за здравето и безопасността едва сега започват да се разбират¹. Това, заедно с високите очаквания

¹ Има различни отворени въпроси, отнасящи се до здравните рискове и кинетиката при излагане на въздействието на наноматериали и продукти. За сметка на това са натрупани много знания и опит в областта на оценката на здравословните и безопасни условия на труд и управлението на рискове от излагане на вредни въздействия. Да използваме онова, което знаем, за да се справим с онова, което не знаем - това е основното предизвикателство при работата с нанопродукти.

относно потенциала в близко бъдеще на нанопродуктите², прави още по-важно да се следят развитията в областта на нанотехнологиите още от самото начало и да се поддържа информираност за съществуващите аспекти на несигурност по отношение на здравето и безопасността при използване на наноматериали и продукти, за да се вземат съответните мерки, когато това е необходимо. Този доклад цели да предостави допълнителна информация за нанопродуктите, използвани в строителството днес, и техните характеристики, за да помогне за по-добре информирана оценка на риска.

Когато говорим за наноматериали и нанопродукти е важно да сме наясно, че все още не съществуват определения и по тази причина лесно могат да възникнат недоразумения. Този доклад приема, че:

1. наноматериалът представлява съставен от частици материал, съдържащ наночастици или агломерати или съвкупности от тях в твърда форма, или разпръснати (дисперсирани) в течни или вътрешни или външни наноструктури, или области с наноразмери.
2. нанопродукт може да бъде всеки продукт, в който съзнателно е добавен наноматериал с цел да се повлияе на свойствата на продукта.

Наночастиците се дефинират като "изкуствено създадени" частици (създадени от човека, за разлика от "естествените" частици с наноразмери, които се формират например при вулканични изригвания) с размер 1-100nm. Те могат да са разтворими или неразтворими. В момента с термина "наночастици" се наричат само неразтворимите частици, тъй като неразтворимите персистентни частици са от основен интерес по отношение на потенциалните здравни ефекти, типични за нанопродуктите. Понастоящем обаче тече дискусия около въпроса за евентуалните типични за нанопродуктите въздействия върху здравето също и на разтворимите наночастици заради тяхното "нанотипично" поведение в околната среда.

² Вж. например www.hessen-nanotech.de

2. Нанотехнология в строителния сектор

С цел да се представи всеобхватен обзор на текущото наличие и използване на наноматериали и нанопродукти по строителните обекти, да се предостави задълбочена информация за текущите развития, които могат да доведат до използването в близко бъдеще на нанопродукти, и да се сигнализират и поставят в перспектива въпросите на здравословните и безопасни условия на труд, произтичащи от използването на нанопродукти, бяха използвани три основни подхода:

1. Задълбочено търсене в (научната) литература и уебсайтове създаде основа за представянето на наноматериалите и нанопродуктите, използвани в строителния сектор и въпросите на здравословните условия на труд, които може да се окажат важни при тяхното приложение.
2. FIES и ЕФРСДП организираха анкета сред своите членове в 24 европейски държави, за да проверят общата информираност на работодателите (представители) и работниците за приложенията на нанопродуктите в сектора (по-нататък в текста наричана "Анкета от 2009г."). Анкетата от 2009г. целеше да отрази първите впечатления от придобития опит в тази област, причините за преминаването към нанопродукта и въпросите, свързани със здравословните и безопасни условия на труд, съобщени от доставчика на продуктите. Целта в никакъв случай не беше да се проучат и представят обстойно детайлите на текущото използване и работни практики, свързани с нанопродуктите в строителната индустрия, тъй като това би изисквало много по-задълбочен подход.
3. Проведени бяха подробни устни интервюта със строителни работници и работодатели, архитекти, производители на продукти и научни работници, занимаващи се със строителни материали и продукти, с цел да се придобият по-задълбочени знания за текущите дейности в областта на нанопродуктите за строителната индустрия. Резултатите от тези интервюта бяха важни за това да се поставят в перспектива резултатите от анкетата от 2009г. и материалите, събрани от литературата и Интернет проучванията, както и да се очертаят онези развития в нанотехнологиите, които в момента могат да се определят като най-съществени за строителния сектор.

Таблица 0-1 Кратко представяне на типичния профил (професионална роля) на интервюираните в анкетата от 2009г. и представяне на различните видове организации, участвали в подобните интервюта

Анкетиран ³	Функция	Подробни интервюта (%)	Тип организация
6	Работодател	21	Строителна индустрия
4	Бояджия (работник, работнически представител)	21	Производители на (суровини и) материали
4	Специалист по безопасност на труда (работник, работнически представител)	9	Браншови организации
3	Разни (работник, работнически представител)	4	Архитекти
11	Не е посочено (работник, работнически представител)	42	Научен работник от университет
38 ⁴	Специалисти по здравословни и безопасни условия на труд/ специалисти по трудова хигиена (само NL)		

³ Получени бяха общо 28 отговора от 14 различни европейски държави, плюс 38 експерти по трудово здравеопазване от Холандия, които са разгледани отделно.

⁴ Групата отговори от холандски специалисти по трудова хигиена и специалисти по здравословни и безопасни условия на труд (общо 38 анкетиран³) беше уникална в рамките на анкетата от 2009г. Затова те бяха отделно оценени. Резултатите, получени от тази оценка, бяха напълно в съответствие с резултатите от другите получени отговори.

Получената информация е представена в разделите по-нататък. Таблица 0-1 показва представяне на професионалния профил на участниците в анкетата от 2009г. и типа организации, с които е осъществена връзка за тези подробни интервюта.

2.1 Фактори, имащи влияние върху използването на нанопродукти в строителството

През 2003г. научните специалисти споделиха високите си очаквания за развитието в близко бъдеще на нанопродуктите за строителната индустрия. Само малък брой от продуктите обаче, за които тогава имаше големи очаквания, действително стигна до строителните площадки на днешния ден ⁵. За това могат да бъдат посочени различни причини. Най-важните от тях ще бъдат разгледани в следващите раздели.

Ценова конкуренция

Първата причина нанопродуктите да се радват на успех в обществото, но въпреки това да не достигат до строителната индустрия, са свързаните с тях разходи. Към настоящия момент наноматериали и вследствие на това нанопродуктите все още са значително по-скъпи от своите не-нано алтернативи заради технологията, която се използва за производството им. За строителния сектор това означава, че още на фазата на научнотехническа и развойна дейност по продукта инициативите се замразяват, когато разчетите покажат, че нанопродуктът никога не би постигнал цена, която да го направи конкурентен. Това се дължи до голяма степен на факта, че строителните продукти почти винаги се търгуват в големи обеми и малките разлики в цената на килограм се превръщат в огромно увеличение на общите разходи, когато се пресметне общият обем, необходим за строителството.

В резултат на това производителите на строителни материали не са насърчени да развиват нанопродуктите, а онези нанопродукти, които все пак биват разработвани, се прилагат само при конкретно искане. Това важи по-специално за продукти с по-голям обем като бетон или хоросан и за строителни покрития. За изолационните материали обаче, както и архитектурните и стъклени покрития, сегашният обществен стремеж за подобряване на енергийното управление в контекста на изменението на климата и намаляването на парникови газове, действително стимулира допълнителното им навлизане в пазара.

Технически характеристики и ефективност

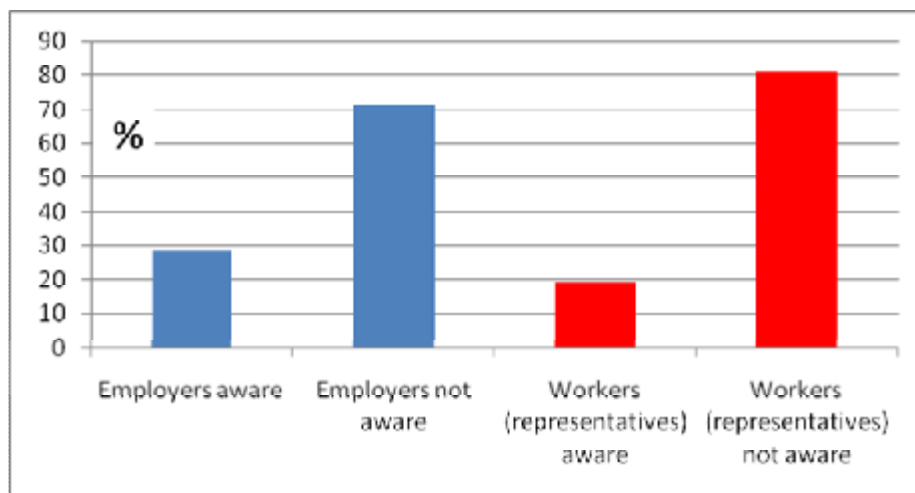
Техническата ефективност е вторият ограничаващ фактор за широкомащабно въвеждане на нанопродуктите. Техническото представяне трябва да бъде подробно доказано, за да изпълни техническите стандарти за този материал. Очевидно е, че това зависи от пазарния сектор. За бетона например това е въпрос от ключова важност. За самопочистващите се покрития за стъкло въпросът не е толкова важен, тъй като стандартите за безопасност например са много по-ниски.

Информираност в рамките на сектора

Информираността (или нейната липса) е друг основен елемент, който пречатства въвеждането на нанопродуктите в строителните обекти. Без информираност хората просто не знаят, че има нещо ново, което може да се използва или проучи. В рамките на Европа знанията за нанотехнологиите в строителството са много ограничени и на този етап са все още собственост на малък брой ключови участници, които разработват пазара. Анкетата от 2009г., организирана от FIEC и ЕФРСДП с цел да се определи информираността на строителните работници и техните работодатели, показва, че по-голямата част от интервюираните (~75%) **Графика 0-1** не знаят дали работят с нанопродукти. Този резултат

⁵ Bartos PJM 2009, Nanotechnology in Construction 3, Proceedings of the NICOM3. ISBN 978-3-642-00980-8

се основава на 28-те попълнени анкети, като целта беше да се получат по 3 попълнени анкети от всеки член на FIEC или ЕФРСДП от всяка от 24-те държави от ЕС, с които се свързахме (общо се очакваха 144 попълнени анкети)⁶.



Графика 0-1 Отговори на анкетата от 2009г. от работодатели и работници (представители), които са информирани или не са информирани за присъствието на нанопродукти на работните си места.

Резултатите от анкетата обаче следва да се интерпретират само като показател за текущото състояние на информираност в сектора по отношение на използването на нанопродукти в строителната индустрия. Всъщност данните, че 25% от интервюираните са информирани, най-вероятно надценява реалната ситуация поради положителната селекция: хората, които действително работят с нанопродукти, са по-склонни да отговорят на анкетата. Долното представлява извадка от различни коментари, получени от представители на строителни работници и работодатели в отговор на Анкетата от 2009г. които заявяват например:

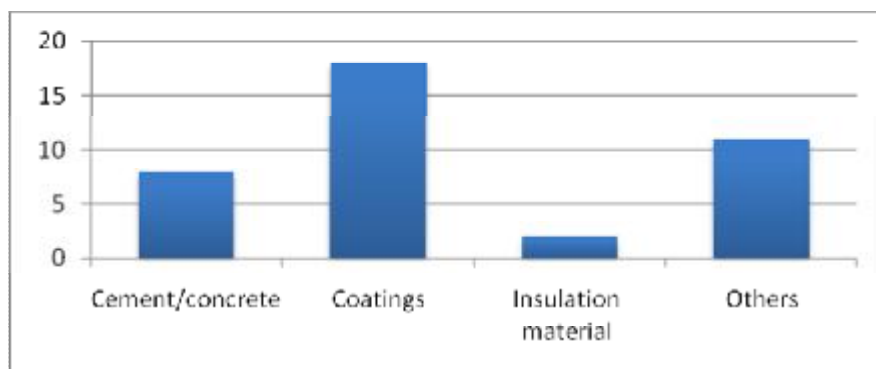
- "...Разговарял(а) съм с много компании по тази тема и никой не е информиран за каквито и да било материали, съдържащи тези продукти. Освен това съм говорил(а) с много хора от Службата за здраве и безопасност и те също не са информирани за съществуването на тези продукти... (Обединено кралство)"
- "...опитахме се да получим информация от няколко строителни подсектора, но към днешна дата не сме получили никакви полезни показания. Проблемът (и ние не сме много изненадани) все още е неизвестен (Чехия)"
- "...темата е просто прекалено абстрактна и непозната, за да се попълни изобщо анкетата (Холандия)"

Тези цитати, заедно с констатациите от подробните интервюта, проведени в паралел с Анкетата от 2009г. с множество заинтересовани основни участници (напр. BASF, Heidelberg Cement, Skanska) наистина показват, че нанотехнологиите не са особено проникнали в строителния сектор. Серия осъществени контакти с различни МСП подкрепя тази картина, според която нанотехнологията представлява само малка пазарна ниша в днешната строителна индустрия. Има обаче и обратни сигнали от компания, предлагаща консултации за здравословни и безопасни условия на труд във водопроводната и електрическа индустрия в Дания, с които се посочва, че те "...не разполагат с информация за каквито и

⁶ Отговор на анкетата се получи от 14 различни държави с между 1 или 2 отговора за всяка държава, с изключение на Холандия. Много по-високото холандско участие се дължи на паралелен (национален) проект, който се занимава нанопродуктите в строителната индустрия и е свързан с професионалното излагане на вредни въздействия.

да било нанопродукти, които се използват в сектора, но са определено сигурни, че някои от продуктите са в действителност нанопродукти".

Участниците в Анкетата от 2009г., които работят с нанопродукти, предимно работят с цимент или бетонни продукти, покрития или изолационни материали (вж. **Графика 0-2**). Други типове продукти, включително продукти за асфалтиране на пътища, забавящи горенето материали или текстил, бяха посочени само от някои анкетираните. Всички анкетираните използват нанопродукти по причини, свързани с тяхната ефективност (които изключват алтернативен продукт), а понякога по (допълнително) конкретно искане от клиента.



Графика 0-2 Нанопродукти, за които има реални показания, че се използват; брой продукти по типа продукт, според резултатите на анкетата от 2009г.

Интересно е да се отбележи, че някои от анкетираните, отговорили *"Не, не съм информиран(а), че работя с нанопродукти"* всъщност посочват, че вероятно работят с някои типове нанопродукти, когато пред тях е поставен конкретен списък на типовете продукти (~18% от всички анкетираните: работници, представители на работници и работодатели). Типовете продукти, които обикновено се посочват от тези анкетираните, се припокриват с продуктите, споменати по име от анкетираните, които са наясно, че работят с нанопродукти (~21% от всички анкетираните: работници, представители на работници и работодатели). Това показва една по-обща неинформираност за естеството на продуктите, с които се работи, но може освен това да се тълкува като отразяващо онези продуктови групи, където анкетираните биха очаквали първо да се появят нанопродукти. Друга възможност е обаче отговорите да са насочвани от маркетинговите въздействия, асоцииращи по-доброто техническо представяне на продукта с префикса *нано-*, което подсказва, че всички 'нови', 'уникални', или 'ултраздрави' продукти се подразбират като „нанопродукти“.

Предимства на нанотехнологиите за сектора

Използването на нанотехнологиите за усъвършенствано изследване и развитие на материалите изисква силен сектор за научнотехническа и развойна дейност с възможности за използване на скъпо оборудване, управлявано от висококвалифициран персонал. Тъй като обаче строителната индустрия никога не е била силно ориентирана към научнотехническата и развойна дейност (НРД), то НРД по отношение на нанотехнологиите се провежда предимно в големи мултинационални производители като BASF, AKZO-NOBEL, DuPont, Heidelberg и Italcementi или в специализирани научноизследователски институти (или университетски, или частни). Това косвено сочи, че МСП играят много слаба или дори никаква роля в сегашните "пионерски" дейности, касаещи нанотехнологиите в строителния сектор. Изключения са отделните се като самостоятелни фирми МСП, които имат договор за използване на научнотехническата база на своите по-големи предприятия-майки, МСП,

които са създадени към различни висши учебни заведения (spin-offs) (и могат да използват базата на университета), работещи в специфични пазарни ниши за нанопродукти като например производство и проектиране по поръчка на специфични наноматериали, както и малък брой МСП, които съумяват да използват успехите и пробивите на по-големи фирми, за да разработват иновативно свои собствени продуктови линии.

В момента обаче тази ситуация се променя в сектора на покритията. Нанопокритията са обикновено 'далеч напред' в своето развитие спрямо други строителни продукти като бетонови или изолационни материали, а методите за прилагане на наноматериали стават все по-'добре познати' сред производителите на продукти. Именно заради това в областта на боите и покритията МСП започват също да играят роля и създават свои собствени линии нанопродукти.

Информация за нанопродуктите по потребителската верига

От гледна точка на средния строителен работник задълбоченото познаване на химическия характер на продукта, с който работи, не е приоритет номер едно. Онова, което му е необходимо, е техническа информация и информация мерките за здравословен и безопасен труд. Това важи за "нормалните" продукти и не е по никакъв начин различно за нанопродуктите. Използването обаче на стандартизирани методи за определяне на рисковете за здравословните условия на труд, произтичащи от излагането на въздействието на нанопродукти, е тема на днешния дебат и съдържа редица открити въпроси, отнасящи се до приложимостта на тези методи. В резултат на това съществува обща несигурност по отношение на рисковете, свързани със здравето и безопасността при работа с нанопродукти, които трябва да се третират и използват с известна предпазливост.

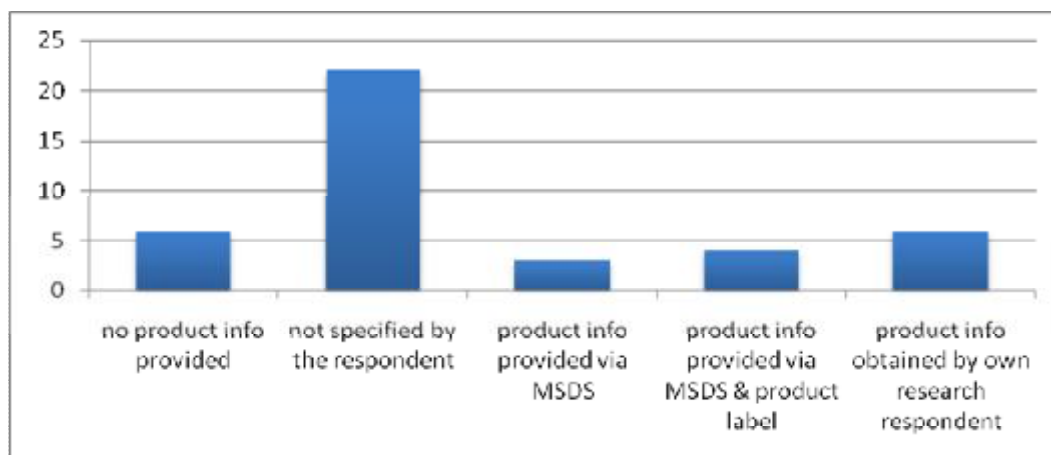
Наноматериалите могат да са много по-реактивни (за един грам материал) от своите „не-нано“ форми, и може да се държат доста различно. Следователно те биха могли да въздействат по различен начин на здравето, като тези въздействия биха могли да са по-сериозни. Определените в момента гранични стойности на безопасност, извън които се изисква регистрация и нотификация (уведомяване) относно рисковете за здраве и безопасност, следователно са вероятно твърде високи за осигуряване на безопасни условия на труд и трябва да се снижат. В рамките на Европа лобистите на Европейския синдикален институт (ЕСИ) и Европейската конфедерация на профсъюзите (ЕКП) правят постъпки за промяна на тази ситуация чрез изменения на директивата REACH, които ще изискват задължителна нотификация на всички наноматериали, съзнателно добавени към даден продукт.

Понастоящем ситуацията е такава, че съществуват само ограничени начини да се получи химическата информация относно нанопродуктите. Не много производители на продукти, които използват съставки с наноразмери или наноматериали, уведомяват своите клиенти за този факт, тъй като Регламентът относно класифицирането, етикетането и опаковането на вещества и смеси (CLP)⁷ не ги задължава да го правят. От Анкетата от 2009г. само за 7 от 41 нанопродукти, за които е посочено, че се използват, анкетираните посочват, че са информирани за продуктите характеристики от Информационния лист за безопасност (ИЛБ), а от тези само в 4 случая ИЛБ предписва защитни мерки за нанопродукта, които се различават от мерките, предписани за (не-нано) продуктите, използвани в миналото от същата строителна компания (вж. **Графика 0-3**). Получените отговори показват, че по-голямата част от продуктите и аспектите, свързани със здравето и безопасност на продукта,

⁷ http://ec.europa.eu/environment/chemicals/dansub/home_en.htm ;версия на български език на Регламент (ЕО) No 1272/2008: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:353:0001:1355:bg:PDF>

не са подходящо комуникирани нататък по веригата потребители (за 34 от продуктите няма ИЛБ, поне доколкото е известно на анкетираниите, които са или строителни работници, или работодатели). За онези продукти, за които е доставен ИЛБ, от производителя или доставчика зависи дали в ИЛБ е предоставена информация за здраве и безопасност, която е специфична за наносъставката. За продуктите, посочени от отговорилите на Анкетата от 2009г., повечето ИЛБ не показват наличие на наносъставки, докато техническите данни в някои случаи ясно показват, в други непряко посочват, а "сякаш" подсказват (например чрез наименованието на продукта), че продуктът действително съдържа поне един наноматериал. Нано-специфичната информация, предоставена в техническите информационни листове, варира от доста подробна: посочен диапазон на размера и СЕМ изображение⁸ на наночастицата или описание на активната повърхностна площ на наноматериала за един грам, до "елементарна" бележка, че продуктът не съдържа например нанокварц (без допълнителна спецификация какво точно представлява този нанокварц).

Във всички случаи, в които е предоставена повече информация за нанопродукта, производителите на продукта твърдят, че техният продукт не е опасен, когато се използва според препоръките, а в нито един от случаите не е посочено, че са необходими (нано-) специфични умения или квалификация за правилно използване на нанопродукта. Още повече за по-голямата част от нанопродуктите, упоменати в Анкетата от 2009г., предписаните предпазни мерки са описани като *'не по-различни от предишните'* когато са били използвани "не-нано" продукти и работната практика е посочена като невлияеща се от употребата им. Само за два продукта са предписани повече защитни мерки в сравнение с „не-нано“ продуктите, използвани за аналогично приложение. За продуктите от Анкетата от 2009г. последното важи за два циментови продукта, съдържащи наносиликон. Има обаче и признаци, че нанопродуктите могат да улеснят работата.

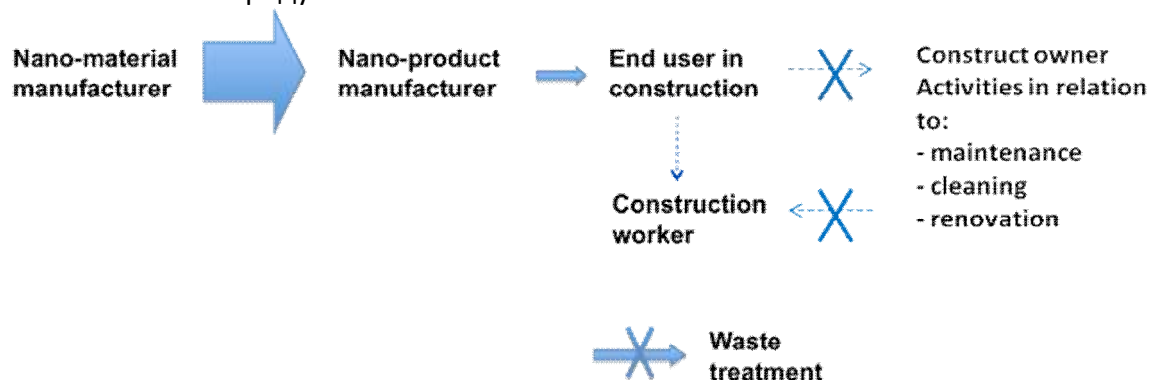


Графика 0-3 Спецификация на информацията за нанопродуктите, посочени като използвани в анкетата от 2009г. (дадени по брой)

Към настоящия момент веригата за предаване на информация се представя както следва (вж. също **Графика 0-4**). Производителите на "суровини" за наноматериали действително предоставят подробна информация за свойствата на материала (като реактивност, специфични химични характеристики, размер, форма, кристална структура, маса и плътност) и спецификации на аспектите, свързани със здравето и безопасността и замърсяването на околната среда (доколкото са известни) на следващия потребител надолу по веригата (най-

⁸ Сканираща електронна микроскопия (СЕМ)

често производителя на продукта). В зависимост от техните бизнес-отношения, тази информация може да е просто минималната изисквана по закон или по-подробна, когато между фирмите съществува взаимно доверие. На този етап във веригата обаче "наноспецифичната" информация обикновено спира. Производителите на продукти най-често само използват наноматериала като добавка под концентрациите, изискващи регистрация и специално нотифициране. Само някои от производителите уведомяват своите клиенти при всички случаи. Понякога обаче това става само със споменаване на характеристики като *"произведено с нанотехнология"* без да се влиза в допълнителни подробности. Клиентът в такива случаи отново трябва само да се досеща какво всъщност има в този нанопроduct.



Графика 0-4 Интензитет на предадената надолу по потребителската верига „нано-специфична“ информация от доставчика на суровини до онези, които трябва да обработват отпадъците. Дебелината на стрелката представлява грубо количеството „нано-специфична“ информация, доставена на следващия потребител надолу по веригата.

"Нано" продава успешно

Нанотехнологията и продуктите, които тази технология носи, се смятат за решение на много от днешните въпроси с висок приоритет, като например изчерпването на минералните ресурси, замърсяването на околната среда, енергопотреблението и емисиите на парникови газове и дори проблеми, свързани със сигурността - като терористични нападения и опазване на световния мир. Големите очаквания водят до това, че „нано“ днес е синоним на ключови думи като *успех, висока ефективност и устойчиво развитие*. Вследствие на това компаниите, но също и научните работници, започнаха да продават своите продукти като *нано-* за да привлекат клиенти или да получат финансиране. Тази тенденция започна преди около 10 – 15 години и е в пълна сила днес, тъй като се завърна на дневния ред във връзка с безпокойствата около човешкото здраве и безопасност, но също и заради натиска от браншовите организации да се изясни объркването, свързано с "нано-темата"⁹ – „нано-“, продължава да се използва, за да подчертае продукти с висока техническа ефективност или усъвършенстван, интелигентен дизайн.

При това не се използва само за продукти, които наистина съдържат наноматериали. Покрай останалото доста стандартни продукти, съдържащи ензими (които имат типични размери в нано-режим) или мастни дисперсии (съдържащи малки капчици масло с диаметър с наноразмер) също се наричат *нано-*. Същото важи и за продукти, които могат да се разглеждат като "гранични" случаи, когато материалите-прекурсори са произведени с използване на наноматериали или нано-производствени процеси, но в които реалните съставки вече не представляват сами по себе си наноматериали. Получаващата се в резултат ситуация е доста объркваща, тъй като нанопроductите понякога се продават като не-

⁹ Индивидуални комуникации с множество различни компании, произвеждащи материали.

нанопродукти, но същевременно става и обратното: не-нанопродуктите понякога се продават като нанопродукти.

2.2 Дейности за осигуряване на безопасност на труда

Въпреки гореизложеното, производителите на нанопродукти все повече осъзнават потенциалните и до голяма степен неизвестни въпроси относно здравето и безопасността, свързани с употребата и манипулирането на наночастици. На строителния обект човек може да бъде изложен на въздействието на наночастици от:

1. първично използване на нанопродукт: работа с нанопродукта (готов за използване продукт или многокомпонентен продукт, който се смесва на обекта)
2. вторично използване на нанопродукт: машинна обработка на нанопродукт (например чрез разпробиване, шлайфане или почистване)

Особено когато тези дейности са свързани с манипулиране на прашни или течни материали или с генериране на прах или аерозоли, е необходима внимателна оценка на риска. Типични примери: нанасяне със спрей-пистолет на нанопокрития, добавяне на микросилициев прах към мокър хоросан, почистване с песъкоструен апарат на фото-активна бетонна фасада или почистване на антибактериална (съдържаща сребро) стена. От друга страна рисковете от излагане на въздействието на наночастици чрез манипулиране на твърди (готови) нанопродукти като нано-подсилена керамика, стъкло, стомана, пластмаса, сплави, изолационни материали, бетон или дървесина без каквато и да било машинна обработка, се очаква да са незначителни (ако изобщо съществуват), защото се очаква наночастиците да останат непокътнати в твърдата матрица. Експозицията обаче може да възникне с износването на материала, при ремонтиране на конструкцията или при нейното разрушаване.

Като първи опит да се осигури безопасно работно място се препоръчва следването на "подход на предпазливост" чрез различни организации като например основни производители на материали и Европейската комисия. В резултат на приложения натиск за прилагане на предпазлив подход, за който настояват различни кодекси на поведение и който е подкрепен от Европейската комисия и повече големи заинтересовани производители като BASF и Dupont, производството на повечето наночастици и наноматериали се извършва в течна форма (суспензия или разтвор), в условия 'под налягане' или в херметични условия, за да се увеличи до максимум контролът върху частиците и да се сведат до минимум рисковете от експозиция. Поради тези причини, за разлика отпреди няколко години, добавките с наноразмери най-често се доставят като суспензия или разтвор, готови за използване от производителя на продукта. Когато това не е възможно, например при микросилициевия прах за UHPC (Ultra High Performance Concrete, с изключителна якост) бетон, и добавките трябва да останат в прахообразна форма, се изобретяват други решения за предотвратяване на експозицията, като например използване на опаковъчни материали (големи чували), които се разтварят във вода, а материалът не се отразява върху предвидените характеристики на продукта (бетон).

Въпреки това обаче е много трудно да се определи дали конкретните работни практики и мерки за защита са достатъчни за безопасна работа. Измервателните уреди, с които да се определи реалното ниво на експозиция на работното място, са изключително скъпи, с тях трудно се работи и предоставят само ограничена информация за реалните нива на експозиция. Според днешното ниво на познания, на пазара съществуват различни видове материали за лична защита, които трябва да могат да осигурят защита срещу излагане на въздействието на наночастици. Информацията относно материалите за лична защита може да

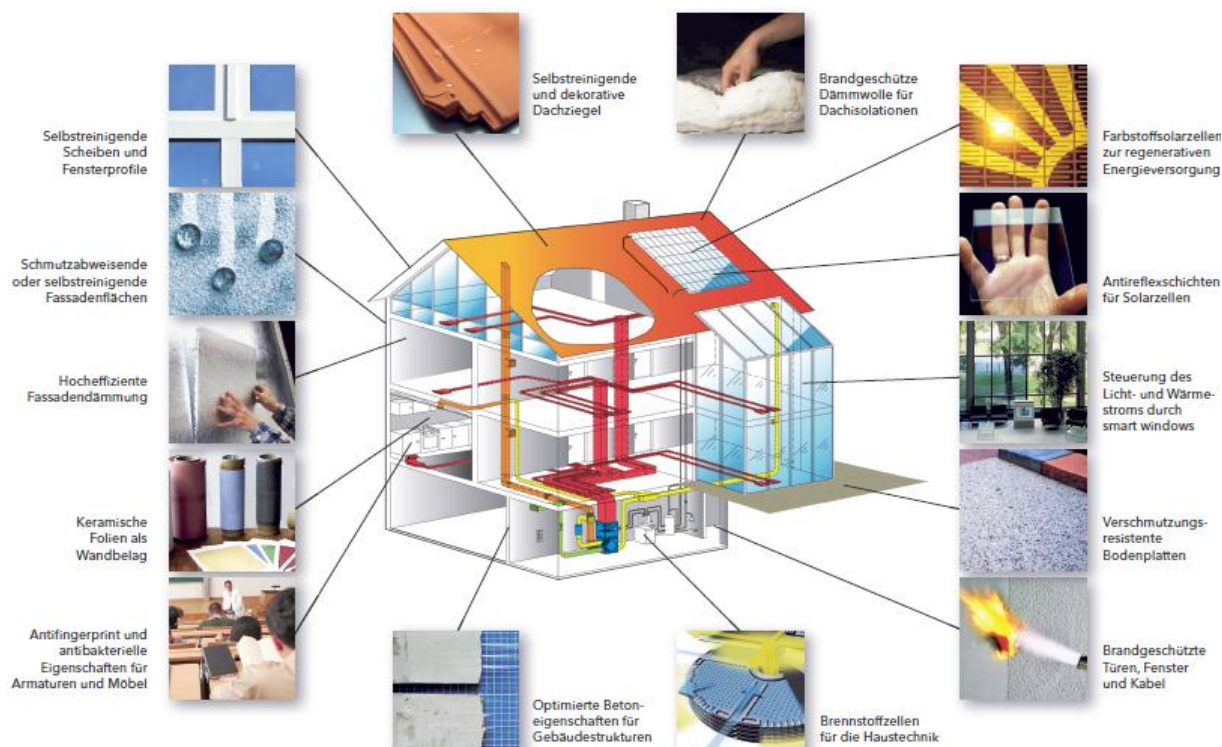
се намери в проучване, което неотдавна беше публикувано от ОИСР, което представя всеобхватен преглед на сравнението на различни указания за избор на оборудване за защита на кожата и респираторна защита за работниците срещу евентуално излагане на въздействието на обработени наноматериали¹⁰

¹⁰ OECD Environment, Health and Safety Publications Series on the Safety of Manufactured Nanomaterials No. 12 (2009) ENV/JM/MONO(2009)17

3. Нанопродукти на строителния обект

3.1 Въведение

Общият пазарен дял на нанопродуктите в строителната индустрия е малък и се прилага само в пазарни ниши¹¹. Този дял обаче се очаква да нарасне в близко бъдеще¹² и наночастиците вероятно ще играят важна роля в самата основа на проектирането, разработването и производството на материали за строителната индустрия¹³. Дори в днешно време нанопродукти могат по принцип да се намерят във всяка част на съвременна къща или сграда (вж. Графика 0-5).



Графика 0-5 Схематично представяне на типична съвременна къща, с посочени места, където могат да се намерят нанопродукти¹⁴.

Нанопродуктите, посочени в отговорите на Анкетата от 2009г. включват предимно цимент и бетон, покрития и изолационни материали. Те отговарят добре на типовете продукти, посочени при подробните интервюта, което показва, че покритията и циментовите и бетонови материали вероятно наистина имат най-голям пазарен дял сред нанопродуктите в днешната строителна индустрия, следвани от изолационните материали. Това също кореспондира добре на заключенията от задълбоченото проучване в литературата, проведено в контекста на този доклад. По тази причина циментът и бетонът, покритията и изолационните материали бяха избрани като приоритетен акцент. В този контекст наночастиците, които най-често се споменават, са полимерите от флуорокарбон (CF-),

¹¹ Лична комуникация

¹² От \$20 милиона щ.д. през 2007г. на ~ \$400 милиона щ.д. преди края на 2017г.; Freedonia Group Inc. *Nanotechnology in Construction* –Pub ID: FG1495107; 1 май, 2007г.

¹³ *Nanotechnology and Construction 2006*; www.hessen-nanotech.de

¹⁴ Взето от брошурата "Einsatz von Nanotechnologien in Architektur und Bauwesen" публикувана от HA Hessen Agentur 2007, източници: Schrag GmbH VDI TZ

титаниев диоксид (TiO_2), цинков оксид (ZnO), силиций (или микросилициев прах; SiO_2), сребро (Ag), и алуминиев оксид (Al_2O_3). Интересно е да се отбележи също, че не са открити данни за използването на въглеродните нанотръби (CNT) в тези продукти, макар че много публикации наистина показват данни за течащи в момента проучвания и разработване на продукти в тази насока.

Флуорокарбон полимерите (CF-полимери) са подобни на тефлон молекули, които се изнасят на повърхността, създавайки покритие, която отблъсква вода и мазнини. Обикновено се прилагат върху стъкло.

Титаниевият диоксид (TiO_2) абсорбира ултравиолетовата светлина и се използва като защитен слой срещу увреждането от ултравиолетови лъчи. Някои форми на TiO_2 са фотокаталични и катализират унищожаването на органични замърсители като плесени, полициклични ароматни въглеводороди (PAH), формалдехид и NO_x под влиянието на ултравиолетовата светлина. Те могат да се прилагат практически за всеки тип повърхност, който трябва да бъде защитен от ултравиолетови лъчи, да се самопочиства или да помага за намаляване на замърсяването на въздуха.

Цинковият оксид (ZnO) има подобни фотоактивни характеристики като TiO_2 и може да се използва за подобни приложения.

Микросилициевият прах (аморфен SiO_2) уплътнява бетона, като го прави по-як и по-траен при предимно алкални условия като например морска среда. Той може също да се добавя към бетона, за да стабилизира добавки като летлива пепел (пепелина), към покривни материали, което води до създаване на много здрава матрица, или да се използва като забавящ горенето агент. Някои типични приложения включват UHPC (Ultra High Performance Concrete, с изключителна якост) бетон, устойчиви на одраскване покрития и пожароустойчиво стъкло.

Среброто (Ag) действа като бактерицид и може да се добавя към всички видове материали. В строителството предимно се намира в различни покрития. Всъщност сребърните йони, които се отделят при разтварянето на среброто във водата, допринасят за тази антибактериална дейност.

Алуминиевият оксид (Al_2O_3) се използва в покрития, за да влезе във взаимодействие със свързващия материал и да добави висока резистентност към одраскване на съответното покритие.

3.2 Цимент, бетон и мокър хоросан

В областта на бетоните съчетанието от вече съществуващите добри технически характеристики, които се предлагат на ниски цени, означава високо предизвикателство за успешно приложение на нанотехнологията¹⁵. Една от областите, в които нанотехнологията наистина е изключително ценна сега и в близко бъдеще, е проучването (и оптимизацията чрез по-добро познаване) на свойствата на използваните от нея материали¹⁶.

Използването на наночастици в циментови и бетонни материали наистина се концентрира предимно върху TiO_2 и микросилициев прах. Заради свързаните с тях разходи и двете добавки обаче се използват в малки количества или в двуслойна система и само когато са конкретно необходими по причини на техническата им ефективност. Примери за продукти въз основа на микросилицев прах, които в момента се предлагат на пазара, са напр. ChronoliaTM, AgiliaTM и DuctalTM на Lafarge и EMACO®Nanocrete на BASF¹⁷. Примери за фотокаталитичен цимент са TioCem TX Active (Heidelberg Cement¹⁸), NanoGuardStone-Protect

¹⁵ NICOM3, изказвания на конференция 2009

¹⁶ Различни презентации и частна комуникация с множество компании и университетски учени по време на NICOM3, Прага '2009

¹⁷ Според информация от тези компании, първоначалният материал представлява всъщност микросилицев прах, но той е агломериран в производствения процес така, че да формира по-едри частици.

¹⁸ Според информация от самата компания, TiO_2 в този продукт не е "нано", а малко по-едър: в диапазона на микронов размер

на Nanogate AG¹⁹ а TX Arca и TX Aria (Italcementi), които се произвеждат като слепващ елемент за широк диапазон покривни материали като екстериорни стени, тунели, бетонни подове, тротоарни плочки, фаянсови плочки, керемиди, бои за пътна маркировка, бетонни панели, шпакловка и циментосъдържащи бои²⁰.



Графика 0-6 Вляво: "Гамата EMACO® Nanocrete. Вдясно: "Юбилейната" църква в Рим, един от най-често цитираните успехи на фотокаталитичния бетон чрез добавяне на TiO_2 . Материал: TX Active (TX Arca) от Italcementi group.

Не бяха намерени данни за реалното използване на CNT-подсилен бетон. Причините, които се цитират, са високата цена на CNT и трудностите при дисперсирането им в матрица. Изучаването на възможностите за прилагането на CNT в бетона обаче е обект на активни изследвания.

Поради стриктните изисквания за качество разработването на материала обикновено отнема между 5 и 10 години). Очакват се развития в близко бъдеще в областта на микросилицевия прах за стабилизиране на бетон, съдържащ значителни отломки от рециклирани бетонни агрегати и капсулирани добавки за оптимално управление на процеса на втвърдяване

3.3 Покрития и бои

От всички нанопродукти, въведени в строителната индустрия, покритията и боите до този момент вероятно са най-успешни при завоюване на място на пазара: *"Ако изобщо се намерят каквито и да било нанопродукти на един обикновен строителен обект, най-голяма е възможността да се намерят бои или покрития"*^{21, 22}. Декоративните покрития са най-широко разпространени, но се намират също и високоефективни строителни покрития като подови покрития за индустриални обекти. Нанотехнологията си намери място в производството на бои и покрития по следните причини:

1. наночастиците си взаимодействат по-добре с намиращата се под тях повърхност от своите по-едри форми, заради по-дълбокото проникване, подобреното покритие или увеличеното взаимодействие покритие-повърхност, което води до по-трайно покритие на повърхността.
2. наночастиците са прозрачни на видимия спектър на светлината.
3. прозрачността отваря вратите към нови добавки, което въвежда нови характеристики на иначе непрозрачни покрития като висока устойчивост към одраскване или ултравиолетова светлина, поглъщане на инфрачервения спектър или отражението, пожароустойчивост, електропроводимост и антибактериални и самопочистващи свойства.

¹⁹ <http://www.nanogate.de/en/>

²⁰ <http://www.italcementigroup.com/ENG/Italcementi+Group/>

²¹ Лична комуникация

²² <http://www.soci.org/Chemistry-and-Industry/Cnl-Data/2009/16/Nanocoatings-incognito>

Всички тези елементи се събират при разработването на нови системи за покрития за почти всички възможни повърхности - от пластмаса до стомана. В рамките на групата продукти "нанопокрития" акцентът пада върху антибактериалните покрития (добавяне на TiO_2 , ZnO или Ag), фотокаталитични "самопочистващи се" покрития (TiO_2 или ZnO), отразяващи или абсорбиращи ултравиолетовата или инфрачервена светлина покрития (TiO_2 или ZnO), забавящи горенето покрития (SiO_2) и устойчиви на одраскване покрития (SiO_2 или Al_2O_3). Тези видове функционалности обикновено се прилагат на покрития за стени (интериорни или екстериорни), дървени фасади, стъкло и различни материали за пътна покривка.

Фотокаталитични, антибактериални и самопочистващи се бои за стени

Нанобоите за стени се продават предимно заради своите фотокаталитични, антибактериални или самопочистващи се свойства. Примери за самопочистващи се, фотокаталитични покрития са интериорна боя Arctic Snow Professional Interior Paint на Arctic paint LTD (TiO_2), Cloucryl на Alfred Clouth Lack-fabrik GmbH&Co KG²³ (ZnO) и Amphisilan на Caparol²⁴. Един пример за антибактериално покритие на основа на нано-Ag е Bioni Hygienic, произвеждано от Bioni CS GmbH (вж. също Графика 0-7)²⁵. Едно лесно за почистване покритие, което отблъсква както вода, така и масла, е Fluowet ETC100 (на основа на CF--полимери от Clariant).



Графика 0-7 Антимикробно покритие за стени, съдържащо сребърни частици с наноразмер за употреба в клиники и болници

Нанопокрития за дървени повърхности

Нанопокритията за продукти от дърво са разработени за стени и фасади (екстериорни), но също и за паркет и мебели (интериорни) и поставят акцент върху отблъскването на вода (и в по-малка степен на мазни продукти), устойчивост на одраскване и защита от ултравиолетови лъчи. Макар че на пазара съществуват някои продукти, разпространен е известен скептицизъм особено относно водоустойчивите и защитаващи от ултравиолетова светлина покрития заради качеството на някои от първото поколение продукти²⁶. Вследствие на това новото поколение покрития трудно успява "да се докаже", а примерите за реално използване на строителния обект са оскъдни.

BYK Additives and Instruments²⁷ е един пример за компания, която рекламира ново поколение защитаващи от UV покрития. Те са създадени на основа на органични UV абсорбиращи вещества²⁸ или металните оксиди ZnO и CeO_2 . TiO_2 е по-малко използван по причини, свързани с прозрачността и фотокаталитичната му функция.

Примери за високоустойчиви на одраскване лакове за дърво, които съдържат нано- SiO_2 , са Bindzil CC30 (Baril Coatings), Nanobyk 3650 (BYK Additives and Instruments) и Pall-X Nano

²³ http://www.clou.de/frontend_live/start.cfm

²⁴ Съдържащи микро-машабен TiO_2 по ценови съображения, но нано- SiO_2 за постигане на по-висока устойчивост към одраскване.

²⁵ <http://www.bioni.de/index.php?lang=en>

²⁶ Лична комуникация с различни производители на покрития и представители на дървообработващия сектор

²⁷ <http://www.byk.com>

²⁸ Нпр. хидроксифенилбензотриазоли, хидроксифенофенони, хидроксифенил-С-тиазини или оксални анилиди

(Pallmann). Nanobyk 3600 (BYK Additives and Instruments) е един пример за високоустойчиво на одраскване покритие чрез добавяне на Al_2O_3 частици с наноразмери.

В контраст с външните факторите, причиняващи износване, като UV или одраскване, част от свойствата на дървото е изтичането на сложни химикали като танини, които с времето обезцветяват повърхността на дървото. Чрез третиране на повърхността на дървото с покритие, съдържащо наноглина (т.е. Хидроталцит $\text{Mg}_3\text{Al}_2(\text{OH})_4(\text{CO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$; Nuplex), този процес може да се забави. Продукти в тази гама се произвеждат също от BYK.

Нанопокритията, които защитават дървото срещу вода или масло са напр. 2937 GOR Professional Transparent, произвеждано от Dyrup Denmark²⁹, Percenta Nano Wood & Stone Sealant³⁰ (защита на дървени и каменни материали срещу вода и мазнини, най-често създадени на основа на CF-polymers), Pro-Sil 80 от NanoCer³¹ и Nanowood на Nanoprotect³². Сред тези обаче някои покрития са на основата на 'мицели' с наноразмери, създадени от мазнина във вода. Макар че тези материали се произвеждат с помощта на нанотехнологията, мицелите не трябва да се считат за наночастици и следователно покритията не могат да се описват като нанопокрития.

Нанопокрития за стъкло

Освен фотокаталитичните, самопочистващи се, топлоустойчиви, противоотразителни и спиращи запотяването покрития за стъкло, интересни разработки протичат в момента в областта на климатичния контрол в закрити помещения (блокиране на инфрачервена и видима светлина). Намират се както (ре-) активни, така и пасивни решения. Пасивните са във формата на тънко покритие, които действат постоянно³³. Активните решения за климатичен контрол на закрито използват термохромови, фотохромови или електрохромови технологии, които реагират съответно на температура, светлинен интензитет или приложено напрежение, като променят способностите си за поглъщаща на инфрачервена светлина, за да държат сградата хладна. Последната е единствената система, която може да се регулира ръчно. Чрез включване на напрежението по стъклото посредством устройство, много подобно на ключ за осветление, слой от волфрамов оксид, положен върху повърхността на стъклото, става по-непрозрачен и абсорбира повече инфрачервена светлина (вж. напр. **Графика 0-8**).



Графика 0-8 (ляво) Стъклените фасади за сгради оформят широка гама продукти на нанотехнологичните иновации в строителната индустрия (дясно) Електрохромно стъкло.

²⁹ www.dyrup.com

³⁰ <http://en.percenta.com/nanotechnology-wood-stone-sealing.php>

³¹ <http://www.intelcoats.com/nanop%20Indnanocer%20engl.html>

³² <http://www.nanoprotect.co.uk/wood-protection.html>

³³ Примери за компании, които рекламират такива, са Econtrol®-Glas GmbH & Co, 3M и Saint-Gobain

3.4 Нанотехнологии и инфраструктура

В областта на устойчивото развитие и контрола върху замърсяването на околната среда научните разработки разглеждат възможността за намаляване на замърсяването на въздуха от автомобилни газове чрез TiO_2 активирана инфраструктура. За целта са разработени продукти като NOxer^{®34} бетонови плочи за пътно покритие и KonwéClear³⁵, циментово асфалтово покритие (вж. Графика 0-9). Различни компании като Italcementi и Heidelberg Cement произвеждат материали с този тип от активност под форма на тухли, блокове, панели, плочки и противошумови ограждения.



Графика 0-9 От ляво надясно: тротоар в Япония, покрит с NOxer[®], павиращи блокове на TX Arja и покритие за тунели (Italcementi), път, покрит с KonwéClear (Bouwend Nederland Podium 22, 14 дек. 2006).

3.5 Изолационни материали

Сред нанопродуктите, използвани в строителната индустрия, изолационните материали са може би най-отличителни заради това, че тези материали често не съдържат наночастици, но са направени от нанопяна (или аерогел) от наномехурчета или нанодупки. Особено от гледна точка на здравословните условия на труд, тази разлика е много важна, тъй като предполага, че не се очакват *нано-специфични* здравни рискове от работата с този материал.

Нанопорести изолационни материали като аерогели и определени полимерни нанопяни могат да са 2 – 8 пъти по-ефективни от традиционните изолационни материали (Графика 0-10). Аерогеловите за изолация, които се използват в днешно време, са предимно на основа на силикон или въглерод, като обемът им представлява приблизително 96% въздух.³⁶ Един пример е изолационната вата от нанопорест гел Insulair[®] NP, произвеждана от Insulcon B.V.³⁷ (Графика 0-10), която е гъвкава и специално разработена за приложение при изключително ниски или високи температури.



Графика 0-10 От ляво надясно: подобрена изолация чрез базирани на аерогел материали; аерогел: прогонени нанопори в SiO_2 матрица³⁸; гъвкави нанопорести изолационни вати от Insulcon B.V. (2x)

³⁴ <http://www.eurovia.com/en/produit/136.aspx>

³⁵ <http://hbo-kennisbank.uvt.nl/cgi/av/show.cgi?fid=3698>

³⁶ <http://en.wikipedia.org/wiki/Aerogel>

³⁷ http://www.insulcon.com/page/products/Microporous_and_Nanoporous_products.htm

³⁸ <http://www.spaceflightnow.com>

Други продукти в тази област са Roof Acryl Nanotech (на базата на наноструктурирано флуор-полиуретаново свързващо вещество в комбинация с горен слой от фотокаталитичен железен оксид)³⁹ на BASF и Relius Benelux за защита на покриви от горещо и студено време, PCI Silent на BASF за звукоизолация, Spaceloft (специално разработен за строителната индустрия) и Pyrogel XT на Aspen Aerogels⁴⁰ на основа на нанопореста силиконова структура, Pyrogel XTF и Pyrogel 2250 на Aspen Aerogels на основа на нанопореста силиконова структура, специално разработена за изключителна защита от пожар, Cryogel Z на Aspen Aerogels на основа на нанопореста силиконова структура, специално разработена за изолация от изключително ниски температури.

³⁹ <http://www.relius.nl/ViewDocument.asp?DocumentId=419&MenuId=90&MenuLabel=News>

⁴⁰ <http://www.aerogel.com/>

4. Здравни рискове

4.1 Въведение

Постепенно се трупат данни, че наноматериалите могат да са по-опасни за човешкото здраве от своите микроеквиваленти. Въпреки това акцентът трябва да се постави върху думата '*могат*' защото към този момент (2009г.) познанията за тях са твърде ограничени, за да се правят обобщения. По тази причина при работа с тези материали се препоръчва подход на предпазливост. Двата основни фактора, които въздействат непознатата до този момент токсичност на наноматериалите са *размерът и формата им*.

Поради малките размери на наночастиците (или 2-измерни, нанопръчки, или 3-измерни, наночастици) техните електронни свойства са различни, което се отразява от химическата им реактивност, правейки ги по-агресивни към нормалното функциониране на човешкото тяло. Например редица изследвани наноматериали предизвикват по-силно изразени възпалителни ефекти (чрез механизъм, наречен оксидативен стрес), агломерират се или се свързват по-ефективно със специфични части на човешкото тяло, като им пречи да функционират нормално. Още повече заради малкия си размер тяхната повърхност е сравнително силно увеличена по отношение на обема (и масата) на частиците, което ги прави значително по-реактивни за единица маса.

Намаляването на размера и промяната на електронните свойства влияе също и върху тяхното физическо поведение. Ето няколко примера:

- наночастиците могат да са толкова малки, че да се държат като газове ,
- наночастиците могат да са толкова малки, че да проникнат по-дълбоко в белите дробове и да бъдат по-лесно разнасяни с кръвта,
- за разлика от повечето други химически вещества, те могат да бъдат поемани от системата на нервни клетки и "лесно" да бъдат транспортирани до човешкия мозък⁴¹,
- някои наночастици може да са в състояние да преминат през плацентата и да достигнат до плода⁴²,
- заради своя размер и свойствата на повърхността си, те могат да достигнат места (клетки, органи) в човешкото тяло, които са добре защитени срещу подобна инвазия от форми с по-голям размер,
- а заради своя размер и характеристиките на повърхността си те проникват в човешката кожа по-лесно от своите форми с по-голям размер, особено когато кожа е леко разранена (суха, изгоряла от слънце, одраскана).

Освен размерът, специфичната форма на наночастиците също играе основна роля за токсичното поведение на материала. Например докато частиците могат да са сравнително нетоксични, нанопръчките могат да се държат като истински игли, перфориращи човешката тъкан. Наблюдава се обаче и обратното: наночастиците, които (заради своята форма и характеристики на повърхността) са в състояние да преодолеят специфични бариери в човешкото тяло.

Други фактори, за които има данни, че играят важна роля при определянето на нанотипични здравни рискове са агрегираното или агломерирано състояние на материала и неговата морфология (аморфен или с кристална структура), които влияят съответно върху

⁴¹ Oberdorster G et al. 2004, Translocation of inhaled ultrafine particles to the brain. *Inhalation Toxicology* 16 (6-7): 437-445

⁴² Hagens WI et al. 2007, What do we (need to) know about the kinetic properties of nanoparticles in the body? *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 49: 217-229

реалния риск човек да бъде изложен на въздействието на наноматериали и интензитета на всеки потенциален риск от същите материали. Независимо обаче от вътрешно присъщите рискове, основен аспект на всеки евентуален здравен риск от наноматериали или продукти е вероятността от излагане на въздействието им (експозиция).

4.2 Пътища за излагане на вредно въздействие

Когато говорим за излагане на въздействието на наночастици, строителните работници ще бъдат "на първа линия" (почти без всяко изключение) изложени на въздействието на нанопродуктите. Това има значение за реалното излагане на работника на въздействието на наночастиците в продукта. Например когато работникът вдиша прах, съдържащ наночастици, реалната доза наночастици, на която работникът е изложен, зависи от разтворимостта на прахообразното вещество. Ако прахът е неразтворим, част от наночастиците ще останат вградени в матрицата и реалната експозиция ще бъде само към наночастиците, които се намират по повърхността на материала. Ако обаче прахът е разтворим, експозицията ще бъде за цялото количество наночастици, съдържащи се в материала.

Заради самото естество на ежедневните дейности на строителния работник и продуктите, с които той обикновено работи, здравните рискове са основно свързани с експозицията чрез вдишване на отделящи прах наноматериали (при рязане, шлайфане, пробиване или друга машинна обработка) или аерозоли от нанасяне със спрей на бои. Проникването през кожата може също да играе роля (макар много по-малка) и би могло да се превърне в проблем, когато по-голяма част от тялото не е покрита⁴³. Експозицията чрез първично поглъщане не се очаква да представлява проблем, стига да се спазва добра лична хигиена. Експозиция поради вторично поглъщане (в резултат на вдишване на наноматериали поради естествените механизми за прочистване на дихателните пътища) обаче представлява риск, когато възникне вдишване.

Експозиция чрез вдишване

Като общо правило за вдишване на прах и аерозоли: колкото по-малки са частиците, колкото по-дълбоко проникват те в белите дробове, преди да бъдат изхвърлени, толкова по-сериозно може да бъде въздействието им върху човешкото здраве. Типични ефекти върху здравето, които са наблюдавани (NEAA 2005 и съдържащите се там отправки)⁴⁴:

- Възпаления на дихателните пътища
- Бронхит
- Астма
- Сърдечно-съдови проблеми

За наночастиците обаче това правило не е валидно и основна част от вдишаните наночастици се депозира в носа.⁴⁵ По отношение на друг вид транспортиране в тялото е наблюдавано, че някои от тези наночастици действително се транслоцират в нервната

⁴³ Кожата традиционно се счита за добра бариера срещу частици. В момента това твърдение се поставя под въпрос заради най-новите изследвания, които показват, че специфични наночастици действително проникват през опънатата кожа (например на китката) или ненакърнена кожна тъкан в зависимост от своите химически характеристики, размер, форма и матрицата, в която те влизат в контакт с кожата (Muller-Quernheim, 2003, <http://www.orpha.net/data/patho/GB/uk-CBD.pdf>; Tinkle et al. 2003, *Environ. Health Perspect.* 111:1202-8; and Ryman-Rasmussen et al. 2006 *Toxicol. Sci.* 91:159-65).

⁴⁴ NEAA 2005. Particulate Matter: a Closer Look, www.rivm.nl, Netherlands Environmental Assessment Agency, E. Buijsman, J.P. Beck, L. van Bree, F.R. Cassee, R.B.A. Koelemeijer, J. Matthijsen, R. Thomas and K. Wieringa.

⁴⁵ ICRP 1995. Международна комисия по радиологична защита

система, мозъчната тъкан и други органи като кръв, сърце и черен дроб и костен мозък, където могат да причинят възпалителни ефекти, водещи до различни вторични здравни ефекти (Oberdorster et al. 2004 и съдържащи се там отпратки⁴¹; за по-актуален обзор на темата вж. Politis et al. 2008⁴⁶), като дразнене, възпаление, клетъчна смърт, необичаен клетъчен растеж, увреждане на ДНК и хормонални смущения (Donaldson et al., 1996; Zang et al., 1998).

4.3 Въпроси, свързани със здравето и безопасността, касаещи някои типове наночастици

Макар че остават много неизвестни по отношение токсичността на наночастиците, изследванията в тази област продължават, като вече се появяват и първите резултати. CNT, TiO₂, SiO₂ и среброто са сред най-добре проучените до този момент.

Индивидуални характеристики на токсичност

CNT наскоро привлече вниманието на медиите заради изследвания на токсичността, показващи първи показания на азбестоподобно поведение в тъканите на белите дробове⁴⁷. Токсичността обаче според наблюденията зависи от съотношението дължина-диаметър, състоянието на агломерация, повърхностните характеристики и наличието на малки примеси от метални катализатори⁴⁸.

TiO₂ може да се прилага в анатазна или рутилна форма, за които първата (най-често използвана за фотокаталитично приложение) обикновено е най-токсична⁴⁹. Международният съвет за управление на риска заключава, че излагането на здрава кожа на въздействието на TiO₂ с наноразмери вероятно не би се отразило върху човешкото здраве⁵⁰, но проникването през разранена кожа би могло⁵¹. Подробно представяне на въздействието върху здравето е изготвено от NIOSH⁵². Нано-TiO₂ би могъл (при определени условия) да демонстрира генотоксичен потенциал и действително показва възпалителни ефекти при вдишване. Дългосрочната експозиция на анатазен TiO₂ освен това демонстрира признаци на карциногенни ефекти, увреждане на ДНК и въздействие върху развитието на централната нервна система на плода, което насочва към възможността за евентуални репротоксични ефекти при хората⁵³.

SiO₂ може да бъде аморфен или кристален. Според МСУР^{54,55}, синтетично произведеният аморфен нано-SiO₂ е разтворим във вода, нетоксичен, и обикновено се третира с аналогични рискови фактори за човешкото здраве, свързани с токсичността, като не-нано аморфния силициев прах. В зависимост от метода на производство обаче, аморфният SiO₂

⁴⁶ Politis M, Pilinis C, Lekkas TD 2008. Ultra Fine Particles and Health Effects. Dangerous. Like no Other PM? Review and Analysis, *Global NEST Journal*. Vol 10(3), pp.439-452

⁴⁷ Например: Poland CA, et al. 2008, *Nature Nanotechnology*, Vol 3, July 2008, p.223; Pacurari M et al 2008 *Environmental Health Perspectives*, Vol 116, Nr. 9, 1211; Kostaleros K 2008., *Nature Biotechnology*, Vol 26, Nr. 7, 774-776

⁴⁸ Pulskamp K et al 2006 *Toxicology Letters*, 168, 58-74; Wick P et al. 2007 *Toxicology Letters*, 168, 121-131

⁴⁹ Sayes CM et al 2006 *Toxicol. Sciences* 92(1), 174-185

⁵⁰ IRGC 2008. Risk Governance of Nanotechnology Applications in Food and Cosmetics, ISBN 978-2-9700631-4-8

⁵¹ SCCP 2007. Opinion on the Safety of Nanomaterials in Cosmetic Products, adopted 18 December 2007

⁵² NIOSH Draft 2005. Evaluation of Health Hazards and Recommendations for Occupational Exposure to Titanium Dioxide, *Draft Nov. 22, 2005*

⁵³ Simizu M et al. 2009 *Part. Fibre. Toxicol.* Vol 6, 20; Bhattacharya K et al. 2008 *Part. Fibre. Toxicol.* Vol 6, 17

⁵⁴ Международен съвет за управление на риска, 09-2008; ISBN 978-2-9700631-4-8

⁵⁵ Merget R et al. 2002 *Arch. Toxicol.* 75:625

може да е замърсен с кристален SiO_2 , който, в зависимост от дела на това съединение с кристална структура, се отразява върху токсичността на общата маса. Кристалообразният силиций е силно токсичен и е известно, че причинява силикоза при професионално излагане на въздействието му.

Малко се знае за токсичността на **наносреброто** за човека. Wijnhoven *et al.* (2009)⁵⁶ разглежда пропуските в информацията и достига до извода че, макар обикновеното сребро да е сравнително нетоксично, вдишаното или погълнатото нано-Ag може да проникне в кръвта и да се озове в централната нервна система, където да има отрицателни ефекти много по-тежки от тези на обикновеното сребро. Една от причините да се очакват по-тежки ефекти е заради голямата повърхност на наночастиците, което ще доведе до освобождаване на сравнително по-висока концентрация разтворени (и реактивни) сребърни йони.

Рискове при излагане на въздействието в работна среда

Разполагаме само с ограничена информация, за да можем да оценим рисковете при професионално излагане на въздействието на наночастици от страна на строителните работници. Излагането на въздействието на нанопродукти чрез вдишване на прах или аерозоли е до известна степен очевидно. Оценяването обаче на рисковете от излагането на вредно въздействие при машинна обработка или манипулиране на нанопродукти далеч не е толкова елементарно. Някои първи по рода си данни могат да се извлекат от труда на Vorbau *et al.* (2009, Koronen *et al.* (2009) и Kaegi *et al.* (2008)⁵⁷. Първото изследване показва, че добавянето на наночастици към покритието не е задължително да води до увеличена износваемост на полученото покритие. Второто изследване показва, че при шлайфане от изследваните покрития не се отделят индивидуални наночастици (макар че размерът на създадения прах е в микронен режим) и че ултрафините частици от шлайфоващата машина са повече от частиците с размер $<50 \text{ nm}$. Третото изследване показва, че нано TiO_2 не изтича от изсъхналото покритие, но все пак навлиза в околната среда, когато “се разпада” със свързващия материал при износване. Първите резултати в тази посока изглеждат обещаващи в смисъл, че не се наблюдава свободно отделяне на наночастици *просто така, без обяснима причина*. Работата по тази тема обаче все още е твърде ограничена, за да се направят допълнителни заключения относно рисковете от експозиция на нано частици при работата с нанопродукти по принцип. Не съществуват и достатъчно данни, за да се екстраполират констатациите на Koronen, Vorbau и Kaegi с цел да се изчислят рисковете от експозиция на други типове наночастици, различни от вече изучените.

4.4 Възможни подходи за безопасно използването на нанопродукти

Организирането на безопасно работно място изисква вникване във възможно опасните характеристики на наночастиците и тяхното поведение при прилагането на продукти, в които те се съдържат. Както обаче посочихме, реалните познания относно токсикологичните свойства на наночастиците (към 2009г.) са доста ограничени. Същото важи за евентуалното освобождаване на наночастици от нанопродуктите по време на употреба, почистване или техническо обслужване. Това усложнява извършването на надеждна оценка на риска.

Въпреки това използването на нанопродукти в строителната индустрия е реалност и може да се очаква да се разраства в близко бъдеще. Това налага отговорен подход, за който

⁵⁶ Wijnhoven SWP *et al.* 2009 *Nanotoxicology*, 1-30

⁵⁷ Vorbau M *et al.* 2009 *Aerosol Science* 40:209-217; Koronen IK *et al.* 2009 *Journal of Physics Conference Series*, 151, 012048; Kaegi R *et al.* 2008. *Environ. Pollut.* doi:10.1016/j.envpol.2008.08.004

бихме могли да научим много от европейския дебат за нанотехнологиите⁵⁸. Подходът на предпазливост, който се разглежда там, може да се обясни като стратегия за справяне с елементите на несигурност по бдителен, внимателен, разумен и прозрачен начин, който е съответстващ на ситуацията, и който трябва да се реализира в контекста на политиката за условията на труд (в рамките на оценката на риска и свързания с нея план за действие). Накратко тази стратегия изглежда по следния начин (вж. също Таблица 0-2)

Акцент върху дейностите от първи приоритет

Като практическа помощ за фирми съветът е да се разработят "най-добри практики" за работни места, където може да възникне излагане на въздействието на наночастици. Категоризирането на наночастиците според свързаните с тях рискове може да помогне при определяне върху кои дейности трябва да се постави акцент и доколко сериозни трябва да са предприетите мерки. Като основа може да се използва простичка система от три категории (с намаляване на очакваните рискове, като номерацията е от I до III)⁵⁹:

- I Влакнести неразтворими наночастици (дължина > 5 µm).
- II Наночастици, за които е известно в тяхната молекулярна форма или форма на по-едра частица, че са карциногенни, мутагенни, причиняващи астма или репродуктивен токсин.
- III Неразтворими или трудно разтворими наночастици (които не принадлежат към нито една от горните категории).

Общата препоръка е да се избягва експозиция чрез вдишване или контакт с кожата. За строителната индустрия приоритетните дейности включват шлайфване, пробиване, смесване, машинна обработка, рязане и нанасяне със спрей на наноматериали и продукти, както и почистване на работното място и използваното оборудване. За определяне на мерките и предотвратяване на експозиция може да се приеме "класическа" стратегия за хигиена на работното място, приложена към използването на наночастици.

Таблица 0-2 Елементи на принципа на предпазливостта

Елементи на принципа на предпазливостта
<ul style="list-style-type: none"> Няма данни --- няма излагане на вредно въздействие <ul style="list-style-type: none"> Предотвратяване на излагането на вредно въздействие според стратегията за хигиена на работното място (в т.ч. заместване на потенциално много опасни наночастици) Нотификация за състава на нанопродуктите за производители и доставчици <ul style="list-style-type: none"> Декларация за наносъдържание на продукта чрез веригата на производство Декларация за наносъдържание на продукта на ниво на централната администрация под формата на някакъв вид база данни Регистрация на излагането на вредно въздействие за работното място <ul style="list-style-type: none"> Аналог на регистрацията на карциногени за нанофибри и КМР (карциногенни, мутагенни и репротоксични) наноматериали Аналог на репротоксичната регистрация за други неразтворими наноматериали Публично съобщаване на риска <ul style="list-style-type: none"> Информация в ИЛБ относно известните нано-рискове, управление и недостиг в знанията Изискване за доклад за химична безопасност (директива "REACH") за вещества >1

⁵⁸ Вж. най-вече Консултативен доклад на Холандския съвет по социалноикономически въпроси: "Наночастици на работното място, предпазни мерки за здраве и безопасност", 2009 Sociaal Economische Raad, Den Haag: Нидерландия. Част от предложените предпазни мерки се основават на консултативен доклад.

⁵⁹ BSI 2007 (December 31), "Public Document" PD 6694-2:2007, "Nanotechnologies -- Part 2: Guide to safe handling and disposal of manufactured nanomaterials.". В този документ е включена и четвърта категория: разтворими наночастици. Тъй като обаче основният акцент е върху неразтворимите наночастици, тази категория не е включена.

тон/година/компания

- Извличане на граничните стойности на експозиция в работна среда (ГСЕРС) за нанопродукти или референтни стойности за нанопродукти
 - За наночастици, които могат да бъдат освободен и на работното място на строителния работник

Нотификация за нанопродукти

От резултатите на Анкетата от 2009г. и подробните интервюта се стигна до заключението, че повечето строителни работници и работодатели не са добре запознати или добре информирани за нанопродуктите, с които вероятно работят. Как в такъв случай биха могли да извършат подходяща оценка на риска?

Информацията е първо изискване и нарастващото търсене на пазара цели установяването на определено задължение за уведомяване (нотификация) (например в Нидерландия (SER), Франция и Швейцария). Нотификацията е особено необходима за най-опасните и високорискови нанопродукти. Информационните листове за безопасност (ИЛБ) могат да се използват да предаване на тази информация от производителя към потребителя на продуктите. Една дейност от страна на работодатели и работници в строителната индустрия би могла да бъде да направят справка с тези инициативи и активно да търсят ясна информация относно съдържанието на наночастици в използваните от тях продукти и да се вземат предпазни мерки за избягване на евентуалните отрицателни здравни ефекти поради излагане на въздействието на наночастици.

Нано референтни стойности

При нормални условия граничните стойности на експозиция в работна среда (ГСЕРС) показват нивото на експозиция, под което работата може да се счита за безопасна. За наночастиците обаче такива не съществуват. *Нано референтните стойности* (НРС), дефинирани като предпазни гранични стойности на експозиция, извлечени с помощта на подхода на предпазливост, могат да предоставят решение до установяване на ГСЕРС. Един пример са *"примерните нива на експозиция"* показани в Таблица 0-3 (основаващи се на BSI 2007)⁵⁹.

Таблица 0-3 Класифициране на риска от неразтворими наночастици и нано референтни стойности

Категория	Описание	НРС	Бележка
I	Фиброзни (влакнести); високо съотношение на неразтворим наноматериал	0,01 фибри/ml	Аналогични на азбестовите влакна
II	Всеки наноматериал, който е вече класифициран в молекулярната си или във форма с по-едри частици като карциногенен, мутагенен, репродуктивен токсин или като сенситизиращ (КМР)	0,1 x съществуващите ГСЕРС за молекулярната форма или по-едри частици	Потенциално увеличения процент на разтворимост на тези материали във форма на наночастици може да доведе до увеличена бионаличност. Затова се въвежда коефициент на безопасност 0,1.
III	Неразтворими или трудноразтворими наноматериали, които не са в категорията фиброзни или КМР частици	0,066 x съществуващите ГСЕРС за молекулярната форма или по-едри частици	По аналогия с американския Национален институт по безопасност и здраве при работа (NIOSH) ⁶⁰ се препоръчва коефициент за безопасност от 0,066 (=15x по-нисък). Алтернатива ниво за определяне, което се предлага: 20,000 частици/ml, определени от концентрацията на частици в околната среда.

"фибра" се дефинира като частица със съотношение >3:1 и дължина по-голяма от 5000nm.

⁶⁰ Въз основа на подхода за неразтворимия нано TiO₂, както е описан от NIOSH: NIOSH 2005, Draft NIOSH current intelligence bulletin: Evaluation of Health Hazard and Recommendations for Occupational Exposure to Titanium Dioxide, November 22, 2005

Регистър на фирмите и регистрацията на експозицията

Друга възможност за прилагане на подхода на предпазливост, както е определен от холандския SER, е създаване на система за регистрацията на експозицията в самите фирми, работещи с нанопродукти, които съдържат най-опасни наночастици (т.е. категории I и II). За строителния работник на обекта би било трудно да отсъди дали и при какви обстоятелства е подходящ и полезен мониторинг на рисковете за здраве и безопасност. Поради липсата на знания се препоръчва регистърът на експозицията да описва кой (т.е. кои служители) (е възможно) да са били изложени на въздействието на какво (т.е. какви наночастици), както и кога (т.е. през какъв период от време.) и къде (т.е. при какви обстоятелства), в една система, която може да се разработи в съответствие с текущата практика за азбестови форми и КМР вещества. Този тип регистрация може да се окаже подходящ за деловите практики на малките фирми и с такъв тип регистрация е възможно да се проследят лицата, които може да са били изложени на вредно въздействие и да се прецени степента на експозиция в случай, че в бъдеще определен наноматериал бъде определен като опасен или възникнат определени здравни ефекти.

Контрол над нивото на въздействие (Control Banding)

Един друг начин за справяне с несигурни рискове в дадена работна среда и дейност и оценяване на наличните потенциални рискове по прагматичен и предпазлив начин, е да се използва т.нар. инструмент Control Banding (контрол над нивото на въздействие) (CB). Съществуват различни CB, които се използват от МСП по целия свят (вж. Tischer et al. 2009 и съдържащи се там отправки⁶¹). CB представлява съвет за предприемане на общи защитни мерки въз основа на съответните значителни рискове, запрашеността и нанохарактеристиките като размер, форма и реактивност на повърхността на наноматериалите, количеството материал, което се използва и вероятността на експозиция. Един пример за такъв CB метод е разработен от Paik et al. (2008)⁶².

⁶¹ Tischer M, Bredendiek-Kamper S, Poppek U, Packroff R 2009. How Safe is Control Banding? Integrated Evaluation by Comparing OELs with Measurement Data and Using Monte Carlo Simulation, *Ann Occup. Hyg.* Vol 53(5):449-462

⁶² Paik SY, Zalk DM, Swuste P. 2008. Application of a Pilot Control Banding Tool for Risk Level Assessment and Control of Nanoparticle Exposures. *Ann Occup. Hyg.* Vol 52(6):419-428

5. Варианти за по-нататъшни дейности в подкрепа на безопасна работна среда

Понастоящем здравните рискове, вързани със манипулирането, прилагането или машинната обработка на нанопродукти са неясни и едва сега започват да се проучват сериозно. Това включва характеристиките за здраве и безопасност на самите наночастици, както и реалните рискове от експозиция на тези наночастици при работа с продукта. Заради по-голямото съотношение повърхност/обем обаче, непознатите електронни свойства, различната транспортна кинетика и биологичното развитие и променената химична реактивност, наблюдавани за множество наночастици в сравнение с техните макроскопични аналози, се появи подозрение, че наночастиците може да са свързани със засега непредсказуеми и потенциално тежки здравни рискове. Това усложнява правилната оценка и управление на риска, и към този момент не са разработени кодекси за поведение или най-добри практики за строителната индустрия, което да подпомогне справянето с тези неизвестни. От онова обаче, което е вече известно за работата с (опасни) химикали, биха могли да се определят мерки чрез подхода за предпазливост за справяне със съществуващите неизвестни, свързани със здравните рискове от нанопродукти по един отговорен начин. Тази стратегия общо се нарича "подход на предпазливост". Една отправна точка за този подход е да се предотврати експозицията на наночастици чрез прилагане на стратегия за хигиена на работното място. Когато експозицията се предотврати ефективно (в случай на недостатъчни данни за риска), това би било в съответствие с принципа в директива "REACH" *няма данни--- не се пуска на пазара*. В рамките на подхода за предпазливост се предлагат следните елементи в подкрепа на безопасната работна среда:

- Няма данни --- няма излагане на вредно въздействие
 - Предотвратяване на излагането на вредно въздействие според стратегията за хигиена на работното място (в т.ч. заместване на потенциално много опасни наночастици)
- Нотификация за състава на нанопродуктите за производители и доставчици
 - Декларация за наносъдържание на продукта чрез веригата на производство
 - Декларация за наносъдържание на продукта на ниво на централната администрация под формата на някакъв вид база данни
- Регистрация на излагането на вредно въздействие за работното място
 - Аналог на регистрацията на карциногени за нанофибри и КМР (карциногенни, мутагенни и репродуктивно токсични) наноматериали
 - Аналог на репротоксичната регистрация за други неразтворими наноматериали
- Публично съобщаване на риска
 - Информация в ИЛБ относно известните нано-рискове, управление и недостиг в знанията
 - Изискване за доклад за химична безопасност (директива "REACH") за вещества >1 тон/година/компания
- Извличане на граничните стойности на експозиция в работна среда (ГСЕРС) за нанопродукти или референтни стойности за нанопродукти
 - За наночастици, които могат да бъдат освободен и на работното място на строителния работник

Един факт, който допълнително усложнява подходящата оценка на риска, е че в много случаи нано-специфичната информация, с която разполага производителят на суровините, се "губи" в потребителската верига и само малка част от тази информация действително достига до строителния работник на обекта. Тази ситуация може дори допълнително да се влоши за строителните работници, които работят (например) в проект за ремонт на конструкция, съдържаща нанопродукти (поради невежеството или незнанието на

собственика на конструкцията). Властите и доставчиците на наноматериали също могат да изиграят своята роля за подобряване на тази ситуация.

Тъй като би било много трудоемка задача, особено за МСП в строителната индустрия, да операционализират тези предпазни мерки на индивидуални начала, препоръчително е да се подкрепи създаването на добра работна практика за определен брой високоприоритетни дейности, където може да се очаква експозиция като например работа с нанопокрития и наноцимент/бетон. Примери за такива дейности е нанасянето със спрей на нанопокрития, манипулирането на съдържащ наночастици мокър хоросан, машинната обработка на нанопродукти (т.е. шлайфане или разпробиване) или почистване или обслужване на оборудване, използвано за тези цели. Инструмент, който може да помогне при разработване на тези най-добри практики е контролът над нивото на въздействие (Control Banding). Това води до класифициране на риска въз основа на знанията за наночастиците, изходният материал (макроскопичната форма), работната практика и реалните работни условия. Сериозността на потенциалните рискове и вероятността от възникване на експозиция в работна среда се прогнозира и групират в нива на риска, вариращи от 1 до 4. В зависимост от нивото на риска се предлага обща стратегия за управление на риска, която може да варира от *'прилагане на вентилация'* до *'носене на оборудване за лична защита'* или *'работа в затворена среда'*.

Оборудване, което съответства на експозицията на наночастици в реално време на работното място съществува, но е обикновено скъпо и трудно за използване. Разработени са преносими и по-лесни за използване уреди, а на пазара през следващите години ще се появят и по-евтини модели, което ще направи тези уреди достъпни за по-голям брой хора. Измерванията на личната експозиция на наночастици в строителната индустрия все още са много ограничени. Първите измервания чрез изстъргване на повърхности, боядисани с нанобоя, не успяха да отразят експозиция на създадените от човека наночастици, но са твърде ограничени, за да могат от тях да се вадят общи заключения за експозицията на наночастици, генерирана на строителните обекти.