

Széchenyi István Egyetem
Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar

Elszívó rendszer hatékonyságának vizsgálata munkahelyi légtér és emisszió mérés alapján



Készítette: **Kof-Kiss Dorka**

DGRJD3

Környezetmérnöki szak

Témavezető: **Dr. Kozma Katalin**

Egyetemi docens

2023

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés és célkitűzés	3
2. Szakirodalmi áttekintés	4
2.1. Fogalom meghatározások	4
2.2. 3D nyomtatási technológiák	5
2.3. Munkavédelem szerepe és fontossága	7
2.4. Kémiai kóroki tényezők, munkahelyi légtér mérések, kockázatértékelés	8
2.5. Emisszió mérés	10
3. Anyag és módszer	11
3.1. Munkahelyi légtér mérés	11
Az alábbi feladatokat végeztem el:	11
3.1.1. Kémiai kóroki tényezők	12
3.1.2. Keletkező vegyi anyagok és tulajdonságaik	14
3.1.3. Mintavételi stratégia	18
3.1.4. Mintavételi helyek, üzemviteli körülmények	18
3.1.5. A vizsgálatnál alkalmazott szabványok	19
3.1.6. Az alkalmazott módszer	20
3.1.7. Az alkalmazott műszerek	25
3.2. Légszennyező pontforrás emisszió mérés	28
3.2.1. Pontforráson kilépő légszennyező anyagok	28
3.2.2. Mintavételi stratégia	28
3.2.3. Mintavételi helyek, üzemviteli körülmények	29
3.2.4. A vizsgálatnál alkalmazott jogszabályok, szabványok	30
3.2.5. Az alkalmazott módszer	31
3.2.6. Az alkalmazott mérőműszerek	32
4. Vizsgálati eredmények	34
4.1 Munkahelyi légtér mérésének vizsgálati eredményei	34
4.2. Légszennyező pontforrás emisszió vizsgálatának eredményei	42
5. Összefoglalás	46
6. Irodalomjegyzék	48
7. Ábrajegyzék	50
8. Táblázatjegyzék	51
9. Köszönetnyilvánítás	52

1. Bevezetés és célkitűzés

A levegőtisztaság védelme rendkívül fontos szerepet játszik az emberi egészség és a környezet védelme szempontjából. A légkör minőségének javítása csökkenti a légzőrendszeri betegségek kockázatát, továbbá hozzájárul a fenntartható jövőhöz.

Az emberi tevékenység, például a járművek kipufogógázai vagy az ipari folyamatok kibocsátásai a levegő szennyezéséhez vezethetnek, ezért fontos olyan intézkedéseket hoznunk, amelyek segítenek megvédeni és javítani a levegő minőségének állapotát. Az intézkedések azonban nem csak a kültéri területekre, hanem a belső terekre is kell, hogy vonatkozzanak. Kutatásom során szeretném bemutatni az iparban használt elszívó-rendszerek hatékonyságát és fontosságát egy 3D nyomtatólaboron keresztül.

A 3D nyomtatás napjainkban jelentős népszerűsége tett szert és számos területen előtérbe került, mert ez a technológia folyamatosan fejlődik és számos előny nyújt. A 3D nyomtatók, mint ahogy a nevük is jelzi, képesek 3 dimenziós tárgyakat létrehozni, egy számítógépen speciális programokban létrehozott egyedi sablonok alapján. A nyomtatási folyamat több anyag egymásra rétegezésével történik, melyek a megszilárdulás után megtartják kívánt formájukat. A felhasznált anyagok filament vagy gyanta, ezeken belül is több típus található meg a piacon, melyek különböző tárgyak létrehozására használhatóak.

Kísérletemet a Medio Tech Környezetvédelmi és Szolgáltató Kft. közreműködésével végeztem el egy multinacionális vállalatnál, amely elektronikai berendezések gyártásával foglalkozik. A vizsgálatokat a vállalat egy 3D nyomtató laborjában végeztem. Először a munkahelyi légteret vizsgáltam az elszívó rendszer kiépítése nélkül, majd azt a technológiai elszívás megvalósítása után. A kivezető légszennyező pontforráson mértem az emissziót. A mérési sorozatok eredményeit összehasonlítottam a megengedett határértékekkel, megállapítottam az elszívó rendszer hatékonyságát. Vizsgálatom célja a kapott eredményeken keresztül a kibocsátott légszennyező anyagok terjedési modellezése, a levegőtisztaságvédelmi hatásterület meghatározása, valamint annak a többször is feltett kérdésnek a megválaszolása, vajon az ipari tevékenységekben egyre szélesebb körben alkalmazott új, modern technológia, azaz a 3D nyomtatás lehetnek-e bármilyen negatív hatással környezetükre és/vagy az emberi egészségre.

2. Szakirodalmi áttekintés

2.1. Fogalom meghatározások

Az légszennyezéssel kapcsolatos kötelező érvényű jogszabály a Levegő védelméről szóló 306/2010. (XII.23.) kormányrendelet. Az E rendelet 2. pontja tartalmazza a fogalom meghatározásokat.

„Emisszió (légterhelés) fogalma: légszennyező anyag levegőbe juttatása.”

„Helyhez kötött pontforrás hatásterülete: a vizsgált pontforrás körül lehatárolható azon legnagyobb terület, ahol a pontforrás által maximális kapacitáskihasználás mellett kibocsátott légszennyező anyag terjedése következtében a légszennyező pontforrás környezetében a talajközeli és magaslégköri meteorológiai jellemzők mellett, a füstfáklya tengelye alatt a vonatkoztatási időtartamra számított várható talajközeli levegőterheltség-változás

- a) az egyórás (PM10 esetében 24 órás) légszennyezettségi határérték 10%-ánál nagyobb,*
- b) a terhelhetőség 20%-ánál nagyobb,*
- c) az egyórás (PM10 esetében 24 órás) maximális érték 80%-ánál nagyobb, vagy*
- d) szagvédelmi hatásterület meghatározása esetén a tervezési irányértékkel egyenlő vagy annál nagyobb”*

„Légszennyezettségi határérték: az emberi egészségre, illetve az ökológiai rendszerre gyakorolt káros hatások elkerülése, megelőzése vagy csökkentése céljából, a tudományos ismeretek alapján meghatározott levegőterheltségi szint, amelyet jogszabályban vagy hatósági határozatban előírt időtartamon belül el kell érni, és elérése után nem szabad túllépni”

„Légszennyező forrás: levegőterhelést okozó helyhez kötött vagy mozgó forrás”

Légszennyező pontforrás: „az a levegőterhelést okozó forrás, amelynél a légszennyező anyag kibocsátási jellemzői (térfogatáram, kibocsátási koncentráció, hőmérséklet, nyomás) méréssel vagy a mérés megvalósításának gyakorlati akadályai miatt műszaki számítással egyértelműen meghatározhatók” [1]

A levegőt szennyező anyagok mérése szükséges lehet a szabad légkörben, zárt helyiségekben (munkahely), a forrásokban (kémény, kürtő, diffúz forrás).

A szabad légköri vizsgálatokat immisszió-méréseknek, a kibocsátások vizsgálatát emisszióknak nevezzük. A zárt helyiségek levegőjének vizsgálata a munkaegészségügy területéhez tartozik.

Mindhárom terület mérési eljárásai és a mérendő koncentráció tartományai lényegesen különböznek egymástól, valamint mások a mérés körülményei. Az immissziót légköri nyomáson és hőmérsékleten mérjük, pillanatnyi értékeit elsősorban meteorológiai tényezők befolyásolják. Immisszió esetében a nagyfokú érzékenység és pontosság elérése okoz gondot. Emisszió mérés esetében gyakran több száz fokos, gyorsan áramló, nyomás alatt levő rendszerből, gázkeverékekből, ill. por-gáz keverékekből kell mintákat venni, majd azt analizálni. [2]

A munkakörnyezet monitorozása a munkahigiénias tevékenység bármely szakaszában fontossá válhat. A mintavétel számos okból indokolt lehet, például a káros anyagok mennyiségi és minőségi azonosítása, több vegyi anyag egyidejű jelenlétének mennyiségének meghatározása a munkahelyi környezetben, expozíció mérése, a háttérszint koncentrációjának meghatározása és a szabályozási intézkedések hatékonyságának és hatásosságának ellenőrzése. Ezek az információk együttesen adnak tájékoztatást arról, hogy bizonyos munkakörnyezetben dolgozó alkalmazottak megfelelő védelemben részesülnek-e a vegyi anyagok esetleges egészségkárosító hatásai ellen. [3]

2.2. 3D nyomtatási technológiák

A 3D nyomtatók az 1980-as években bukkantak fel. Ebben a korban ezek a gépek nagyok és drágák voltak, melyeknek felhasználási lehetőségei nagyon korlátozottak voltak. Az SLA rendszert (sztereolitográfias), amely UV fényre reagens folyékony műgyantát térhálósít Dr. Carl Deckard fejlesztette és szabadalmaztatta egy texasi egyetemen Austinban az 1980-as évek közepén. Ez a típus lézeres technológiát használ folyékony gyantához. A lézer a gyantára irányul, amelyet a rétegek folyamatosan képeznek a modell kidolgozásához. A 3D nyomtatás fogalom két doktorandusztól ered, Jim Brand-tól és Tim Anderson-tól, akik egy tintasugaras nyomtatót úgy alakítottak át, hogy tinta helyett olvasszon egymásra rétegeket a térbeli objektumok létrehozása céljából. A ráolvasztásos, FDM (Fused Deposit Modeling) módszert, melynek alapelve, hogy a gép hőre lágyuló műanyagot rétegez egymásra, az 1980-as évek végén fejlesztették ki, majd ennek alapján 1990-re piacképest gyártmányt készítettek. [4]

A gyártási eljárást megelőzi egy digitális modell elkészítése, melyet számítógép segítségével tervezhetünk meg. Ez lehet egy animációs szoftver vagy egy tervezőprogram (CAD). Ezen felül 3D szkennel segítségével meglévő tárgyakról könnyen készíthető digitális modell. A szoftver a modelleket vékony, azonos méretű vízszintes virtuális rétegekre osztja fel. A nyomtatás folyamata során a gép beolvassa a modell adatait, majd egymásra illeszkedő

rétegeket generál, fokozatosan építi fel a modellt a metszetekből. [4] Az 1. képen különböző típusú 3D nyomtatók által létrehozott tárgyak láthatóak.



1. kép: 3D nyomtatóval létrehozott tárgyak (Forrás: Saját készítés)

3D nyomtatók számos területen használatosak, például prototípusok fejlesztésében, ipari és orvosi alkatrészek és komponensek készítésében, tudományos, technológiai és mérnöki oktatási alkalmazásokban és a fogyasztók körében. Az összeolvasztott filamentumos gyártás (FFF) működése abból áll, hogy felmelegítenek egy hőre lágyuló műanyag fonalt, majd a fonalat egy fúvókán keresztül egy mozgó platformra préselik, rétegről rétegre felépítve az objektumot. A FFF-hez számos filamentum áll rendelkezésre, amelyek általában termoplasztikus anyagok (pl. polilaktid (PLA), akrolonitril-butadién-sztirol (ABS), termoplasztikus poliuretán (TPU), nejlon és polikarbonát (PC)) keverékei, gyakran festékekkel, fémekkel, faanyagokkal, növényekkel és más adalékokkal. Ezeket a termoplasztikus anyagokat általában 180 °C és 270 °C közötti hőmérsékleten hevítik, de a hőmérséklet akár elérheti az 500 °C-ot is. A hevítési folyamat során kimutatták, hogy illékony gázok és ultrakisméretű részecskék (UFP-k) keletkezhetnek, amelyek rontják a beltéri levegőminőséget (IAQ). A 3D nyomtatókból származó kibocsátások. [5]

A 3D nyomtatás egy viszonylag új technológia, és sok hiányossága van az egészségügyi és biztonsági vonatkozásokkal kapcsolatos információk között. Sok újításhoz hasonlóan a munkavállalók az első olyan csoportok, amelyek ki vannak téve a potenciális veszélynek. [6] Számos tanulmány kimutatta ([7], [8], [9]), hogy a 3D nyomtatás részecskéket és illékony

szerves vegyületeket (VOC) is bocsát ki. A kibocsátások sok tényezőtől függhetnek, például a nyomtató márkától, az izzószál anyagától, az izzószál márkától és színétől, az extrudálási hőmérséklettől és a száladagolási sebességtől. A lézernyomtatókkal és a műanyagok hőkezelésével kapcsolatos korábbi tanulmányok ([7], [8]) potenciális gázoknak és részecskéknek való kitettséget mutattak ki, ami arra utal, hogy a 3D nyomtatók kibocsátása is aggodalomra adhat okot. Kimutatták, hogy a 3D nyomtatók potenciálisan káros illékony szerves vegyületeket bocsátanak ki, mint például sztirol, kaprolaktám, etilbenzol és mások. A részecskék kémiai specifikációja nem jól jellemezhető, és a toxicitás is bizonytalan. Eddig a legtöbb részecskeösszetétel-mérés szerves vegyületekre és fémekre összpontosított. [10]

Ugyancsak több kutatás foglalkozott azzal, hogy a polimer anyagok termikus feldolgozása során számos légszennyező anyag keletkezik, köztük karcinogén (rákkeltő) anyagok és légúti irritáló anyagok, valamint részecskék keletkezhetnek. A műanyag melegítése során keletkező füst összetétele a műanyag típusától, a készítménytől és a feldolgozási körülményektől függően változhat. [11] Toxikológiai vizsgálatok megerősítették, hogy az UFP behatol a tüdő alveoláris régiójába, és gyulladásos reakciókat válthat ki, hasi görcsöket okozhat, valamint a szív- és érrendszerre is hatással lehet. A legtöbb 3D nyomtató nincs felszerelve elszívó rendszerrel vagy szűrőtartozékokkal. Ezenkívül az otthoni és irodai környezetben a felhasználók általában nem használnak megfelelő elszívást és/vagy védőfelszerelést. Ezért fontos jellemezni a 3D nyomtatók kibocsátásának fizikai-kémiai tulajdonságait, hogy a lehető legkorábban megértsük az expozíciós potenciált és a kockázatot e technológia ipari és nem ipari környezetben történő alkalmazásakor. [12]

2.3. Munkavédelem szerepe és fontossága

Munkavédelem fogalma: „*A munkavédelem a szervezett munkavégzésre vonatkozó biztonsági és egészségügyi követelmények és az ezeket megvalósító szervezetek, intézmények, eszközök, elírások összessége.*” [13]

Munkavédelem feladata a munkavállalók testi, lelki és szociális jó közérzetének legmagasabb szintjének elősegítése és megtartása, a munkakörülményekből származó egészségügyi károsodások megelőzése, olyan munkakörnyezet biztosítása és fenntartása, amely a dolgozók fiziológiai és pszichológiai adottságaihoz alkalmazkodik.

A technológia során a vegyi anyagok hatásukat tekintve különböző csoportokba sorolhatók, (pl. maró hatású anyagok, ingerlő hatású anyagok, rákkeltő hatású anyagok stb.), amelyek veszélyeztethetik az ott tartózkodók egészségét. Fontos megjegyezni, hogy védelmi intézkedéseket kell tenni a munkahelyen az ilyen anyagokkal való érintkezés minimalizálása

érdekében, például megfelelő védőfelszerelést használva és a megfelelő szabályok és eljárások betartásával. [14]

A munkavédelemhez szorosan kapcsolódik a megfelelő munkahely kialakítása. A megfelelő munkahely kialakításával kapcsolatos kötelező érvényű jogszabály a munkahelyek munkavédelmi követelményeinek minimális szintjéről szóló 3/2002. (II.8.) SzCsM-EüM együttes rendelet.

„A munkáltató köteles gondoskodni arról, hogy az irányítása alá tartozó valamennyi területen a munkahelyek kialakítása és üzemeltetése feleljen meg az e rendeletben meghatározottaknak, továbbá a munkavédelemre vonatkozó egyéb szabályoknak, a tudományos, technikai színvonal mellett elvárható követelményeknek.” [15]

„A munkáltató az Mvt. 21. § (2) bekezdésében megjelölt munkavédelmi szempontú előzetes vizsgálatok során a létesítmény, a munkahely és a technológia esetében munkabiztonsági és munkaegészségügyi szempontból egyaránt köteles azonosítani a várható veszélyeket (veszélyforrásokat, veszélyhelyzeteket), valamint a veszélyeztetettek körét. Köteles felbecsülni a veszély jellege (baleset, egészségkárosodás) szerint a veszélyeztetettség mértékét. Meg kell határoznia a védekezés leghatékonyabb módját, a műszaki és egyéni védelem módozatait, illetve az alkalmazandó szervezési és egészségügyi megelőzési intézkedéseket.” [15]

2.4. Kémiai kóroki tényezők, munkahelyi légtér mérések, kockázatértékelés

A munkahelyi légtérrel, kémiai kóroki tényezőkkel kapcsolatos kötelező érvényű jogszabály a kémiai kóroki tényezők hatásának kitett munkavállalók egészségének és biztonságának védelméről szóló 5/2020. (II. 6.) ITM rendelet. [16]

„Belélegezhető frakció: az összes szálló pornak az a tömegfrakciója, amelyet az egyén orron és szájon át belélegez”

„Belélegezhető koncentráció: a belélegezhető frakció légzési zónában mérhető koncentrációja”

„Egészségkárosító vagy biztonságot veszélyeztető kockázat: a munkahelyi légtérben lévő szennyező anyagra megadott foglalkozási expozíciós határérték túllépése vagy határérték hiányában a kockázat olyan mértéke, amely veszélyeztetheti a munkavállalók egészségét vagy biztonságát”

„Expozíció: a munkahelyen jelen lévő veszélyes anyagok hatásának való kitettség, amely a munkavállalót az adott munkakörnyezeti tényező ellen védelmet nyújtó egyéni védőfelszerelés nélkül éri”

„Expozíciós idő: az exponált munkavállaló által a vegyi anyaggal szennyezett munkatérben

eltöltött napi, heti és éves időtartam órákban, napokban, hetekben kifejezve”

„Expozíciós koncentráció: a munkahelyi légtérben lévő szennyező anyag koncentrációja”

„Megengedett átlagos koncentráció (ÁK): a légszennyező anyagnak a munkahely levegőjében egy 8 órás vagy annál rövidebb műszak, 40 órás munkahét esetén megengedett, idővel súlyozott átlagkoncentrációja, amely a dolgozó egészségére általában nem fejt ki káros hatást, kivéve egyes küszöbérték nélküli mutagén vagy daganatkeltő anyagokat”

„Megengedett csúcskoncentráció (CK): rövid ideig megengedhető legnagyobb levegőszennyezettség, a légszennyező anyagnak egy műszakon belül megengedett átlagos koncentrációt meghaladó legnagyobb koncentrációja”

„Respirábilis frakció: a belélegzett részecskéknek azon tömegfrakciója, amely behatol a ciliáris hám nélküli légutakba”

„Kockázatelemzés: a szervezetre, rendszerre vagy egy meghatározott populációra veszélyt jelentő expozíciós szituációk elemzésének folyamata”

„Kockázatértékelés: a méréssel vagy becsléssel nyert expozíciós koncentráció összehasonlítása a határértékkel” [16]

A kémiai kóroki tényezőknél a határértékek ismerte és betartása mellett a megbetegedés kockázata csökken. A további egészségkárosodások műszaki, szervezési intézkedésekkel, egyéni védőeszközök használatával megelőzhetőek. [17]

A levegő mintavételének a célja a levegő minőségének, szennyezőanyag koncentrációjának meghatározása. A mérés elvégzésére speciális eszközök állnak rendelkezésre, melyek technológiáját fél évszázad alatt fejlesztették ki. A levegőben lévő részecskéket egy speciális mintavevő segítségével mérik. [18]

A kockázatelemzés jelentése a kockázatok működésének és fejlődésének áttekintése és megértése. Segítséget nyújt a leghatékosabb megoldást megtalálni a kockázatkezelésre. A folyamat nagymértékben függ attól, hogy milyen következmények várhatóak, és milyen valószínűséggel jelentkeznek a potenciális kockázatok. Ha a következmények vagy a valószínűség súlyos, akkor szigorú kockázatelemzésre és kockázatértékelésre van szükség. Viszont, ha a következmények kevésbé súlyosak vagy a kockázat alacsonyabb szintű, akkor egyszerűbb eljárásokat is alkalmazhatunk. A kockázatelemzés a kockázatok és a kockázati tényezők működésének megértését jelenti, valamint számba veszi, hogy milyen hatással vannak a jelenlegi célokra. Ezzel szemben a kockázatértékelés célja az, hogy közvetlenül vagy potenciálisan felmerülő kockázatok rangsorolja azok valószínűsége, hatásuk mértéke és a kezelhetőségük alapján. Ez segít meghatározni a legkritikusabb területeket, ahol intézkedéseket kell tenni. Alapvetően arra keresünk választ, hogy mely kockázatok a

legvalószínűbbek és vannak a legnagyobb hatással. A kockázatértékelés emellett kiemeli, hogy milyen mértékben szükséges csökkenteni ezen kockázatokat, és szükség esetén javaslatokat tesz a megfelelő védelmi intézkedésekre. [19]

2.5. Emisszió mérés

Az emisszió mérés első lépéseként helyszíni szemlét kell tartani, ahol meg kell ismerni az adott technológiát, az üzemviteli körülményeket, ezután felírni az adatokat, ellenőrizni a szabványos mintavételi helyet és annak megközelíthetőségét. A megfelelő adatok birtokában el kell készíteni a mintavételi tervet a vonatkozó szabványok alapján. A méréshez szükséges előkészíteni az alkalmazandó műszereket (pontosság ellenőrzés) és a megfelelő számú mintavevő eszközt (szűrőpapír, adszorbens). A mérés ideje alatt fenn kell tartani az üzemszerű állapotot és ezt folyamatosan ellenőrizni szükséges. [20]

3. Anyag és módszer

Vizsgálatom során a 3D nyomtatási technológia környezetre gyakorolt hatásainak a megállapításához az alábbi vizsgálatokat végeztem el:

- munkahelyi légtér mérés;
- kémiai kóroki tényezők meghatározása;
- keletkezett vegyi anyagok tulajdonságainak vizsgálata;
- mintavételi stratégia készítése és mintavételi helyek meghatározása;
- az alkalmazott mintavételi módszer és a mintavevő műszerek bemutatása.

3.1. Munkahelyi légtér mérés

A munkahelyi légtér mérését megelőzően felmérést végeztem a 3D nyomtató laborban. A felmérés során felírtam a nyomtatók típusait (3db SLA, 1db FMD), felmértem pontos helyüket, összegyűjtöttem a felhasznált anyagok biztonsági adatlapjait, melyből a vizsgálandó komponenseket határoztam meg. Interjúval felmérést készítettem a munkavállaló pontos feladatairól, az egyes munkafolyamatok időtartamáról, azok gyakoriságáról. A mérés-előkészítés során és a mérést követően a vizsgált helyszínek kapcsolattartói rendelkezésemre bocsátották a szükséges adatokat és dokumentumokat, amelyek hitelességéért és pontosságáért a kapcsolattartók felelősek. A 3.3.1. fejezet 1. számú táblázatban feltüntettem a laborban használt vegyi anyagokat, besorolásukat, káros hatásait és összetételüket. A biztonságtechnikai adatlapok alapján azokat az anyagokat jelöltem ki mérésre, amelyek káros hatással lehetnek az emberi szervezetre.

Az alábbi feladatokat végeztem el:

- személyi mintavétellel meghatároztam a dolgozókat érő szennyező anyagok expozíciós koncentrációit,
- a dolgozók szennyezőanyag terhelését állapítottam meg a mérési eredmények és a kémiai kóroki tényezők hatásának kitett munkavállalók egészségének és biztonságának védelméről szóló 5/2020. (II.6.) ITM rendelet [16] alapján.

A méréseket és az ebből kapott eredmények kiértékelését a kémiai kóroki tényezők hatásának kitett munkavállalók egészségének és biztonságának védelméről szóló 5/2020. (II. 6.) ITM rendelet [16] alapján végeztem.

3.1.1. Kémiai kóroki tényezők

A laborban dolgozó alkalmazott különféle légszennyező anyagoknak van kitéve a nyomtatók üzemeltetése során. A dolgozó munkahelyi expozícióját a 3D nyomtató tevékenység során felhasznált vegyi anyagok, a használt gyanta vagy műanyag hevítése során felszabaduló gázok határozzák meg. Első lépésként begyűjtöttem a szükséges információkat az adott munkakörben. A laborhelyiségben három nyomtatót használnak, mind a három eszközhöz használt vegyi anyagok biztonsági adatlapját elkértem, melyek alapján meghatároztam a mérendő komponenseket. Az *1. számú táblázatban* a tevékenységek alapján összegyűjtöttem a 3D nyomtatás során használt vegyi anyagokat és egyéb szükséges információkat.

1. táblázat: 3D nyomtatás során felhasznált vegyi anyagok besorolása és összetétele

Termék neve	Besorolás	Összetétel
Fiberglass (üvegyapot)	nem jelölés köteles	nylon, kaprolaktam, üvegszál
ONYX	nem jelölés köteles	nylon, kaprolaktam, üvegszál
PC (polikarbonát)	nem jelölés köteles	fenol, klórbezo*
PVA (vízben oldódó Filament)	nem jelölés köteles	metanol*
Rigid 10K (gyanta)	Bőrszenzibilizáció, 1. kategória, H317 (SKin Sens. 1) A vízi környezetre veszélyes -krónikus veszély, 2. kategória, H411 (Aquatic Chronic 2) GHS07,09	Uretán- dimet akrilát, 7,7,9(or 7,9,9)- trimethyl4,13-dioxo-3,14-dioxo-5,12- diaza hexadecane-1,16-diyl bismeth acrylate Izobornil - metakrilát, Exo1,7,7-trimethyl bicyclo [2.2.1]hept -2-yl meth acrylate Töltőanyag, Silicon dioxide
Rigid 4000 (üveggel szilárdított alapanyag)	Bőrszenzibilizáció, 1. kategória, H317 (SKin Sens. 1) Bőrirritáció, 2. kategória, H315 (Skin Irrit. 2) Szemirritációs, 2. kategória, H319 (Eye Irrit. 2) A vízi környezetre veszélyes - krónikus veszély, 2. kategória, H411 (Aquatic Chronic 2) GHS07,09	Metakrilát monomerek Izobornil - metakrilát, Exo-1,7,7- trimethyl bicyclo [2.2.1]hept -2-yl meth acrylate Uretándimet akrilát, 7,7,9(or 7,9,9)- trimethyl4,13-dioxo3,14-dioxo5,12-diaza hexadecane1,16-diyl bismeth acrylate
Fdm nylon 12 (ellenálló nylon)	nem jelölés köteles	Carbon mesoporous (ipari korom)
P400sctm (oldható koncentrátum)	Bőrmáras, 1A. kategória, H314 (Skin Corr. 1A) Súlyos szemkárosodás, 1. kategória, H318 (Eye Dam. 1) GHS05	nátriumhidroxid, nátriumsulfát,
ragasztó stift	Bőrszenzibilizáció, 1. kategória, H317 (Skin Sens.1) GHS07	propán-1,2-diol, glicerol, 1,2-benzizotiazol-3-one
Ragasztó spray 3D	Tűzveszélyes aeroszolok, 1. kategória, H222 (Flam. Aerosol 1) Tűzveszélyes aeroszolok, 1. kategória, H229 (Flam. Aerosol 1) Szemirritáció, 2. kategória, H319 (Eye Irrit. 2) Célszervi toxicitás – egyszeri expozíció, 3. kategória, H336 (STOT SE 3) GHS02,07	propán-2-ol
Alkonek	Tűzveszélyes folyadékok, 2. kategória, H225 (Flam. Liq. 2) Szemirritáció, 2. kategória, H319 (Eye Irrit. 2) GHS02,07	etanol, MEK, izopropil-alkohol

(Forrás: <https://www.ilo.org/global/lang--en/index.htm> (Legutóbbi letöltés:2023.11.01))

3.1.2. Keletkező vegyi anyagok és tulajdonságaik

A 2. számú táblázatban a keletkező vegyi anyagokat és tulajdonságaikat tüntettem fel. A CAS-szám (Chemical Abstracts Service Registry Number) egy nemzetközi szabványosított azonosító szám, amelyet a Chemical Abstract Service (CAS) használ a kémiai anyagok és vegyi vegyületek azonosítására.

A megengedett átlagos koncentrációt ÁK-értéknek rövidítjük. A légszennyező anyagnak a munkahely levegőjében egy műszakra megengedett átlag-koncentrációja, amely a dolgozó egészségére általában nem fejt ki károsító hatást.

A CK-érték, azaz megengedett csúcskoncentráció. Megmutatja egy műszakon belül rövid ideig megengedhető, az AK értéket meghaladó legnagyobb levegőszennyezettséget.

Mindkét érték megengedett legnagyobb koncentrációját a kötelező érvényű jogszabály a kémiai kóroki tényezők hatásának kitett munkavállalók egészségének és biztonságának védelméről szóló 5/2020. (II. 6.) ITM rendelet [16] tartalmazza. A veszélyes anyagok tekintetében használt rövidítések magyarázata a 3. számú táblázatban, valamint a nyolc óránál hosszabb műszak esetén alkalmazandó ÁK-érték korrekciók a 4. számú táblázatban találhatóak meg.

2. táblázat: Keletkező vegyi anyagok és tulajdonságaik

Megnevezés	CAS-szám	ÁK- érték mg/m ³	CK érték mg/m ³	Jellemző tulajdonság/ hivatkozás
Alkonek				
Etil-alkohol	64-17-5	1900	3800	N
Metil-etil-ke-ton	78-93-3	600	900	b, i N
Izopropil-alkohol	67-63-0	500	1000	b, i R
Ragasztás				
Izopropil-alkohol	67-63-0	500	1000	b, i R
STRATASYS 3D nyomtató				
Nátrium-hidroxid	1310-73-2	1	2	m N
Fromlabs 3D nyomtató				
Metil-metakrilát	80-62-6	208	415	b,i,sz N
Ultimaker 3D nyomtató				
Metanol	67-56-1	260		b,i, R+T
Fenol	108-95-2	8	16	b,m, BEM R+T
Klórbenzol	108-90-7	23	70	R+T
Markforged 3D nyomtató				
E-kaprolaktám	105-60-2	10	40	i N
Üvegszál	lsd. rostszerkezetű porok			

(Forrás: 5/2020. (II. 6.) ITM rendelet [16])

a kémiai kóroki tényezők hatásának kitett munkavállalók egészségének és biztonságának védelméről)

3. táblázat: A veszélyes anyagok tekintetében használt rövidítések magyarázata

Rövidítés	Magyarázat
b	Bőrön át is felszívódik
i	ingerlő anyag, amely izgatja a bőrt, nyálkahártyát, szemet vagy mindhármat
sz	Túlérzékenységet okozó (szenzibilizáló) tulajdonságú anyag. Az anyagra érzékeny egyéneken „túlérzékenységen” alapuló bőr-, légzőrendszeri, esetleg más szervet/szervrendszert károsító megbetegedést okozhat.
m	maró hatású anyag, amely felmarja a bőrt, nyálkahártyát, szemet vagy mindhármat
BEM	biológiai expozíciós mutató
k(...)	rákkeltő (zárójelben az 1272/2008/EK európai parlamenti és tanácsi rendelet, rövid megnevezéssel a CLP rendelet
mg/m ³	milligramm léghőbméterenként, 20 °C-on és 101,3 KPa légköri nyomáson
m.v.	műszak végén

(Forrás: 5/2020. (II. 6.) ITM rendelet [16] a kémiai kóroki tényezők hatásának kitett munkavállalók egészségének és biztonságának védelméről)

4. táblázat: Nyolc óránál hosszabb műszak esetén alkalmazandó ÁK-érték korrekciók

Rövidítés	ÁK korrekciós csoportok
N	Irritáló anyagok, egyszerű fojtógázok, csekély egészségkárosító hatással bíró anyagok.
R	Azok az anyagok, amelyek egészségkárosító hatása rövid expozíció hatására jelentkezik.
R+T	Azok az anyagok, amelyek rövid és tartós expozíciója is egészségkárosodást okoz.

(Forrás: 5/2020. (II. 6.) ITM rendelet [16] a kémiai kóroki tényezők hatásának kitett munkavállalók egészségének és biztonságának védelméről)

A 5. számú táblázatban jelöltem a szálló porok megengedett koncentrációi mg/m^3 -ben.

5. táblázat: Szálló porok megengedett koncentrációja

Megnevezés	ÁK-érték, belélegezhető koncentráció, mg/m^3 -ben	ÁK-érték, respirábilis koncentráció, mg/m^3 -ben
PVC (poli-vinil-klorid)	1	0,5
Egyéb inert porok	10	6

(Forrás: 5/2020. (II. 6.) ITM rendelet [16] a kémiai kóroki tényezők hatásának kitett munkavállalók egészségének és biztonságának védelméről)

A 6. számú táblázat a rostszerkezetű porok megengedett koncentrációit rost/cm^3 -ben szemlélteti.

6. táblázat: Rostszerű porok megengedett koncentrációi

	A	B	C	E
1.	Megnevezés (CAS-számok)	ÁK-érték (rost/cm^3)	Tulajdonság	ÁK korrekciós csoport
2.	Üvegrostok (üveggyapot, rostüveg – folyamatos üvegszál)	1,0	k (2)	N

(Forrás: 5/2020. (II. 6.) ITM rendelet [16] a kémiai kóroki tényezők hatásának kitett munkavállalók egészségének és biztonságának védelméről)

3.1.3. Mintavételi stratégia

A mintavételi stratégiát az általam begyűjtött és rendelkezésre álló információk alapján állítottam össze. A 7. számú táblázatban feltüntetett adatok alapján meghatároztam, hogy mely légszennyező anyagok fordulhatnak elő a munkavállaló légzési zónájában.

7. táblázat: Munkavállaló légzési zónájában előforduló légszennyező anyagok

Tevékenység/munkakör	etil-alkohol	MEK (metil-etil-ke-ton)	izopropil-alkohol	izopropil-alkohol	innert por	nátrium-hidroxid	metakrilát	metanol	fenol	klórbenzol	e-kaprolaktam	üvegszálpor csiszolás	innert por csiszolás
Alkonekes tisztítás	x	x	x										
Ragasztás				x									
STRATASY S 3D nyomtató csiszolás					x	x							
Fromlabs 3D nyomtató							x						
ULTIMAKER 3D nyomtató								x	x	x			
Markforged 3D nyomtató											x	x	x

(Forrás: Saját készítés)

3.1.4. Mintavételi helyek, üzemviteli körülmények

A vizsgálat során a mintavevőt a dolgozóra rögzítettem, illetve statikus pontot jelöltem ki, mivel a helyiségben 1 dolgozó tartózkodik. A kijelölt munkahelyen, a rendelkezésemre

bocsátott információk alapján maximum napi 8 órás munkavégzéssel lehet számolni, ezért korrekciós számítások (napi 8 óra feletti és heti 40 óra feletti) elvégzése nem volt indokolt.

A mintavételeket a MSZ EN 689:2018+AC:2019 szabvány [16] 5.2.2. pontja alapján végeztem: azaz a teljes műszakidő alatt hasonló expozíciót feltételezve pontonként a mintavételek teljes időtartama 4 óra volt. Csúskonzentrációkat nem mértem, mivel a technológia során nem azonosítottam olyan folyamatot, amely rövid ideig tartó jelentős hatást fejtene ki.

3.1.5. A vizsgálatnál alkalmazott szabványok

A munkahelyi légtér mérése során az alábbi szabványok voltak irányadók:

MSZ EN 481:1994	Munkahelyi levegő. A szállópor-mérés szemcseméret-frakcióinak meghatározása
MDHS 14/4:2014	General methods for sampling and gravimetric analysis of respirable, thoracic and inhalable aerosols
ISO 16200-1:2001	Munkahelyi levegőminőség. Illékony szerves vegyületek mintavétele és elemzése oldószer adszorpciós gázkromatográfiával
MSZ EN 482:2006 (visszavont szabvány)	Munkahelyi légterek. A vegyi anyagok mérési eljárásai teljesítőképességének általános követelményei
MSZ EN 689:1999 (visszavont szabvány)	Munkahelyi levegő. Útmutató az inhalatív vegyianyag-expozíció becslésére a határértékkel való összehasonlításhoz és a mérési stratégiához
MSZ ISO 8756:1995	Levegőminőség. A hőmérséklet-, a légnyomás- és a légnedvességi adatok figyelembevétele
MSZ ISO 9487:1992	A munkahelyi levegő aromásszénhidrogén-tartalmának meghatározása gázkromatográfiás módszerrel
ISO 16200-1:2001	Workplace air quality Sampling and analysis of volatile organic compounds by solvent desorption/gas chromatography Part 1: Pumped sampling method
MSZ 21452-1:1975	A levegő állapotjelzőinek meghatározása Nedvességtartalom mérése
MSZ 21452-3:1975	A levegő állapotjelzőinek meghatározása

	Hőmérséklet mérése
MSZ 21862-22:1982	Munkahelyek gázállapotú légszennyezőinek vizsgálata Gázkromatográfiás mintavétel és vizsgálat általános előírásai
MSZ 21862-34:1986	Munkahelyek gázállapotú légszennyezőinek vizsgálata Alifás alkoholok gázkromatográfiás meghatározása
MSZ EN 689:2018+AC:2019	Munkahelyek expozíció. Inhalatív vegyi anyagok expozíciómérése. Stratégia a foglalkozási expozíciós határértékeknek való megfelelés vizsgálatára

3.1.6. Az alkalmazott módszer

Mintavétel előkészítése:

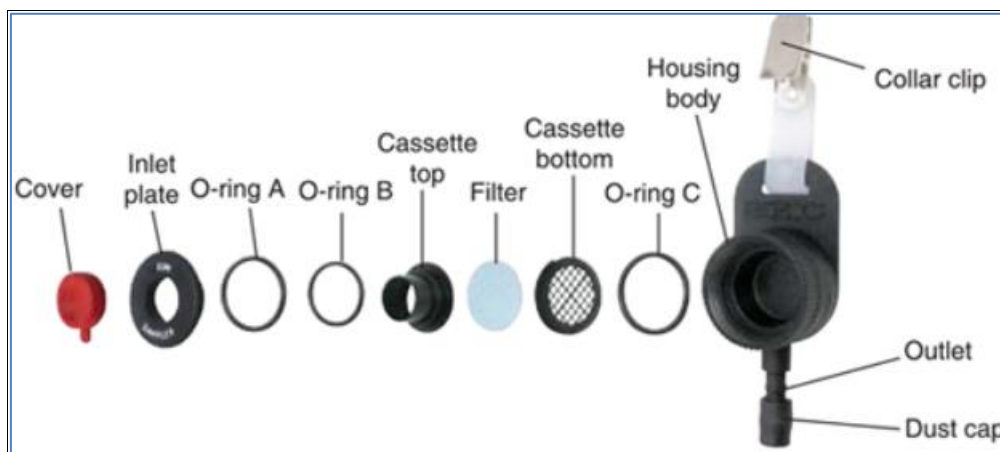
Az előkészületek során a mintavételek elvégzéséhez szükséges számú mintavevő készüléket a mintavételt megelőző napon feltöltöttem. Az akkumulátorok töltési időtartama 10-14 óra. A mintavételhez megfelelő számú mintavevő fejet, adszorpciós csövet készítettem elő.

Belélegezhető és respirábilis por meghatározása:

A szálló por belélegezhető és respirábilis frakciójának elkülönített megkötésére speciális kétfokozatú, SKC IOM személyi mintavevőt alkalmaztam, a leválasztott por tömegének meghatározása gravimetriás módszerrel történt.

A vizsgálatokhoz olyan mintavevő fejet használtam, amely alkalmas a respirábilis és belélegezhető por mérésére is (MDHS 1. ábra szerinti pormintavevő ciklont, illetve Iom samplert). mintavevő fejet egyedi jellel láttam el, amely a minták azonosítására szolgál. A mintavevő fejeket minden használat előtt letisztítottam. A szűrőtartóba helyeztem a szűrőt. A szűrőtartókat és a durva por gyűjtésére szolgáló kis tartályt szilikagéllal töltött exszikkátorba (szárítószerrel ellátott laboratóriumi edény) helyeztem és 24 órán keresztül ott tároltam. A mintagyűjtők bemérése analitikai mérlegen történt. A bemérés adatait a minta azonosító adataival együtt feljegyeztem a helyszíni mérési jegyzőkönyvön. A bemérés után a mintavevő fejeket összeszereltem.

A mintavevő a durva port poliuretán habkorongon választja le, amely a respirábilis méretű finom port (részecskeméret $4,0\ \mu\text{m}$ alatt) átengedi. A belélegezhető („PUF insert” + „Casette front” + „Filter” + „Grid”) és a respirábilis („Filter” + „Grid”) frakció tömegének mérése analitikai mérlegen történt mintavétel előtt és után [17].



1. ábra: Kétfokozatú SKC IOM mintavevő (Forrás: www.skcinco.com; Legutóbbi letöltés: 2023.10.30)

A mintavételhez szükséges eszközöket a biztonságos szállításra alkalmas műanyag táskában helyeztem el, amely a szállítás során megvédi az eszközöket a külső hatásoktól.

A mintavevő kör összeállítása: A mintavevő fejet és a mintavevő készüléket csővel összekötöttem. Tiszta helyen, kalibrált rotaméter (áramlásmérő) segítségével ellenőriztem, illetve beállítottam a mintán átmenő levegő térfogatáramát (MDHS szabvány alapján 2 liter/perc). A mérés közben az áramlási sebességet többször ellenőriztem. Személyi mintavétel esetén arra törekedtem, hogy a készülék ne akadályozza a dolgozót a munkavégzésben. Személyi mintavételezés esetében a mintavevő a viselő légzési zónáján belül helyeztem fel, a szivattyú, pedig egy rugalmas csődarabon keresztül csatlakozik hozzá, és heveder tartja.

Megjegyzés: (a légzési zóna a dolgozó feje körüli tér, ahonnan a dolgozó a levegőt veszi, és általánosan elfogadott, hogy a szájtól nem lehet 30 cm-nél távolabb). Stacioner mintavételezéshez való használat esetén az egyéni mintavevőket kb. fejmagasságban, akadályoktól, friss levegő bevezető nyílásoktól vagy erős szelektől távol helyeztem el.

A mintavétel során a mintavételi jegyzőkönyvbe bejegyeztem a mintavételi paramétereket.

A használt mintavevő berendezést tiszta, pormentes helyre szállítottam, a mintákat lezártam és az egész mintavevő fejet együtt szállítottam. A szállító egységben úgy helyeztem el a mintákat, hogy megakadályozzam a szállítás közbeni károsodást. A szállítás után ellenőriztem az esetlegesen szűrőkből felszabadult anyag jeleit. Ügyeltem arra, hogy a mintákat úgy tároljam, szállítsam, hogy az a mérési eredményt ne befolyásolja.

A vak mintákat ugyanolyan módon kezeltem a mintavételezési helyre való szállítás és onnan történő elszállítás során, mint azokat, amelyeket ténylegesen felhasználtam a mintavételezéshez, de nem szívattam át rajtuk levegőt.

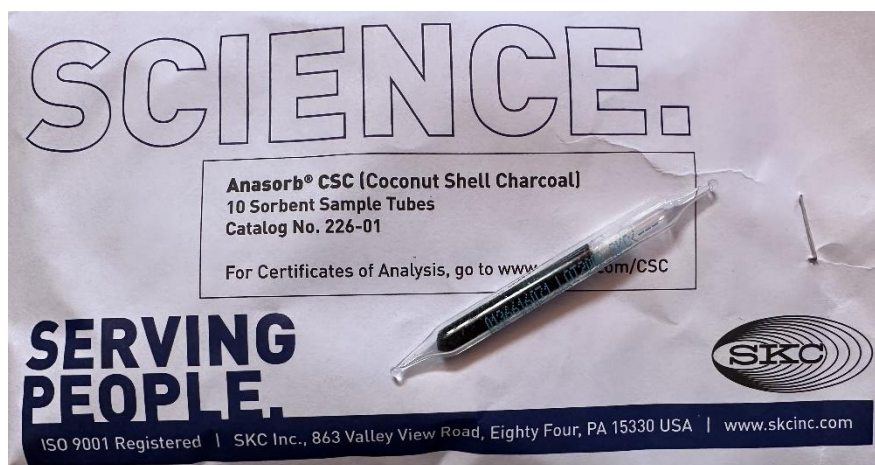
A szűrőtartókat és a durva por gyűjtésére szolgáló kis tartályt szilikagéllal töltött

exsikkátorba helyeztem és 24 órán keresztül ott tároltam. A mintagyűjtők visszamérése 0,1 mg pontosságú analitikai mérlegen történt. A laboratóriumi vizsgáló helyiség klimatizált, amely állandó hőmérsékletet biztosított a vizsgáló berendezések számára. A vizsgáló helyiségben található analitikai mérlegen a mérések előtt pontosság ellenőrzést végeztem, amelynek során a légnyomás és hőmérséklet különbségből eredő változásokat kiküszöböltem.

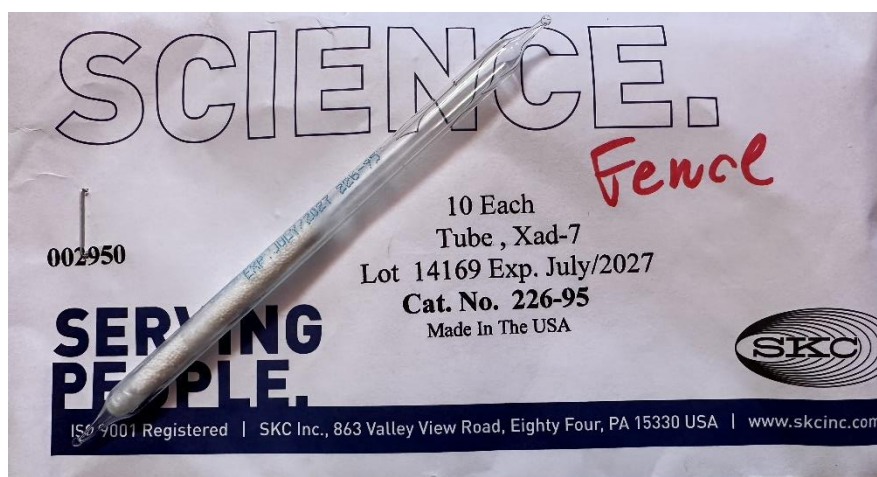
Adszorpciós mintavétel illékony szerves légszennyező anyagok, fenol, metanol mérése:

Az illékony szerves vegyületek a polaritásuknak és illékonyságuknak megfelelően megválasztott, nagy fajlagos felületű adszorbensen megkötődnek, majd oldószeres leoldást követően GC módszerrel könnyen elválaszthatók és mennyiségileg meghatározhatók. A mintavételhez használt csöveket az SKC LTD honlapjáról választottam ki, figyelembe vettem a vizsgáló laboratóriumban alkalmazott szabványokat is.

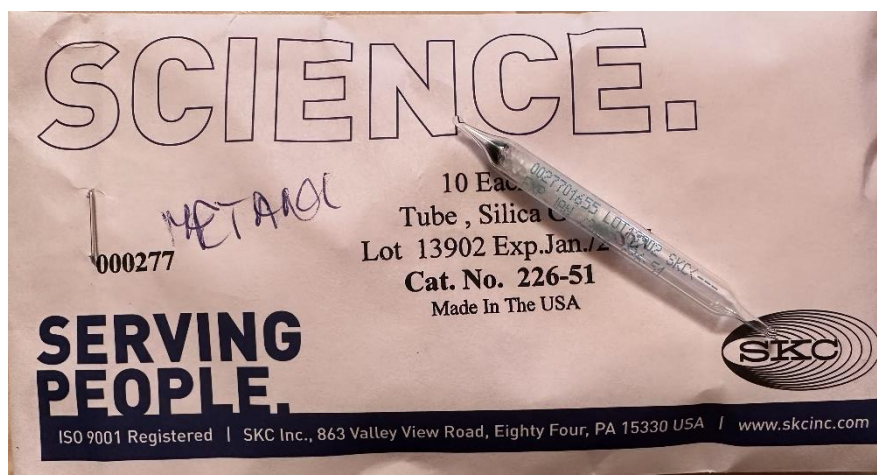
A mintavevő adszorbenst és a mintavevő készüléket szilikonsóval összekötöttem. Kalibrált rotaméter segítségével ellenőriztem, illetve beállítottam a mintán átmenő levegő térfogatáramát (szerves vegyületek esetében max. 0,2 liter/perc). A mérés közben az áramlási sebességet többször ellenőriztem. A mintavevő csöveket hűtőtáskában szállítottam a helyszínre, csak közvetlenül a felhasználás előtt vettem ki és ekkor törtem le a gyárilag leforrasztott végeket. Az illékony szerves vegyületek mintavételéhez SKC 226-01 aktív szénrel töltött adszorbens üvegcsövet, a fenol mintavételhez SKC SKC XAD-7-es 226-95-ös adszorbenst, a metanol mintavételhez SKC 226-51 típusú szilikagéllel töltött adszorbens csövet használtam. A 2., 3. és 4. képeken az adszorbens csövek láthatóak.



2. kép: Szerves vegyületek mintavételéhez szükséges adszorbens (Forrás: Saját készítés)



3. kép: Fenol mintavételéhez szükséges adszorbens (Forrás: Saját készítés)



4. kép: Metanol mintavételéhez szükséges adszorbens (Forrás: Saját készítés)

A mintavételt személyi mintavevővel végeztem, a mintavevőt a dolgozóra rögzítettem, amely az 5. képen látható. A minták analitikai vizsgálatát a Eurofins Analytical Services Hungary Kft. (1045 Budapest, Anonymus utca 6.) végezte.



5. kép: Mérőműszer felhelyezése a dolgozóra (Forrás: Saját készítés)

Nátrium-hidroxid meghatározása:

SKC IOM személyi mintavevőt alkalmaztam, a por visszamérését követően, a 25 mm átmérőjű, 0,8 μm pórusméretű MCE szűrőpapírt és az SKC habkorongot tartókazettában a vizsgálólaboratóriumba küldtük. A minták analitikai vizsgálatát az Eurofins Analytical Services Hungary Kft. (1045, Budapest, Anonymus utca 6.) végezte.

Szálló rost mérése:

A szálló rost mérésnél szintén az SKC aircheck személyi mintavevőt alkalmaztam, amelyet összekötöttem egy szilikon csővel, majd ráillesztettem egy 25mm-es MCE szűrőt, amely egy speciális kazettában (SureSeal) volt elhelyezve. Ez a speciális szűrővel ellátott kazetta az 6. képen látható.



6. kép: Szálló rost méréséhez alkalmazott szűrő (Forrás: Saját készítés)

3.1.7. Az alkalmazott műszerek

A kutatásom során a 8. számú táblázatban feltüntetett mérőeszközöket alkalmaztam. A 7. képen egy komplett mérőfelszerelés látható, melyet a munkahelyi légtér mérés során alkalmaztam. A bőrönd tartalmaz személyi mintavevőt (SKC Aircheck 3000), áramlásmérőt, Hőmérséklet- és páratartalom-mérőt, szilikoncsövet és abszolút légnyomásmérőt. A 8. képen pedig az analitikai mérleg található, melyet kizárólag márványtablán lehet csak használni a mérés pontossága végett.

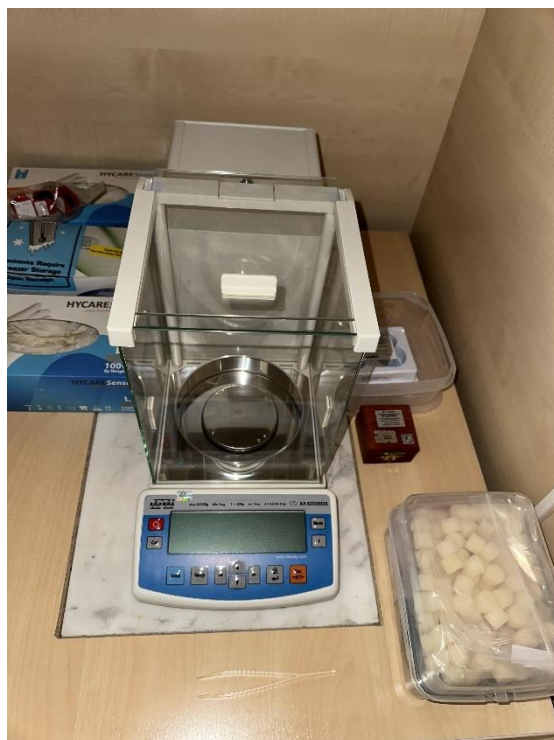
8. táblázat: Munkahelyi légtér mérés során alkalmazott mérőeszközök

Megnevezés	Műszer típusa	Azonosító száma
Személyi mintavevő	SKC Airchek 3000	20304
Személyi mintavevő	SKC Airchek 3000	20305
Személyi mintavevő	SKC Airchek 3000	20306
Személyi mintavevő	SKC Airchek 3000	20307
Személyi mintavevő	SKC Airchek 3000	20308
Személyi mintavevő	SKC Airchek 3000	20309
Személyi mintavevő	SKC Airchek 3000	20310
Analitikai mérleg	Radwag XA82/220/2X	411893/13
Áramlásmérő	SKC chek-mate	20548365
Rotaméter	SKC	20549112
Hődrótos áramlás és hőmérsékletmérő	Testo 425	0256895
Multifunkciós mérőműszer	Testo 440	83242062
Hőmérséklet- és páratartalom-mérő	HI 9565	A02260092111
Abszolút nyomásmérő	Testo 511	39120108

(Forrás: Saját készítés)



7. kép: Munkahelyi légtér mérésnél alkalmazott műszerek (Forrás: Saját készítés)



8. kép: Analitika mérleg (Forrás: Saját készítés)

3.2. Légszennyező pontforrás emisszió mérés

3.2.1. Pontforráson kilépő légszennyező anyagok

A 3D nyomtató helyiségben a munkahelyi légszennyező anyagok koncentrációjának csökkentése végett elszívó ventilátort szereltek fel, az elszívás kivezetése a mérendő pontforrás. A mérendő komponenseket, melyet a 9. számú táblázatban feltüntettem a rendelkezésemre álló adatok alapján, a 306/2010. (XII.23.) Korm.rendelet és a levegőtisztaságvédelmi alapbejelentés (LAL) alapján határoztam meg.

9. táblázat: Mérendő komponensek

Azonosító	Légszennyező anyag megnevezése	CAS szám
641	Metil-metakrilát (metakrilsav-metil-észter)	80-62-6
301	Etil-alkohol (etanol)	64-17-5
300	Metil-alkohol (metanol)	67-56-1
313	Metil-etil-keton (2-butanon)	78-93-3
307	Izo-propil-alkohol	67-63-0
7	Szilárd anyag nem toxikus, nem rákkeltő és nem a 799-es azonosító szám alá tartozó anyagok)	*
715	Nátrium-hidroxid	1310-73-2
351	Fenol	108-95-2
252	Klór-benzol	108-90-7
475	Kaprolaktám	105-60-2

(Forrás: Saját készítés)

3.2.2. Mintavételi stratégia

A helyhez kötött légszennyező pontforrásokon kibocsátott légszennyező anyagok koncentrációjának és tömegáramának vizsgálatához olyan mintavételeket alkalmaztam, amelyek megfelelnek a hatályos jogszabályoknak és az alkalmazott szabványok előírásainak. Az előzetes helyszíni bejárás tapasztalatai alapján készítettem elő a mintavételeket.

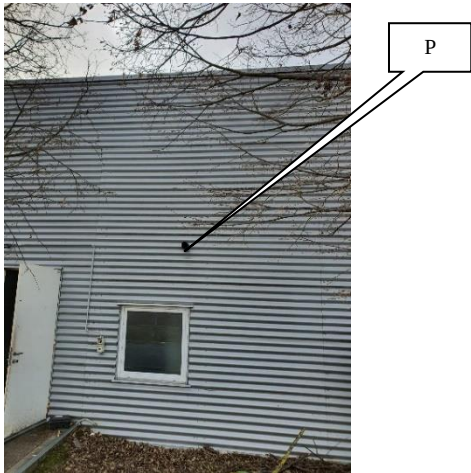
A rendelkezésemre álló információk alapján (technológia, biztonsági adatlap stb.) meghatároztam a vizsgálandó anyagok körét. Figyelembe vettem, hogy a mintákat vizsgáló laboratórium milyen szabványokat alkalmaz.

A mintavevő csöveket és szűrőtartókat úgy szállítottam és tároltam, hogy megóvjam a mechanikai sérüléstől és a szennyeződéstől. A mintavételhez előkészítettem a szükséges

eszközöket és meggyőződtem ezek megfelelő állapotáról és működőképességéről. A laboratóriumban összeállítottam a mintavevő kört és ellenőriztem a megfelelő működését.

Az eszközöket a szállításhoz műanyag ládába raktam, ami megvédi azokat a mechanikai sérülésektől. Felmértem a helyszínt, a mérendő kivezetést és összegyűjtöttem a pontforráshoz kapcsolódó berendezések adatait, melyeket a 10. számú táblázatban foglaltam. A 9. képen pedig maga a pontforrás látható.

10. táblázat: A pontforrás méréséhez szükséges adatok

Megnevezés	3D nyomtató helyiség elszívás
Technológia besorolása	elektronikai alkatrész gyártás
Kapcsolódó berendezés	3000 m ³ /h teljesítményű elszívó ventilátor
Pontforrás magassága	3 m
Kémény átmérő	150 cm (kör)
Kilépési keresztmetszet	0,018 m ²
Éves üzemóra	~6000 h/év
Pontforráshoz kapcsolódó technológia	Pontforrás
	 9. kép: Pontforrás (Forrás: Saját készítés)

(Forrás: Saját készítés)

3.2.3. Mintavételi helyek, üzemviteli körülmények

A mérési keresztmetszet kiválasztásának szempontjai: a mérési keresztmetszet előtti és utáni változatlan keresztmetszetű egyenes csatornaszakasz hossza a csővezeték hidraulikai átmérőjének legalább kétszerese ($2 \times 2 d_h$) kell, hogy legyen, amelyen belüli

csatornaszakaszban semmilyen áramlást zavaró elem nem lehet.

A mérési keresztmetszet kiválasztása az MSZ 21853-1:1976 szerint, a mérési pontok kijelölése az MSZ 21853-2:1998 szerint történt. A 3D nyomtató helyiség elszívásának kivezetésén a mintavételi hely a kürtő vízszintes egyenes szakaszán történt. A mérések és mintavételek ideje alatt (3×30 perc) a vizsgált technológiák a normális technológiai előírások alapján folyamatosan üzemeltek, az üzemviteli körülmények átlagosak voltak, a mérések és mintavételek ideje alatt üzemzavar nem történt.

3.2.4. A vizsgálatnál alkalmazott jogszabályok, szabványok

1995. évi LIII. törvény	a környezet védelmének szabályairól.
306/2010. (XII. 23.)	Korm. rendelet a levegő védelmével kapcsolatos egyes szabályokról.
4/2011. (I. 14.) VM rendelet	a levegőterheltségi szint határértékeiről és a helyhez kötött légszennyező pontforrások kibocsátási határértékeiről.
6/2011. (I. 14.) VM rendelet	a levegőterheltségi szint és a helyhez kötött légszennyező források kibocsátásának vizsgálatával, ellenőrzésével, értékelésével kapcsolatos szabályokról.
EPA Method 4:2000	Légszennyező források vizsgálata Nedvességtartalom meghatározása
MSZ EN 14790:2006 (visszavont szabvány)	Légszennyező források vizsgálata. Nedvességtartalom meghatározása
MSZ 21853-1: 1976 (visszavont szabvány)	Légszennyező források vizsgálata Általános előírások
MSZ 21853-2: 1998 (visszavont szabvány)	Légszennyező források vizsgálata A térfogatáram meghatározása
MSZ ISO 10396:1998 (visszavont szabvány)	Helyhez kötött légszennyező források Mintavétel a gázok koncentrációjának folyamatos meghatározásához
MSZ ISO 8756: 1995	Levegőminőség. A hőmérséklet-, légnyomás- és a légnedvességi adatok figyelembevétele
MSZ EN 13649:2002	Helyhez kötött légszennyező források. A jellegzetes gázfázisú szerves vegyületek tömegkoncentrációjának meghatározása. Aktív szén és oldószer-deszorpciós módszer
MSZ EN 13284-1:2002	Helyhez kötött légszennyező források emissziója. A szilárd

	anyag tömegkoncentrációjának meghatározása kis koncentrációtartományban. 1. rész: Kézi gravimetriás módszer
MSZ-13-101:1985	Gázemisszió szakaszos és folyamatos mintavételének és meghatározásának követelményei
MSZ-13-140:1988	Technológiai légszennyező források vizsgálata Alifás alkoholok emissziójának meghatározása.

3.2.5. Az alkalmazott módszer

A mintavétel megkezdése előtt meggyőződtem róla, hogy a feladat a kialakított mintavételi helyszínen biztonságosan elvégezhető. Az eszközöket elhelyeztem a mérőhely közelében. Lemértem a csatorna keresztmetszetét és meghatároztam a mérési síkban a mérési pontok számát és elhelyezkedését. Ezután elvégeztem a térfogatáram meghatározásához az adott pontokon a dinamikus nyomás, valamint a mérési szelvényben a statikus nyomás és a hőmérséklet mérését. A mért értékeket a rögzítettem.

Szerves oldószerek, metanol, fenol mintavétel esetén a mintavevő kör fő elemei: adszorpciós cső, Tecora mintavevő szivattyú (ebben a típusú mintavevőnkben egybe építve található a térfogatáram-mérő, a térfogatmérő, a hőmérő, a nyomásmérő és a légszivattyú). A mintavevő kört az MSZ-13-101:1985 szabvány 1.8.3. pontja alapján állítottam össze, figyelembe véve a mintavételnél a meghatározandó komponens által előírt szabványban leírtakat.

A mintavételi körülményeket az MSZ 21853-1:1976, a mintavételek számát az MSZ-13-101:1985 előírásai szerint választottam meg. A vizsgálatokat az MSZ EN 13649:2002 szabvány figyelembevételével végeztem.

A mintavevő kört a mérőhelyen összeszereltem. A gyárilag leforrasztott mintavevő csöveket csak közvetlenül a felhasználás előtt törtem fel. A mintavételek során az alkalmazott szabványokban előírt töltetű adszorpciós csöveket használtam. Ellenőriztem a tömítettséget és a megfelelő működést. A minták elemzését az Eurofins Analytical Services Hungary Kft. (a NAH által NAH-1-1398/2019 számon akkreditált vizsgáló laboratórium.) végezte.

Szilárd anyag mintavétele esetén a mintavevő kör elemei: adszorpciós cső, Tecora integrált szonda pitot-csővel, Tecora mintavevő szivattyú (ebben a típusú mintavevőnkben egybe építve található a térfogatáram-mérő, a térfogatmérő, a hőmérő, a nyomásmérő és a légszivattyú). A mintavételhez megfelelő számú szűrőt készítettem elő. A szűrőket a szűrőtartó edénybe helyeztem. Az edényeket egyedi azonosító jellel láttam el, amelyek a minták azonosítására szolgálnak. A szűrőket a szűrőtartó edénnyel együtt szárítószekrényben

110 °C-on tömegállandóságig szárítottam, majd szilikagéllel töltött exsikkátorba helyeztem. Lehűlés után a szűrőt a szűrőtartóval együtt analitikai mérlegen lemértem. A bemért szűrőket úgy szállítottam, hogy megóvjam a mechanikai sérüléstől és a szennyeződéstől. A mintavételt a sebességmérésnél meghatározott mérési pontokban végezzük el. A mintavételek után a szűrőt visszahelyeztem a tároló edénybe és azt gondosan lezártam. A szűrőket a szűrőtartó edénnyel együtt szárítoszekrényben 110 °C-on tömegállandóságig szárítottam, majd szilikagéllel töltött exsikkátorba helyeztem. Lehűlés után a szűrőt a szűrőtartóval együtt analitikai mérlegen visszamértem. A visszamérést követően a nátrium-hidroxid vizsgálatához előkészítettem a mintákat, melynek vizsgálatát az az Eurofins Analytical Services Hungary Kft. (a NAH által NAH-1-1398/2019 számon akkreditált vizsgáló laboratórium.) végezte.

A vak minták készítésénél és a szorpciós csövek típusának kiválasztásánál a mintavételi szabványok előírásait követtem.

3.2.6. Az alkalmazott mérőműszerek

Az emisszió mérésnél használt eszközöket a 11. számú táblázatba gyűjtöttem össze. A 10. képen a TCR Tecora mintavevő szivattyú látható.

11. táblázat: Emisszió mérésnél használt mérőműszerek

Megnevezés	Műszer típusa	Azonosító száma
TCR Tecora mintavevő szivattyú	Tecora G4 Sampler	23290134G4
TCR Tecora mintavevő szivattyú	BRAVO-M Plus	849/312
Integrált szonda pitot-csővel, hőelemmel	Tecora 1.301.3	01
Hődrótos áramlás és hőmérsékletmérő	Testo 425	0256895
Multifunkciós mérőműszer	Testo 440	83242062
Rotaméter	SKC 393-0334	L30181/43
Hőmérséklet- és páratartalom-mérő	HI 9565	A02260092111
Robosztus páratartalom és hőmérséklet szonda	Testo 997	06369775
Abszolút nyomásmérő	Testo 511	39120108
Differenciál nyomásmérő	Stieber DM 120 PUL	1151
Analitikai mérleg	Radwag XA82/220/2X	411893/13

(Forrás: Saját készítés)



10. kép: TCR Tecora mintavevő (Forrás: Saját készítés)

4. Vizsgálati eredmények

4.1 Munkahelyi légtér mérésének vizsgálati eredményei

Kutatásom során az analitikai laborból visszkapott és átszámított eredményeket a technológia, valamint a légszennyező anyagok szerint csoportosítva a 12., 13., 14., 15., 16., 17., 18., 19. és 20. számú táblázatokon keresztül mutatom be.

1. Alkonekes tisztítás

	Elszívó rendszer kiépítése előtt	Elszívó rendszer kiépítése után
Mintavétel dátuma:	2023.09.21.	2023.10.06.
Mintavétel időtartama:	120 perc	120 perc
Mintavétel kezdete-vége:	13 ⁰⁰ - 15 ⁰⁰	11 ⁰⁰ - 13 ⁰⁰
Mintavételi sebesség:	200 ml/perc	200 ml/perc
Mintavétel módja:	személyi mintavétel	személyi mintavétel
Mintavevő típusa:	SKC Airchek 3000	SKC Airchek 3000
Mintavevő száma:	20304	20304
Mintasám:	Minta 1.	Minta 11.
Klimatikus paraméterek:		
Páratartalom:	46,9%	51,1%
Légsebesség:	<1 m/s	<1 m/s
Légnyomás:	985,1 mbar	998,2 mbar
Hőmérséklet:	26,1 °C	25,2 °C

12. táblázat: Alkonekes tisztítás során keletkezett szerves komponensek koncentrációi

Munkakör/ folyamat	Veszélyes anyag megnevezése	Mért átlag koncentráció [mg/m ³]		ÁK határ- érték [mg/m ³]	Mért csúcs koncentráció [mg/m ³]	CK határérték [mg/m ³]
		Elszívó rendszer kiépítése előtt	Elszívó rendszer kiépítése után			
Alkonekes tisztítás	Etil-alkohol	641,6667	2,5833	1900	-	3800
	Metil-etil-keeton	76,6667	0,5833	600	-	900
	Izopropil- alkohol	402,0833	4,7917	500	-	1000

(Forrás: Saját készítés)

2. Ragasztás

	Elszívó rendszer kiépítése előtt	Elszívó rendszer kiépítése után
Mintavétel dátuma:	2023.09.21.	2023.10.06.
Mintavétel időtartama:	120 perc	120 perc
Mintavétel kezdete-vége:	13 ⁰⁰ - 15 ⁰⁰	11 ⁰² - 13 ⁰⁰
Mintavételi sebesség:	200 ml/perc	200 ml/perc
Mintavétel módja:	személyi mintavétel	személyi mintavétel
Mintavevő típusa:	SKC Airchek 3000	SKC Airchek 3000
Mintavevő száma:	20305	20305
Mintasám:	Minta 2.	Minta 12.
Klimatikus paraméterek:		
Páratartalom:	46,9%	51,1%
Légsebesség:	<1 m/s	<1 m/s
Légnyomás:	985,1 mbar	998,2 mbar
Hőmérséklet:	26,1 °C	25,2 °C

13. táblázat: Ragasztás során keletkezett szerves komponensek koncentrációi

Munkakör/ folyamat	Veszélyes anyag megnevezése	Mért átlag koncentráció [mg/m ³]		ÁK határ- érték [mg/m ³]	Mért csúcs koncentráció [mg/m ³]	CK határérték [mg/m ³]
		Elszívó rendszer kiépítése előtt	Elszívó rendszer kiépítése után			
Ragasztás	Etil-alkohol	583,333	2,0833	1900	-	3800
	Metil-etil-ke-ton	70,8333	0,5000	600	-	900
	Izopropil- alkohol	379,1667	3,2500	500	-	1000

(Forrás: Saját készítés)

3. Stratasys 3D nyomtató csiszolás

	Elszívó rendszer kiépítése előtt	Elszívó rendszer kiépítése után
Mintavétel dátuma:	2023.09.21.	2023.10.06.
Mintavétel időtartama:	120 perc	120 perc
Mintavétel kezdete-vége:	13 ⁰⁰ - 15 ⁰⁰	11 ⁰⁰ - 13 ⁰⁰
Mintavételi sebesség:	2000 ml/perc	2000 ml/perc
Mintavétel módja:	személyi mintavétel	személyi mintavétel
Mintavevő típusa:	SKC Airchek 3000	SKC Airchek 3000
Mintavevő száma:	20306	20306
Mintasám:	Minta 3.	Minta 13.
Klimatikus paraméterek:		
Páratartalom:	46,9%	51,1%
Légsebesség:	<1 m/s	<1 m/s
Légnyomás:	985,1 mbar	998,2 mbar
Hőmérséklet:	26,1 °C	25,2 °C

14. táblázat: Stratasys 3D nyomtató csiszolás révén keletkezett porok koncentrációi

Munkakör/ folyamat	Anyag megnevezése	Mért koncentráció [mg/m³]				ÁK határérték [mg/m³]	
		Elszívó rendszer kiépítése előtt		Elszívó rendszer kiépítése után			
		B	R	B	R	B	R
Stratasys 3D nyomtató csiszolás	Egyéb inert porok	3,8750	1,250	0,9583	0,2917	10	6

(Megjegyzés: "B" jelentése belélegezhető, "R" jelentése respirábilis.)

(Forrás: Saját készítés)

15. táblázat: Stratasys 3D nyomtató csiszolás révén keletkezett NaOH koncentrációja

Munkakör/ folyamat	Veszélyes anyag megnevezése	Mért átlag koncentráció [mg/m ³]		ÁK határ- érték [mg/m ³]	Mért csúcs koncentrá- ció [mg/m ³]	CK határ- érték [mg/m ³]
		Elszívó rendszer kiépítése előtt	Elszívó rendszer kiépítése után			
Stratasys 3D nyomtató csiszolás	NaOH (Na-ra átszámítva)	<0,0208*	<0,0208*	1	-	2

*a módszer alsó méréshatára

(Forrás: Saját készítés)

4. Fromlabs 3D nyomtató

	Elszívó rendszer kiépítése előtt	Elszívó rendszer kiépítése után
Mintavétel dátuma:	2023.09.21.	2023.10.06.
Mintavétel időtartama:	120 perc	120 perc
Mintavétel kezdete-vége:	13 ⁰² - 15 ⁰²	11 ⁰⁵ - 13 ⁰⁵
Mintavételi sebesség:	750 ml/perc	200 ml/perc
Mintavétel módja:	statikus mintavétel	statikus mintavétel
Mintavevő típusa:	SKC Airchek 3000	SKC Airchek 3000
Mintavevő száma:	20307	20307
Mintasám:	Minta 4.	Minta 14.
Klimatikus paraméterek:		
Páratartalom:	46,9%	51,1%
Légsebesség:	<1 m/s	<1 m/s
Légnyomás:	985,1 mbar	998,2 mbar
Hőmérséklet:	26,1 °C	25,2 °C

16. táblázat: Fromlabs 3D nyomtató által kibocsátott metil-metakrilát koncentráció

Munkakör/ folyamat	Veszélyes anyag megnevezése	Mért átlag koncentráció [mg/m ³]		ÁK határ- érték [mg/m ³]	Mért csúcs koncentráció [mg/m ³]	CK határ- érték [mg/m ³]
		Elszívó rendszer kiépítése előtt	Elszívó rendszer kiépítése után			
Fromlabs 3D nyomtató	Metil-metakrilát	104,5833	11,1667	208	-	415

(Forrás: Saját készítés)

5. Ultimaker 3D nyomtató

	Elszívó rendszer kiépítése előtt	Elszívó rendszer kiépítése után
Mintavétel dátuma:	2023.09.21.	2023.10.06.
Mintavétel időtartama:	120 perc	120 perc
Mintavétel kezdete-vége:	13 ⁰⁴ - 15 ⁰⁴	11 ⁰⁸ - 13 ⁰⁸
Mintavételi sebesség:	750 ml/perc, 200 ml/perc	750 ml/perc, 200 ml/perc
Mintavétel módja:	statikus mintavétel	statikus mintavétel
Mintavevő típusa:	SKC Airchek 3000	SKC Airchek 3000
Mintavevő száma:	20308, 20309, 20310	20308, 20309, 20310
Mintasám:	Minta 5.,6.,7.	Minta 15.,16.,17.
Klimatikus paraméterek:		
Páratartalom:	46,9%	51,1%
Légsebesség:	<1 m/s	<1 m/s
Légnyomás:	985,1 mbar	998,2 mbar
Hőmérséklet:	26,1 °C	25,2 °C

17. táblázat: Ultimaker 3D nyomtató által kibocsátott légszennyező komponensek koncentrációi

Munkakör/ folyamat	Veszélyes anyag megnevezése	Mért átlag koncentráció [mg/m ³]		ÁK határ- érték [mg/m ³]	Mért csúcs koncentráció [mg/m ³]	CK határ- érték [mg/m ³]
		Elszívó rendszer kiépítése előtt	Elszívó rendszer kiépítése után			
Ultimaker 3D nyomtató	Metanol	<0,0417*	<0,0417*	260	-	-
	Fenol	<0,0417*	<0,0417*	8	-	16
	Klórbenzol	1,8750	<0,0417*	23	-	70

*a módszer alsó méréshatára

(Forrás: Saját készítés)

6. Markforged 3D nyomtató

	Elszívó rendszer kiépítése előtt	Elszívó rendszer kiépítése után
Mintavétel dátuma:	2023.09.21.	2023.10.06.
Mintavétel időtartama:	120 perc	120 perc
Mintavétel kezdete-vége:	15 ¹⁰ – 17 ¹⁰	13 ¹² – 15 ¹²
Mintavételi sebesség:	2000 ml/perc, 200 ml/perc	2000 ml/perc, 200 ml/perc
Mintavétel módja:	személyi mintavétel	személyi mintavétel
Mintavevő típusa:	SKC Airchek 3000	SKC Airchek 3000
Mintavevő száma:	20304, 20305, 20306	20304, 20305, 20306
Mintasám:	Minta 8.,9.,10.	Minta 18.,19.,20.
Klimatikus paraméterek:		
Páratartalom:	46,9%	51,1%
Légsebesség:	<1 m/s	<1 m/s
Légnyomás:	985,1 mbar	998,2 mbar
Hőmérséklet:	26,1 °C	25,2 °C

18. táblázat: Markforged 3D nyomtató által kibocsátott porok koncentrációi

Munkakör/ folyamat	Anyag megnevezése	Mért koncentráció [mg/m ³]				ÁK határérték [mg/m ³]	
		Elszívó rendszer kiépítése előtt		Elszívó rendszer kiépítése után			
		B	R	B	R	B	R
Markforged 3D nyomtató	Egyéb inert porok	2,6250	0,8333	0,6667	0,0417	10	6

(Megjegyzés: "B" jelentése belélegezhető, "R" jelentése respirábilis.)

(Forrás: Saját készítés)

19. táblázat: Markforged 3D nyomtató által kibocsátott szállórost koncentráció

Munkakör/ folyamat	Veszélyes anyag megnevezése	Mért átlag koncentráció [rost/cm ³]		ÁK határ- érték [rost/cm ³]	CK határ- érték [rost/cm ³]
		Elszívó rendszer kiépítése előtt	Elszívó rendszer kiépítése után		
Markforged 3D nyomtató	Üvegrostok (üveggyapot, rostüveg, folyamatos üvegcsál)	0,0500	<0,0417*	1	-

*a módszer alsó méréshatára

(Forrás: Saját készítés)

20. táblázat: Markforged 3D nyomtató által kibocsátott e-kaprolaktám koncentráció

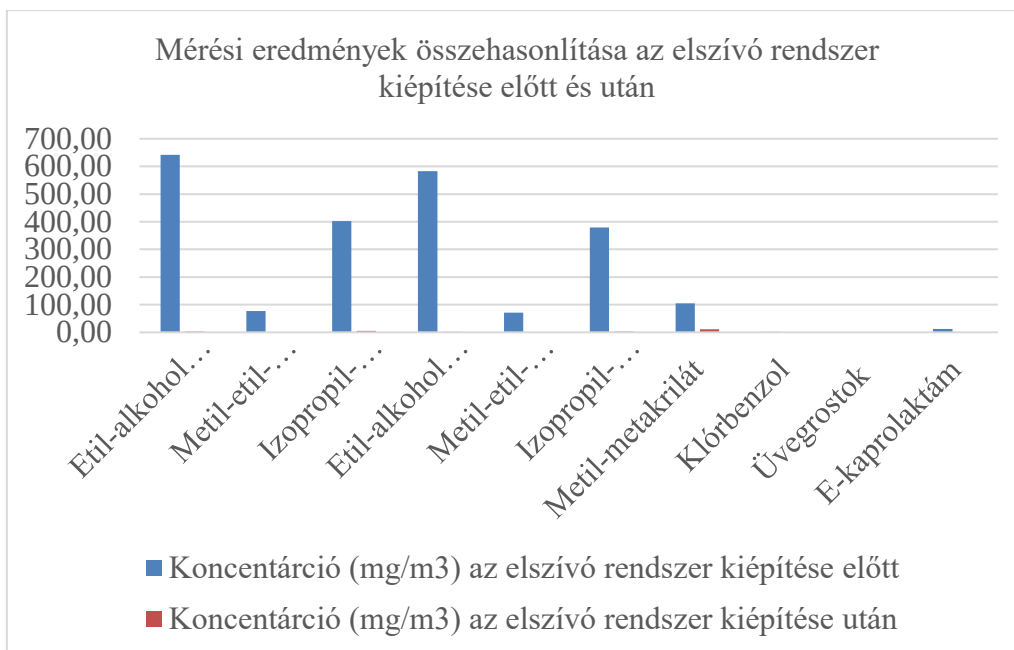
Munkakör/ folyamat	Veszélyes anyag megnevezése	Mért átlag koncentráció [rost/cm ³]		ÁK határ- érték [rost/cm ³]	CK határ- érték [rost/cm ³]
		Elszívó rendszer kiépítése előtt	Elszívó rendszer kiépítése után		
Markforged 3D nyomtató	E-kaprolaktám	11,9167	1,0417	10	40

(Forrás: Saját készítés)

A vizsgálataim kezdetén azt feltételeztem, hogy több komponens esetén lehetséges határérték túllépés, mivel erről az új technológiáról nem áll rendelkezésre elegendő információ és szakirodalom a légszennyezést okozó hatásokkal kapcsolatban. A mérések eredményeiből nyilvánvalóvá vált, hogy kimutatási határ alatt volt a metanol és a fenol koncentráció mindkét mérés esetén, tehát ezen technológiából ezek az anyagok nem keletkeznek olyan koncentrációban, ami mérhető lenne.

Azonban az e-kaprolaktám esetében, amely több 3D nyomtatási technológia jellegzetes légszennyező anyaga, határérték túllépést mértem az elszívó rendszer nélküli fázisban. A megengedett határértéket 1,91%-kal lépte túl, ami fokozott expozíciót jelent. A határérték túllépés minden esetben azonnali intézkedéseket tesz szükségessé, hiszen belégzés által az emberi szervezetben hasi görcsöket, szédülést, fejfájást és zavartságot okozhat. Az elszívó rendszer kiépítését követően azonban ez az érték 92 %-kal csökkent, a határértékhez viszonyítva nem éri el annak 2 %-át.

A mérési adatokból és az 2. számú ábrán jól látszik, hogy az elszívó rendszer kiépítése után a koncentrációk, az elszívó rendszer nélkül mért koncentráció értékek 0,3-10 %-ára csökkentek. Ennek megfelelően megállapítható, hogy a munkahelyi légtér minősége egyértelműen komfortosabb és az emberi egészséget nem veszélyezteti egy megfelelően kialakított elszívó rendszer megvalósításával.



2. ábra: Mérési eredmények összehasonlítása (Forrás: Saját készítés)

4.2. Légszennyező pontforrás emisszió vizsgálatának eredményei

A 21. számú táblázatban foglaltam össze a környezeti- és a véggáz általam mért paramétereit.

21. táblázat: Környezeti paraméterek és a véggáz paramétere

Pontforrás megnevezése	3D nyomtató helyiség elszívás
Mérési keresztmetszet [m ²]	0,018
Környezeti hőmérséklet [K]	291
Légnyomás [Pa]	101400
Az áramló gáz jellemzői:	
Abszolút nyomása [Pa]	101412
Statikus nyomása [Pa]	12
Dinamikus nyomás [Pa]	226,7
Hőmérséklete [K]	300,6
Nedvességtartalma [kg/m ³]	0,0179
Száraz sűrűsége [kg/m ³]	1,2861
Nedves sűrűsége [kg/m ³]	1,2756
Sebességeloszlás egyenlőtlensége	1,0084
Korrekciós tényező	0,937
Átlagos sebessége [m/sec]	19,8
Effektív térfogatárama [m ³ /h]	1180
Normál térfogatárama [m ³ /h]	1070
Száraz normál térfogatárama [m ³ /h]	1050

(Forrás: Saját készítés)

A véggáz szerves anyag tartalma a mintavételek ideje alatt (3×30 perc) és a mintavétel időtartamára vonatkoztatva 273 K hőmérsékletre és 101,3 kPa nyomásra átszámítva.

A 22. számú táblázatban számítottam ki a mért adatokból és a laboratóriumi vizsgálatok eredményeiből a 3x30 perces koncentrációkat, majd abból számítottam ki az átlagkoncentrációt és a tömegáramot.

22. táblázat: Emisszió során keletkező légszennyező anyagok koncentrációi

Mintavétel; mérés, mintaszám	1	2	3	Átlag	Emisszió
	A légszennyező anyagok koncentrációja (mg/m ³)				kg/h
NaOH	<0,0877*	<0,0877*	<0,0877*	<0,0877*	<0,00004*
Szilárd anyag	2,4562	1,5870	1,2684	1,770	0,0008
Mintavétel; mérés, mintaszám	4	5	5	átlag	Emisszió
	A légszennyező anyagok koncentrációja (mg/m ³)				kg/h
Metil-metakrilát	9,1228	9,0175	10,3333	9,4912	0,0041
Etil-alkohol	26,5263	24,8246	27,3684	26,2398	0,0113
Metil-etil-ke-ton	7,3684	6,6667	7,9298	7,3216	0,0031
Izo-propil-alkohol	59,6491	64,0351	57,5439	60,4094	0,0260
Fenol	<0,0877*	<0,0877*	<0,0877*	<0,0877*	<0,00004*
Klór-benzol	0,91228	0,84211	1,07018	0,9415	0,0004
Kaprolaktám	0,2105	0,1754	0,2281	0,2047	0,0001
3c összesen	103,7895	105,5614	104,4737	104,6082	0,0450
Mintavétel; mérés, mintaszám	4	5	5	átlag	Emisszió
	A légszennyező anyagok koncentrációja (mg/m ³)				kg/h
Metil-alkohol	<0,0877*	<0,0877*	<0,0877*	<0,0877*	<0,00004*
3b összesen	<0,0877*	<0,0877*	<0,0877*	<0,0877*	<0,00004*

* a módszer alsó méréshatára

(Forrás: Saját készítés)

23. táblázat: Mérési eredmények és határértékek összehasonlítása

Mérési eredmények és a határértékek összehasonlítása 3D nyomtató helyiség elszívás					
Szennyező anyag megnevezése/osztály	Tömeg- áram* (kg/h)	Szennyező anyag koncentráció* (mg/m ³)	Technológiai kibocsátási határérték (kg/h)	Kibocsá-tási határérték (mg/m ³)	Kibocsá- tási határérték túllépés
NaOH	<0,00004*	<0,0877*	0,3 vagy ennél nagyobb	30	-
Szilárd anyag	0,0008	1,770	0,5-ig	150	-
Metil-metakrilát	0,0041	9,4912	3,0 vagy ennél nagyobb	150	-
Etil-alkohol	0,0113	26,2398	3,0 vagy ennél nagyobb	150	-
Metil-etil-ke-ton	0,0031	7,3216	3,0 vagy ennél nagyobb	150	-
Izo-propil-alkohol	0,0260	60,4094	3,0 vagy ennél nagyobb	150	-
Fenol	<0,00004*	<0,0877*	3,0 vagy ennél nagyobb	150	-
Klór-benzol	0,0004	0,9415	3,0 vagy ennél nagyobb	150	-
Kaprolaktám	0,0001	0,2047	3,0 vagy ennél nagyobb	150	-
3C összesen	0,0450	104,6082	3,0 vagy ennél nagyobb	150	-
Metil-alkohol	<0,00004*	<0,0877*	3,0 vagy ennél nagyobb	150	-
3B összesen	<0,00004*	<0,0877*	3,0 vagy ennél nagyobb	150	-

*A koncentrációkat és térfogatáramokat a véggáz száraz, 273 K hőmérsékletű, 101,3 kPa nyomású állapotára átszámítva adtam meg.

(Forrás: Saját készítés)

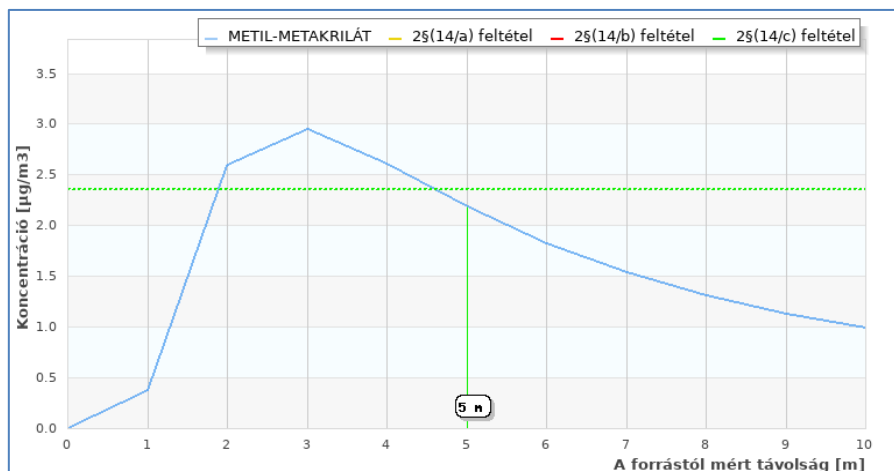
A 3D nyomtató helyiség pontforrása esetében a kibocsátási határértékekhez való összehasonlítás az adott technológiára (elektronikai alkatrész gyártás) vonatkozóan a levegőterheltségi szint határértékeiről és a helyhez kötött légszennyező pontforrások kibocsátási határértékeiről szóló 4/2011. (I. 14.) VM rendelet (a továbbiakban: VM rendelet) 5. §-a és 6. számú melléklet 2.3.1. pontja alapján történt.

A mérési eredmények alapján megállapítható, hogy határérték túllépés egy esetben sem lép fel. A rendszerbe épített aktív szén szűrő rendszer az illékony szerves vegyületek 90%-át megköti. A szűrők eltömődésével a szűrés hatékonysága csökken, ezért nagyon fontos a rendszeres karbantartás és a szűrők cseréje.

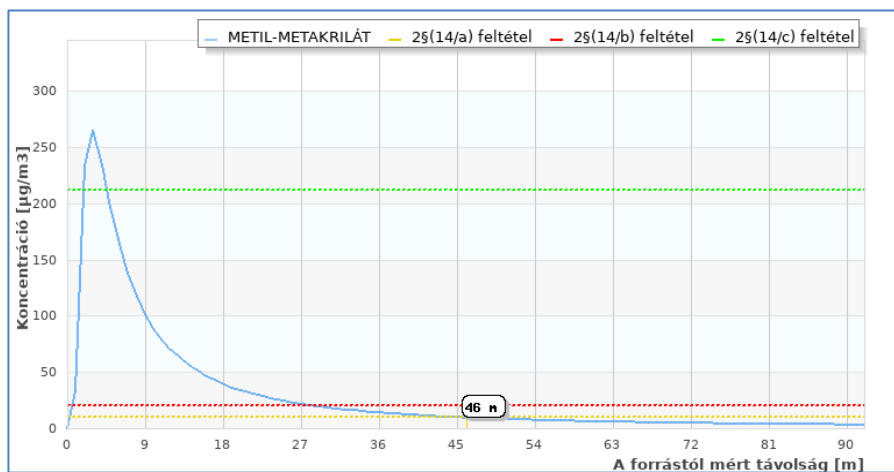
Az alábbiakban kiszámítottam Aircalc transzmissziós modellező szoftver segítségével a pontforrás hatásterületét szűrő nélkül, mely a 3. ábrán látható és beépített szűrővel, amely pedig a 4. ábrán kerül bemutatásra. A hatásterületet térképen ábrázoltam, melyet az 5. ábra szemléltet.

A 306/2010. (XII.23.) Korm. rendelet feltételei szerint a hatástávolságok:

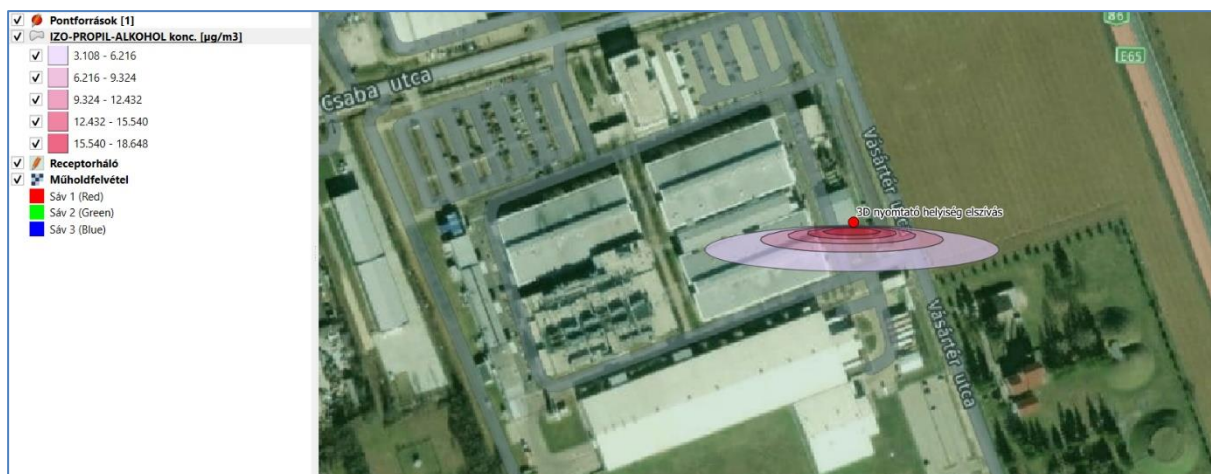
- 3D nyomtató helyig elszívás (beépített szűrővel): 5 m
- 3D nyomtató helyig elszívás (beépített szűrő nélkül): 46 m



3. ábra: Pontforrás hatásterülete szűrő nélkül (Forrás: Saját készítés Aircalc szoftver segítségével)



4. ábra: Pontforrás hatásterülete szűrővel (Forrás: Saját készítés Aircalc szoftver segítségével)



5. ábra: A pontforrás hatásterülete (Forrás: Saját készítés)

5. Összefoglalás

Tudományos diákköri dolgozatom célja volt, hogy egy napjainkban egyre inkább teret nyerő technológia, a 3D nyomtatási technológia légszennyező anyag kibocsátásait vizsgáljam meg egy általam elvégzett munkahelyi légtér és emisszió mérésen keresztül. A mérések alapján cél volt az elszívó rendszer szükségességének és hatékonysági fokának megállapítása.

Dolgozatom szakirodalmi áttekintésében bemutattam a légszennyezéssel kapcsolatos fogalmakat, a vonatkozó hatályos jogszabályokat, a 3D nyomtatási technológiákat. Összegyűjtöttem a munkahely kialakítási követelményeket, a kémiai kóroki tényezőket.

Méréseim egy multinacionális vállaltnál kialakított 3D nyomtató helyiségben végeztem el. Elsőként munkahelyi légtér mérést végeztem abban a fázisban, amikor a technológiát már telepítették és üzemeltették, viszont a helyiségben nem üzemelt az elszívó rendszer. Az elszívó rendszer kiépítését követően ismételten munkahelyi légtér mérést végeztem és ezen mérések eredményeit hasonlítottam össze. A mérések és ezáltal a munkahelyi expozíció erőteljes mértékben függenek a helyiség méretétől, a berendezések elhelyezésétől, a felhasznált alapanyagoktól és azok hevítési fokától, az alkalmazott szellőzés mértékétől és annak kialakításától. Igyekeztem reprezentatív képet adni az expozícióról és kibocsátásról, de természetesen minél több mérést végzünk, annál pontosabb eredményt kapunk. A mérések kivitelezése és a minták vizsgálata jelentős anyagi vonzattal jár, ezért a vállalatok kiindulási alapként egy mérési sorozat alapján teszik meg a szükséges intézkedéseket. A munkahelyi légtér méréseket 3 évente, az emisszió mérést pedig 5 évente ellenőrzik. Soron kívüli mérést a technológiában bekövetkezett változások esetén (más alapanyag felhasználás, elszívó teljesítmény növelés) végeztetnek.

Az általam végzett vizsgálatok egyértelműen alátámasztották, hogy a munkahelyi légtérben kialakuló koncentrációk tizedére csökkentek az elszívó rendszer kiépítése után. **Mérési tapasztalataim alapján arra a következtetésre jutottam, hogy a munkahelyi expozíció erőteljes mértékben függ a szellőzés mértékétől, annak kialakításától.**

Az elszívó rendszerhez kiépítésre került egy kivezetés, amely légszennyező pontforrásnak minősül. A kivezetésen mértem meg a légkörbe jutó légszennyező anyagokat és a mérési eredményeket összehasonlítottam a határértékekkel. A rendszerbe aktív szén szűrő került beépítésre, amely 90 %-os leválasztási hatásfokkal működik. A hatásterület számítását elvégeztem mindkét esetre, vagyis a beépített szűrővel és anélkül. **A számítások azt bizonyították, hogy a szűrő hatékonyságának köszönhetően a levegő-tisztaságvédelmi**

hatásterület 46 m-ről 5 m-re csökkent.

Összefoglalva megállapítható az a tény, miszerint ez az új, iparban egyre inkább elterjedt 3D nyomtatási technológia bizonyos szempontból káros lehet az emberi egészségre nézve. A vizsgálatokból egyértelműen kiderül, hogy az új technológiai eljárásokat alaposan vizsgálat alá kell vetni az alkalmazásuk elején, hogy annak milyen káros hatásai lehetnek a környezetre nézve, melynek megfelelően a védelmi intézkedések megtehetőek mind a levegőtisztaság-védelem, mind az emberi egészség megóvása érdekében. Ugyanakkor a levegőtisztaság-védelmi technológiák megfelelő alkalmazása gyakorlatilag minimálisra csökkenti a szennyezőanyagok légtérbe való jutását, mellyel elkerülhető egy esetleges meghibásodásból és/vagy haváriából eredő jelentősebb szennyezés megjelenése bel-és külterületen egyaránt.

6. Irodalomjegyzék

- [1] <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1000306.kor> (Legutóbbi letöltés: 2023.10.06).
- [2] <https://www.muszeroldal.hu/measurenotes/immisszioskezikonyv.pdf> (Legutóbbi letöltés: 2023.10.06).
- [3] https://www.nincsbaleset.hu/dokumentumok/download/3_4530d5b8e18f8d8f893e548f94aab81c (Legutóbbi letöltés: 2023.10.15).
- [4] <https://people.inf.elte.hu/prbraai/szamalap/bead1/> (Legutóbbi letöltés: 2023.10.06).
- [5] Horváth Ádám, Kurucz Attila (2016). A 3D nyomtatás története és jövőbeli kérdései. – *Kautz Gyula Gazdaságtudományi Kar elektronikus kiadványai, Széchenyi István Egyetem, Győr.*
- [6] Gu Xin, Rempe Daniella M., Dietrich William E., West A. Joshua, Lin Teng-Chiu, Jin Lixin, Brantley Susan L. (2020). Chemical reactions, porosity, and microfracturing in shale during weathering: The effect of erosion rate. – *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 269, pp. 63-100.
- [7] Stephanie Hui Kit Yap, Kok Ken Chan, Chen-Hao Yeh, Yi-Hsin Chien, Ken-Tye Yong (2021). Two-Dimensional MoS₂ Nanosheet-Functionalized Optical Microfiber for Room-Temperature Volatile Organic Compound Detection. *ACS Applied Nano Materials*.
- [8] Wojciech Wojnowski, Mariusz Marć, Kaja Kalinowska, Paulina Kosmela, Bożena Zabiegała (2022). Emission Profiles of Volatiles during 3D Printing with ABS, ASA, Nylon, and PETG Polymer Filaments.
- [9] Nima Afshar-Mohajer, Chang-Yu Wu, Thomas Ladun, Didier A. Rajon, Yong Huang (2015). Characterization of particulate matters and total VOC emissions from a binder jetting 3D printer.
- [10] Qian Zhang, Michal Pardo, Yinon Rudich, Ifat Kaplan, Ashiri, Jenny P. S. Wong, Aika Y. Davis, Marilyn S. Black, and Rodney J. Weber (2019). Chemical Composition and Toxicity of Particles Emitted from a Consumer-Level 3D Printer Using Various Materials, 12054-12061.
- [11] Luís Mendes, Kangas Anneli, Kirsi Kukko, Bjarke Mølgaard, Arto Säämänen, Kanerva Tomi, Iñigo Flores Ituarte, Marika Huhtiniemi, Helene Stockmann-Juvala, Jouni Partanen, Kaarle Hämeri, Konstantinos Eleftheriadis, Anna-Kaisa Viitanen (2017). Characterization of

Emissions from a Desktop 3D Printer

- [12] Jinghai Yi, Ryan F. LeBouf, Matthew G. Duling, Timothy Nurkiewicz, Bean T. Chen, Diane Schwegler-Berry, M. Abbas Virji, Aleksandr B. Stefaniak (2016). Emission of particulate matter from a desktop three-dimensional (3D) printer
- [13] Kövér Tamás (2009). Segédlet a munkavédelem tárgyhoz, p.78.
- [14] Mádi Sarolta (2016). A munkaegészségügy és munkavédelem jogintézményei működésének elméleti és gyakorlati kérdései, különös tekintettel a munkáltató felelősségére, p.308.
- [15] <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0200003.scm> (Legutóbbi letöltés: 2023.10.07).
- [16] <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a2000005.itm> (Legutóbbi letöltés: 2023.10.07).
- [17] https://semmelweis.hu/nepegeszsegtan/files/2019/05/1819_II_AOKgy13_Foglalkoz%C3%A1s-egesz%C3%A9gtan-II..pdf (Legutóbbi letöltés: 2023.10.08).
- [18] Josep M. Bayona, Paola Dugo, X. Chris Le, Hian Kee Lee, Xing-Fang Li, Heather Lord Academic Press (2012) Comprehensive Sampling and Sample Preparation, p. 3200.
- [19] Benkő János, Megelőzésen alapuló kockázatelemzés (2020). p.47.
- [20] Barótfi István, Környezettechnika (2000). p. 981.

7. Ábrajegyzék

1. ábra: Kétfokozatú SKC IOM mintavevő.....	21
2. ábra: Mérési eredmények összehasonlítása.....	41
3. ábra: Pontforrás hatásterülete szűrő nélkül	44
4. ábra: Pontforrás hatásterülete szűrővel	45
5. ábra: A pontforrás hatásterülete	45

8. Táblázatjegyzék

1. táblázat: 3D nyomtatás során felhasznált vegyi anyagok besorolása és összetétele.....	13
2. táblázat: Keletkező vegyi anyagok és tulajdonságaik	15
3. táblázat: A veszélyes anyagok tekintetében használt rövidítések magyarázata	16
4. táblázat: Nyolc óránál hosszabb műszak esetén alkalmazandó ÁK-érték korrekciók	16
5. táblázat: Szálló porok megengedett koncentrációja	17
6. táblázat: Rostszerű porok megengedett koncentrációi	17
7. táblázat: Munkavállaló légzési zónájában előforduló légszennyező anyagok	18
8. táblázat: Munkahelyi légtér mérés során alkalmazott mérőeszközök	26
9. táblázat: Mérendő komponensek.....	28
10. táblázat: A pontforrás méréséhez szükséges adatok.....	29
11. táblázat: Emisszió mérésnél használt mérőműszerek.....	32
12. táblázat: Alkonekes tisztítás során keletkezett szerves komponensek koncentrációi.....	34
13. táblázat: Ragasztás során keletkezett szerves komponensek koncentrációi	35
14. táblázat: Stratasys 3D nyomtató csiszolás révén keletkezett porok koncentrációi.....	36
15. táblázat: Stratasys 3D nyomtató csiszolás révén keletkezett NaOH koncentrációja.....	36
16. táblázat: Fromlabs 3D nyomtató által kibocsátott metil-metakrilát koncentráció.....	37
17. táblázat: Ultimaker 3D nyomtató által kibocsátott légszennyező komponensek koncentrációi.....	38
18. táblázat: Markforged 3D nyomtató által kibocsátott porok koncentrációi	39
19. táblázat: Markforged 3D nyomtató által kibocsátott szállórost koncentráció	39
20. táblázat: Markforged 3D nyomtató által kibocsátott e-kaprolaktám koncentráció	40
21. táblázat: Környezeti paraméterek és a véggáz paraméterei.....	42
22. táblázat: Emisszió során keletkező légszennyező anyagok koncentrációi	43
23. táblázat: Mérési eredmények és határértékek összehasonlítása	43

9. Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném megköszönni a sok segítséget konzulensemnek Dr. Kozma Katalinnak, aki folyamatosan támogatott kutatásom elkészítésében legjobb szakmai tudásával és lelkiismeretes hozzáállásával.

Köszönettel tartozom a Medio Tech Környezetvédelmi és Szolgáltató Kft.-nek, hiszen a cégnek köszönhetően minden mérőműszer rendelkezésemre állt, melyre a kutatásom és méréseim során szükségem volt. További köszönettel tartozom annak a szombathelyi multinacionális vállalatnak, akik a kutatásom során a bemutatott technológiát és a helyszínt biztosították.

A legnagyobb köszönettel pedig családomnak tartozom, akik minden téren, a kutatásom elejétől a végéig mellettem álltak, bíztattak és támogattak.