



Здравни ефекти от изгарянето на отпадъци - обзор

Автор: д-р Костадин Костадинов, Сдружение „Въздух за здраве“

За Екологично сдружение „За Земята“

Септември 2024 г.

СЪДЪРЖАНИЕ:

I. ВЪВЕДЕНИЕ	2
II. ЗДРАВНИ ЕФЕКТИ ПО ОЦЕНКИ НА ЛИТЕРАТУРНИ ДАННИ	5
2.1 Клетъчни и молекулярни ефекти	5
2.2 Злокачествени новообразувания	6
2.4 Сърдечно-съдови заболявания	9
2.7 Неврологични заболявания	11
III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ	11
БИБЛИОГРАФИЯ	12



Co-funded by the
European Union

Този доклад е финансиран от Европейския съюз.

Изразените възгледи и мнения, обаче, са само на авторите и не отразяват непременно тези на Европейския съюз или Холандския хелзинкски комитет. Нито Европейският съюз, нито НХК могат да носят отговорност за тях.

I. Въведение

Количеството на генерираните отпадъци може да се разглежда като показател за това, колко ефективно е обществото, специално по отношение на използването на природните ресурси, и за избора на най-подходящи методи за третиране на отпадъците. Определянето на здравните ефекти, свързани със технологичните методи за изгаряне на отпадъци, е от съществено значение за общественото здраве, особено за групите от население живеещи в непосредствена близост до такива площадки (1).

Следва да се подчертае, че съществуват **две основни методики за оценка на тези ефекти** (2).

На първо място това е анализът на „допълнителния здравен риск“. Този метод е използван широко в оценката на въздействието върху околната среда (ОВОС) като превантивен инструмент за идентифициране на евентуалните въздействия върху околната среда и човешкото здраве. Целта на анализа е да идентифицира рискови фактори, които самостоятелно или в комбинация повишават възможността за неблагоприятно въздействие върху здравето. Важно е да се отбележи, че в процесите на изгаряне на твърди битови отпадъци подобни рискови фактори се идентифицират под формата на „замърсители“ и се отделят във въздуха, почвата, отпадъчните и подпочвените води, а след това по директен или индиректен път осъществяват контакт с човешкия организъм, в който своевременно или чрез натрупване във времето осъществяват неблагоприятните си въздействия. В голямата си част, тези замърсители не са специфични единствено за процесите на изгаряне на отпадъци, а могат да се срещат и в други производствени процеси, както и в природата. В този смисъл анализът на здравния риск се опитва да определи само допълнителния риск, който е свързан с въвеждането на конкретния технологичен процес, както и да идентифицира експонираната популация, която е изложена на този риск (3). Друг основен елемент при прилагането на метода е определянето на „прага на допустимост“. Този „праг“ не следва да се приема за „безопасен“ или „без рисков“, а е преди всичко нормативно заложен в българското и европейско законодателство и се свързва с конкретни числени стойности на концентрацията на замърсителите, начина, мястото и честотата на тяхното измерване и продължителността на експозицията

(4,5). Недостатък на анализа на допълнителния здравен риск е недостатъчната степен на стандартизация, разнообразия обхват и перспектива на прилаганите статистически техники, както и развитието на науката, която с натрупване на доказателства за въздействието на конкретни замърсители върху човешкото здраве, често налага промяната на препоръките и стандартите за прагови стойности, които обаче не са включени в първоначалния анализ на етап инвестиционно предложение.

Вторият метод за определяне на здравните ефекти свързани с технологията на изгаряне на отпадъците е „оценката на жизнения цикъл (LCA)“. Тази методика е по-широко приложима и стандартизирана в международните стандарти по ISO 14040 до 14043. Приложението на анализа в оценката на здравните ефекти не се ограничава единствено до процесите на изгаряне на твърдия отпадък, но се прилага за всеки от етапите на събиране, извозване и отработване в производствения процес, като позволява сравнението на различни методи за третиране на твърдия отпадък (депониране, инсинерация и т.н) и различни технологии (изгаряне чрез втечнено легло, газификация, плазмени технологии, интегрирана система на Kinsei Sangyo, пиролиза – нискотемпературна, среднотемпературна, високотемпературна, технология Noval и др.) (6).

Разглеждането на двата метода не е самоцелно. Представените в този доклад потенциални здравни рискове са базирани на наличните научни изследвания и доказателства, които от своя страна използват един от посочените анализи или комбинация от тях. Важно е да се уточни и качеството на тези научни проучвания. В голямата си степен, в областта на околната среда и измерването на здравните ефекти, научните данни са недостатъчни за изграждане на солидни доказателства или използват по-слаби изследователски дизайни като лабораторни, екологични и срезови проучвания, които поставят резултатите под сериозно съмнение и дискусия (7). Често тези изследвания не успяват категорично да отговорят на поставените въпроси за причинно-следствена връзка между използването на определена технология и негативните здравни последици. Причините за това са основно две:

- 1) На първо място определянето на причинно-следствена връзка изисква изследването на две **идентични** групи хора - изложени на въздействието на новата технология (експонирани) и контролна група - неекспонирани. Това изискване не може да бъде изпълнено при вече въведен технологичен процес, поради въздействието на т.н. „замъгляващи фактори“. С други думи,

контролната група индивиди се различава по редица други признаци (местоживеене, социален статус, ниво на замърсяване от природен, транспортен или друг произход), освен експозицията си към въведения технологичен процес (8). На практика това означава, че установена по-висока честота на неспецифични заболявания в групата на експонираните, може да се обясни с фактори извън потенциалното действие на конкретен технологичен процес. От друга страна изследвания от вида „преди/след“ въвеждането на конкретна технология за изгаряне на отпадъци също не в състояние да отговори категорично на въпроса за „причинно-следствена“ връзка. Така например, по-ниското ниво на транспортно замърсяване или замърсяване в следствие на битова дейност би могло да „прикрие“ по-високите нива на замърсяване в следствие на технология за изгаряне на битов отпадък (9).

- 2) На второ място следва да се отбележи, че **една значителна част от научните изследвания в областта на здравните ефекти при технологии за изгаряне на отпадъци са финансирани от компании, които са заинтересовани от резултати, negliжиращи или отричащи такава връзка (10).**

При оценката на здравните ефекти следва да се разглеждат три групи фактори.

- 1) На първо място това е **експонираната популация** - нейния демографски, социално-икономически и фонов здравен статус, отдалеченост спрямо източника на замърсяване, продължителност на експозицията и др.
- 2) На второ място това е **технологичния процес** (11). От значение е предварителната обработка и състава на използвания RDF. Така например е установено, че минимален онкологичен риск може да бъде постигнат чрез използване на методите за пресортиране и отстраняване на хранителни отпадъци от потока на RDF (12–14). От друга страна смесването на RDF с въглища и достигане на по-високи температури на изгаряне също се свързват с по-ниски емисии на въздушни замърсители като например летливи органични съединения (ЛОС, на англ. VOC) (15,16). От основно значение е използването на технологични иновации, специализирани филтри, спазването на хигиенно-санитарните мерки от страна на персонала и нивото на мониторинг при експлоатация на технология за изгаряне на отпадъци.

- 3) Третата група фактори е свързана с **основните замърсители, отделени в процесите на изгаряне**. В допълнение на „обичайните“ замърсители в процесите на горене като серни и азотни оксиди, амоняк, флуоро и хлороводород, при изгарянето на твърди отпадъци се отделят **още тежки метали** (хром, олово, живак и др. под формата на оксиди или органични съединения в праха или под формата на фини прахови частици във въздуха), както и **органични замърсители** - микропластмаси, диоксини (полихлорирани дибензодиоксини - PCDD) и фурани (дибензофурани) и др. (17–19).

II. Здравни ефекти по оценки на литературни данни

2.1 Клетъчни и молекулярни ефекти

Няколко проучвания установят асоциация между клетъчни и ДНК увреди при лица експонирани на въздействието на тежки метали, в хода на технологии, свързани с изгаряне на твърди битови отпадъци. Механизмът на молекулярните увреди е свързан преди всичко с повишените нива на оксидативен стрес, породен от експозицията към тежки метали (20). Проучване на Xu et. al от 2019 г. (21) установява, че при деца живеещи до технологични площадки за изгаряне на отпадъци се наблюдават в по-голяма степен ДНК хипометилинизация при повишени нива на полихлорирани дибензо-р-диоксини спрямо сравними контроли. Намалява се свързването с регулаторни молекули или, с други думи, се нарушават редица процеси, регулирани от ДНК.

Изследване в Италия установява повишени нива на хром в уринни проби на лица, живеещи в непосредствена близост до технологични площадки за изгаряне на отпадъци (22). Въпреки това, изследването не доказва биологичен градиент на увеличение на нивата на хром спрямо териториалното разположение на живеещите. Този градиент означава, че с увеличаването на дозата или продължителността на експозицията, също се увеличава и рискът или тежестта на здравните последици. В друго изследване Восса et al. (23) също установява повишена концентрация на хром, манган, олово, иридий и антимон уринни проби от общата популация на лица, живеещи в близост до технологични площадки за изгаряне на отпадъци.

В изследване от 2005 г. (24) се установява намален брой на сперматозиди при мъже, работещи в технологични площадки за изгаряне на отпадъци спрямо контролна група. **Изследването установява, че при хора, които са били изложени на високи нива на тежки метали (хром, манган, олово и антимоно), имунната система показва значителни промени.** Тежките метали са известни с това, че могат да причинят оксидативен стрес, който води до увреждане на клетките, свързано с промени в гените, които регулират имунния отговор. Това може да доведе до повишена податливост на инфекции, хронично възпаление или други проблеми, свързани с имунитета (25).

Генните и клетъчни увреждания са основния механизъм на възникване на онкологичните заболявания. От друга страна същите увреждания, но не в телесни, а в половите клетки, могат да доведат до дълготрайни последици в здравето на следващите поколения или репродуктивни заболявания.

2.2 Злокачествени новообразувания

В научната литература, връзката между развитието на онкологични заболявания и замърсители като диоксините, фураните и други летливи органични вещества, отделяни при горенето на RDF, е обширно изследвана. Така например Roberts et al. (26) установяват, че в резултат на тази експозиция на 25 398 лица живеещи в 5 километрова близост до технологични площадки за изгаряне на отпадъци, биха се развили допълнителни 500 случая на онкологични заболявания в рамките на 25 години. **Друго изследване определя раковата заболеваемост като основна причина за преждевременна смърт или инвалидизация при лица, живеещи в 3 км зона около технологични площадки за изгаряне на отпадъци (27).**

Следва да се отчете, че групата на новообразуванията не е самостоятелна. В тази категория попадат различни заболявания с различно клинично протичане, но сходни причини за развитие. Проучвания на Floret et al. (28) и на Viel et al. (29) установят **връзка между експозицията на диоксини при изгаряне на твърд битов отпадък и развитието на неходжкинов лимфом.** Доказателства за такава връзка се представят и в проучването на Floret et al. (28), което се фокусира върху две населени места в периода 1971-2003 г. и установява, че лицата, живеещи в близост до технологични площадки за изгаряне на отпадъци, имат 2,3 пъти по-висок риск от развитие на неходжкинов лимфом при нива на експозиция към диоксини по-големи от 0,0004 pg/m³ спрямо контролна група.



Данни за връзка между развитието на сарком при лица, живеещи в близост до технологични площадки за изгаряне на отпадъци, са установено от Zambon et al. (30) и Comba et al. (31). Като основен рисков фактор се посочва експозицията към диоксини над 6 pg/m³. Изследване на Ranzi et al. (32) установява връзка между смъртността от рак на дебелото черво при лица, живеещи в близост до технологични площадки за изгаряне на отпадъци. Според изследването, след контрол за потенциални замъгляващи фактори, смъртността сред мъжете е по-висока с 2,1 пъти (RR 2.1; 95%CI 1.1–4.4), а заболяемостта сред жените - с 2,0 пъти по-висока (RR 2.0; 95%CI 1.3–3.06).

Изследване на Parodi et al. (33) и показва, че замърсяването на почвата с тежки метали около инсталации за изгаряне на отпадъци е свързано с повишен риск от рак на белите дробове, особено сред жените. Според проучването, жените, живеещи близо до тези инсталации, имат 2.14 пъти по-висок риск от заболяване в сравнение с жените, живеещи по-далеч.

Изследване на Federico et al. (27) представя наличен биологично-териториален градиент при развитие на рак на стомаха, жлъчката, белите дробове и плеврата при спрямо отдалечеността на живеещите от технологични площадки за изгаряне на отпадъци. Рискът за всички посочени е слабо повишаващ се с доближаването към площадката за изгаряне на ТБО.

Не са ограничени и изследванията, посочващи липса на връзка между развитието на онкологични заболявания и експозицията на технологични площадки за изгаряне на отпадъци (34,35). Въпреки това, следва да се подчертае, че основните резултати в тези проучвания са свързани с приложението на пре-сортиране и рециклиране на отпадъците преди тяхното изгаряне. Важно е да се отчетат и нивата на останалите замърсители или източници на замърсяване в околната среда, които могат да повлияят значително на „контролните популации“ и съответно, на получените резултати. Така например, контролната група индивиди може да бъде изложена на по-високи нива на замърсяване от транспортен или друг индустриален произход спрямо групата на лица живеещи в непосредствена близост до технологични площадки за изгаряне на отпадъци. Резултатите от подобни изследвания обаче, не бива да се възприемат като индикация за безопасност на метода. На практика и в двете групи се наблюдават повишени нива на експозиция, но поради липса на „неекспонирана“ популация, проучванията не могат да достигнат до категорични изводи за допълнителния риск.

2.3 Майчино и детско здраве

Оценката на здравните рискове върху репродуктивната функция и бъдещите поколения е от особен интерес при използването на технологии за изгаряне на отпадъци. Изследванията показват, че изгарянето на отпадъци може да има сериозни последици за здравето на майките и децата. Проучвания установяват, че жени, живеещи близо до инсинератори, имат по-висок риск от преждевременно раждане и спонтанни аборти. Например, едно **изследване в Италия** показва, че **жените, които раждат за първи път и живеят до такива инсталации, са с 2,18 пъти по-висок риск от преждевременно раждане**, Santoro et al. (36).

Освен това, има доказателства, че излагането на замърсители от инсинераторите е свързано с вродени аномалии при новородени, като спина бифида и сърдечни малформации, разгледани от Dummer et al. (38). Изследването обаче не установява връзка с повишени нива на перинатална смърт (мъртвородени или смърт на родено до първата седмица). Подобни ефекти са съобщени и в други изследвания (39,40). Освен спина бифида изследването на Cordier et al описва допълнителни вродени аномалии като дисплазия на бъбреците, лицеви аномалии и обструктивни уropatii отново при деца на жени, живеещи в близост до технологични площадки за изгаряне на отпадъци (41).

Използвайки статистически модел Ollson et. al (42) установяват че при 400 000 тона годишно изгаряне на RDF, риска от неонатална смърт (броя на починали деца между 1 до 27 ден след раждане) е умерено повишен, основно поради инхалация на хидрохлорид и прием на фурани и диоксини през кърмата. Същите замърсители са смятани за отговорни за забавеното нерво-психическо и физическо развитие до 6-месец при кърмачета, живеещи в близост до технологични площадки за изгаряне на отпадъци (43).

Следва да се отбележи, че съществуват и изследвания с негативни резултати по отношение на описваните връзки. Така например, Tango et al (44) не намират асоциация между неонатална смъртност и териториалната близост до технологични площадки за изгаряне на отпадъци. Въпреки това, в посоченото изследване авторите установят слаб биологично-териториален градиент в риска за вродени малформации, като той е малко най-висок сред жените, живеещи на разстояние от 0-1 км от технологичната площадка, следвани от жените на разстояние от 1-2 км и 2-3 км. Parkes et al (45) не установяват връзка при над 20

вида вродени аномалии и експозицията на замърсители при горенето на RDF с изключение на вродените сърдечни малформации.

2.4 Сърдечно-съдови заболявания

Развитието на сърдечно-съдови заболявания е свързано с много фактори, включително въздушното замърсяване. Докато хората могат да контролират рискове като тютюнопушене и липса на физическа активност, замърсяването на въздуха изисква колективни усилия от държавата и обществото (46). Изгарянето на отпадъци е източник на фини прахови частици (ФПЧ), особено тези с големина до 2,5 микрона, които при вдишване предизвикват възпаление и увреждане на кръвоносните съдове и увеличават риска от болести като високо кръвно налягане, инфаркти и инсулти (47). В предоставените мониторингови доклади на станциите, които изгарят отпадъци, ФПЧ са в рамките на допустимите законови прагове. Въпреки това, тези прагове са предмет на значителна дискусия, тъй като редица научни изследвания показват, че те могат да представляват сериозен риск. Това е причината СЗО и европейските институции да предложат нови, много по-строги прагове за фините прахови частици (ФПЧ) и азотните оксиди.

Следва да се отбележи, че изгарянето на ТБО е само един от множеството източници на ФПЧ. В този смисъл следва да се отчете, че тяхната роля е преди всичко в допълнителното натоварване на околната среда с такива емисии, които обаче са вече налични от редица други дейности. В предоставените мониторингови доклади, всички технологични станции, изгарящи отпадъци отбелязват оценки в допустимите от законодателството гранични прагове. Посочените граници обаче, са обект на сериозна дискусия, като редица научни изследвания ги определят като носещи сериозен риск (48,49), което дава основание на СЗО и европейските институции да предложат нови значително по-строги прагови стойности за ФПЧ и азотни оксиди (50). Вторият механизъм е специфичен предвид състава на ФПЧ в процесите на изгаряне на твърди отпадъци. Химическият състав на ФПЧ отделен при процесите на горене зависи основно от използваните технологии и комбинация на ТБО с въглища (51). Изследване на Galise et al. 2012 (52) установява повишен риск от сърдечно съдова смъртност с 0,19 % (95%CI 0.11–0.28) единствено в следствие на допълнителните емисии на ФПЧ с големина до 10 микрона вследствие на изгаряне на ТБО. Същото изследване доказва и допълнителен риск с 0.06 % (95% CI 0.00–0.12) за хоспитализация по повод сърдечно съдово заболяване при експозиция на 40 µg/m³ PM₁₀. Диоксините в състава на ФПЧ, отделяни при горенето на ТБО са



идентифицирани за основен риск фактор за развитие хипертония в изследване на Chen et al. от 2006 г. (53)

Съществуват и публикации без доказателства за връзка между сърдечно-съдовите заболявания и експозицията на технологични площадки за изгаряне на отпадъци. Такива са изследванията на Fukuda et al. от 2003 г. (54) и Ranzi et al. от 2013 г. (55). В първата публикация на Fukuda et al. не се установява увеличение риск от сърдечно-съдови заболявания при населението живеещо в близост до технологични площадки за изгаряне на отпадъци. Въпреки това, авторите отбелязват, че резултатите са силно зависими от социално-икономическия статус на изследваните лица, които би могъл да бъде силен замъгляващ фактор.

2.5 Респираторни заболявания

Подобно на сърдечно-съдовите заболявания, и белодробните заболявания имат множество причини. През последните години въздушното замърсяване се нарежда до тютюнопушенето като основен рисков фактор (56). Фините прахови частици с размер до 10 микрона, предизвикват възпаление в бронхите и могат да доведат до сериозни заболявания, включително рак (57). Дългосрочното излагане на тези частици намалява белодробната еластичност и може да доведе до хронична обструктивна белодробна болест и дихателна недостатъчност (60). Изследванията показват, че хората, живеещи близо до инсталации за изгаряне на отпадъци, имат леко повишен риск от белодробни заболявания и хоспитализации. Освен това, работещите в тези инсталации често страдат от респираторни симптоми и имат по-ниски стойности на белодробните функционални показатели.

Белодробните ефекти, пряко свързани с изгарянето на ТБО, са докладвани в статията на Galise et al. (52). В своето проучване изследователите определят допълнителен риск от 0,27% за смъртни случаи от белодробни заболявания и 0,12% от хоспитализация поради респираторни заболявания при експонирани лица в близост до технологични площадки за изгаряне на отпадъци. Изследване на Mindel et al. (61) също установява такава връзка, но с много по-благоприятна прогноза за магнитуда на здравните ефекти - 0.03 допълнителни смъртни случаи и 0.04 допълнителни хоспитализации за респираторни заболявания в популация от 3 500 000 души експонирани на емисии от технологии с изгаряне на ТБО.

В изследване на Hours et al. (62) при работници в технологични площадки за изгаряне на отпадъци се установява значително по-чести респираторни симптоми

като кашлица, експекторация и „свирене“ в гърдите. Същото изследване установява и значително по-ниски стойности на белодробните функционални показатели спрямо контролна група. Подобни резултати са отчетени и в проучването на Charbotel et al. (63), в което след 3 годишно проследяване и отчитане на замъгляващи фактори като тютюнопушене, се установява значително по-ниски функционални показатели за белодробна функция, за установяване на патологии.

2.6 Метаболитни и ендокринни заболявания

Развитието на метаболитни и ендокринни заболявания се осъществява по два основни начина. Първо, фините прахови частици (ФПЧ), които се отделят при изгаряне на отпадъци, са рисков фактор за развитие на диабет тип II и метаболитен синдром (64,65). Второ, токсини като диоксините, също отделяни при изгаряне на отпадъци, могат да допринасят за развитието на тези заболявания. Изследванията показват, че хората, живеещи близо до инсталации за изгаряне на отпадъци, имат завишени нива на определени метаболитни показатели и са покрити част от критериите за поставянето на диагноза, но връзката с диабет тип 2 не е напълно доказана, Yamamoto et al. (66). При мъже се откриват завишени нива на естрадиол в кръвта (67).

2.7 Неврологични заболявания

Ролята на специфичните замърсители, отделяни при изгарянето на ТБО с развитието на неврологични заболявания е слабо проучена. Въпреки това, са налични изследвания, свързващи забавеното неврологично развитие при деца с експозицията им на технологии за изгаряне на отпадъци (43). От друга страна въздушното замърсяване, в което тези технологии безспорно участват е задълбочено изследван фактор в развитието на исхемичен мозъчен инсулт, деменции и мултипла склероза и други невродегенеративни заболявания (68,69).

III. Заключение

Въпреки своите ограничения, породени от наличието на замъгляващи фактори, научно-изследователски дизайн и невъзможност за генерализация на резултатите, посочените научни изследвания безспорно дават основание да се смята, че изгарянето на ТБО се свързва с значителни здравни рискове. Следва да посочи, че ограничението или пълното отрицание на метода на изгаряне изисква

сериозен анализ на възможните алтернативи и потенциалните здравни ефекти на всяка една от тях. От друга страна, научните изследвания дават възможност за въвеждане на най-добрите технологии в тези процеси, както и необходимите доказателства за промяна на законодателството и граничните стойности за конкретни емисии.

Оптимален, прозрачен, научно-базиран мониторинг в реално време, заедно със съпоставка на здравни данни, при изградени канали за публичен диалог, биха могли да доведат до значителни ползи за общественото здраве и околната среда при едновременното спазване на частните интереси на индустрията. В допълнение следва да се повдигне сериозно темата за по-успешни методи за организация на битовия отпадък, неговото пре-сортиране и рециклиране, основно поради наличните солидни данни за благоприятни резултати както за околната среда, така и за здравето на населението. Успешна стратегия за справяне с проблема на отпадъците включва комбинирането на няколко метода за обработка на отпадъците с цел постигане на минимални емисии на замърсители и запазване на обществените интереси.

Библиография

1. Mattiello A, Chiodini P, Bianco E, Forgiione N, Flammia I, Gallo C, et al. Health effects associated with the disposal of solid waste in landfills and incinerators in populations living in surrounding areas: A systematic review. *International Journal of Public Health* [Internet]. 2013 Jul;58(5):725–35. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s00038-013-0496-8>
2. Hennebert P, Der Sloot HA van, Rebischung F, Weltens R, Geerts L. Hazard property classification of waste according to the recent propositions of the EC using different methods. *Waste Management* [Internet]. 2014;34(10):1739–51. Available from: <https://hal.ineris.fr/ineris-01146903>
3. World Health Organization. Assessing the health impacts of waste management in the context of the circular economy. 2023.
4. Закон за управление на отпадъците. 2012.
5. Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution prevention and control) (recast) (text with EEA relevance). *Official Journal of the European Union*. 2010;
6. Bisinella V, Schmidt S, Varling AS, Laner D, Christensen TH. Waste LCA and the future. *Waste Management* [Internet]. 2024 Feb;174:53–75. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2023.11.021>
7. Goodman J, Marshall JP. Problems of methodology and method in climate and energy research: Socialising climate change? *Energy Research & Social Science* [Internet]. 2018 Nov;45:1–11. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.erss.2018.08.010>
8. Rushton L. Health hazards and waste management. *British Medical Bulletin* [Internet]. 2003 Dec;68(1):183–97. Available from: <http://dx.doi.org/10.1093/bmb/ldg034>

9. Spreafico C. A review about methods for supporting failure risks analysis in eco-assessment. *Environmental Monitoring and Assessment* [Internet]. 2021 Jun;193(7). Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s10661-021-09175-y>
10. Cole-Hunter T, Johnston FH, Marks GB, Morawska L, Morgan GG, Overs M, et al. The health impacts of waste-to-energy emissions: A systematic review of the literature. *Environmental Research Letters* [Internet]. 2020 Dec;15(12):123006. Available from: <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/abae9f>
11. Scipioni A, Mazzi A, Niero M, Boatto T. LCA to choose among alternative design solutions: The case study of a new italian incineration line. *Waste Management* [Internet]. 2009 Sep;29(9):2462–74. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2009.04.007>
12. Reza B, Soltani A, Ruparathna R, Sadiq R, Hewage K. Environmental and economic aspects of production and utilization of RDF as alternative fuel in cement plants: A case study of metro vancouver waste management. *Resources, Conservation and Recycling* [Internet]. 2013 Dec;81:105–14. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.10.009>
13. Karunathilake H, Hewage K, Sadiq R. A life cycle perspective of municipal solid waste: Human health risk-energy nexus. In: *7th international conference on sustainable built environment 2016*. 2016.
14. Diggelman C, Ham RK. Household food waste to wastewater or to solid waste? That is the question. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy* [Internet]. 2003 Dec;21(6):501–14. Available from: <http://dx.doi.org/10.1177/0734242X0302100603>
15. Rovira J, Mari M, Nadal M, Schuhmacher M, Domingo JL. Partial replacement of fossil fuel in a cement plant: Risk assessment for the population living in the neighborhood. *Science of The Total Environment* [Internet]. 2010 Oct;408(22):5372–80. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.07.060>
16. Friege H, Fendel A. Competition of different methods for recovering energy from waste. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy* [Internet]. 2011 Aug;29(10_suppl):S30–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1177/0734242X11413955>
17. Traven L. Busting the myth: Waste-to-energy plants and public health. *Archives of Industrial Hygiene and Toxicology* [Internet]. 2023 Jun;74(2):142–3. Available from: <http://dx.doi.org/10.2478/aiht-2023-74-3733>
18. Kornilova NV, Trubaev PA. Evaluation of the hazardous emissions from different types of RDF combustion in low power boilers. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* [Internet]. 2020 Mar;791(1):012055. Available from: <http://dx.doi.org/10.1088/1757-899X/791/1/012055>
19. Allsopp M, Costner P, Johnston P. Incineration and human health: State of knowledge of the impacts of waste incinerators on human health (executive summary). *Environmental Science and Pollution Research* [Internet]. 2001 Mar;8(2):141–5. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/BF02987308>
20. Xiao Q, Lü Z, Zhu Z, Zhang D, Shen J, Huang M, et al. Exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons and the associations with oxidative stress in waste incineration plant workers from south china. *Chemosphere* [Internet]. 2022 Sep;303:135251. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135251>
21. Xu P, Chen Z, Wu L, Chen Y, Xu D, Shen H, et al. Health risk of childhood exposure to PCDD/fs emitted from a municipal waste incinerator in zhejiang, china. *Science of The Total Environment* [Internet]. 2019 Nov;689:937–44. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.425>
22. Ruggieri F, Alimonti A, Bena A, Pino A, Oreggia M, Farina E, et al. Human biomonitoring health surveillance for metals near a waste-to-energy incinerator: The 1-year post-operam study. *Chemosphere* [Internet]. 2019 Jan;225:839–48. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.03.041>

23. Bocca B, Bena A, Pino A, D'Aversa J, Oreggia M, Farina E, et al. Human biomonitoring of metals in adults living near a waste-to-energy incinerator in ante-operam phase: Focus on reference values and health-based assessments. *Environmental Research* [Internet]. 2016 Jul;148:338–50. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2016.04.013>
24. Oh E, Lee E, Im H, Kang HS, Jung WW, Won NH, et al. Evaluation of immuno- and reproductive toxicities and association between immunotoxicological and genotoxicological parameters in waste incineration workers. *Toxicology* [Internet]. 2005 May;210(1):65–80. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tox.2005.01.008>
25. Balzerano A, Gevi F, Nisi S, Rinalducci S, Lasagni M, Arisi I. Gene expression profiling as a new real-time assay in human biomonitoring of waste-to-energy plant workers. *Biological Trace Element Research* [Internet]. 2022 Nov;201(8):3688–96. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s12011-022-03482-2>
26. Roberts RJ, Chen M. Waste incineration—how big is the health risk? A quantitative method to allow comparison with other health risks. *Journal of Public Health* [Internet]. 2006 Jul;28(3):261–6. Available from: <http://dx.doi.org/10.1093/pubmed/fdl037>
27. Federico M, Pirani M, Rashid I, Caranci N, Cirilli C. Cancer incidence in people with residential exposure to a municipal waste incinerator: An ecological study in modena (italy), 1991–2005. *Waste Management* [Internet]. 2010 Jul;30(7):1362–70. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2009.06.032>
28. Floret N, Mauny F, Challier B, Arveux P, Cahn JY, Viel JF. Dioxin emissions from a solid waste incinerator and risk of non-hodgkin lymphoma. *Epidemiology* [Internet]. 2003 Jul;14(4):392–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1097/01.ede.0000072107.90304.01>
29. Viel JF, Clément MC, Hägi M, Grandjean S, Challier B, Danzon A. Dioxin emissions from a municipal solid waste incinerator and risk of invasive breast cancer: A population-based case-control study with GIS-derived exposure. *International Journal of Health Geographics* [Internet]. 2008;7(1):4. Available from: <http://dx.doi.org/10.1186/1476-072X-7-4>
30. Zambon P, Ricci P, Bovo E, Casula A, Gattolin M, Fiore AR, et al. Sarcoma risk and dioxin emissions from incinerators and industrial plants: A population-based case-control study (italy). *Environmental Health* [Internet]. 2007 Jul;6(1). Available from: <http://dx.doi.org/10.1186/1476-069X-6-19>
31. Comba P, Ascoli V, Belli S, Benedetti M, Gatti L, Ricci P, et al. Risk of soft tissue sarcomas and residence in the neighbourhood of an incinerator of industrial wastes. *Occupational and Environmental Medicine* [Internet]. 2003 Aug;60(9):680–3. Available from: <http://dx.doi.org/10.1136/oem.60.9.680>
32. Ranzi A, Fano V, Erspamer L, Lauriola P, Perucci C, Forastiere F. Mortality and morbidity among people living close to incinerators: A cohort study based on dispersion modeling for exposure assessment. *Environmental Health* [Internet]. 2011;10:22–2. Available from: <https://www.semanticscholar.org/paper/f580fd5ab8e554a4ef7516193124b4015de87d36>
33. Parodi S, Baldi R, Benco C, Franchini M, Garrone E, Vercelli M, et al. Lung cancer mortality in a district of la spezia (italy) exposed to air pollution from industrial plants. *Tumori Journal* [Internet]. 2004 Mar;90(2):181–5. Available from: <http://dx.doi.org/10.1177/030089160409000204>
34. Domingo JL, Bocio A, Nadal M, Schuhmacher M, Llobet JM. Monitoring dioxins and furans in the vicinity of an old municipal waste incinerator after pronounced reductions of the atmospheric emissions. *Journal of Environmental Monitoring* [Internet]. 2002 May;4(3):395–9. Available from: <http://dx.doi.org/10.1039/b200457g>
35. García-Pérez J, Fernández-Navarro P, Castelló A, López-Cima MF, Ramis R, Boldo E, et al. Cancer mortality in towns in the vicinity of incinerators and installations for the recovery or disposal of

hazardous waste. *Environment International* [Internet]. 2013 Jan;51:31–44. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2012.10.003>

36. Santoro M, Minichilli F, Linzalone N, Coi A, Maurello MT, Sallesse D, et al. Adverse reproductive outcomes associated with exposure to a municipal solid waste incinerator. *Annali dell'Istituto Superiore Di Sanita*. 2016;52(4):576–81.

37. Candela S, Bonvicini L, Ranzi A, Baldacchini F, Broccoli S, Cordioli M, et al. Exposure to emissions from municipal solid waste incinerators and miscarriages: A multisite study of the MONITER project. *Environment International* [Internet]. 2015 May;78:51–60. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2014.12.008>

38. Dummer TJB. Adverse pregnancy outcomes around incinerators and crematoriums in cumbria, north west england, 1956–93. *Journal of Epidemiology & Community Health* [Internet]. 2003 Jun;57(6):456–61. Available from: <http://dx.doi.org/10.1136/jech.57.6.456>

39. VINCETI M, MALAGOLI C, TEGGI S, FABBI S, GOLDONI C, DEGIROLAMO G, et al. Adverse pregnancy outcomes in a population exposed to the emissions of a municipal waste incinerator. *Science of The Total Environment* [Internet]. 2008 Dec;407(1):116–21. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.08.027>

40. Ten Tusscher GW, Stam GA, Koppe JG. Open chemical combustions resulting in a local increased incidence of orofacial clefts. *Chemosphere* [Internet]. 2000 May;40(9–11):1263–70. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0045653599003781>

41. Cordier S, Lehébel A, Amar E, Anzivino-Viricel L, Hours M, Monfort C, et al. Maternal residence near municipal waste incinerators and the risk of urinary tract birth defects. *Occupational and Environmental Medicine* [Internet]. 2010 Jun;67(7):493–9. Available from: <http://dx.doi.org/10.1136/oem.2009.052456>

42. Ollson CA, Knopper LD, Whitfield Aslund ML, Jayasinghe R. Site specific risk assessment of an energy-from-waste thermal treatment facility in durham region, ontario, canada. Part a: Human health risk assessment. *Science of The Total Environment* [Internet]. 2014 Jan;466–467:345–56. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.07.019>

43. Lung FW, Shu BC, Chiang TL, Lin SJ. The impermanent effect of waste incineration on children's development from 6 months to 8 years: A taiwan birth cohort study. *Scientific Reports* [Internet]. 2020 Feb;10(1). Available from: <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-020-60039-w>

44. Tango T, Fujita T, Tanihata T, Minowa M, Doi Y, Kato N, et al. Risk of adverse reproductive outcomes associated with proximity to municipal solid waste incinerators with high dioxin emission levels in japan. *Journal of Epidemiology* [Internet]. 2004;14(3):83–93. Available from: <http://dx.doi.org/10.2188/jea.14.83>

45. Parkes B, Hansell AL, Ghosh RE, Douglas P, Fecht D, Wellesley D, et al. Risk of congenital anomalies near municipal waste incinerators in england and scotland: Retrospective population-based cohort study. *Environment International* [Internet]. 2020 Jan;134:104845. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2019.05.039>

46. Basith S, Manavalan B, Shin TH, Park CB, Lee WS, Kim J, et al. The impact of fine particulate matter 2.5 on the cardiovascular system: A review of the invisible killer. *Nanomaterials* [Internet]. 2022 Aug;12(15):2656. Available from: <http://dx.doi.org/10.3390/nano12152656>

47. Krittanawong C, Qadeer YK, Hayes RB, Wang Z, Thurston GD, Virani S, et al. PM2.5 and cardiovascular diseases: State-of-the-art review. *International Journal of Cardiology Cardiovascular Risk and Prevention* [Internet]. 2023 Dec;19:200217. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijcrp.2023.200217>

48. Priemus H, Schutte-Postma E. Notes on the particulate matter standards in the european union and the netherlands. *International Journal of Environmental Research and Public Health* [Internet]. 2009 Mar;6(3):1155–73. Available from: <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph6031155>
49. Boogaard H, Andersen ZJ, Brunekreef B, Forastiere F, Forsberg B, Hoek G, et al. Clean air in europe for all: A call for more ambitious action. *Environmental Epidemiology* [Internet]. 2023 Mar;7(2):e245. Available from: <http://dx.doi.org/10.1097/EE9.0000000000000245>
50. Polezer G, Potgieter-Vermaak S, Oliveira A, Martins LD, Santos-Silva JC, Moreira CAB, et al. The new WHO air quality guidelines for PM_{2.5}: Predicament for small/medium cities. *Environmental Geochemistry and Health* [Internet]. 2022 Jun;45(5):1841–60. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s10653-022-01307-8>
51. Chyang CS, Han YL, Wu LW, Wan HP, Lee HT, Chang YH. An investigation on pollutant emissions from co-firing of RDF and coal. *Waste Management* [Internet]. 2010 Jul;30(7):1334–40. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2009.11.018>
52. Galise I, Serinelli M, Bisceglia L, Assennato G. [Health impact assessment of pollution from incinerator in modugno (bari)]. *Epidemiologia E Prevenzione*. 2012 Jan;36(1):27–33.
53. Chen HL, Su HJ, Guo YL, Liao PC, Hung CF, Lee CC. Biochemistry examinations and health disorder evaluation of taiwanese living near incinerators and with low serum PCDD/fs levels. *Science of The Total Environment* [Internet]. 2006 Aug;366(2–3):538–48. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.11.004>
54. Fukuda Y, Nakamura K, Takano T. Dioxins released from incineration plants and mortality from major diseases: An analysis of statistical data by municipalities. *Journal of Medical and Dental Sciences*. 2003 Dec;50(4):249–55.
55. Ranzi A, Fustinoni S, Erspamer L, Campo L, Gatti MG, Bechtold P, et al. Biomonitoring of the general population living near a modern solid waste incinerator: A pilot study in modena, italy. *Environment International* [Internet]. 2013 Nov;61:88–97. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2013.09.008>
56. Tran HM, Tsai FJ, Lee YL, Chang JH, Chang LT, Chang TY, et al. The impact of air pollution on respiratory diseases in an era of climate change: A review of the current evidence. *Science of The Total Environment* [Internet]. 2023 Nov;898:166340. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.166340>
57. Mebrahtu TF, Santorelli G, Yang TC, Wright J, Tate J, McEachan RRC. The effects of exposure to NO₂, PM_{2.5} and PM₁₀ on health service attendances with respiratory illnesses: A time-series analysis. *Environmental Pollution* [Internet]. 2023 Sep;333:122123. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2023.122123>
58. Farina F, Sancini G, Battaglia C, Tinaglia V, Mantecca P, Camatini M, et al. Milano summer particulate matter (PM₁₀) triggers lung inflammation and extra pulmonary adverse events in mice. Block ML, editor. *PLoS ONE* [Internet]. 2013 Feb;8(2):e56636. Available from: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0056636>
59. Tornevi A, Olstrup H, Forsberg B. Short-term associations between PM₁₀ and respiratory health effects in visby, sweden. *Toxics* [Internet]. 2022 Jun;10(6):333. Available from: <http://dx.doi.org/10.3390/toxics10060333>
60. Wang J, Zhang Y, Zhang Z, Yu W, Li A, Gao X, et al. Toxicology of respiratory system: Profiling chemicals in PM₁₀ for molecular targets and adverse outcomes. *Environment International* [Internet]. 2022 Jan;159:107040. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2021.107040>
61. Mindell J. Linking environmental effects to health impacts: A computer modelling approach for air pollution. *Journal of Epidemiology & Community Health* [Internet]. 2005 Dec;59(12):1092–8. Available from: <http://dx.doi.org/10.1136/jech.2005.036897>

62. Hours M, Anzivino-Viricel L, Maitre A, Perdrix A, Perrodin Y, Charbotel B, et al. Morbidity among municipal waste incinerator workers: A cross-sectional study. *International Archives of Occupational and Environmental Health*. 2003 Jul;76(6):467–72.
63. Charbotel B, Hours M, Perdrix A, Anzivino-Viricel L, Bergeret A. Respiratory function among waste incinerator workers. *International Archives of Occupational and Environmental Health* [Internet]. 2004 Dec;78(1):65–70. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s00420-004-0557-7>
64. Wang M, Jin Y, Dai T, Yu C, Zheng S, Nie Y, et al. Association between ambient particulate matter (PM10) and incidence of diabetes in northwest of china: A prospective cohort study. *Ecotoxicology and Environmental Safety* [Internet]. 2020 Oct;202:110880. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110880>
65. Liu C, Cao G, Li J, Lian S, Zhao K, Zhong Y, et al. Effect of long-term exposure to PM2.5 on the risk of type 2 diabetes and arthritis in type 2 diabetes patients: Evidence from a national cohort in china. *Environment International* [Internet]. 2023 Jan;171:107741. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2023.107741>
66. YAMAMOTO K, KUDO M, ARITO H, OGAWA Y, TAKATA T. Isomer pattern and elimination of dioxins in workers exposed at a municipal waste incineration plant. *INDUSTRIAL HEALTH* [Internet]. 2015;53(5):454–64. Available from: <http://dx.doi.org/10.2486/indhealth.2015-0008>
67. Yoshida J, Kumagai S, Tabuchi T, Kosaka H, Akasaka S, Oda H. Effects of dioxin on metabolism of estrogens in waste incinerator workers. *Archives of Environmental & Occupational Health* [Internet]. 2005 Jul;60(4):215–22. Available from: <http://dx.doi.org/10.3200/AEOH.60.4.215-222>
68. Bandyopadhyay A. Neurological disorders from ambient (urban) air pollution emphasizing UFPM and PM2.5. *Current Pollution Reports* [Internet]. 2016 Jun;2(3):203–11. Available from: <http://dx.doi.org/10.1007/s40726-016-0039-z>
69. Januel E, Dessimond B, Colette A, Annesi-Maesano I, Stankoff B. Fine particulate matter related to multiple sclerosis relapse in young patients. *Frontiers in Neurology* [Internet]. 2021 May;12. Available from: <http://dx.doi.org/10.3389/fneur.2021.651084>