

A podcasthoz
kapcsolódó, rengeteg
illusztrációval ellátott
könyv

Sven Rentschler

Tévhit a szellőztetés és a levegőtisztítás területén



TANÁCSADÁS + TERVEZÉS

© cci Dialog GmbH, Karlsruhe

Minden jog fenntartva.

ISBN: 978–3–922420–74–3

Ez a könyv, beleértve annak teljes tartalmát, szerzői jogi védelem alatt áll. A kiadó előzetes írásbeli engedélye nélkül sem teljes egészében, sem kivonatokban, semmilyen formában és semmilyen eszközzel, sem elektronikusan, sem mechanikusan (fénymásolással, rögzítéssel vagy más módon, már meglévő vagy jövőbeli rendszerekkel) nem sokszorosítható.

A kiadó és a szerző nem vállal felelősséget a rendelkezésre bocsátott információk aktualitásáért, helyességéért, teljességéért és minőségéért. A nyomdai hibák és a téves információk teljes kizárása nem lehetséges.

1. kiadás 2023

Szerző: Sven Rentschler, Rentschler REVEN GmbH, Ludwigstr. 16–18, 74372 Sersheim

Fotók, képforrások: Rentschler REVEN GmbH

Tördelés, címlap, rajzok, illusztrációk: Gabriele Wiedemann, digital-kunst.com Lektorálás:

Eva Schwarz, technische-uebersetzungen-eva-schwarz.de

Nyomtatás: Esser bookSolutions GmbH, Göttingen

Kiadó: cci Dialog GmbH, Poststr. 3, 76137 Karlsruhe

A saját kiadványok teljes kínálatát és egy exkluzív szakkönyv-válogatást a cci-dialog.de oldalon talál.

A cci Buch a cci Dialog GmbH védjegye.

Vélemények a podcastról

A podcast iránti érdeklődés olyan nagy volt, hogy szinte magától adódott, hogy könyvet készítsünk belőle. A visszajelzések magukért beszélnek:



„... a légáramlatokról szóló podcast felkeltette a kíváncsiságomat, és többet akartam tudni...”

„... szeretném gratulálni Önnek az érdekes podcast „Tévhitek a szellőztetésben és a levegőtisztításban” című érdekes podcastjához, és köszönetet mondanék az információkért...”

„... nagyon köszönöm a valóban érdekes podcastot. Örölnék, ha folytatnák. Több mint 20 éve vagyok projektvezető a szellőzéstechnika területén, és sokat tanultam belőle a gyakorlat és a jövőbeli projektek szempontjából. Örölnék, ha Önökkel együtt építhetném a következő konyhai rendszert...”

„... Szeretnék gratulálni a podcasthoz. A téma még olyanok számára is nagyon érthető, mint én, akik nem annyira jártasak a témában ...”

„... mint a podcastjuk figyelmes hallgatója, szeretném megragadni az alkalmat, és megrendelni a 2023-ra bejelentett szakkönyvet. Remélem, lesznek további epizódok a levegő témájában – a legértékesebb élelmiszerünkben...”

Köszönetnyilvánítás

Külön köszönetet szeretnék mondani Gabriele Wiedemannnek és Eva Schwarznek. Mindkét szolgáltatóval már évek óta sikeresen együttműködöm. Több mint egy évtizeddel ezelőtt e együttműködés keretében készült el a REVEN GmbH nevű cégünk számára egy termékkatalógus, amely ugyanazokkal a témákkal foglalkozott, mint ez a könyv. További projekteket is megvalósítottunk ebben a csapatban, például sikeresen elkészítettük a cégünk honlapját. Az ezekben a projekteken szerzett tapasztalataink jelentősen hozzájárultak a könyv megszületéséhez.

Wiedemann asszony grafikai és Schwarz asszony szövegrendezései a hosszú évek alatt együtt szerzett tapasztalatokra épülnek, és képezik a háttérét a téma példátlanul mély megértésének. A könyv elkészítése során folytatott együttműködés kellemes és zökkenőmentes volt, és olyan eredményt hozott, amelyet egyedül, ilyen minőségben nem tudtam volna megvalósítani.

Ezenkívül külön köszönetet szeretnék mondani a SchAKO Group részvényeseinek, akik a könyvírési tervet a kezdetektől fogva támogatták, és felismerték a lehetőséget, hogy ezzel hangsúlyt adjanak csoportunk mottójának: „Pure competence in air.”

Köszönetet mondok továbbá kollégáimnak, Holger Reulnak, Sascha Kessnek és Vitali Lainak az elmúlt évek során a szellőztetőtechnika és a levegőtisztaság témáiról folytatott inspiráló beszélgetésekért, amelyek rengeteg ötletet adtak ehhez a könyvhöz.

Örömmel venném, ha tovább folytathatnánk és elmélyíthetnénk a könyvben szereplő témák és gondolatok megvitatását. A LinkedIn-en keresztül felvehetik velem a kapcsolatot. Várom, hogy eszmecserét folytathassunk.

Előszó

A 2020-ban bekövetkezett világjárvány kezdetével a megfelelő szellőztetés Németország egyik legfontosabb témájává vált. Az ország egész területén viták folytak a beltéri levegő egészségességéről. Hevesen vitatták, hogyan kell megfelelően szellőztetni az osztálytermeket. Gyakran megdöbbenéssel állapították meg, hogy nagyon sok irodahelyiség nem rendelkezik olyan szellőzőrendszerrel, amely friss levegővel látná el az épületet. A kompakt helyiséglevegő-tisztítók gyártói körében hirtelen aranyláz tört ki. Országszerte heves viták folytak arról, hogyan lehet mérni és értékelni a beltéri levegőszennyezést. Sőt, olyan kampányokat is indítottak, amelyek a tiszta levegőt a legfontosabb élelmiszerként hirdették.

Honnan jön ez a hirtelen és ilyen heves elkötelezettség? Ezen érvek és kérdések közül sok már egész szakmai pályafutásom során kísért. 1995-ben csatlakoztam vállalatunkhoz, a REVEN GMBH-hoz.

A REVEN a REntschler VEntilation rövidítése. A szellőzés pontosan az a folyamat, amellyel a REVEN GMBH generációk óta foglalkozik, és amellyel én is évtizedek óta foglalkozom, először műszaki vezetőként, most pedig ügyvezetőként. A REVEN GMBH légtisztítóit és szellőzőtermékeit arra használják, hogy ipari célú helyiségekben tiszta levegőt biztosítsanak. Ilyenek például az élelmiszeripari gyártócsarnokok, a gépipari létesítmények, valamint a nagy konyhák és étkezdék. Ezeknek a gyártóhelyiségeknek egy közös vonásuk van: a helyiség- vagy csarnoklevegő gyakran nagyon erősen szennyezett. Az ilyen területeken a szennyezettség mértékének mérése, elemzése, valamint a levegő szűrése és tisztítása – ezek azok a feladatok, amelyekkel a REVEN GMBH-NÁL évtizedek óta foglalkozunk.

A koronavírus-válság 2020-as kezdete óta ezek a légtisztítással kapcsolatos feladatok hirtelen már nem csak az ipari szektor számára voltak relevánsak, hanem az egész

Németország. A helyenként rendkívül heves viták során feltűnt számomra, hogy az ipari és a magánszférában felmerülő feladatok egyre inkább hasonlítanak egymásra. A hirtelen és rohamosan megnövekedett kereslet miatt azonban egyes gyártók már nem voltak annyira pontosak a légtisztítók teljesítményére vonatkozó adatokkal kapcsolatban. Sok mindent állítottak, és még többet ígértek. Számos megoldás szellőztető hatása, szűrőteltjesítménye és hatékonysága – főleg laikusok számára – alig érthető, és ez félreértésekhez vezetett a vitában. Ezek a félreértések – például a tiszta levegővel és az osztálytermekben történő megfelelő beltéri levegőtisztítással kapcsolatban – hasonlóak azokhoz a félreértésekhez, amelyek az iparban már évtizedek óta félígazságokká szilárdultak.

Ez a könyv áttekintést kíván adni arról, hogy milyen félreértések és félígazságok kapcsolódnak a szellőzés témájához, és honnan származnak ezek a félreértések mind a magán-, mind az ipari szférában.

Az egyes témákat nem túl tudományos módon fogom kifejteni, hanem inkább azoknak a tapasztalatoknak a segítségével, amelyeket 1995 óta a REVEN GMBH-NÁL végzett szakmai tevékenységem és gyakorlati munkám során szereztem. Már a stuttgarti egyetemen folytatott gépészmérnöki tanulmányaim során is betekintést nyertem a sikeres technológiai és innovációs menedzsment fontos feladataiba. Így értékes ismereteket szereztem az innovatív termékfejlesztés és a kutatás és a gyakorlat közötti tudáscsere terén.

Ezt a cserét szeretném e könyv segítségével tovább támogatni, és a szellőztetőtechnika és a levegőtisztítás területén elmélyíteni, hogy így néhány félreértést eloszthassak.

*„Szennyezett környezetünkben a levegő lassan
láthatóvá válik.”*

(Norman Kingsley Mailer (1923–2007), amerikai író)

Tartalomjegyzék

Köszönetnyilvánítás	3
Előszó.....	4
1. Hogyan lehet valamit elszívni?	9
1.1. Téveszmék a levegőszennyezés mérésével kapcsolatban	12
1.2. A fűtés segíthet a mérésben és az elszívásban!	22
2. Hogyan lehet valamit szűrni?	27
2.1. A szűrés és a leválasztás közötti különbséget övező félreértés	29
2.2. A tornádók segíthetnek a levegőtisztításban!	35
3. Hogyan lehet megszüntetni a gőzöket és a szagokat?	47
3.1. A gőzök és az aeroszolok közötti különbséggel kapcsolatos félreértés.....	50
3.2. A FID-mérőműszerek segíthetnek a levegőszennyezés elemzésében!.....	57
4. Hogyan semlegesíthetők a vírusok és a szagok?	65
4.1. A UV-C sugárzással kapcsolatos tévhit	68
4.2. Képes-e az UV-C sugárzás az aeroszolókat eltávolítani?.....	77

5. Hogyan lehet láthatóvá tenni a légáramlatokat?	87
5.1. A légáramlásokról készült színes képek miatti félreértés.....	90
5.2. A CFD-szimulációk láthatóvá teszik a légáramlásokat!	95
6. Hogyan mérhető a légszennyezés?	105
6.1. A beltéri levegőminőséggel kapcsolatos tévhit.	114
6.2. A részecskemérések láthatóvá teszik a légszennyezést!.....	126
Zárószó	132

1. Hogyan lehet valamit elszívni lehet?



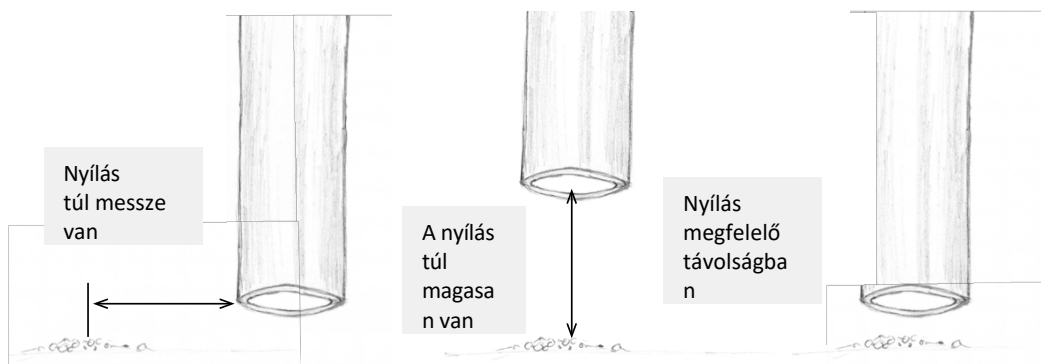
Hogyan lehet valamit egyszerűen elszívni? Alapvetően egy egyszerű kérdés, amelyre a szellőztetés területén dolgozó minden kollégánknak azonnal lenne válasza! De vajon a hatékony elszívás valóban olyan egyszerű és triviális dolog, mint amilyennek elsőre tűnik?

Gyakorlati példa: a porszívó

Ehhez egy egyszerű példa, amit mindannyian jól ismerünk: a porszívózás – akár a szeretett autónkban, akár otthon a nappaliban. Amikor porszívózunk, akkor a szennyeződéseket, például a szőnyegen lévő kenyérmorzsákat szeretnénk felszívni. Minél közelebb viszük a porszívó fúvókáját a szőnyegen lévő morzsákhoz, annál könnyebben és gyorsabban szívódnak fel azok. A legjobb eredményt akkor érjük el, ha a porszívó fúvókáját közvetlenül a szennyeződés fölé tartjuk. Mielőtt észbe kapnánk, a morzsák már eltűntek a porszívóban.

Ez a válasz arra a kérdésre, hogy hogyan lehet valamit jól felszívni! Száz százalékosan meg kell ragadni. Csak így lehet teljesen felszívni. Példánkban a porszívó fúvókáját közvetlenül a szőnyegen lévő kenyérmorzsák fölé kellett tartanunk, hogy azokat jól és teljesen felszívhassuk.

A helyes szívási pozíció



1. ábra

Ezt az alapelvet a szellőztetőtechnikában mindenütt alkalmazni kell, ahol a használt és szennyezett levegőt teljes mértékben el kell szívni – tantermekben, ahol a vírusokkal terhelt levegőt el kell távolítani, hegesztőcsarnokokban, ahol a hegesztőfüstöt el kell szívni, konyhákban, ahol a főzési gőzöket el kell szívni, valamint a gépgyártásban, ahol a modern szerszámgépeknél elpárolgó hűtő- és kenőanyagokat kell felszívni. Mindezekben a példákban a gőzöket, gázokat, vírusokkal terhelt levegőt és aeroszolokat különböző formákban kell felszívni.

Ennek során elsősorban a sorrendre kell figyelni:

Először összegyűjteni, aztán elszívni!

1.1. Tévhitek a levegőszennyeződések felismerésével kapcsolatban

Ahogy a bevezető példánkból megtudtuk, a szőnyegünkön lévő kenyérmorzsákat csak akkor lehet gyorsan és egyszerűen felszívni a porszívóval, ha a fúvókát közvetlenül a morzsák fölé tartjuk! Ugyanez vonatkozik a konyhai szellőztető rendszerekre is. Fontos, hogy a felszívás során betartsuk a megfelelő távolságot. Nem számít, hogy egy gyári étkezdében található nagy szellőzőrendszerről beszélünk, vagy az otthoni konyhánkat nézzük. Otthoni dizájn konyhai elszívónk is ugyanazon, az alábbiakban leírt elv szerint működik a konyhai pára befogása és elszívása során.

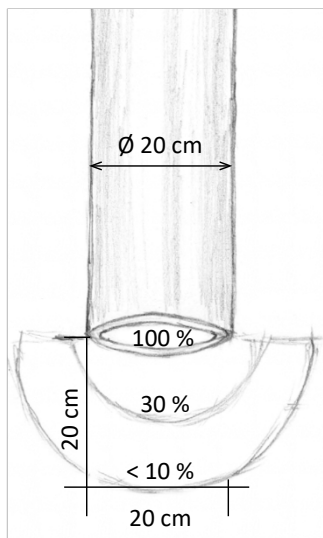
Téveszme

A szívóteljesítmény és a szívócső távolsága közötti arány

A szívóteljesítmény közvetlenül a szívóberendezés nyílásánál száz százalékos. Ez vonatkozik a porszívónk fúvókájára is! Itt is közvetlenül a fúvóka nyílásánál érhető el a legnagyobb szívóteljesítmény. Minél távolabb kerülünk a fúvóka nyílásától, annál kisebb lesz a szívóteljesítmény.

Amit ekkor nagyon gyakran alábecsülnek, az a szívóerő csökkenésének mértéke. Egy 20 centiméter átmérőjű szívócső esetében 20 centiméter távolságra a nyílástól már csak az eredeti szívóteljesítmény 10%-a érhető el.

A szívóteljesítmény a távolság függvényében



100 % szívóteljesítmény közvetlenül a csőbemenetnél

A szívóteljesítmény a szívócső bemenetétől való távolság növekedésével jelentősen csökken.

A szívóteljesítmény csupán kb. 10 %-os, ha a szívócső távolsága megegyezik a csőátmérővel (itt 20 cm).

2. ábra

Tehát ha a szívócső és a szennyeződés közötti távolság pontosan megegyezik a cső átmérőjével, a szívóteljesítmény csupán kb. 10 %-ra csökken.

Ez a törvényszerűség mindenféle elszívóberendezésre érvényes, függetlenül attól, hogy otthoni porszívóról, konyhai elszívóról, egy ipari hegesztőműhely szellőzőrendszeréről vagy a gyári étkező nagy szellőzőmennyezetéről van szó. Ha a szívóberendezés és az a pont, ahol a kibocsátott káros anyagokat el kell fogni, közötti távolság túl nagy, a szívóteljesítmény nulla. A legtöbb esetben ez már harminc-ötven centiméteres távolság esetén is így van!

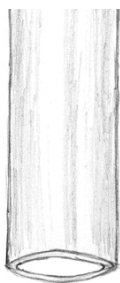
Téveszme

Magasabb hatékonyság az áramlásoptimalizált fúvóka-lemezeknek köszönhetően

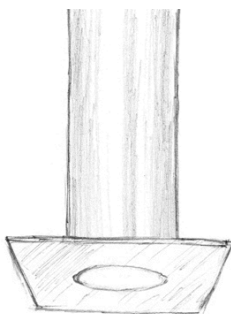
A hatékonyság tekintetében is gyakran merülnek fel félreértések. Sok esetben az a meggyőződés uralkodik, hogy az úgynevezett áramlásoptimalizált fúvóka-lemezek hozzájárulnának a szívóerő hatékonyabb kihasználásához. Ebben az esetben egy kiegészítő lemezt szerelnek fel a szívócső köré. A cső a lemez nyílásának közepén helyezkedik el, és a lemez és a szívócső közötti átmenet egy sugár mentén kialakított beáramlási fúvókaként van kialakítva. Ez a beáramlási fúvóka hivatott optimalizálni a légáramlást a szívóterületen, és így hatékonyabb elszívást biztosítani. Ha azonban összehasonlítunk egy áramlásoptimalizált fúvóka-lemezzel ellátott szívócsövet egy hagyományos, beáramlási fúvóka nélküli lemezzel ellátott szívócsővel, csak csekély előnyöket lehet megállapítani.

Fúvóka-lemezek

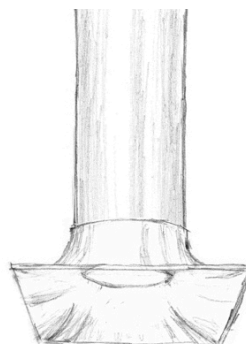
A fúvókalemezek hasznosak a légáramlás „irányításához”, de a szívóteljesítményre csak csekély hatással vannak.



Szívócső
fúvóka-lemez
nélkül



Felszerelt fúvóka-
lemezzel ellátott
szívócső



Szívócső
fúvóka-
lemezzel

Kísérlet – Gyertyafény eloltása szívással

A szemléltetés kedvéért vegyünk egy gyertyát példaként. Próbálta már valaha leoltani egy gyertyát levegő beszívásával? Csak figyelmeztetni tudom: jobb, ha nem próbálja ki! A témával kapcsolatos előadások keretében rendszeresen bemutatom ezt a kísérletet a közönség előtt, és közben mindig majdnem megégetem az ajkaimat, mivel a szívási pontot, azaz a számat, nagyon közel kell vinnem a gyertyához, hogy egyáltalán hatást gyakorolhassak a lángra. A láng eloltása szívással azonban legtöbbször nem sikerül!

Ez az egyszerű példa jól szemlélteti, mennyire korlátozott a szívóerő, és mennyire fontos a szívási pont közelsége, ha valamit meg akarunk ragadni és kiszívni.

Téveszme

A légtisztító szívónyílásától való távolság nem olyan fontos

Ezen téves elképzelés miatt a gyakorlatban gyakran követnek el hibákat: az iskolákban található légtisztítók, a hegesztőberendezések szellőzőberendezései, a főzőberendezések feletti konyhai elszívók és a szerszámgépek aeroszol-elválasztói esetében a beszívónyílások gyakran túl messze vannak a kibocsátási ponttól.

Porszívóval gyorsan megoldhatjuk ezt a problémát, ha a szívófejet a szennyeződés felé mozgatjuk. Sajnos a rögzített konyhai elszívók esetében ez nem lehetséges. Itt a főzés során keletkező gőzöknek el kell jutniuk a konyhai elszívó szívóterületére, különben a konyhai gőzök egyszerűen nem kerülnek befogásra, és így nem is szívhatók el.

CFD-szimuláció

A légáramlatok és az azokban található káros anyagok befogása és elszívása megfelelő szoftveres megoldásokkal részletesen szimulálható, vizualizálható és elemezhető. Ehhez a numerikus áramlási szimulációt, más néven CFD-szimulációt alkalmazzák. A CFD a Computational Fluid Dynamics (számítógépes áramlástan) rövidítése. Ennek a szimulációs eljárásnak a segítségével a legkülönbözőbb légáramlatok láthatóvá tehetők, és értékelhető az elszívás hatékonysága.

Saját tapasztalataink

Cégünknel többek között a hagyományos konyhai elszívók hatékonyságát vizsgáltuk ezzel a módszerrel. Az első numerikus áramlási szimulációkat már 199d-ben elvégeztük házon belül. Az akkor még meglehetősen egyszerű szimulációk elemzése és az eredmények kiszámítása gyakran több napig tartott.

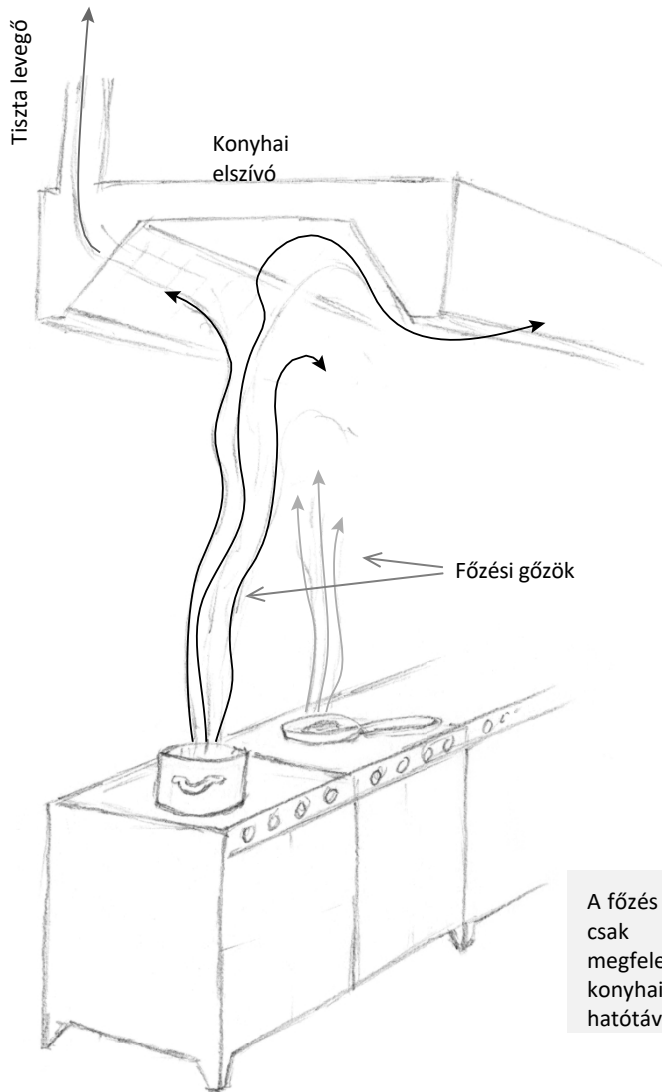
Azóta ez a technológia rohamosan fejlődött, és mára az eredmények a korábbi idő töredékében állnak rendelkezésre. Ezek ma lényegesen pontosabbak és informatívabbak, még nagyon összetett alkatrészek, például ventilátorok esetében is.

Ennek a fejlődésnek köszönhetően mára már nemcsak az egyes alkatrészek légáramlásait, hanem egész helyiségeket is elemezhetjük és vizualizálhatjuk!

Jelentősége a konyhai szellőzés szempontjából

Ez az elemzés elsősorban azoknál a szellőzőberendezéseknél fontos, amelyek messze vannak a kibocsátási forrástól, mint például egy olyan konyhai elszívó, amelyet nagy távolságra szerelnek fel a főzőfelülettől. A konyhai elszívó csak azokat a főzési gőzöket képes felfogni, amelyek közvetlenül a befogási területére jutnak. Mit jelent ez konkrétan? A főzőedényekből származó gőzöknek emelkedésük során közvetlen úton kell áramlaniuk a konyhai elszívó beszívó- és szűrőterületébe.

Konyhai szellőzés



A főzés során keletkező gőzök csak akkor kerülnek megfelelően elszívásra, ha a konyhai elszívó hatótávolságába áramlanak.

4. ábra

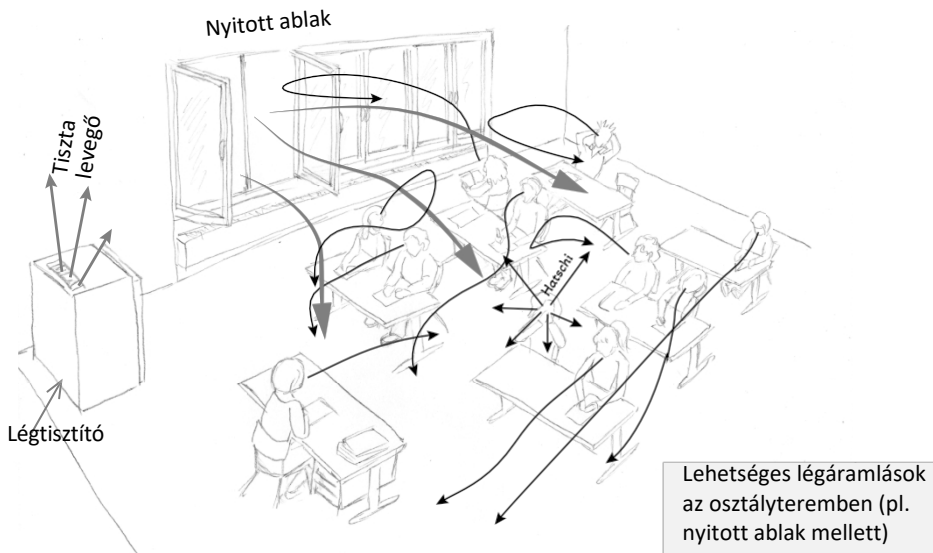
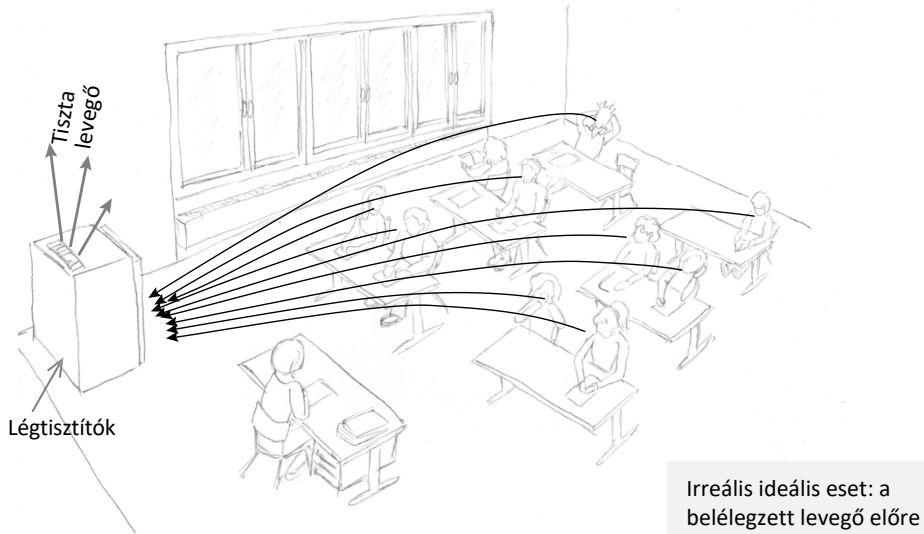
Jelentősége az osztálytermek levegőtisztításában

Ha egy tanteremben az órákon keresztül folyamatosan meg kell tisztítani a levegőt a vírusoktól, akkor annak akadálytalanul a teremben elhelyezett légtisztítók felé kell áramlania, hogy ott befogható és megtisztítható legyen. Gyakran már egy résnyire nyitott ablak is elegendő ahhoz, hogy a légáramot úgy terelje el, hogy az már nem kerül megfelelően befogásra és tisztításra.

A rosszul megtervezett frisslevegő-bevezetés hasonlóan kedvezőtlen hatással lehet a levegőelszívásra, mint egy résnyire nyitott ablak, amelyen át fúj a szél. A modern CFD-rendszerek segítségével ezek a kölcsönhatások vizsgálhatók, felismerhetők és megakadályozhatók. Csak így érhető el valóban a teljes levegőfelvétel.

A saját légtisztítóinkon és konyhai elszívóinkon végzett CFD-vizsgálatok szintén megerősítették a korábban ismertetett törvényt: minél távolabb vannak a konyhai elszívók beszívónyílásai a főzőedényektől, annál kevésbé valószínű, hogy a főzés során keletkező gőzöket teljes mértékben befoghatják és elszívhatják. Hasonló eredményeket figyeltek meg az iskolai osztálytermekben elhelyezett légtisztítók esetében is: minél távolabb helyezték el őket a vírusok kibocsátásának területétől, annál kevésbé volt valószínű a vírussal terhelt levegő befogása és elszívása.

Szellőzés az iskolában

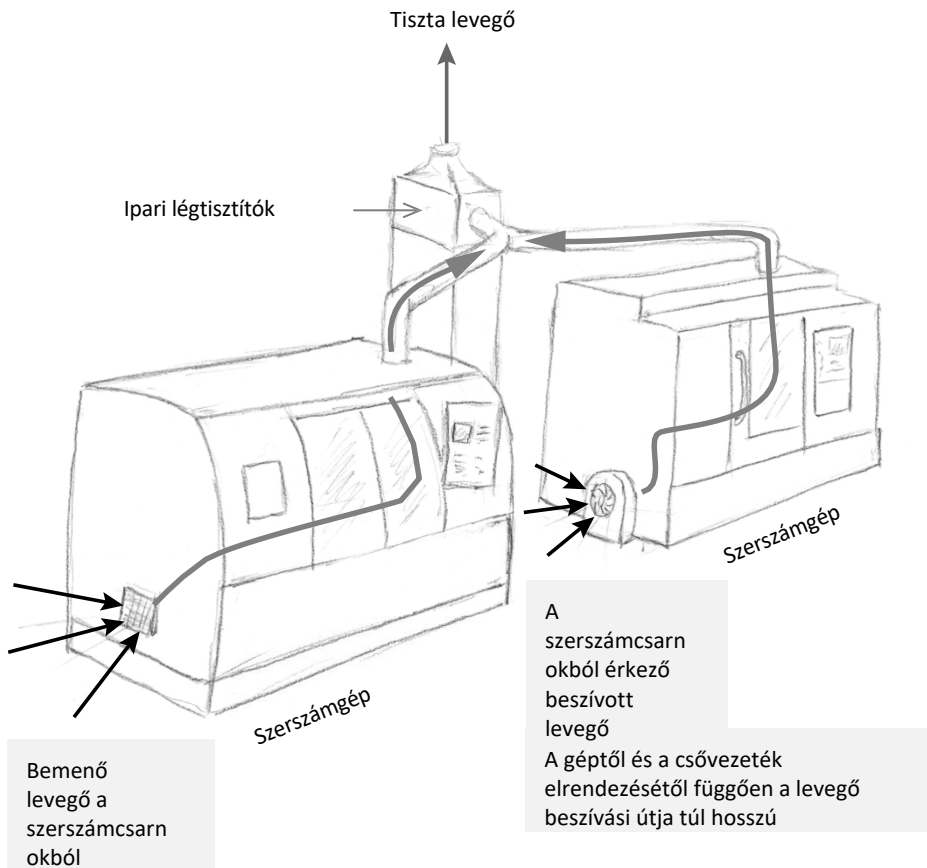


5. ábra

Jelentősége a gépipari elszívás szempontjából

Pontosan ezt a jelenséget figyeltük meg a modern szerszámgépek elszívórendszereinek komplex áramlási viszonyainak szimulációja során is. Ott is nagyon gyakran rendkívül hatástalan a hűtő- és kenőanyag-aeroszollokkal terhelt levegő elszívása, mivel a légtisztítók beszívási pontja túl messze van a munkadarab megmunkálásától, ahol az aeroszolok keletkeznek.

Ipari légtisztítók



Téves elképzelés

Végül a káros anyagok eljutnak a elszívási ponthoz.

A szellőztetés és a levegőtisztítás területén újra és újra találkozunk azzal a téves feltételezéssel, hogy a szennyező anyagokkal, vírusokkal vagy aeroszolokkal terhelt levegő előbb-utóbb eljut abba a területbe, ahol azt fel lehet fogni és elszívni. Sok esetben azonban pontosan ez nem történik meg. A fel nem fogott aeroszokok és egyéb szennyező anyagok ezután jelentősen terhelik a környező levegőt.

1.2. A fújás segíthet a befogásban és a elszívásban!

De mit tegyünk, ha nincs lehetőség arra, hogy a leszívási területet közelebb hozzuk a szennyező anyagok kibocsátási forrásához? Ebben az esetben ugyanúgy segíthetünk magunkon, mint a gyertyafény eloltásakor:

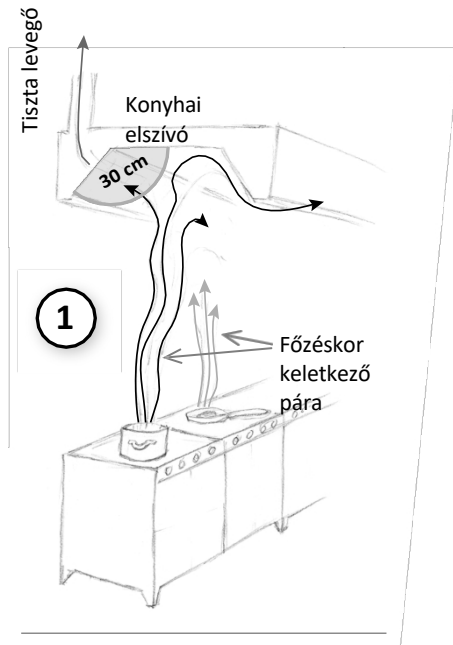
Fújás a szívás helyett!

A szellőztetőtechnika szempontjából ez azt jelenti, hogy a beszívandó levegőt – a benne lévő vírusokkal, aeroszolokkal és egyéb káros anyagokkal együtt – a lehető leggyorsabban fújással kell eljuttatni oda, ahol a légtisztítók, konyhai elszívók vagy szellőzőberendezések szívóereje a legnagyobb – vagyis közvetlenül a beszívónyílásaik területére.

Fúvóáramlás vendéglátóipari konyhákhoz

Ennek elérése érdekében a REVEN GmbH modern konyhai elszívókat fejlesztett ki beépített indukciós rendszerrel. Az indukciós áramlás megbízhatóan gondoskodik arról, hogy a főzőberendezésekből felszálló főzési gőzök közvetlenül és nagyon gyorsan a szűrő- és beszívási terület felé áramoljanak, ahol azokat befoghatják és elszívhatják.

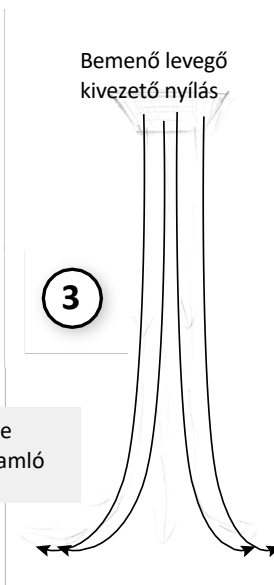
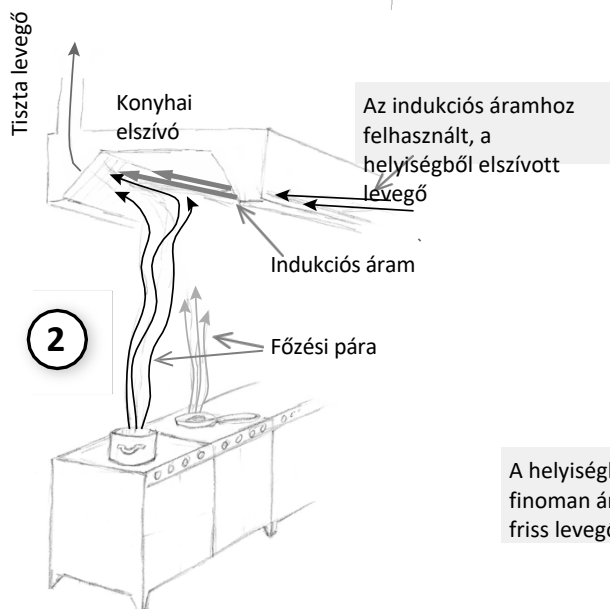
Konyhai szellőzés



1. A főzési gőzök csak a szeparátortól számított 30 cm-es körzetben szívhatók be (foghatók meg). Ezen a területen kívül a főzési gőzök a helyiség levegőjébe juthatnak.

2. Egy indukciós légáram a főzési gőzöket a szeparátor felé fújja. Így a főzési gőzök **teljes** mennyisége befogásra kerül.

3. A megfelelő hőmérsékletű beszívott levegő zavartalanul kerül be a rendszerbe, és elősegíti a főzési gőzök befogását.



7. ábra

Kiegészítő friss levegő

Az ilyen típusú modern konyhai elszívók hatékonyságát emellett a friss levegő optimális befúvásával is lehet növelni.

Ennek során a friss levegőt impulzusmentesen, kiszorító légáramlás segítségével juttatjuk a helyiségbe. Így biztosítjuk, hogy a friss levegő sebessége a befúvás során nagyon alacsony maradjon, és a helyiségben lévő egyéb légáramlások ne zavaródjanak meg. Ez a forgatókönyv is elemezhető és vizualizálható CFD-rendszerek segítségével.

Fúvási áramlás szerszámgépekhez

Ugyanez az elv alkalmazható a szerszámgépek esetében is. Itt a gép kabinjában olyan légáramot hoznak létre, amely a légtisztító felé áramlik, és biztosítja, hogy a hűtő- és kenőanyag-aeroszok hatékonyan összegyűjthetők és elszívhatók legyenek. A gépkabinokban történő elszívás optimalizálása gyakran egy egyszerű kérdéssel kezdődik: Ha egy szerszámgép tetején óránként ezer köbméter levegőt szívunk el, akkor honnan áramolhat be pótlevegő a kabinba? Ha nincs olyan megoldás, amely biztosítja a pótlevegő beáramlását, akkor a kabinban nagyon nagy alacsony nyomás alakul ki, de nem jön létre célzott légáramlás a légszűrő befogási területének irányába.

Gyakorlati példa: alacsony nyomás

Így történt, hogy nagyon jól lezárt csiszológépekre légtisztítók felszerelése után már többször is felmerült az a probléma, hogy a szerszámgép kezelőajtója nem nyitható ki, mert a kabinban túl nagy volt az alacsony nyomás!

2. Hogyan lehet valamit szűrni?



Hogyan lehet valamit szűrni? Alapvetően ez egy hasonlóan egyszerű kérdés, mint a korábban ismertetett hatékony elszívásé. Valószínűleg sejtheti, hogy itt sem egészen ilyen egyszerű a válasz.

A szellőztetés és a levegőtisztítás területén számos folyamat hatékonysága a hatékony befogáson és elszíváson alapul, ideértve a levegő szennyezőanyagoktól való megtisztítását is. Ha például egy tanteremben a vírusokkal terhelt levegőt nem fogják be és szívják el teljes mértékben, akkor azt nem is lehet megbízhatóan megtisztítani a vírusoktól. Ez elvileg egy gépgyártó üzem nagy hegesztőműhelyére is érvényes. A felszabaduló hegesztőfüst szennyező anyagokat tartalmaz, ezért azt teljes mértékben fel kell gyűjteni és elszívni. Csak így lehet a helyiség levegőjét hatékonyan megtisztítani minden szennyeződéstől.

A hatékony és teljes körű légtisztítás tehát három nagyon fontos folyamatot foglal magában:

elszívás, elszívás, tisztítás

A harmadik lépés – a levegő tisztítása – az a téma, amellyel itt foglalkozni fogunk. Ebben a kérdésben is vannak néhány félreértés, amelyeket szeretnék tisztázni. Kezdjük a következő kérdéssel:

„Hogyan lehet a levegőt megtisztítani a káros anyagoktól?”

A szennyező anyagokat ki kell szűrni a levegőből, ez logikus! Ez a kézenfekvő válasz. A levegőtisztítási ágazatban azonban egyre inkább teret nyernek a szeparátorok is. Ennek talán legismertebb példája a világszerte működő Dyson vállalat ciklonporszívói, amelyek szűrő nélkül működnek.

Ez a technológia elvileg úgy működik, mint egy mini-tornádó. A levegőt forgásba hozzák, és légörvények alakulnak ki, amelyek nagy sebességük révén kilökik a részecskéket a levegőből. Ez az eljárás alkalmas a levegőben terjedő szennyező anyagok leválasztására is. Ugyanakkor itt gyakran adódnak félreértések, mivel a leválasztást gyakran összetévesztik a szűréssel.

2.1. A szűrés és a leválasztás közötti különbséget érintő félreértés

textilvászon

A szűrés elvét is a porszívó példáján keresztül magyarázhatjuk el. A porszívó által beszívott és elszívott levegő tisztításához porszívózsákokat használnak. Ezek gyakran textilvászonból készülnek. A levegő átáramolhat ezen a finomszemcsés szöveten, a porrészecskék azonban visszatartódnak, és így elválnak a légáramtól.

Üvegszálas lebegő részecskeszűrők

Alapvetően így működik a szellőztetőtechnika minden szűrőtípusa – még a nagyon kiváló minőségű lebegő részecskeszűrők esetében is. Itt azonban más szűrőanyagokat használnak. A textilvászon helyett ezekhez a szűrőkhöz üvegszálas szőnyeget alkalmaznak. Ezek a szőnyegek szintén légáteresztőek, azonban a szövetük sokkal finomabb szövetű, mint a porszívózsákoké. A lebegő részecskék szűrőiben található szálak átmérője körülbelül 1–10 mikrométer, azaz 0,001–0,01 milliméter. Így sokkal kisebb részecskéket tudnak kiszűrni a légáramból, mint a textilvászon.

Fémhálós szűrők

Ez a szűrőelv számos, a magánszférában kapható konyhai elszívóban is megtalálható. Ezekben a konyhai elszívókban gyakran használnak fém szűrőket. Általában alumínium- vagy rozsdamentes acélhálóból készülnek, elvükben hasonlóak a textilvászonhoz vagy az üvegszálas szőnyeghez, csakhogy szerkezetük lényegesen durvább.

A viszonylag durva fém szűrőt azért használják itt, mert jóval ellenállóbb. Akár otthoni, akár ipari konyhában, a páraelszívók feladata a folyékony aeroszolok leválasztása a légáramból. Itt nem száraz porokat kell kiszűrni, mint a

porszívó esetében, hanem folyékony részecskéket, például víz- és olajcseppeket kell kiszűrni a levegőből. Ez egy komoly és nagyon fontos különbség, amelyre gyakran kevés figyelmet fordítanak.

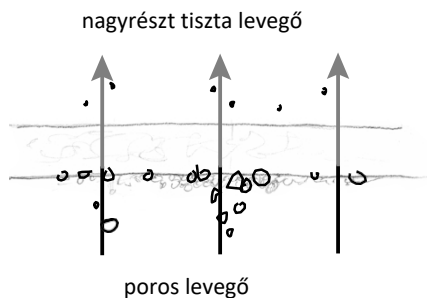
Minden típusú szűrő összegyűjti és tárolja azt, amit a légáramból elválaszt. A szűrőben lerakódó anyagok mennyisége ezért folyamatosan növekszik. A porszívózsák esetében a száraz porokat addig gyűjtik és tárolják, amíg a zsák teljesen meg nem telik porral, és ki kell cserélni.

Ha a légáramból kiszűrt anyag folyadékcseppekből áll, ezek összegyűjtése gyakran lényegesen bonyolultabb.

A fémhálós szűrők a különböző folyadékokból származó kiszűrt apró cseppeket közvetlenül a szűrőanyagban tárolják. A különböző folyadékok ilyen felhalmozódása súlyos problémákhoz vezethet!

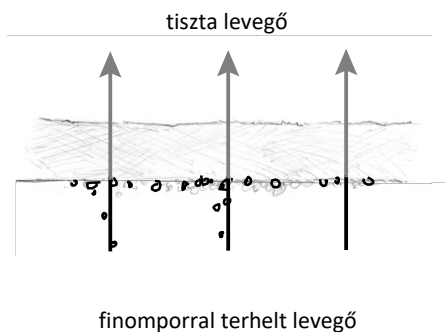
A fémhálós szűrők tárolókapacitása gyakran nagyon csekély. Ez azt jelenti, hogy ezek a szűrők már kis mennyiségű felhalmozódott folyadék esetén is eltömődhetnek. Ezért általában meglehetősen nagy szemű kivitelben készülnek. Így ugyan már nem tömődnek el, de az átáramló levegővel együtt sok kisebb részecske is áthalad a szűrőn, és nem válik el a légáramtól.

Különböző szűrők



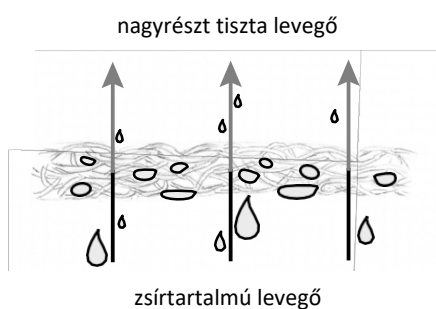
Vlies-szűrő

A szövet (pl. porszívózás) visszatartja a port az áramló levegőből. A legkisebb porrészecskék azonban áthatolhatnak a szöveten.



Üvegszálás szűrő

Az üvegszál finomabb, mint a szövet, és még a nanoméretű legapróbb porrészecskéket is kiszűri, azaz visszatartja.



Fém szűrő

A fémháló esetében a konyhai területen elsősorban a zsírrészecskék szűréséről van szó. Méretüktől függően a cseppek a hálóban megakadnak. A legapróbb cseppek azonban áthatolhatnak a hálón.

A baktériumok szaporodásának veszélye

Az élelmiszer-feldolgozó üzemekben és a gyártóiparban is higiéniai problémákat okozhat a folyadékok szűrőkben való tárolása. 20 Celsius-fok körüli hőmérsékleten és nedvesség jelenlétében a baktériumok nagyon gyorsan szaporodhatnak a szűrőkben. Ezért a folyadékok hosszabb ideig történő tárolása és felgyűjtése gyakran nem tanácsos, és a szűrők rendszeres tisztítását vagy cseréjét sürgősen ajánljuk.

Tűzveszély

Ha a szűrt anyagok olaj vagy zsír, a szűrőben tárolt folyadék egyre nagyobb tűzterhelést jelent! Ezt a tényt gyakran elfelejtik.

Példa a vállalati történelemből

Még jól emlékszem egy nagy megbeszélésre egy világszerte működő szerszámgyártónál. A munkatársak megmutatták nekem a gyártóüzemüket, ahol több száz csiszológép működött. A gyártási terület légtisztító berendezései nagy lebegő részecskeszűrőkkel voltak felszerelve, amelyek akár 100 liter folyadékot is képesek voltak tárolni. A probléma az volt, hogy a tárolt folyadék egy nagyon vékony folyadékú és könnyen gyulladó hűtő- és kenőanyag volt. 50 szűrő használata esetén így akár 5 000 liter tárolt folyadék is összegyűlhet! Amikor a látogatás során a vállalat munkatársait a 50 légtisztító berendezés tűzvédelmi biztosításáról és a vonatkozó védelmi koncepciókról kérdeztem, ijedt arcokat láttam magam körül.

A légtisztító szűrőkkel kapcsolatos kérdéseim és gondolataim korántsem csupán elméleti elmélkedések, hanem konkrét veszélyekre vonatkoznak, és sajnos már tragikus tüzesetek is történtek, mert a tűzterhelés problémáját nem vették kellőképpen figyelembe.

Gyakorlati példa: tűz a gépiparban

Így történt, hogy 200d-ben Dél-Németországban pusztító tűz ütött ki egy gépgyártó vállalatnál, amelynek elszívó rendszere hasonló volt a korábban leírtakhoz. A tűzkár összege több tízmillióra rúgott. A több mint 3 000 négyzetméter alapterületű gyártócsarnokok és berendezések teljesen megsemmisültek. A tűz feltételezett kiváltó oka egy meghibásodott szerszámgép volt. A tűz gyors terjedését a szellőzőcsatorna-hálózat is elősegítette.

Gyakorlati példa: tűz egy szállodakomplexumban

Hasonló katasztrófa történt 1980-ban egy 2 000 szobás nagy szállodában Las Vegasban. A baleset idején körülbelül 5 000 ember tartózkodott a szállodakomplexumban. A tűz a szálloda egyik éttermében keletkezett, és villámgyorsan terjedt át az egész épületkomplexumra. 85 ember vesztette életét. Ezt a tragikus eseményt a mai napig az egyik legsúlyosabb szállodai tüzesetnek tartják a modern amerikai történelemben.

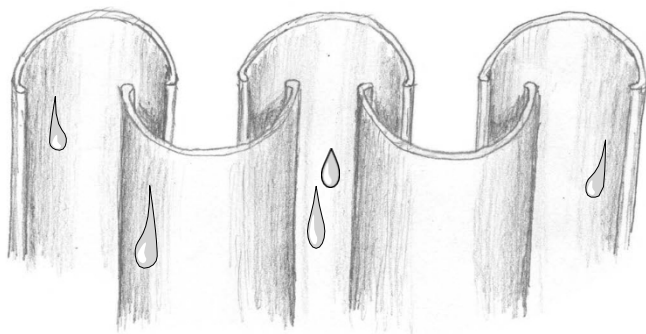
Az ilyen tűzkatasztrófák végül oda vezettek, hogy a korábban leírt fémhálós szűrőket számos ipari területen már nem használják. Az ipari konyhai szellőztetésben sok országban már évek óta tiltottak. Így Észak-Amerikában és a legtöbb európai országban a megnövekedett tűzveszély miatt az ilyen típusú, hőtároló fém szűrőket már nem szabad új, ipari célra használt konyhákban alkalmazni.

A lökölemez-elválasztók feltalálása

A Las Vegas-i katasztrófális szállodatűz után az USA-ban alternatívákat fejlesztettek ki a fémhálós szűrők helyett – az úgynevezett ütközőlemezes elválasztókat. Ez a típusú elválasztó rozsdamentes acéllemezekből készül. Áramlás közben a levegőt legalább kétszer

irányt vált. A hagyományos fémhálós szűrőktől abban különböznek, hogy ezek a rozsdamentes acéllemezekből készült elválasztók nem tárolnak folyadékot.

Ütőlemezes elválasztók



Az olaj és a vízhez hasonló folyadékok az ütközőlemezekén válnak le, és ideális esetben a lemezek mentén lefelé folynak le.

9. ábra

Téveszme

A szűrők és a leválasztók eltérő működési elve

Mint láttuk, a szűrők és a leválasztók eltérő módon működnek. De éppen ezek a különbségek okoznak félreértéseket. Gyakran keverik össze a tulajdonságokat, a működési módokat, valamint a hatékonyságra vonatkozó adatokat. Néha még azt a fáradságot sem veszik magukra, hogy a fogalmakat egyértelműen elkülönítsék és megkülönböztessék!

A szellőztetés és a levegőtisztítás területén tehát nemcsak a szűrés és a leválasztás közötti különbséget illetően vannak félreértések, hanem a fémlemezéből készült leválasztók működési elve és hatékonysága tekintetében is.

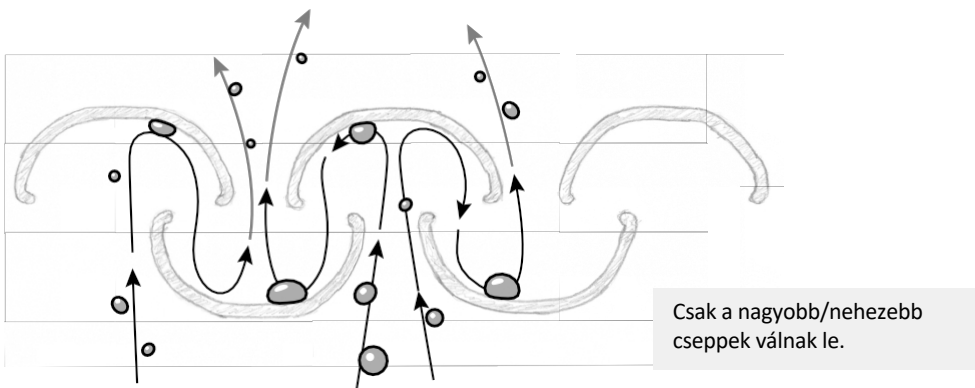
A különbségek tisztázása érdekében először is meg kell vizsgálnunk néhány természeti időjárási jelenséget és azok alkalmazását a légtisztítási technológiákban.

2.2. A forgószelek segíthetnek a levegőtisztításban!

Talán meglepőnek tűnik, de pontosan így van. A forgószelek, mint például a hurrikánok, a tájfunok, a tornádók és a trópusi ciklonok, áramlástani mintaként szolgáltak a modern fémlemezből készült leválasztók fejlesztése során.

Az első, az USA-ban történt nagy szállodatűz után kifejlesztett leválasztók egyszerű ütközőlemezes leválasztók voltak. Két félkör alakú, U-alakúra hajlított rozsdamentes acéllemezt egymással szemben, eltolva helyeztek el. A légáramlás az elválasztón való áthaladása során kétszer irányt vált: először, amikor az első félkör alakú lemeznek ütközik, másodszor pedig, amikor a második félkör alakú lemeznek ütközik.

Az ütközőlemezes elválasztó működési elve



10. ábra

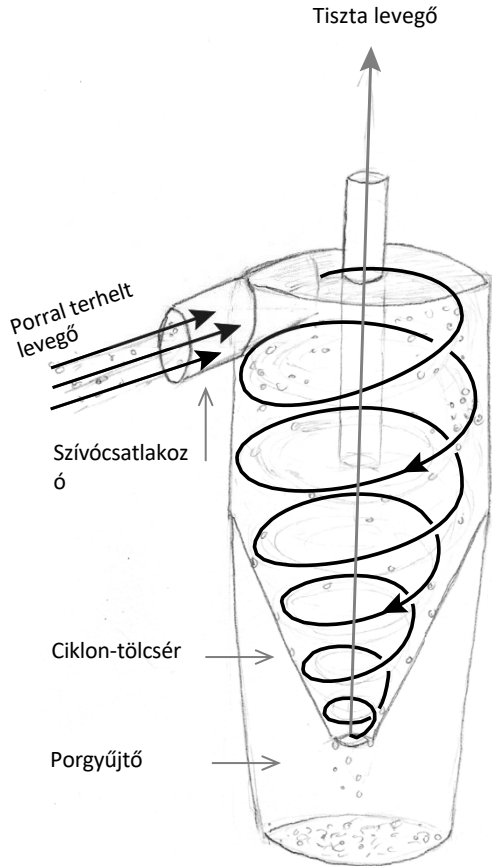
Az U alakú félkagylókat sugárral kialakítják, vagy 90 fokos szögben hajlítják. Mindkét esetben azonban a leválasztási hatékonyság nagyon gyenge, mivel itt csak a nagy, levegőben szállított cseppeket választják le a légáramlásból. A légáramlás

egy ilyen típusú egyszerű elválasztóban nagyon turbulens, és csak a viszonylag nagy tömegű, nagy tehetetlenségű cseppek válnak ki belőle a légárammal való ütközés és az áramlás irányváltoztatása során. A kisebb, alacsonyabb tömegű, levegőben szálló cseppek a légárammal együtt áthaladnak ezeken az elterelőkön, és ezért nem válnak le. Az ilyen egyszerű ütközőlemezes elválasztók egyetlen előnye az volt, hogy nem tárolnak folyadékot, azonban a légáramból származó részecskék elválasztásának hatékonysága nagyon alacsony volt.

A trópusi ciklonok mint példakép

Csak akkor sikerült a szeparátorok gyártóinak kiküszöbölniük ezt a hátrányt, amikor a természetet vették példaképül, és a trópusi ciklonokból merítettek tanulságokat. Ennek legismertebb példája a korábban említett Dyson vállalat és ciklonos porszívói. Ez a technológia szűrő nélkül működik, és elvileg úgy viselkedik, mint egy mini-ciklon. A levegőt – akárcsak egy tornádóban – nagyon nagy sebességű forgó áramlásba hozzák. Érvényes az a szabály, hogy minél nagyobb a forgási sebesség, annál kisebb részecskéket tud a légáram kilökní, és így leválasztani.

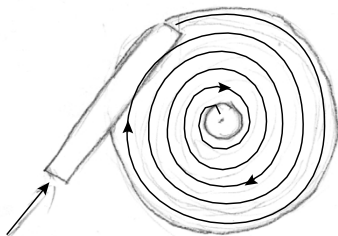
A ciklonos porszívó működési elve



A ciklon-tölcsér kúpos alakjának köszönhetően a beszívott levegő spirális mozgásba kerül.

A centrifugális erő hatására a porrészecskék a falhoz csapódnak.

A porrészecskéket egy porgyűjtő tartályban gyűjtik össze.



A ciklon-spirál felülnézetből

Természetesen rengeteg kutatási és fejlesztési munkára volt szükség ahhoz, hogy megismerjük, hogyan lehet porszívókban, konyhai elszívókban és légtisztítóknál ilyen mesterséges kis léptékű örvényeket létrehozni. Egyszerűen hajlított ütközőlemezekkel ez biztosan nem érhető el. A ciklontechnológia fejlesztése és optimalizálása során is alkalmazzák a numerikus áramlási szimulációt, röviden CFD-szimulációt. A CFD a Computational Fluid Dynamics (számítógépes áramlástan) rövidítése. E szimuláció segítségével a legkülönbözőbb légáramlások láthatóvá tehetők. Ez azonban nem elegendő a leválasztási technológiák optimalizálásához. Ebben a kérdésben is gyakran merülnek fel félreértések a szellőztetés és a levegőtisztítás területén!

Téveszme

A légáramlás optimalizálása elegendő!

A szellőztetőtechnikában sok esetben csak a légáramlásról van szó. Például arról, hogy hogyan lehet a lehető legkényelmesebben friss levegőt juttatni egy nagy koncertterembe anélkül, hogy a koncertlátogatók kellemetlen huzatot vagy hideget éreznének. Emellett a levegő bejuttatásának teljesen zajmentesnek kell lennie.

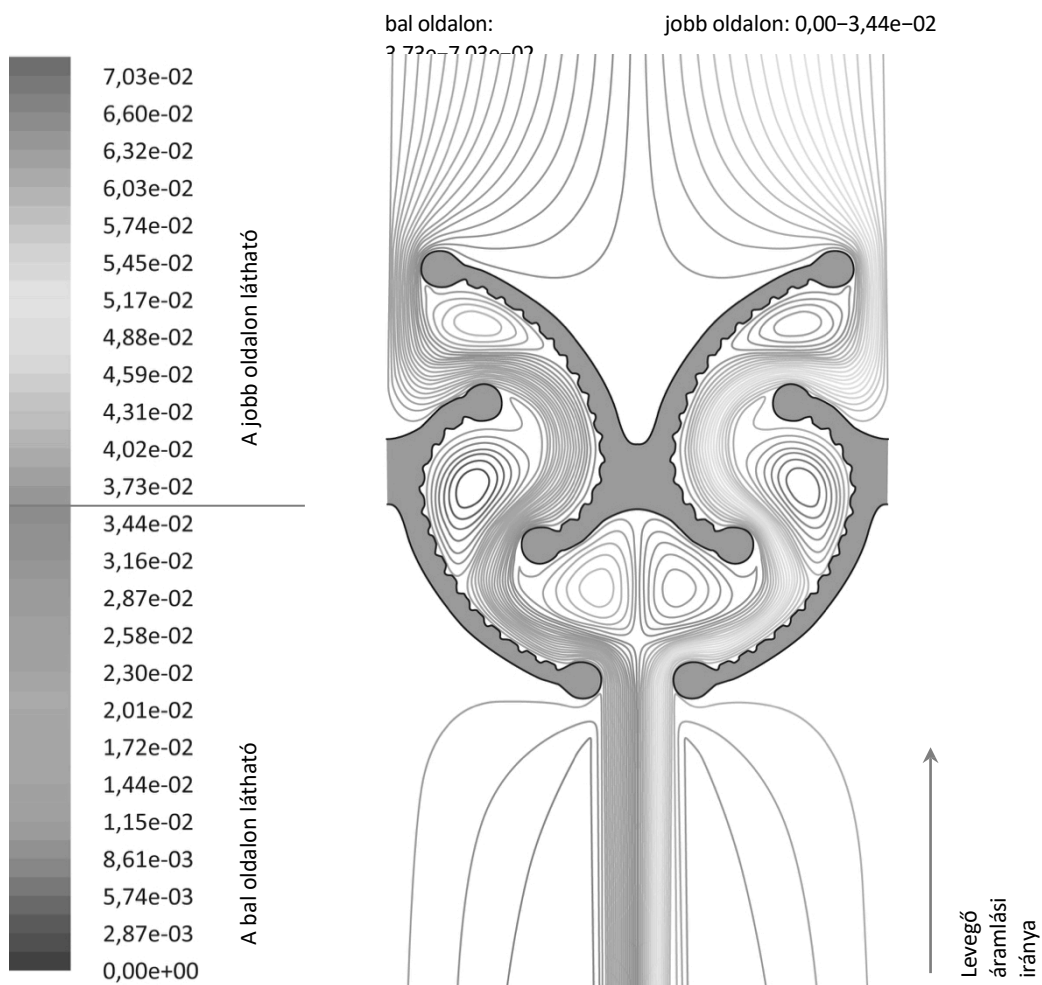
A légtisztításban alkalmazott szűrők és leválasztók optimalizálásakor azonban nem csupán a légáramlásról, valamint annak pályájának és sebességének elemzéséről van szó. A légtisztítás valódi feladata az, hogy a légáramlásból szűréssel vagy leválasztással elválasszuk a magukkal sodort részecskéket. A szűrők működése leegyszerűsítve úgy írható le, mint egy szitáé, a leválasztóké pedig, mint a örvényké. Ha a leválasztók működését szeretnénk optimalizálni, akkor kis örvényeket kell létrehoznunk a leválasztókban. Csak így kerülnek a részecskék ki a légáramból, és válhatnak le.

A részecskék pályájának elemzése

Manapság a részecskék áramlását is lehet CFD-rendszerek segítségével vizsgálni és vizualizálni. Tehát már nem csak a légáramlatokat figyeljük, hanem a velük együtt szállított részecskék, illetve aeroszolk viselkedését is.

A kisebb és így könnyebb aeroszolk ugyanazt az utat járják be, mint a légáramlás? Egy nagyon érdekes CFD-vizsgálat a különböző aeroszolkpályák vizualizálása. Ezeknek a pályáknak a lefutása a részecskemérettől függ. Nagyon jó minőségű CFD-elemzések segítségével mára már azt is meg lehet állapítani, hogy egy leválasztóban pontosan mely ponton válik le egy aeroszol a légáramlásból! Leválasztóink továbbfejlesztése során nem egyszer csodálkoztunk és lepődtünk meg az ilyen elemzések eredményein.

CFD-elemzés egy X-CYCLONE® leválasztóról



Különböző méretű részecskék áramlási viselkedése (kg/s)

A különböző méretű részecskéket különböző szürke árnyalatokkal jelöltük.

12. ábra

Példa a vállalat történetéből

Mi is túl gyakran hittük el a szeparátoraink továbbfejlesztése során, hogy előre tudjuk, hogyan fog viselkedni a légáramlás, és mi történik közben az összes levegőben szálló részecskével – vagyis hová kerülnek azok. Feltételezésünk igazolására CFD-elemzéseket végeztünk. A bemutatott eredmények gyakran teljesen eltértek attól, amit vártunk.

Még mindig emlékszem egy vizsgálatra, amelynek során mindannyian százszázalékosan meg voltunk győződve arról, hogy az általunk újonnan kifejlesztett leválasztóban nagyon gyorsan kialakulnak majd erős forgású kis örvények, amelyek rendkívül hatékonyan fogják kilökni a levegőben szálló részecskéket. Ezt az általunk újonnan kifejlesztett prototípust büszkén X-CYCLONE®-nak neveztük el.

Az X betű a leválasztó geometriáját jelöli. Ezt már nem két egyszerűen hajlított, U alakú lemezből építettük fel, hanem a leválasztó profiloknak sokkal bonyolultabb geometriát adtunk. Kezdetben ezeket csak alumínium extrudált profilokból tudtuk kialakítani. A felületek miniatűr repülőgép-szárnyakra emlékeztettek, amelyeket X-geometriában rendeztünk el. Bizonyára már kitalálták: új fejlesztésünk nevének második része a trópusi ciklonokra utal – angol írásmódban CYCLONE.

Az új elválasztó prototípus CFD-elemzését nem annyira elemzésnek, hanem inkább megerősítésnek szántuk, amelyet a biztonság kedvéért – a nagy ráfordítás ellenére – mégis el akartunk végezni. Hiszen úgyis tudtuk, mi lesz az eredmény. Legalábbis ezt hittük...

A CFD-elemzés valóban nagyon munkaigényes. Mint korábban már kifejtettük, a vizsgálat során nemcsak a légáramlás viselkedését, hanem a levegőben lévő részecskék viselkedését is pontosan megvizsgálják. Ahhoz, hogy ezt a vizsgálatot egyáltalán el lehessen végezni, háromdimenziós

modellre van szükség. „Semmi gond” – gondoltam én is évekkal ezelőtt –, hiszen mindenünk megvan hozzá, különben nem is tudnánk gyártani. De én is beleesettem egy félreértésbe!

Téveszme

Egy CFD-szimulációhoz elegendő a szeparátor háromdimenziós modellje.

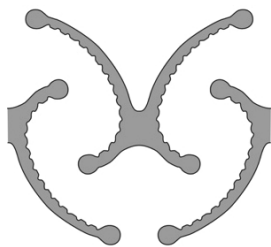
A háromdimenziós térmodell

Mivel a vizsgálatához nemcsak a szeparátorunk, azaz az alumíniumprofilok háromdimenziós modelljére volt szükségünk, hanem a levegő áramlásának helyszínéül szolgáló tér modelljére is. Valójában ez teljesen logikus! Ha egy kör alakú szellőzőcsatornában elemzzük a légáramlást, akkor is a szellőzőcsatorna belsejében lévő hengeres teret vizsgáljuk, és nem a légszűrő lemezét. Ez azonban nem könnyítette meg a feladatunkat. Mivel már az új X-CYCLONE® alumíniumprofilunk geometriája is nagyon összetett volt, a levegő által áramlott tér még összetettebbé vált. A CFD-elemzéshez azonban pontosan ezt kell modellezni.

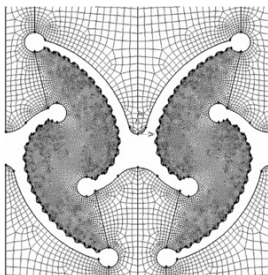
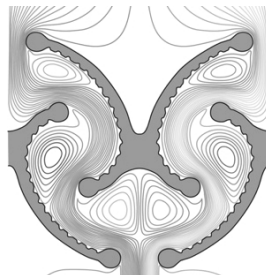
A háló (számítási háló)

Ehhez a már önmagában is bonyolult eljáráshoz még az is nehezíti a dolgot, hogy a levegő által áramlott teret számítási hálóval is be kell borítani. Erre gyakran az angol „mesh” kifejezést használják. Az, hogy egy ilyen számítási háló hogyan kerül elrendezésre ebben a levegő által áramlott térben, viszont komoly hatással van a CFD-elemzés minőségére. Ha azonban ezt a folyamatot nagy gondossággal hajtjuk végre, nagyon részletes áramlási elemzéseket kapunk mind a légáramlásról, mind a részecskéről, bár az eredmények rendkívül frusztrálóak is lehetnek!

Egy X-CYCLONE® leválasztó CFD-elemzése



A leválasztó profilja

A levegővel
átáramolt tér
hálózataKülönböző méretű
részecskék pályájának CFD-
áramlási elemzése

13. ábra

Egy kiábrándító eredmény

Minden kezdet nehéz – a levegő másképp áramlik, mint gondoltuk!

Első X-CYCLONE® prototípusaink esetében a CFD-elemzés nagyon kiábrándító eredményeket hozott. A légáramlás által érintett zónában, ahol szilárd meggyőződésünk szerint kis ciklonok alakulnának ki, amelyek aztán másodpercenként több mint 10 méteres forgási sebességgel löknék ki a részecskéket, mindez egyáltalán nem történt meg! Még mindig élénken emlékszem rá, mintha tegnap történt volna. A CFD-elemzés egyértelműen egy üres területet mutatott, amely alakjában egy körülbelül egy centiméter átmérőjű cseppre emlékeztetett.

Az ok

Mivel profilunk X-geometriája túl nagy görbületet mutatott, a légáramlás nem tudta követni ezt a geometriát, és kialakult egy olyan terület, amelyet nem áramolt át a levegő, nemhogy ciklonok alakultak volna ki ott, amelyek gondoskodtak volna a részecskék leválasztásáról! Még a szellőzés szakemberei sem tudják mindig előre pontosan felmérni a légáramlás viselkedését.

Az optimalizálás

Az akkori, az X-CYCLONE® elválasztás optimalizálására irányuló fejlesztési projektünk számára ez azt jelentette, hogy mindent előről kellett kezdenünk, és át kellett dolgoznunk a leválasztóink geometriáját. Alapvetően ez egy soha véget nem érő folyamat, amely a folyamatos továbbfejlesztésről és tökéletesítésről szól. Végül mégis sikerült olyan termékeket kifejlesztenünk, amelyek hasonló technológiát alkalmaznak, mint amelyet a Dyson-tól ismerünk, és amelyeket ipari szinten alkalmazhatunk a szellőzés és a levegőtisztítás területén.

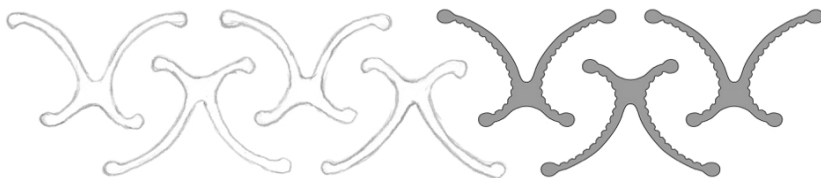
A szeparátorok geometriájának fejlesztése



U-alakú profilokkal rendelkező ütközőlemezes szeparátorok



Az X-CYCLONE® elválasztó prototípusa repülőgép-szárny alakú X-profilokkal



X-CYCLONE® elválasztó, optimalizált X-geometriájú profilokkal az optimális légáram-irányítás érdekében (lásd a 15. ábrát)

14. ábra

Elválasztóink diadalmenete

Az általunk kifejlesztett X-CYCLONE® szeparátorok mára a legkülönbözőbb iparágakban is meghódították a piacot.

Fűróplatformokon, textilfinomító üzemekben, tejpor-előállító üzemekben, az autóiipari festőüzemekben, az élelmiszeriparban, a nagykonyhákban, a gépgyártásban, sőt még a mikroelektronikához szükséges szilíciumlapkák gyártóüzemeiben is az X-profilú szeparátorainkban kialakuló „ciklon-örvények” gondoskodnak a rendkívül hatékony légtisztításról.

Az X-CYCLONE® szeparátor működési elve



15. ábra

3. Hogyan lehet eltávolítani a gőzöket és a szagokat eltávolíthatók?



A gőzök és szagok eltávolítása rendkívül összetett feladat a szellőztetés és a levegőtisztítás területén. Elsőre azt gondolhatnánk, hogy a levegő befogása, leválasztása és tisztítása után a levegőnek tulajdonképpen tisztának kellene lennie, és ezért már nem lenne érzékelhető szag. Minden részecske, aeroszol és szennyező anyag eltávolításra került – mi okozhatna tehát még szagterhelést?

Téveszme

Aeroszol-, részecske- és szennyezőanyag-mentes levegőben nincs szagterhelés.

Sajnos ez is egy újabb tévhit a szellőztetés és a levegőtisztítás területén, amellyel ebben a fejezetben foglalkozni fogunk. Hadd magyarázzam el egy egyszerű, a gyakorlatból vett példával.

Gyakorlati példa: tankolás

Sokan közülünk már jártak autóval benzinkútnál, és tankoltak ott üzemanyagot. Eközben a legtöbbünknek biztosan már felcsapott az orrába a benzin vagy a dízel szaga.

Benzinszag tankoláskor



16. ábra

De miért érezzük tulajdonképpen a benzin szagát tankoláskor, annak ellenére, hogy általában egyáltalán nem repülnek a levegőben üzemanyag-cseppek vagy aeroszolok? Ez akkor válik igazán világossá, ha valaki a tartályt a széléig szeretné megtölteni, és közben ügyelnie kell arra, hogy semmi ne folyjon ki. Amikor megnézzük, mikor válik láthatóvá az üzemanyagszint a töltőnyílásban, az orrunk közel van a nyíláshoz, és intenzíven érezzük az üzemanyag szagát – anélkül is, hogy bármi kifolyna.

Ha a tanknyílás közvetlen közelében részecskemérést végeznének, műszakilag semmilyen üzemanyag-aeroszolt vagy -részecskét nem lehetne kimutatni a tanknyílás körüli levegőben. De akkor miért érezhető mégis üzemanyagszag tankolás közben? Erre a kérdésre az alábbiakban adunk választ.

3.1. A gőzök és az aeroszolok közötti különbséggel kapcsolatos félreértés

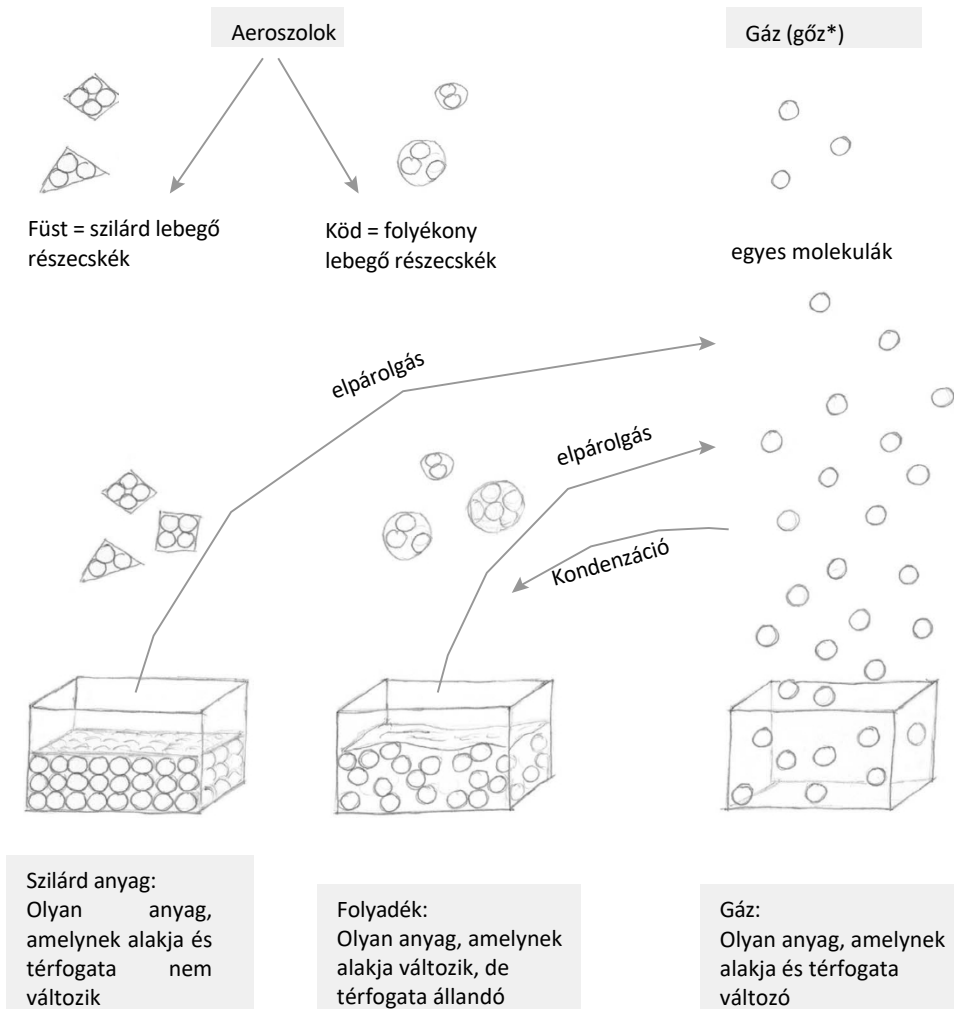
Miért érezhető üzemanyagszag a tankolás során, annak ellenére, hogy a levegőben semmi sem látható? Amit érzünk, az az elpárolgott üzemanyag. Különösen a Super Plus nagyon illékony. Ez azt jelenti, hogy már meglehetősen alacsony hőmérsékleten is elpárolog. Ez a gőz – pontosabban a gáz – távozik a tankcsőből, és ez okozza a szagot.

Téveszme

Az aeroszolmentes levegő tiszta.

Ez az egyszerű példa nagyon szemléletesen mutatja, hogy az aeroszolmentes levegő még korántsem feltétlenül tiszta, és továbbra is terhelést jelenthet a környezetre. Az elpárolgott folyadékok által okozott légszennyezés olyan probléma, amely a munkavédelmi szervezeteknek is komoly fejtörést okoz.

Az aeroszolok és a gázok közötti különbség



Emelkedő hőmérséklet

* Általában a gőz alatt a levegőben lévő csepecskéket értjük, mint például a főzéskor keletkező gőzfelhőket. Természettudományi szempontból azonban a gőz egy anyag gázhalmazállapota (amely párolgás, elpárolgás, forrás vagy szublimáció révén keletkezik).

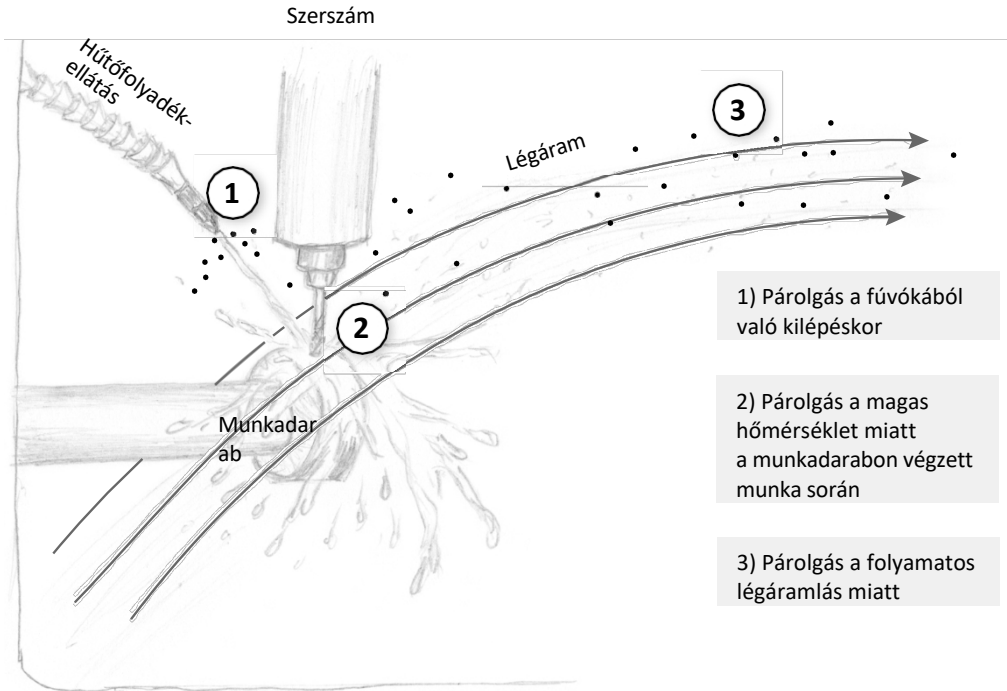
Gyakorlati példa a gépgyártásból

Még jól emlékszem arra, amikor bajorországi értékesítési partnerünkkel együtt felkerestük a bajor gépiparért felelős szakmai szövetséget. Ott olyan tanulmányokat mutattak nekünk, amelyek mérési eredményei alapján a szerszámgépek hűtő- és kenőanyagai által okozott légszennyezést vizsgálták. Az eredmények pontosan ugyanazt a jelenséget mutatták, mint a fenti példában a benzinkút esetében. A szerszámgép körüli levegő elemzése azt mutatta, hogy gyakorlatilag nem történt aeroszolos légszennyezés, és minden levegőminőségi határértéket betartottak. Legalábbis ezt hitték.

Amikor a szakmai biztosító szakértői megvizsgálták a különböző szerszámgépekből elpárolgó hűtő- és kenőanyagok arányát, jelentős mennyiségeket állapítottak meg a levegőben – helyenként akár 100 milligramm hűtő- és kenőanyag-gőz koncentrációt egy köbméter helyiséglevegőben. Ezzel a hatályos határértékeket tízszeresére túllépték! Hogyan történhetett ez?

A gépek belsejében uralkodó nagyon magas nyomás miatt – ahol a hűtő- és kenőanyagokat fúvókák segítségével nagyon finoman porlasztják – kialakulnak az első párolgási hatások. Ezenkívül a fémmegmunkáló szerszámok magas hőmérséklete miatt is nagyon sok folyadék párolog el. Amit ebben az összefüggésben gyakran alábecsülnek, az a szerszámgépek légtisztítóin keresztül áramló állandó légáramlás.

Hűtőfolyadék-gőzök egy szerszámgépben



18. ábra

Emlékezzenek vissza arra, amit az 1. fejezetben megállapítottunk: a felszíváshoz és elszíváshoz nagy mennyiségű elszívott levegőre és a felszívás irányába mutató légáramlásra van szükségünk. Ez a légáramlás tökéletesen összehasonlítható a nagy tó felszínén fújó széllel. Pusztán ez a légáramlás elpárologtatja a vizet, amely a levegő nedvességtartalmának részeként felvételre kerül, és a légáramlással együtt elszállítódik. Hasonló hatások figyelhetők meg egy szerszámgépben vagy éppen tankoláskor is. Ennek következtében hatalmas mennyiségű folyadék pára formájában kerül a levegővel együtt szállításra. Ezek a gőzök jelentős egészségügyi terhelést és szagkellemetlenségeket okozhatnak.

Példa: élelmiszeripar

Ugyanez a jelenség megfigyelhető az élelmiszeriparban és az ipari konyhákban is. Minden olyan berendezésen és főzőeszközön, amely magas hőmérsékleten működik, folyadék párolog el. Tipikus folyamatok a sütés, a pirítás és a fritálás. Ezeknél mindenhol körülbelül 140–190 Celsius-fok közötti hőmérsékletekről van szó. Ennek során az olajok és zsírok részben elpárolognak, és a szellőzőrendszerek által felszívódnak és elszívódnak.

Gyakorlati példa: sütőberendezések

Az élelmiszeriparban már láthattunk olyan burgonyaszírom-sütő berendezéseket, amelyek méreteikben egy nagy fürdőkádnak feleltek meg. Ebben a kádban naponta több százezer burgonyaszíromot sütenek, és eközben hatalmas mennyiségű gőz szabadul fel. Ez nagyrészt a sütőzsíról elpárolgott olajból és a sült krumplichipsben a sütés előtt még megkötött vízből áll. Itt is megfigyeltük a korábban leírt jelenséget: a folyamatból származó levegő részecskeméréssel történő elemzésekor semmiféle légszennyeződést nem lehetett kimutatni, a levegő tiszta és alig szennyezettnek tűnt. Ennek ellenére már szemrevételezéssel is látható volt, hogy ennek a feldolgozási folyamatnak a levegője nem lehetett tiszta, hiszen úgy nézett ki, mint egy régi gőzmozdony gőzfelhője. Emellett – hasonlóan a benzinkúthoz – intenzív szag is érezhető volt. Ez ugyan kellemesebb volt, mint a tankolásakor, de mégis egyértelműen légszennyezésre utalt.

Példa: otthoni konyha

Hasonló jelenséget otthon is megfigyelhet a konyhájában, például amikor magas hőmérsékleten steaket süt. Eközben előfordulhat, hogy egy-egy olajcsepp kifröccsen, amely aeroszolként minősíthető, de ami a tűzhelye felett emelkedik fel, és amit a konyhai elszívó befog és elszív, az főként párolgott olajokat és vizet tartalmazó levegő. Cseppek, aeroszolként és fröccsenések csak kis mennyiségben jutnak el oda.

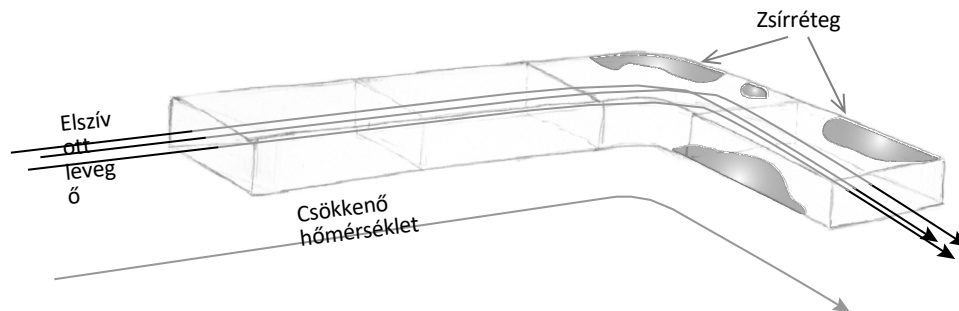
Az elpárolgott folyadékok kondenzációja

Az iparban és a nagyüzemi konyhákban ezek az elpárolgott folyadékok komoly problémákat okoznak a folyamatból származó elszívott levegőben. Ugyanis ezek a gőzök nemcsak kellemetlen szagot okoznak, hanem természetesen újra kondenzálódhatnak is, ha az elszívott levegő megfelelően lehűl. Az elpárolgott folyadék ekkor ismét gázhalmazállapotból folyadékhalmazállapotba vált. Ez főként nagy ipari üzemekben és nagy szállodákban figyelhető meg. Miért? Mert a nagy épületekben a elszívócsatornák gyakran nagy távolságokat tesznek meg.

Higiéniai problémák és tűzveszély a hosszú elszívócsatornák miatt

Akár egy nagy szállodai konyhában zajló főzési folyamatról, akár egy ipari üzem feldolgozási folyamatáról van szó, a folyamat közvetlen közelében elszívott levegőt ezután nagyon hosszú utat kell megtennie a szellőzőcsatornán keresztül, amíg végül elhagyja az épületet, és nagy szellőzőberendezések segítségével kifűjják. A szellőzőcsatornán – amely gyakran téglalap alakú fémlemezekből áll – végigvezető hosszú úton a levegő lehűl. Így a párolgott folyadék kondenzálódik, és lerakódik a szellőzőcsatornában és a szellőzőberendezésben. Ezek a lerakódások nemcsak higiéniai problémát jelentenek, hanem tűzveszélyt is okoznak.

A hosszú elszívócsatornák és a velük járó veszélyek



A külső környezet felé haladva a levegő egyre jobban lehűl. Ennek következtében a gőzök kondenzálódnak, és a elszívócsatorna szakaszán belül víz- és zsírrétegeket képeznek – amelyek táptalajt jelentenek a mikroorganizmusok számára, és potenciális tűzveszélyt jelentenek.

19. ábra

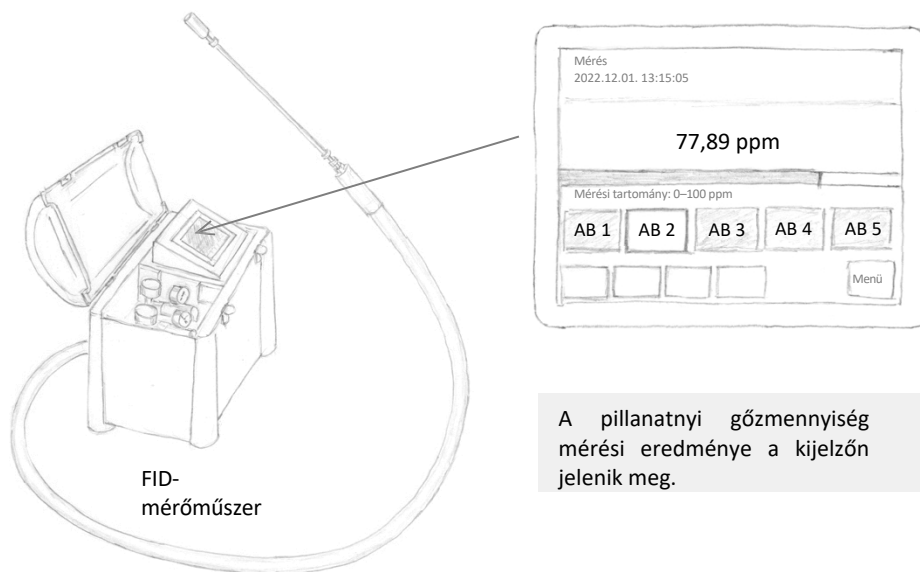
Az európai szabványok előírják a gőzök és azok kondenzációjának figyelembevételét

Az aeroszoloktól és részecskéktől mentes levegő tehát még korántsem feltétlenül tiszta. Amit gyakran kellemetlen szagként érzékelünk, az többnyire gőz. Ezért az olyan európai szabványok is, mint a DIN EN 16282, előírják, hogy az ipari konyhákban a levegő szűrésén és elválasztásán túlmenően figyelmet kell fordítani az elpárolgott folyadékokra és azok kondenzációjára is! Ehhez ezeket – amelyek koncentrációja helyenként nagyon magas is lehet – mérőeszközökkel kell rögzíteni és elemezni.

3.2. A FID-mérőműszerek segíthetnek a levegőszennyezés elemzésében!

A FID-mérőműszerek segítségével meg lehet állapítani, hogy mennyi elpárolgott folyadék van a levegőben. A FID a lángionizációs detektor rövidítése. A FID-mérőműszer segít meghatározni az elpárolgott, könnyen illékony szerves vegyületek mennyiségét. A köznyelvben gyakran emlegetik a kipufogó levegőben található „teljes C”-t is, ami a levegőben jelen lévő gőzhalmazállapotú szénhidrogéneket jelenti. Ha például meg akarjuk tudni, mennyi elpárolgott üzemanyag jut az orrunkba tankolás közben, egy ilyen mérőműszer lenne az ideális eszköz. Hasonlóan hasznosak a FID-mérőműszerek az elpárolgott hűtő- és kenőanyagok elemzésében is a gyártóiparban vagy az élelmiszer-feldolgozó üzemekben.

Részecskék és gőzmennyiség mérése



A légszennyezettség elemzése

Ha elemezzük a fent említett eljárások során keletkező elszívott levegőt, a tényleges terhelés többnyire a levegőben terjedő aeroszolok és gőzök összegéből adódik. Egy ilyen átfogó elemzés eredménye nem ritkán azt mutatja, hogy egy köbméter helyiséglevegőben 80 milligramm gőz és csupán 20 milligramm aeroszol található. Ezt a példára alkalmazva ez azt jelentené, hogy összesen 100 milligramm szennyezőanyag-terhelés van egy köbméter beltéri levegőben. Hogy ez a terhelés egy gépgyártó üzem hűtő- és kenőanyaga, vagy az élelmiszeriparban, illetve egy szállodai konyhában használt sütőolaj, azt jelenleg elhanyagolhatjuk, mivel a probléma és a feladat eleinte ugyanaz: mindkettővel foglalkoznunk kell.

Téveszme

Az elpárolgott folyadékokat nem kell mérni.

Figyelembe kell vennünk mind az elpárolgott folyadékokat, mind az ezekből származó, levegőben terjedő aeroszolókat. A szellőztetés és a levegőtisztítás területén gyakori hiba, hogy ezeket a légszennyező anyagokat egyáltalán nem mérik és nem elemzik. Ha egyáltalán mérnek valamit, akkor legjobb esetben is csak az aeroszolok részecskekoncentrációját. Szinte soha nem elemzik mindkettőt, a gőzöket és az aeroszolókat egyaránt. Ezt megerősítették a bajor munkavédelmi szövetség munkatársaival folytatott beszélgetések is.

A nagy konyhákban található sütőedényeknél, illetve a gyártóüzemekben a forró fémforgácsokat tároló nagy gyújtótartályoknál vagy hasonló berendezéseknél működés közben mindenhol fehér felhőcske emelkedik fel. Látványukban ezek nagyon hasonlítanak ahhoz a gőzhez, amely otthon emelkedik fel, amikor vizet melegítünk egy fazékban. Azonban azzal a különbséggel, hogy az ipari tartályokból felszálló gőz olajokat, valamint hűtő- és kenőanyagokat tartalmaz.

Ezek az anyagok gyakran erős szagterhelés forrásai, és túlságosan kevés figyelmet kapnak, illetve vizsgálatuk is elmarad.

Részecske- és FID-mérés elvégzése

Elkerülhetetlen, hogy az ilyen kibocsátásokat mind részecske-, mind FID-méréssel vizsgáljuk. Ugyanis ezekből a mérésekből lehet levezetni a következő lépést: a levegő megtisztítását a gőzök eltávolításával.

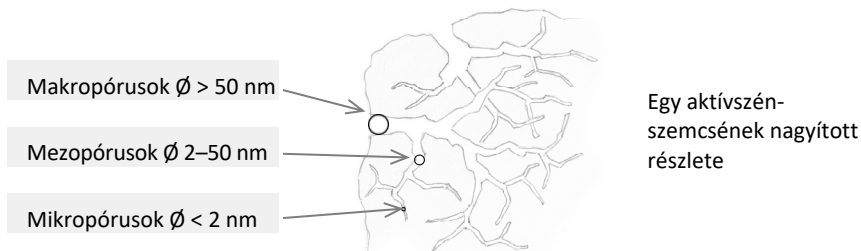
1. megoldási javaslat: aktívszén

Egy lehetséges megoldás például az aktívszén-szűrők alkalmazása lehet. Egyszerűen leírva az aktívszén egyfajta molekuláris szűrőként működik. Nagyon porózus, és számos nagyon apró pórussal rendelkezik, amelyek adszorpció útján képesek felvenni a gőzöket. Így a gőzök az aktívszén felületéhez kötődnek. Ez azonban csak addig működik, amíg az aktívszén nem terhelődik túlzottan a kondenzáció során keletkező aeroszolok miatt.

Az aktívszén használatának hátránya

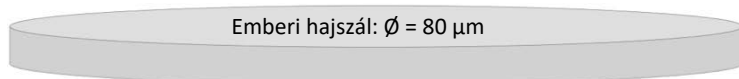
Gyakran előfordul, hogy az aktívszén-szűrőket csak a szellőzőberendezésben, egy hosszú elszívócsatorna végén helyezik el. Mire a levegő odaér, már néhány fokkal lehűlt, és a gőzök kondenzálódni kezdenek. Ezáltal az aktív szén számos apró pórusa túl gyorsan eltömődik, és így hatástalanná válik. Ha a kondenzáló gőzök olajok, akkor az aktív szénnel együtt szó szerint tűzveszélyes kombinációt alkotnak!

Az aktív szén alkalmazása

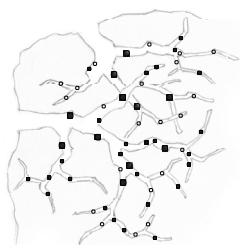


Méretösszehasonlítás:

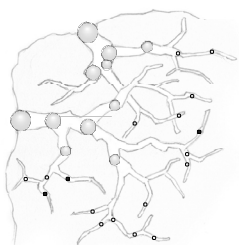
Egy emberi hajszál átmérője kb. $80 \text{ }\mu\text{m}$, egy finom porrézecske $5 \text{ }\mu\text{m}$, egy nagy mezopórusé pedig $0,05 \text{ }\mu\text{m}$ ($= 50 \text{ nm} = 0,00005 \text{ mm}$)



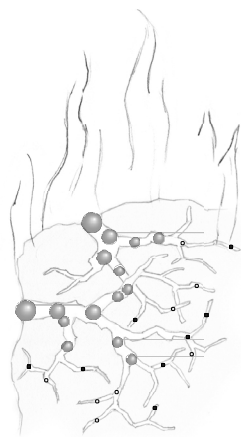
Az adszorpció a pórusok felületén történik. Négy gramm aktív-szén belső felülete megközelítőleg egy futballpálya területének felel meg.



Megkötött gőzök



A kondenzált gőzök által eltömődött pórusok



Kondenzált olajgőzök okozta tűzveszély

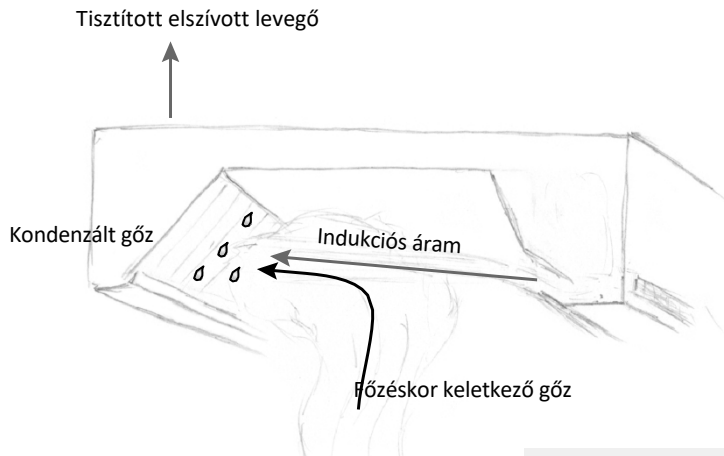
2. megoldási javaslat: kényszerkondenzáció

Egy másik lehetőség az elpárolgott folyadékok kezelésére és mennyiségük csökkentésére a kényszerkondenzáció közvetlenül a begyűjtés és elszívás során.

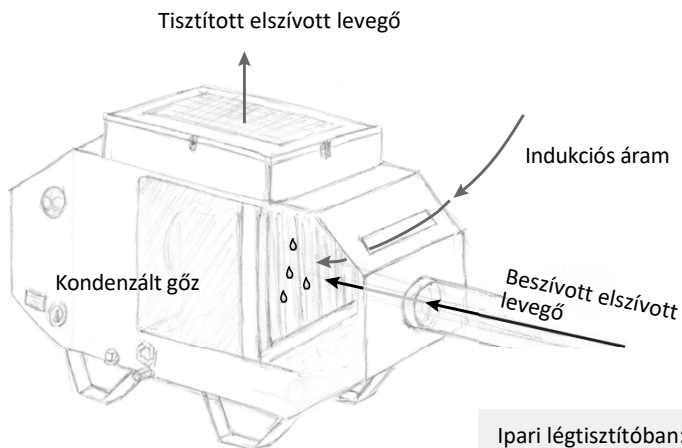
Az 1. fejezetben leírtak szerint a REVEN GMBH-NÁL olyan befogó berendezéseket fejlesztettünk ki, amelyek nemcsak szívnak, hanem fújnak is. Ennek során a befogandó levegőt – az aeroszolokkal, vírusokkal és káros anyagokkal együtt – kiegészítő fújás segítségével a lehető leggyorsabban abba a területbe szállítjuk, ahol a légtisztítók, konyhai elszívók és szellőzőberendezések elszívóteljesítménye a legnagyobb – vagyis közvetlenül a beszívónyílásaik területére.

Ehhez olyan modern konyhai elszívókat és ipari légtisztítókat fejlesztettünk ki, amelyek kiegészítő fújószerkezettel vannak felszerelve. Így a konyhai elszívó esetében biztosítjuk, hogy a főzés során keletkező gőzök gyorsan és közvetlenül a főzőberendezésből a szűrő- és beszívási területre áramoljanak, ahol azokat felfogják, illetve elszívják. Ezen felül ezáltal sikerült elérnünk, hogy a párolgott folyadékok kondenzációját is elősegítsük. Az indukciós áramlás, azaz a befűvott légáram levegője mindig néhány fokkal hidegebb, mint a befogandó levegő. Ez a hőmérséklet-különbség segít nekünk abban, hogy mind továbbfejlesztett elszívó burkolatainkban, mind a szerszámgépekhez készült légtisztítóinkban közvetlenül a befogás és elszívás során kiváltsuk az elpárolgott folyadékok kondenzációját.

Kényszerített kondenzáció



A konyhai elszívóban: a hűvösebb indukciós áram hatására a gőzök kondenzálódnak, és az elszívócsatornába vezető úton leválnak.



Ipari légtisztítóban: a hűvösebb indukciós áram hatására a gőzök az X-CYCLONE® elválasztó előtt kondenzálódnak, és elválasztásra kerülnek.

A kényszerített kondenzáció előnyei

Ha a folyamatból származó elszívott levegőt megtisztítják az elpárolgott folyadékoktól és a levegőben terjedő aeroszoloktól, akkor az valóban megtisztult és tiszta lesz. Ezzel a szagkibocsátás is a minimumra csökken, és utólag beépített szagszűrők segítségével teljesen semlegesíthető. A szagsemlegesítéshez használt technológiák lehetnek UV-, ózon-, aktívszén- vagy kémiai oxidációs rendszerek. Mindegyikükben van egy közös vonás: csak akkor működnek és fejtenek ki teljes teljesítményüket, ha a levegőt előzetesen hatékonyan megtisztították az aeroszoloktól és a gőzöktől. Csak akkor, és kizárólag akkor van értelme a teljes szageltávolítás érdekében utólagosan, kiegészítően telepített technológiák alkalmazásának. Erről bővebben a következő fejezetben.

4. Hogyan semlegesíthetők a vírusok és a szagok semlegesíthetők?



A szagok semlegesítése, valamint a vírusok és baktériumok teljes eltávolítása a levegőből olyan feladat, amely több lépést igényel. Az első lépés a hatékony befogás és elszívás, ezt követően nagyon hatékony aeroszolszűrőkre, illetve elválasztókra van szükség, és ezzel összefüggésben a gőzök kondenzálása is elengedhetetlen, amint azt az előző fejezetben már tárgyaltuk. Csak akkor lehet a szagokat megbízhatóan és teljes mértékben eltávolítani UV-C- vagy ózonrendszerek segítségével, ha mindezeket a lépéseket figyelembe vesszük.

Téveszme

Az UV-sugárzással minden, a vírusokkal, baktériumokkal és szagokkal kapcsolatos probléma megoldható.

A szellőztetés és a levegőtisztítás területén egy széles körben elterjedt és makacsul fennmaradó tévhit az a meggyőződés, hogy nem kell túl sokat törődni ezekkel a lépésekkel, a levegő befogásától és elszívásától kezdve a leválasztáson át egészen a kondenzálásig. Elég, ha bármilyen, ultraibolya fényt kibocsátó lámpát beépítünk a légtisztítóba és a elszívórendszerekbe, és minden rendben lesz. Ezt vagy ehhez hasonlókat sugallják azok az ígérek, amelyeket számos piaci versenytárs tesz, és amelyekről újra és újra hallok.

Rengeteg félreértés és téves információ kering az ultraibolya sugárzással működő légtisztító technológiák működési módjával és hatékonyságával kapcsolatban. Ez azzal kezdődik, hogy sok gyártó nem tájékoztatja a felhasználókat az ultraibolya sugárzás tényleges alkalmazási területéről. Egy fontos szempont, amelyre feltétlenül oda kell figyelni, a következő kérdés: „Mit szeretnénk elérni az UV-C-rendszerek alkalmazásával?” Meg akarjuk-e szabadítani a levegőt a vírusoktól és baktériumoktól, vagy a zsírokat és olajokat akarjuk eltávolítani a kipufogó levegőből? Gondolom, egyetértenelek velem abban, hogy itt már különböző feladatokról van szó, és a vírusok eltávolítása a kipufogó levegőből valójában nem lehet ugyanaz, mint az olajok és zsírok eltávolítása.

Ezért először arról kellene beszélnünk, hogy valójában mire szeretnénk használni az ultraibolya sugárzást a szellőzőrendszerünkben. Melyik UV-C-rendszert alkalmazzuk, az a feladattól függ. Az ilyen rendszerek különböző feladatai a következők lehetnek:

- *Tárgyak fertőtlenítése*
- *A levegőben lévő szagok semlegesítése*
- *A levegőben lévő vírusok és baktériumok elpusztítása*

Már ez a három feladat is három teljesen különböző területet érint, amelyek mindegyike teljesen eltérő UV-C-rendszerek alkalmazását igényli. Nincs olyan rendszer, amely mindhárom feladatot képes lenne megoldani.

Ehhez jön még az úgynevezett zsírégetés mítoszokkal övezett feladata. Hogy miről is van szó, azt később tisztázzuk.

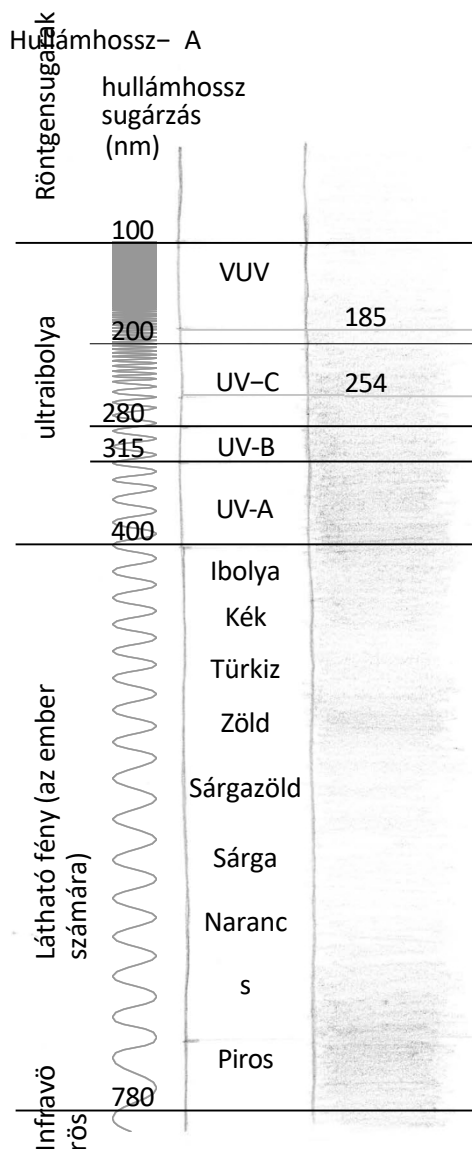
Szükségünk van tehát egy olyan UV-C-rendszerre, amelyet kifejezetten ezen feladatok egyikére terveztek. De még így is kérdéses, hogy az adott feladat valóban kielégítően megoldható-e.

4.1. A UV-C-sugárzással kapcsolatos félreértés

A lakóhelyiségekben használt légtisztítókba gyakran építenek be UV-C-rendszereket. A világszerte tomboló világjárvány nyomán 2020-tól kezdve a piacot szó szerint elárasztották az ilyen légtisztítók. A felhasználóknak azt ígérték, hogy ezeknek a készülékeknek az ultraibolya sugárzása képes elpusztítani a veszélyes vírusokat. De hogyan is működhetne ez?

Látványukban az ilyen UV-C-rendszerek a hagyományos fénycsövekre emlékeztetnek, amelyeket például a nagy irodák világítási rendszereiből ismerünk. Különböző méretekben kaphatók. Ha bekapcsolunk egy UV-C-csövet, az nem fehér fényben világít, mint az irodai világítás, hanem kékesen csillog, ahogyan azt a szoláriumokból ismerjük. Ez a kék fény egy mesterségesen előállított, rövid hullámhosszú UV-C-sugárzás, amelynek hullámhossza körülbelül 250–280 nanométer.

Elektromágneses spektrum



UV-A és UV-B

Ezek az UV-sugarak az egyetlenek, amelyek eljutnak a Földre. Az embernek szüksége van rájuk a szervezetben termelődő D-vitamin képzéséhez. Ezek okozzák a bőr barnulását. Túl nagy dózisban azonban a sugárzás káros, mind rövid távon (napégés veszélye), mind hosszú távon (bőrrák veszélye).

UV-C

A sterilizáláshoz 250–280 nm hullámhosszúságú, mesterségesen előállított UV-C fényt használnak. Különösen a 254 nm-es hullámhossz ideális a mikroorganizmusok genetikai anyagának károsítására. Az UV-C fény az emberre is káros hatással van.

V (vákuum) UV

Az ultraibolya spektrumból 185 nm hullámhosszúságú, mesterségesen előállított fényt használnak az ózon képzéséhez. A módszer csak speciális kvarccsővekkel működik.

A hullámhossz tényezője

Az UV-C rendszerek esetében a sugárzás hullámhossz-tartománya fontos, mivel csak így lehet elpusztítani a baktériumokat és vírusokat, illetve megakadályozni, hogy génállományuk károsodása miatt tovább szaporodjanak. Ezt a tudást már régóta alkalmazzák az orvostechika területén, például a műtéti eszközök és az orvosi szerszámok fertőtlenítésére. Ezek a fertőtlenítő készülékek gyakran téglalap alakú dobozok, amelyek kinézetükben hasonlítanak a kereskedelemben kapható mikrohullámú sütőkhöz. Ezekbe a dobozokba UV-C-csövek vannak beépítve, amelyek segítségével a belső tér 250–280 nanométeres hullámhossz-tartományban besugározható. Ennek során az ilyen ultraibolya-sterilizálóba helyezett tárgyakat az UV-C-sugárzás fertőtleníti.

Az idő tényezője

Ezen UV-C-sterilizátorok műszaki adatlapjain újra és újra rámutatnak arra, hogy a teljes kórokozómentesség, azaz a sterilizálás már körülbelül 30 másodperces besugárzási idő után is elérhető lehet.

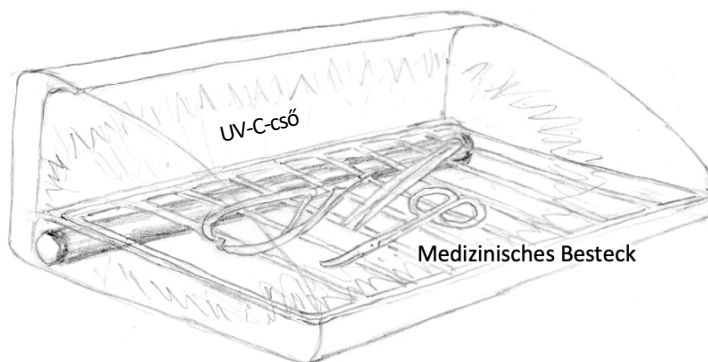
A legtöbb UV-C-sterilizálónál 30 másodperctől 60 percig terjedő fertőtlenítési idő állítható be, hasonlóan a háztartási mikrohullámú sütő időbeállításához.

Hullámhossz + idő = kívánt eredmény

Így tehát kijelöltünk egy első alkalmazási területet, amelyhez számos műszaki megoldás, termék és tapasztalat áll rendelkezésre: ha vírusokat és baktériumokat szeretnénk teljesen ártalmatlanná tenni olyan tárgyakon, mint ollók, kések, fogók, tűk stb., ehhez mesterségesen előállított ultraibolya sugárzásra van szükségünk, körülbelül 250–280 nanométeres hullámhossz-tartományban. Az is nagyon fontos, hogy ezeket a tárgyakat legalább 30 másodpercig tegyük ki ennek a sugárzásnak, hogy valóban sterilek legyenek. Így

legalábbis ez az ajánlás az UV-C-sterilizátorok gyártóitól, amelyek már évek óta használatban vannak az orvostechika területén.

Fertőtlenítés UV-C-sterilizátorban



Ebben a modern sterilizátorban két lépésben zajlik a folyamat:

- UV-C-sugárzás (254 nm) legalább 30 másodpercig, a mikroorganizmusok genetikai anyagának megsemmisítése érdekében.
- VUV-sugárzás (185 nm) a mikroorganizmusok teljes elpusztítására ózon segítségével.

24. ábra

Mit kellene vagy mit kell ebből levonnunk a szellőztetés és a levegőtisztítás szempontjából?

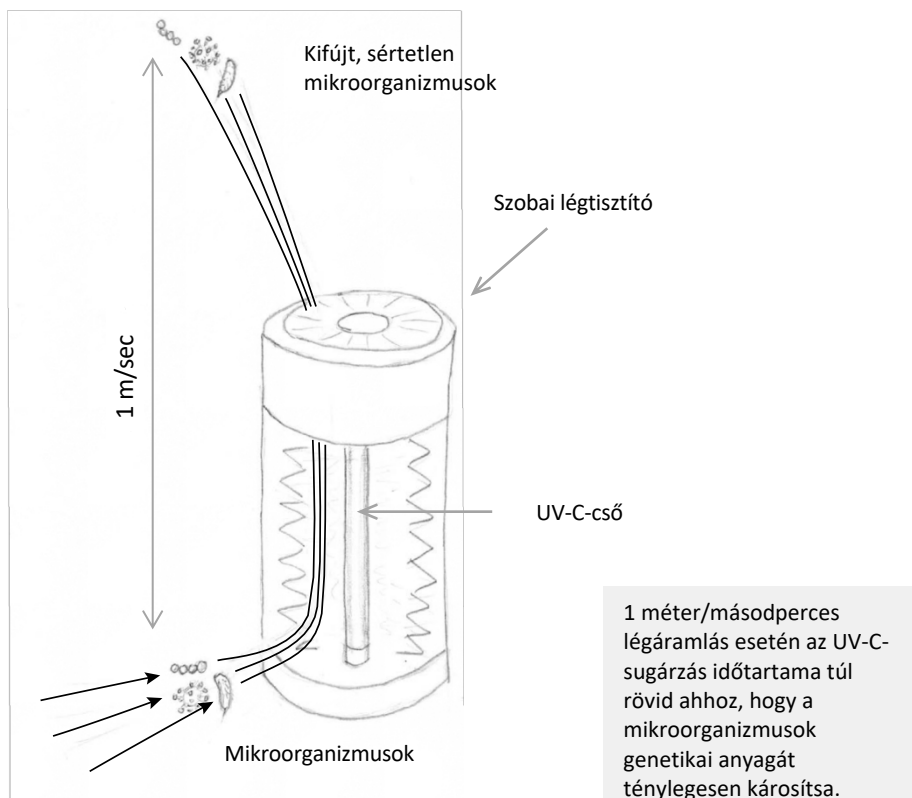
Valójában a válasz erre a kérdésre meglehetősen egyszerű és kézenfekvő: ha baktériumokat és vírusokat akarunk elpusztítani egy légáramban, ehhez ugyanarra az ultraibolya sugárzásra van szükségünk, és ennek egy bizonyos ideig hatnia kell a vírusokra és baktériumokra.

Téveszme

A levegő sterilizálása pontosan ugyanúgy működik, mint a tárgyak esetében.

Bármennyire is egyszerűnek és kézenfekvőnek tűnik ez, a szellőztetőtechnika terén itt kezdődnek a problémák. A szellőzőberendezésekben és légtisztítókban áramló levegővel van dolgunk, és nem olyan tárgyakkal, amelyeket a sterilizálás során fél percre nem mozgatnak. A levegő a szellőzőberendezésekben és légtisztítókban legalább egy méter/másodperc sebességgel halad. Minden, ami ebben a légáramban található – így a baktériumok és vírusok is – egy másodperc alatt legalább egy métert tesz meg. Sok berendezésben ez a távolság még nagyobb is, másodpercenként két-öt méter között mozog.

A levegő által egy másodperc alatt megtett út



25. ábra

Ez a körülmény máris az első problémát és egy nagy kihívást jelent. Ahogyan az orvostechnikai sterilizátorok leírásából megtudtuk, célszerű lenne a baktériumokat és vírusokat legalább harminc másodpercig ultraibolya sugárzásnak kitenni. Hogyan valósíthatjuk ezt meg egy szellőzőrendszerben?

Egy másodpercenként egy méteres légsebességű elszívórendszer esetében harminc méter hosszú, UV-C-csővel felszerelt elszívócsatornára lenne szükség. Ilyen berendezést azonban nem fog találni. Az UV-C-csővel ellátott szellőzőberendezések és légtisztítók ritkán hosszabbak egy méternél. Így nagyon egyszerűen kiszámítható, hogy ezekben a készülékekben mennyi ideig vannak kitéve a levegővel szállított baktériumok és vírusok az UV-C-sugárzásnak: az ilyen rendszerekben a sugárzásnak csupán egy másodperc áll rendelkezésére, hogy hatást gyakoroljon a vírusokra és baktériumokra. A sterilizáláshoz ez túl rövid időtartam.

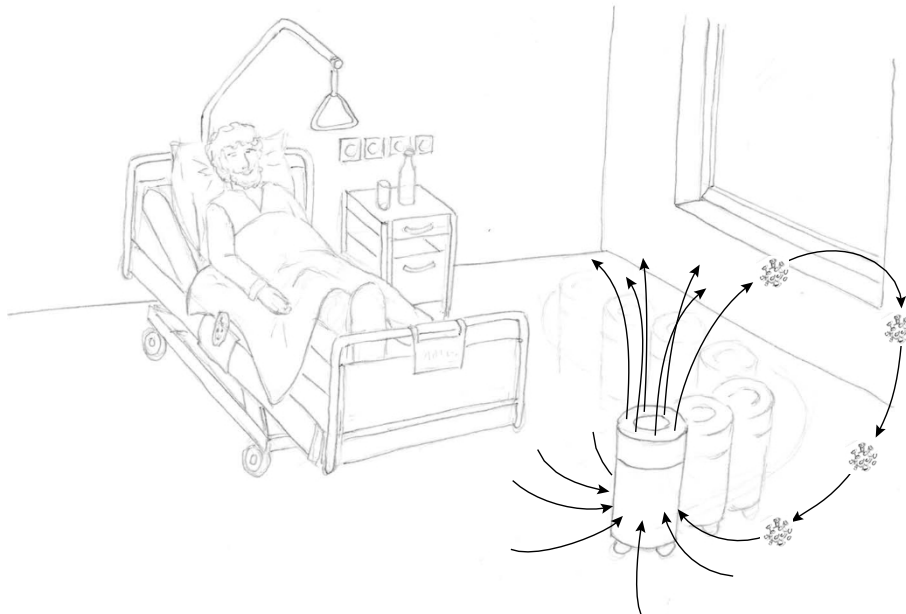
Tehát nem elég egyszerűen csak UV-C-csőket beépíteni egy szellőzőberendezésbe vagy légtisztítóba, és legtöbbször ez nem is célszerű. Mit kell tehát tenni?

Egyik lehetőség az lenne, ha a levegőt legalább fél percig újra és újra az UV-C-csővek hatókörébe juttatnánk, hogy elérjük a megfelelően hosszú hatástartamot.

Gyakorlati példa: fertőtlenítő robotok

Alapvetően pontosan ezt teszik a kórházakban az újonnan kifejlesztett fertőtlenítő robotok. Ezeket a készülékeket a pandémia idején fejlesztették ki, és kórtermi használatra alkalmasak. Önállóan behajtanak egy szobába, és ott megtisztítják a levegőt. Ehhez beszívják a levegőt, majd újra kifújják. Eközben a levegőt ultraibolya sugárzásnak teszik ki. Ezt a folyamatot egy bizonyos ideig folyamatosan ismételik a szobában. Ahogyan sejthetik, így legalább harminc másodperces hatástartam érhető el.

Fertőtlenítő robotok a kórteremben



Csak akkor lehet az abban található kórházi kórokozókat az UV-C-sugárzással ártalmatlanná tenni, ha ugyanazt a levegőt „folyamatos körforgásban” vezetik át a fertőtlenítő roboton (egyszerűsített ábra).

26. ábra

Ez a folyamat azonban csak akkor zajlhat le, ha zárt térről van szó, amelyben a robot egy bizonyos ideig újra és újra ugyanazt a levegőt szívhatja be, besugározhatja és kifújhatja. Ha viszont szellőztetett helyiségről van szó, ahová friss levegőt fújnak be, és ahonnan a használt, szennyezett levegőt elszívják, a helyzet teljesen más.

Nincs elég idő

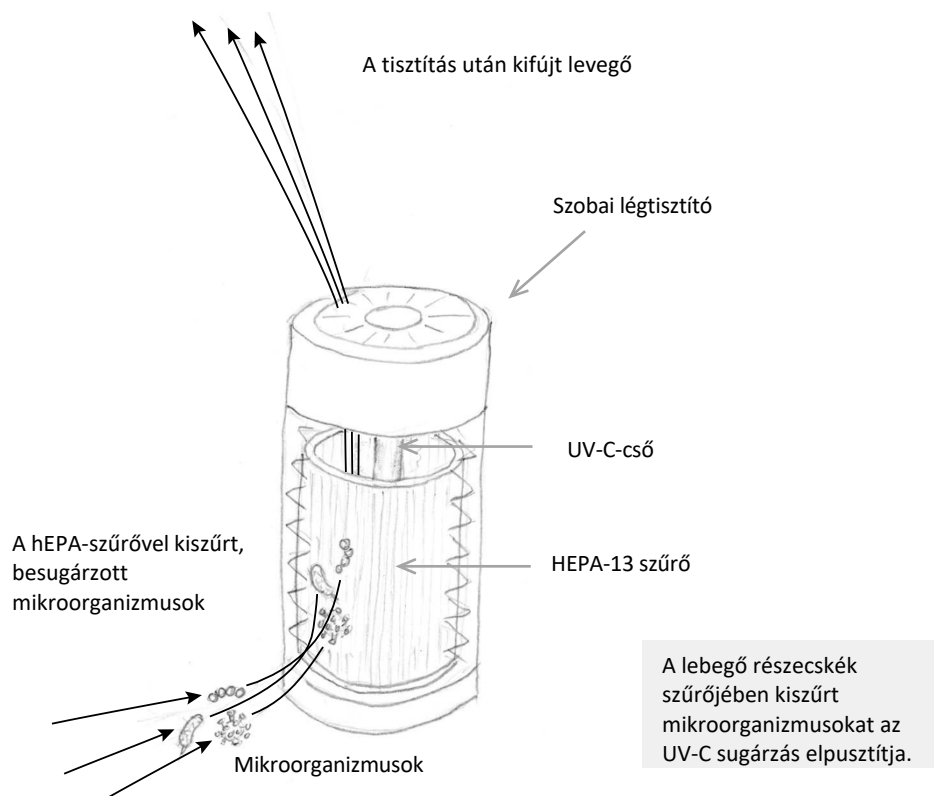
Még az egyszerű és kis méretű helyiségtisztítók esetében is alig több mint egy másodpercig tart a levegő beszívása, tisztítása és kifújása. Ezért egyértelmű, hogy ilyen kompakt

légtisztítóknak semmiképpen sem tudjuk a levegőt kizárólag UV-C-sugárzással sterilizálni. Erre egyszerűen nincs elég idő.

Szuszpendált részecskék szűrőinek alkalmazása

A kompakt szobai légtisztítók teljesítményét porszűrők beépítésével lehet javítani. Ezek nagy teljesítményű szűrők, amelyek a levegőből a nagyon apró részecskéket, valamint a vírusokat és baktériumokat is kiszűrik. Az UV-C-sugárzással kombinálva, amely elég hosszú ideig besugározza ezt a nagy teljesítményű szűrőt, a szűrőn lévő vírusok és baktériumok elpusztíthatók.

Segédeszközök: lebegő részecskeszűrők



27. ábra

Számos hasonló példa létezik. Végso soron mindig arról van szó, hogy a megfelelő ultraibolya sugárzást elég hosszú ideig hatással legyen a vírusokra és baktériumokra ahhoz, hogy azok genetikai anyagát kellő mértékben károsítsa, és megakadályozza szaporodásukat. Csak a teljes elpusztítás révén érhető el valódi sterilizálás. Kicsit tudományosan ezt a tény a következőképpen lehetne összefoglalni:

A sugárzás halálos hatással van a vírusokra és baktériumokra, amennyiben elég intenzív és elég hosszú ideig hat rájuk.

A sugárzási intenzitás tényezője

A sugárzási intenzitás a csövektől függ, pontosabban azok négyzetméterenkénti teljesítményétől. Minél nagyobb teljesítményt (wattban kifejezve) alkalmazunk, annál rövidebb a szükséges hatástartam. Ha alacsony teljesítményű UV-C-LED-eket használunk, amelyek LED-lámpánként csak néhány watt teljesítményt nyújtanak, akkor ennek megfelelően hosszabb hatástartamra van szükségünk. Az összefüggés viszonylag egyszerű: minél nagyobb a sugárzási teljesítmény és minél hosszabb a besugárzási idő, annál nagyobb a fertőtlenítő hatás – és fordítva.

Térjünk most át a kipufogó levegőből származó olajok és zsírok eltávolítására, és arra, hogy az UV-C-sugárzás hogyan segíthet ebben. Ha közelebbről megvizsgáljuk ezt a kérdést, a szellőztetőtechnika és a levegőtisztítás területén az egyik legnagyobb félreértéssel találkozunk. Ez azonban inkább rejtély, mint félreértés, és a következő kérdéssel írható le.

4.2. Képes-e az UV-C-sugárzás eltávolítani az aeroszolókat?

Ha hinni lehet a szellőztetőtechnika számos gyártójának állításainak, akkor ez így van. Gyakran állítják, hogy az UV-C-csővekből származó ultraibolya sugárzás képes eltávolítani az olajokat és zsírokat a kipufogott levegőből. Ez a mítosz elsősorban az ipari konyhai szellőztetés területén terjedt el széles körben. Egyes gyártók szerint nem annyira a második fejezetben bemutatott aeroszol-leválasztók, hanem inkább az UV-C-rendszerek azok, amelyek állítólag zsír- és olajmentessé teszik a konyhai szellőztetést.

Mint azt korábban már kifejtettem, az ilyen olajok és zsírok a levegőben akár aeroszolként, akár elpárolgott formában is jelen lehetnek.

Téveszme

Az UV-C-sugárzás megtisztítja a levegőt a zsíroktól és olajoktól.

Sok gyártó állítja, hogy egy megfelelő UV-C-rendszer a konyhai elszívórendszerben képes kiválasztani a légáramból a zsírok és olajok valamennyi formáját, és teljesen olaj- és zsírmertessé tenni a konyhai szellőzőrendszert.

Nagyszerűen hangzik, nem igaz? Sajnos ezeket a forradalmi légtisztító tulajdonságokat eddig még egyszer sem bizonyították meg legalább valamennyire tudományos szinten.

Ma már tudjuk, milyen összetett feladat a baktériumok és vírusok megbízható eltávolítása UV-C-sugárzás segítségével. Azonban a levegő megtisztítása az aeroszolóktól, valamint az olajokból és zsírokból származó cseppektől ultraibolya sugárzás segítségével teljesen más dolog!

Ez már ezeknek a légszennyező anyagoknak a méretével és tulajdonságaival kezdődik: egy vírus sokszor kisebb, mint egy olaj-aeroszol. Ráadásul a vírusok és baktériumok nem egyszerűen elpárolognak vagy más módon bomlanak le. Az ultraibolya sugárzás olyan súlyosan károsítja a genetikai anyagukat, hogy már nem tudnak szaporodni, és elpusztulnak.

Az olajoktól és zsíroktól való elszívott levegő tisztításával kapcsolatban azt állítják, hogy ezek ennek hatására teljesen feloldódnak és eltűnnek – legalábbis a nagy szavú ígéretek szerint! Hogyan működhetne ez?

Téveszme

A zsír a fotolízis hatására teljesen lebomlik.

A gyártók a legmerészebb állításokat fogalmazzák meg ezzel a témával kapcsolatban. Állítólag az UV-speciális lámpák képesek fotolízis útján lebontani a levegőben található zsírtelhelést. Ezáltal a zsírtelhelés 95%-kal csökkenne, és a zsír végtermékekké – oxigénné, szén-dioxiddá, vízzé és porszerű maradványanyagokká – alakulna át.

Ha megkérdezzük, hogy ezeket az állításokat milyen mérési módszerekkel rögzítették és validálták, mindig ugyanazt a választ halljuk: „Mi így figyeltük meg!” vagy „Már évek óta szerelünk be ilyen berendezéseket, és ezt újra és újra megfigyeltük, nem tévedhetünk!”

A legtöbb esetben nincs semmiféle mérési technika, nincsenek mérési jegyzőkönyvek, és soha nem készültek olyan tanulmányok sem, amelyek akár csak részben is alátámasztanák ezeket az állításokat és megfigyeléseket. Az ígéreteket és a biztosítékokat több évtizedes tapasztalattal és saját megfigyelésekkel indokolják, amelyek ilyen hosszú idő alatt nem lehetnek tévesek.

Gyakorlati példa: kipufogógáz-értékek

A Volkswagen-konzern is évtizedes tapasztalattal rendelkezik a dízelmotorok fejlesztésében, és biztos volt abban, hogy motorjainak kipufogógáz-értékei tekintetében nem tévedhet.

Honnan származik ez a túlzott lelkesedés? Miért alkalmazzák ennyire sok gyártó a kereskedelmi konyhai szellőztetésben ezt a technológiát?

Mert rendkívül jövedelmező üzletről van szó. A csövek beszerzése problémamentes, a szellőzőrendszerbe való beépítését pedig bármelyik közepesen jártas villanyszerelő elvégezheti, így valóban csekély ráfordítással több ezer euróval lehet felértékelni a konyhai szellőzőrendszert!

Téveszme

A konyhai szellőzőrendszer minden esetben felértékelődik az UV-fény alkalmazásával.

Itt azonban felmerül a kérdés: valóban felértékelünk-e a rendszert? A zsírt és az olajat valóban 95%-ban eltávolítja-e? Valóban tartós hozzáadott értéket jelent-e ez a felhasználó számára ez a kiegészítő beruházás?

Ahhoz, hogy erre komolyan válaszolhassunk, meg kell vizsgálnunk a tényeket. Csak ezután kísérlelhetjük meg megválaszolni a korábban feltett kérdéseket. Ehhez felsoroljuk az összes megalapozott tény, amely ezekkel a mítoszokkal kapcsolatos:

1. Egy UV-rendszernek ózont kell termelnie

Az UV-C-rendszerek csak akkor hatnak a kereskedelmi konyhai elszívott levegőben található zsírokra és olajokra, ha a megfelelő UV-C-csőveket használják. Ezeknek képesnek kell lenniük 200 nanométernél rövidebb hullámhosszúságú ultraibolya sugárzás kibocsátására. Ez csak a

szintetikus kvarcüvegből készült csövek esetében lehetséges. A trükk az, hogy az 185 nanométeres hullámhossz-tartományba eső ultraibolya sugárzást ez az üveg nem szűri ki, így az kibocsátható. Ez az ózontermelés alapvető feltétele.

2. Az ózon feladata a zsírok és olajok oxidálása

A megfelelő csövek és a megfelelő hullámhosszúságú sugárzás alkalmazásával tehát ózon keletkezik a szellőzőrendszerben. Az ózon fontos ahhoz, hogy egyáltalán hatást lehessen elérni az olajokra, zsírokra és sok más anyagra. Ugyanakkor nagyon erős oxidálószer. Emiatt egészségre káros, sőt, rákkeltő hatása is gyanúba keveredett. A konyhai elszívott levegőben azonban megpróbálható az olajok és zsírok oxidálása. De itt szándékosan hangsúlyozom: **MEGPRÓBÁLHATÓ!**

Kutatási jelentés az USA-ból

A legújabb amerikai tanulmányok igazolják, hogy ez az oxidáló hatás az olajokra és zsírokra ugyan fennáll, de nem túl hatékony. Az olajok és zsírok csak részben oxidálódnak, és ezek a tanulmányok nem támasztják alá azt az állítást, hogy az olajok és zsírok teljes mértékben eltávolíthatók lennének. Éppen ellenkezőleg! Az ózon magas veszélyességi potenciálja miatt inkább az a kérdés merül fel, hogy az ilyen rendszerekben történő ózontermelés nem okoz-e több kárt a környezetnek, mint amennyit segít! A szóban forgó kutatási jelentést 2020-ban tette közzé az ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers), címe: „Research Project 1d14 Determining the Effectiveness of UVC Systems on Commercial Cooking Effluent”.

3. Hatékony zsíreltávolítás az előzetes fázisban

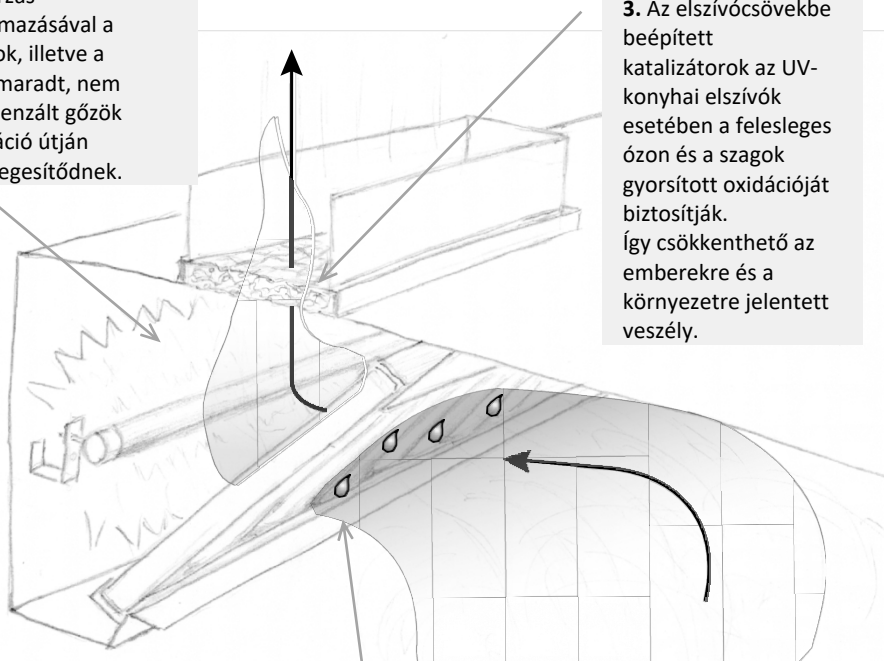
Mivel az ózon hatása az olajokra és zsírokra csekély, a konyhai elszívórendszerekben a fő hangsúlyt a levegő befogására, elszívására és szűrővel, valamint elválasztókkal történő tisztítására kell helyezni, hogy így a levegő már a lehető legnagyobb mértékben mentes legyen az olajoktól és zsíroktól. Ha a levegő emellett erős szagot áraszt, az az elpárolgott

olajokkal és zsírokkal. Erre a célra – és kizárólag erre – alkalmazható korlátozott mértékben egy ózont termelő UV-C-rendszer. Eközben azonban nem szabad figyelmen kívül hagyni az ilyen rendszerek veszélyességét.

Az UV-sugárzás ésszerű alkalmazása a konyhai elszívókban

2. Az ózontképző UV-sugárzás alkalmazásával a szagok, illetve a megmaradt, nem kondenzált gőzök oxidáció útján semlegesítődnek.

3. Az elszívócsövekbe beépített katalizátorok az UV-konyhai elszívók esetében a felesleges ózon és a szagok gyorsított oxidációját biztosítják. Így csökkenthető az emberekre és a környezetre jelentett veszély.



1. A kondenzált gőzök, illetve zsír-/olaj-aeroszolok leválasztása egy 99,999%-os leválasztási hatékonyságú leválasztóval.

4. Az ózon potenciálisan rákkeltő

Az UV-C-berendezések, amelyek sugárzásuk révén ózont termelnek, jelentős veszélyt jelentenek, amelyre a kereskedelmi konyhákban dolgozó felhasználókat túl ritkán hívják fel a figyelmet, nemhogy részletesen oktatók őket az egészségügyi kockázatok elkerüléséről. Mint már korábban említettük, ez a sugárzás károsíthatja a vírusok és baktériumok genetikai anyagát. A genetikai anyagot károsító hatás azonban nem korlátozódik csupán a vírusokra és baktériumokra. Azokra az emberekre is hatással van, akik ennek a sugárzásnak ki vannak téve. A keletkező ózon egészségre káros gáz, és rákkeltő hatása gyanúja merül fel.

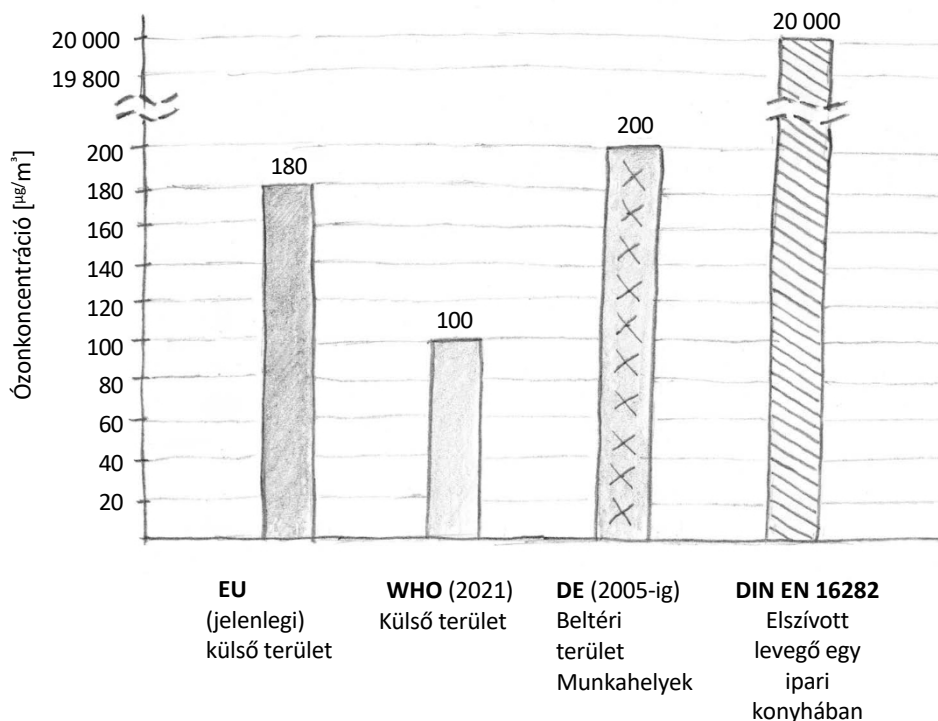
Emiatt Németországban időközben minden beltéri ózonra vonatkozó határértéket eltöröltek. A városokban rendszeresen ózonriadó is kiadnak, ha a kültéri ózonértékek túl magasak. Magas értékek esetén a lakosságnak azt tanácsolják, hogy ne sportoljanak a szabadban, és lehetőség szerint maradjanak otthon. A szellőztetés és a levegőtisztítás területén alkalmazott számos műszaki megoldás azonban éppen olyan sugárzásokat használ, amelyek ilyen veszélyes gázokat termelnek.

Gyakorlati példa: konyhai szellőzés

Már többször is saját szememmel láttam, hogy szakácsok meséltek nekem a konyhai elszívók szűrői mögött elhelyezett fénycsövekről, és nem voltak biztosak abban, hogy azok még működnek-e. Amikor közöltem velük és a konyhai személyzettel, hogy azok nem fénycsövek, hanem UV-C-rendszerek, amelyek veszélyes sugárzást bocsátanak ki és egészségre káros gázokat szabadítanak fel, nem egyszer láttam nagyon megrémült arcokat.

Ennyit a tények felsorolásáról, amely nem törekszik a teljességre, és bizonyára még néhány ponttal kiegészíthető lenne.

Ózon-határértékek



EU: maximális expozíciós mennyiség naponta egy órában (1 órás átlag), e érték túllépése esetén a lakosságot tájékoztatják



WHO: maximális expozíciós mennyiség napi nyolc óra alatt (8 órás átlag)



DE (2005-ig érvényes): napi MAK (maximális munkahelyi koncentráció). Azóta Németországban nincsenek ózonhatárértékek a beltéri munkahelyekre vonatkozóan, mivel az ózon gyanúja szerint rákkeltő hatással bír az emberre. Svájcban továbbra is a 200 µg-os MAK-érték érvényes.



A **DIN EN 16282** szabvány szerint 20 000 µg az ózon felső határértéke a konyhai elszívóban kilépő levegőben. Ez a németországi munkahelyi határérték (2005-ig érvényes) 100-szorosát jelenti! Vagy a WHO által a kültéri területekre előírt 8 órás átlagérték 200-szorosát!

A mérési technika például egy további szempont lenne. El sem tudják képzelni, hány gyártó forgalmaz ózontermelő rendszereket, de nem rendelkezik megfelelő mérési technikával a veszélyes ózongáz koncentrációjának meghatározásához.

Téveszme

Az olajok és zsírok eltűntek, mert (bizonyos technikákkal) nem lehetett őket mérni.

Vannak olyan gyártók is, akik megfelelő részecskemérő technikával állítólag nyomon követhető bizonyítékot nyújtanak az összes olaj és zsír eltávolításáról. Ilyen esetekben gyakran elegendő lenne egy egyszerű hőmérsékletmérés. Miért? Egyes rendszereknél tucatnyi UV-C-cső van felszerelve a elszívócsatornában vagy a konyhai elszívóban. Ezek működés közben nagyon felmelegednek, és így felmelegítik az egész környező teret. Ezáltal sok olaj és zsír elpárolog.

5. Hogyan lehet láthatóvá tenni a légáramlásokat?



A pandémia kezdetén, 2020-ban egy „izgalmas” tendenciát figyelhettünk meg Németországban. Nemcsak a kompakt helyiségtisztítók kínálata robbant hirtelen meg, hanem egyszerre több száz szellőzési szakértő és aerodinamikus szakember is megjelent Németországban. Több ezer grafikus ábrázolás készült a légáramlásról nagy irodákban vagy tantermekben, és ezeket mindenfelé bemutatták. Mi volt a közös ezekben az ábrákban? Szép színesek voltak, és sok nyíl volt rajtuk. Ezek többnyire egy légtisztítóra mutattak, amelyet a szoba sarkában helyeztek el, és amelynek feladata az volt, hogy megtisztítsa a helyiség levegőjét a vírusoktól és a káros anyagoktól.

Nos, az 1. fejezetből már tudjuk, hogy rendkívül bonyolult dolog valamit beszívni – már csak ezért is világosnak kell lennie, hogy egy sarokban elhelyezett légtisztító egyáltalán nem képes beszívni egy tanterem vagy nagyterű iroda teljes levegőmennyiségét. Akármennyi színes nyíl is mutasson a légtisztítóra, a levegő nem fog oda áramlani (lásd az 5. ábrát)!

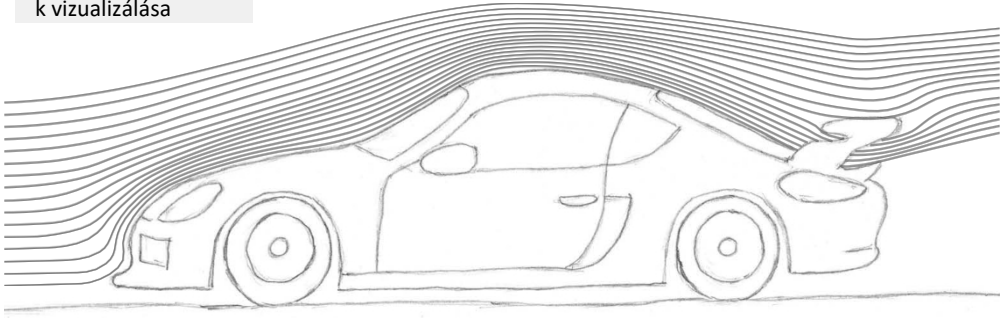
Ezeknek a színes ábráknak a többsége tehát egyszerűen csak kitalált légáramlásokat ábrázol, amelyeknek semmi közük a valósághoz. De hogyan lehet megállapítani és láthatóvá tenni ezeknek a légáramlásoknak a tényleges lefolyását?

Alap kutatás a légáramlások elemzéséhez

A Berlini Műszaki Egyetem Hermann–Rietschel Intézete kiterjedt alap kutatást végez ebben a témában. A légáramlások elemzéséről és a szellőztetési intézkedések hatékonyságáról az intézet képviselői a következőket mondják: „Annak értékeléséhez, hogy a levegőcsere és a szennyezőanyagok eltávolítása mennyire működik jól a helyiségben, illetve részletesen minden egyes pontján, az úgynevezett szellőztetési hatékonyságot használjuk. Ezt numerikus áramlási szimulációkkal és/vagy mérési módszerekkel is meg lehet határozni. Minden projektünkben ezeket a módszereket alkalmazzuk a helyiségi légáramlások értékelésére és újszerű, hatékony szellőztetési formák kifejlesztésére.”

A légáramlások vizualizálása

Egy versenyautó
aerodinamikájána
k vizualizálása



A repülőgép- és versenyautó-gyártásban az áramlási szimuláció már régóta ismert. Ma már a légáramlások számítását és vizualizálását a helyiséglevegő-technika optimalizálására is alkalmazzák.

30. ábra

Mit jelent ez számunkra? Szükségünk van tehát áramlási szimulációra és a megfelelő mérőtechnikára. Pontosan erről esett szó az előző fejezetekben, például az aeroszolszűrőssel vagy az UV-C-technológiával kapcsolatban. Hogyan valósul meg ez a módszer a légáramlás esetében?

5.1. A légáramlásokról szóló színes képek miatti félreértés

A sok nyíllal ellátott színes képek sem numerikus áramlási szimulációt ábrázolnak, sem pedig egy bonyolult mérési sorozat eredményein alapulnak. A legtöbb esetben ezek a légáramlásról készült, szabadon kitalált ábrázolások, amelyeknek semmi közük a valós körülményekhez. Tehát szó szerint a levegőből ragadták őket, és még csak megközelítőleg sem tükrözik a valóságot!

Téveszme

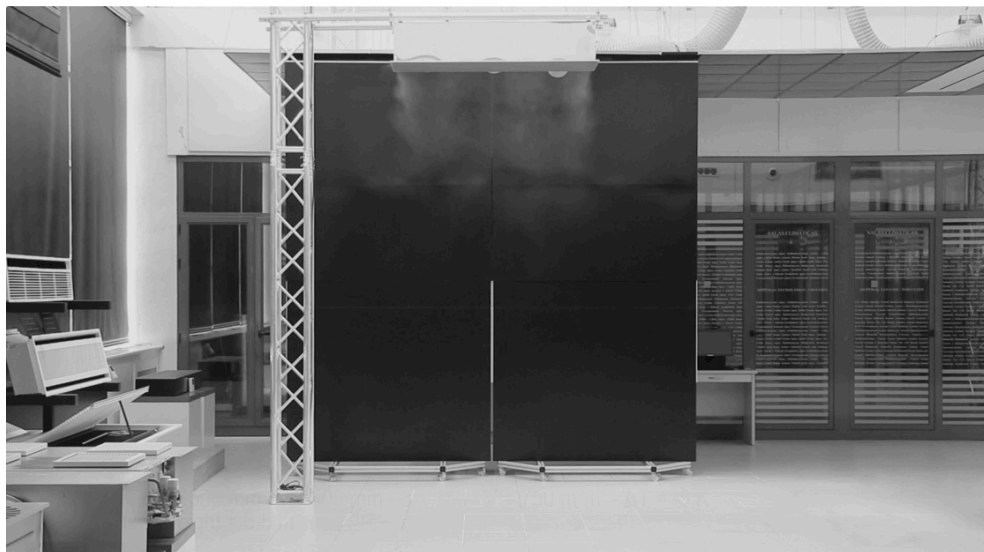
A légáramlás pályája előre jelezhető.

A szellőztetőtechnika területén elterjedt tévhit az a meggondolatlan feltételezés, hogy előre tudjuk, hogyan fog viselkedni a levegő. A 2. fejezetben bemutattuk, milyen téves értelmezésekhez és hibás következtetésekhez vezethet ez a termékfejlesztés során. Hiszen mi is elkövettük ezt a hibát a csapatunkban – annak idején, az X-CYCLONE® technológiánk fejlesztése során.

A SChAKO CFD-kompetenciaközpont

Az áramlási szimulációk és a mérés technika területén a SChAKO vállalatcsoportunkban még egy saját csapat is működik. A spanyolországi SChAKO IBERIA-nál létrehoztunk egy CFD-kompetenciaközpontot. Ez a csapat elsősorban pontosan azzal a feladattal foglalkozik, amelyet a berlini Műszaki Egyetem Hermann-Rietschel Intézete oly találóan fogalmazott meg! CFD-kompetenciaközpontunkban numerikus áramlási szimulációk és megfelelő mérőtechnikai berendezések segítségével láthatóvá tesszük a légáramlásokat.

A SCHAKO labor működés közben



Bepillantás a beszívott levegő áramlásainak vizualizálására szolgáló vizsgálati felépítésbe

31. ábra

Téveszme

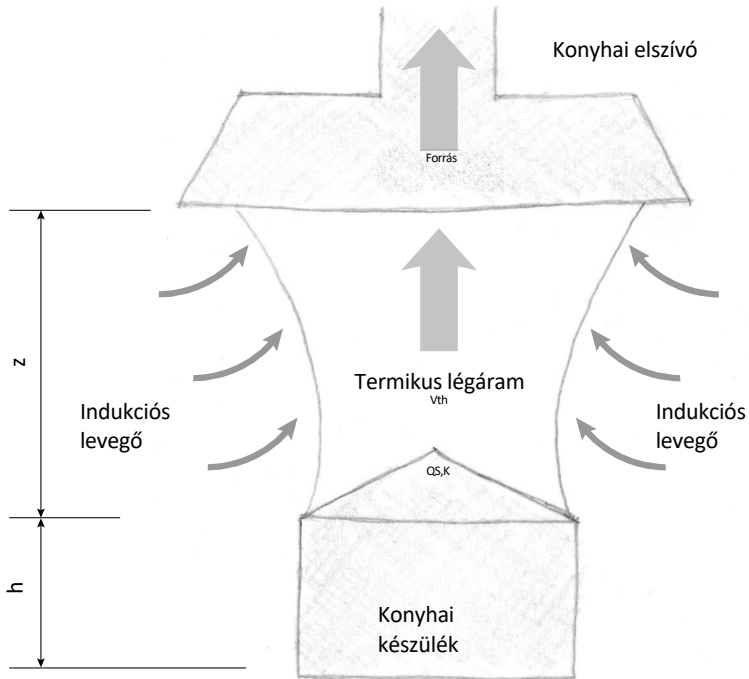
A láthatóvá tételi modellek megfelelnek a valóságnak.

A szabványok és irányelvek is gyakran ugyanazon a téves elképzelésen alapulnak, mint a „színes képecskékben” látható ábrázolások. A kereskedelmi konyhai szellőzésre vonatkozó irányelvek, mint például a VDI 2052, valamint az egész Európára érvényes nemzetközi szabványok, mint például a DIN EN 16282, szintén színes nyilakkal ellátott ábrázolásokat tartalmaznak. A képek egy konyha főzőberendezését és az onnan a konyhai elszívóba vezető légáramlásokat ábrázolják. A helyiségbe mutató további nyilak a friss beszívott levegő áramlását hivatottak ábrázolni a konyhába. Leggyakrabban egyenes, függőleges vagy vízszintes nyilakkal rajzolják őket, amelyek egy milliméterre pontosan körülhatárolt áramlást sugallnak.

A főzőberendezéstől függőlegesen felfelé haladó, egészen a konyhai elszívóig érő nyíl azt a levegőt hivatott ábrázolni, amelyet ott közvetlenül és azonnal elszívna – itt fel kell tennünk a kérdést: mi köze van ennek a valósághoz? A tényleges légáramláshoz mindenesetre alig van köze. Itt egy olyan modellről van szó, amelynek célja a főzőberendezés feletti termik ábrázolása. Ezen termik hatására felfelé irányuló légáramlás alakul ki. Ezt a konyhai elszívó a főzőberendezés felett fogja fel és szívja el. Így hangzik a VDI 2052 irányelv modellje. Kétségtelen, hogy ez egy olyan modell, amelyből sok következtetés levonható. Például a szükséges elszívott levegőmennyiség meghatározására szolgáló tervezési és számítási eljárások ezen a modellen alapulnak. Ezen modellek segítségével számítják ki, hogy egy konyhai elszívó a használt főzőberendezésektől függően legalább mekkora elszívott levegőmennyiségre van szüksége.

Eddig minden rendben. Ami azonban gyakran félreértelmezésekhez és félreértésekhez vezet, az az a feltételezés, hogy egy ilyen áramlási modell megfelel a valóságnak. Sajnos ez legtöbbször nem így van.

Egyszerű áramlási modell egy konyhai szellőzőrendszerhez



A VDI 2052 irányelv áramlási modelljének modellezett ábrázolása:

A ábrázolás és a nyilak iránya nem ad tájékoztatást az egyes légáramlatok tényleges viselkedéséről, illetve valós lefolyásáról

32. ábra

A légáramlások tényleges pályája és annak jelentősége

Mint már megtudtuk, a hagyományos konyhai és elszívó burkolatok csak nagyon korlátozott mértékben képesek közvetlenül elszívni a felfelé áramló főzési gőzöket. Nagyon gyakran ezek felhalmozódnak a hagyományos elszívó burkolatokban, anélkül, hogy ott azonnal elszívódnának. Így az eleinte elszívott gőzök akár vissza is áramolhatnak a konyhai burkolatból.

Az említett irányelvben szereplő áramlási modell tehát csak nagyon korlátozott mértékben tükrözi a légáramlások tényleges viselkedését. Ez vonatkozik más irányelvekben és szabványokban szereplő modellekre is. Mint minden természettudományos modell esetében, itt is fontos lenne pontosan meghatározni a modell kereteit, azaz pontosan rögzíteni érvényességi területét. Ha a modellt általánosan érvényesnek tekintik, és a tényleges viszonyok leírásaként értelmezik, az alapvető félreértésekhez vezet! Ezek legkésőbb egy szakszerű és megfelelő CFD-szimuláció során válnak láthatóvá.

5.2. A CFD-szimulációk láthatóvá teszik a légáramlásokat!

A jól elvégzett CFD-szimulációk a légáramlás összes fizikai mennyiségét bemutatják a teljes területen. Így a szellőzőrendszer működése és hatékonysága is bemutatatható és igazolható. Az 1. fejezetben már részletesen bemutattuk, hogy a hagyományos elszívóburkolatok csak a beszívási pont körüli szűk területen képesek közvetlenül elszívni a felfelé áramló gőzöket. Már 50 centiméteres távolságban a szűrőktől és a beszívási ponttól mérési úton nem tudunk többé elszívást kimutatni. Egy CFD-szimulációban ez nagyon könnyen felismerhető, és a légáramlások alapján megállapítható, hogy a gőzök ismét kijutnak a konyhai elszívóból. A konyhai elszívóban eredetileg befogott gőzök és légáramok tehát ismét kijutnak, és nem kerülnek elszívásra!

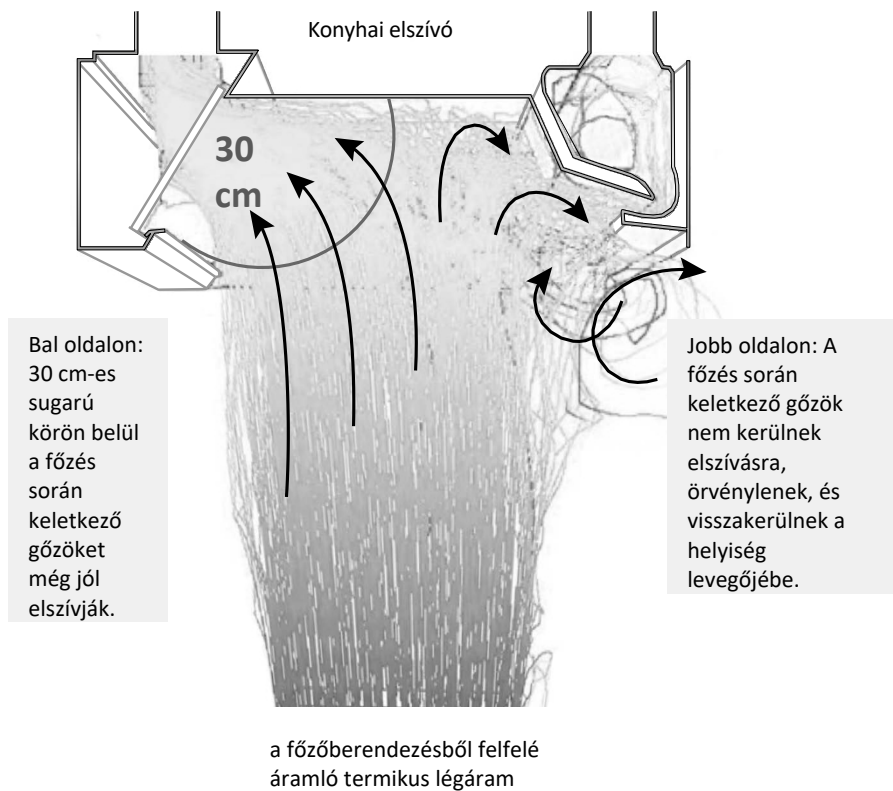
Téveszme

A konyhai elszívóban minden felfelé emelkedő gőz elszívásra kerül.

Ez a megfigyelés cáfolja a modell azon feltételezését, miszerint az összes levegő, amely a főzőberendezésből felfelé áramlik a szagelszívóba, ott azonnal elszívásra kerül. Hogy hogyan lehet reagálni erre a problémára, és milyen termékfejlesztésekre van szükség ezeknek az ismereteknek a fényében, azt már az előző fejezetekből tudjuk.

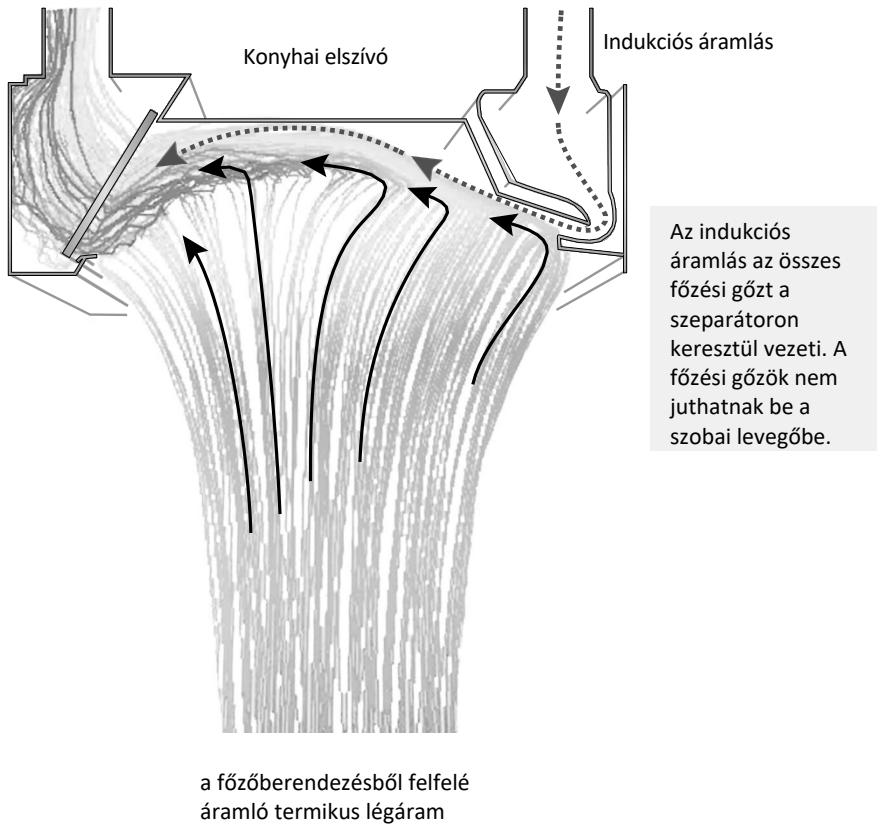
CFD-áramlási kép egy indukciós áramlás nélküli

konyhai elszívóról



Ezen a CFD-szimuláción, amely az egyik konyhai elszívónkban zajló légáramlást ábrázolja, jól látható, hogy erős főzési intenzitás esetén a főzési gőzök az elszívási sugáron kívül örvénylenek, és visszakerülnek a helyiség levegőjébe.

CFD-áramlási kép egy konyhai elszívóról indukciós főzéssel



A CFD-szimuláció bemutatja az indukciós áramlás hatékonyságát.

34. ábra

Így ebben a fejezetben is láthatjuk, hogy jelenleg mennyi félreértés létezik a szellőztetéstechnika és a levegőtisztítás területén. Azt, hogy a REVEN GMBH-NÁL is voltak ilyen félreértések a múltban, már korábban kifejtettem. A sorozat befejezéséként íme még egy példa:

Az iparban nem ritka az úgynevezett forráslevegő-technika alkalmazása a friss levegő helyiségekbe juttatására. Ez egy alacsony intenzitású frisslevegő-bevezetési módszer. Ez azt jelenti, hogy a friss levegő általában finom lyukacsos lemezeken keresztül, alacsony áramlási sebességgel áramlik be a helyiségbe. Az ilyen forráslevegő-rendszerek ideálisak ott, ahol a legmagasabb szintű kényelemre van szükség, mivel az alacsony légsebesség gondoskodik a csendes és huzatmentes friss levegő bejuttatásáról. Ideális esetben eközben úgynevezett rétegáramlás alakul ki. Ennek során a friss levegő nem keveredik intenzíven a helyiségben lévő levegővel, hanem ennek az ügyes bevezetési módnak köszönhetően rétegek alakulnak ki a helyiség levegőjében, mind a friss, még nem felhasznált levegőből, mind a már felhasznált, illetve szennyezett levegőből. Ideális esetben ezek a különböző légrétegek a lehető legkevésbé befolyásolják és zavarják egymást. Hogyan valósítható meg ez a gyakorlatban? Sok gyártó a problémát szép „színes képekkel” oldja meg, sok nyíllal, hasonlóan a VDI-irányelv modelljéhez.

Mi is, a REVEN-nél, körülbelül 20 évvel ezelőtt bedőltünk ennek a modellnek a téves következtetéseinek. Új beszívó levegő termékeket terveztünk, amelyekbe több rétegben fémlemezeket integráltunk. Lyukacsos lemezekről volt szó, vagyis olyan lemezekről, amelyeken több ezer apró lyuk található. Ezek a légáramlás kiegyenlítését szolgálják.

Véleményünk szerint a friss levegő áramlásának így szépen szét kellett terülnie, hogy egyenletesen és lassan „szivároгjon” be a helyiségbe. Ezt hasonlóan lehet elképzelni, mint egy zuhanyfej esetében. Ott a vízvezetékéből érkező erős, koncentrált vízszögár egyenletesen oszlik el, és nagy nyomás nélkül lép ki a zuhanyfejből.

Gyakorlati példa: Quellluftrendszerek – feltételezésünk

Ezen elv alapján körülbelül 20 évvel ezelőtt fejlesztettük ki a REVEN® forráslevegő-rendszereket, mivel csapatunk 100 százalékig biztos volt abban, hogy az ilyen rendszerekből csak nagyon finoman elosztott friss levegő „szűrődik” be a helyiségbe, ahol egy élesen elhatárolt rétegáramlás alakulna ki a használt levegővel szemben, és hogy ez a két légáramlás semmilyen módon nem befolyásolhatná egymást. Pontosan úgy, ahogyan a korábban említett számos

modellekben vázoltak szerint: szép kék nyilak, amelyek jelzik, hogyan áramlik a friss levegő egyenes vonalban a helyiségbe, és ott egy friss levegőréteget képez anélkül, hogy zavarná a piros nyilakkal jelzett elhasznált levegőt, így az zavartalanul áramolhat a szívóburkolatba, ahol közvetlenül felszívódik és elszívásra kerül.

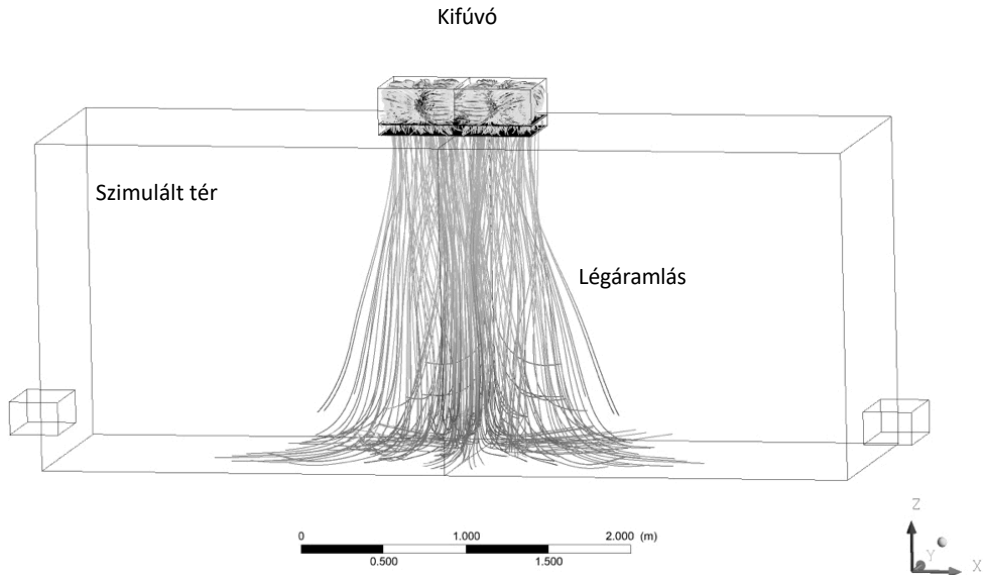
Gyakorlati példa: forráslevegős rendszerek – kétségek

Még emlékszem, amikor 2017-ben bemutattam a spanyol SCHAKO CFD-csapat egyik szakértőjének a forráslevegős termékeinket. Számos remek, színes, nyilakkal ellátott képpel magyaráztam el neki, mire képesek a beszívott levegő termékeink. Amikor alaposan megnézte a konstrukciónkat és elemezte a vonatkozó tervrajzokat, kétségei támadtak, amelyek elég gyorsan elcsillapították az optimizmusomat. „Sven, ezt szimulálnunk és mérési adatokkal alátámasztanunk kell, mert kétségeim vannak afelől, hogy minden olyan-e, ahogyan az imént elmagyaráztad nekem.” És mit is mondhatnék? Igaza volt!

Gyakorlati példa: frisslevegő-rendszerek – a valóság

Amikor a technikus megmutatta nekem az első CFD-elemzéseit, szinte szívrohamot kaptam. Már röviddel azután, hogy a levegő áthaladt az utolsó lyukacsos lemezen, a beáramló friss levegő szétterült, és pontosan az ellenkezőjét képezte annak a határozottan elkülönülő rétegnek, amely közvetlenül a mennyezetről a padló felé áramlik. Alig hittem a szememnek, amit a CFD-elemzésen láttam. Ezután a technikus még a régi beszívó-kifúvónkat is megvizsgálta az áramlási laboratóriumban mérőeszközökkel, és ködgépek segítségével láthatóvá tette a légáramlásokat. Ez a vizsgálat ugyanazt az eredményt mutatta, mint a CFD-elemzés. Legkésőbb ekkor már nekem is világossá vált, hogy mi, a REVEN-nél, hatalmasat tévedtünk!

A forráskivezetésünk CFD-elemzése



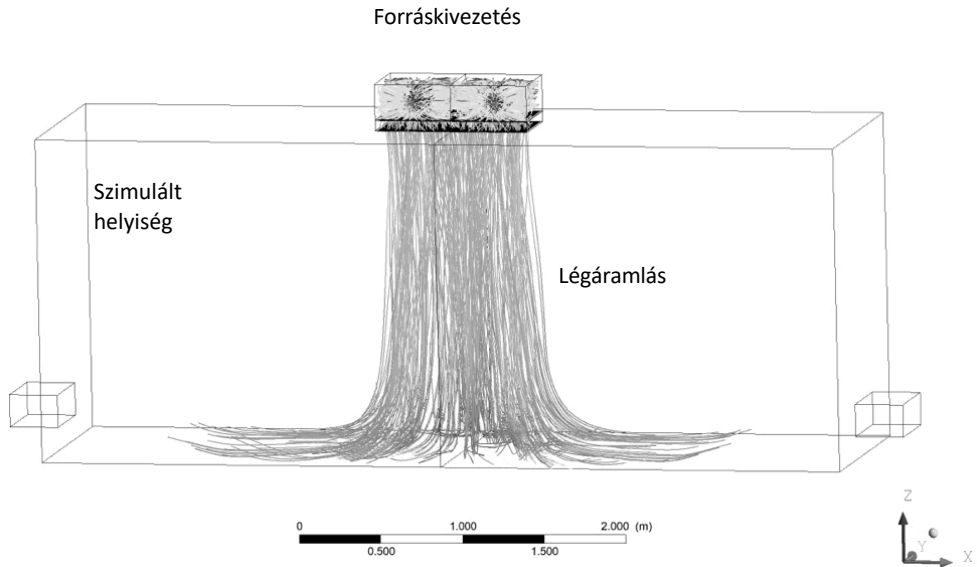
A CFD-szimuláció bemutatja a mennyezetről beáramló friss levegő szétterjedését.

35. ábra

Gyakorlati példa: Frisslevegő-rendszerek – optimalizálás a CFD segítségével

Hűen a „felismert veszély, elhárított veszély” mottóhoz, 2017-ben elkezdjük pontosan azt tenni, amit már az elejétől kezdve kellett volna tennünk. CFD-szimulációk és mérési technikák segítségével optimalizáltuk frisslevegő-termékeink hatékonyságát, és olyan hatékonyságot értünk el, amely valóban nagyon közel áll ahhoz a színes kis ábrához, amelyen a kék nyíl a mennyezetről lefelé, a padló felé mutat.

A forráskivezetés optimalizálása



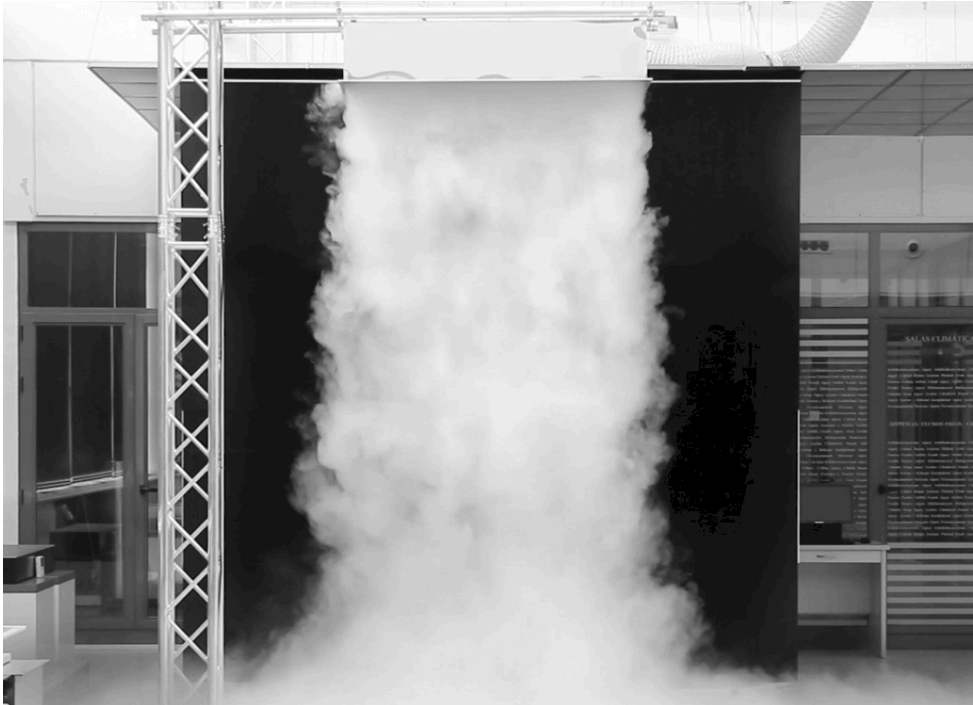
A CFD-szimuláció bemutatja, hogyan áramlik a beszívott levegő egyenes vonalban a mennyezettől a padlóig.

36. ábra

De ahhoz, hogy ezt az áramlási mintát elérjük, körülbelül 12 hónapos munka volt szükséges, számos CFD-elemzéssel és áramlási szimulációval. Az eredmény végül egy valóban hatékony frisslevegő-ellátó rendszer lett, mindenféle félreértés nélkül. Nagy köszönet a SCHAKO CFD-csapatának!

Egy hatékony befúvó rendszer láthatóvá tett légáramlásának

ábrázolása



A SCHAKO laboratóriumában a beszívott levegőt egy ködgéppel teszik láthatóvá. Látható, hogy a befúvott levegő finoman lefelé áramlik. A forráskivezetés CFD-elemzéssel történő optimalizálása megérte a fáradságot.

37. ábra

6. Hogyan lehet

mérhetőek?



Évek óta egyetértés van abban, hogy a szennyezett levegő nem egészséges. A világhírvény idején megtanultuk, milyen veszélyes lehet az egészségünkre a vírusokkal terhelt levegő. Ezért szeretném itt felsorolni, mi terhelheti, illetve szennyezheti a levegőt. A levegőszennyezéshez tartoznak többek között:

1. vírusok és baktériumok

2. Finom por, gombaspórák és pollen

3. Gázok és gőzök

Részecskék és aeroszolok

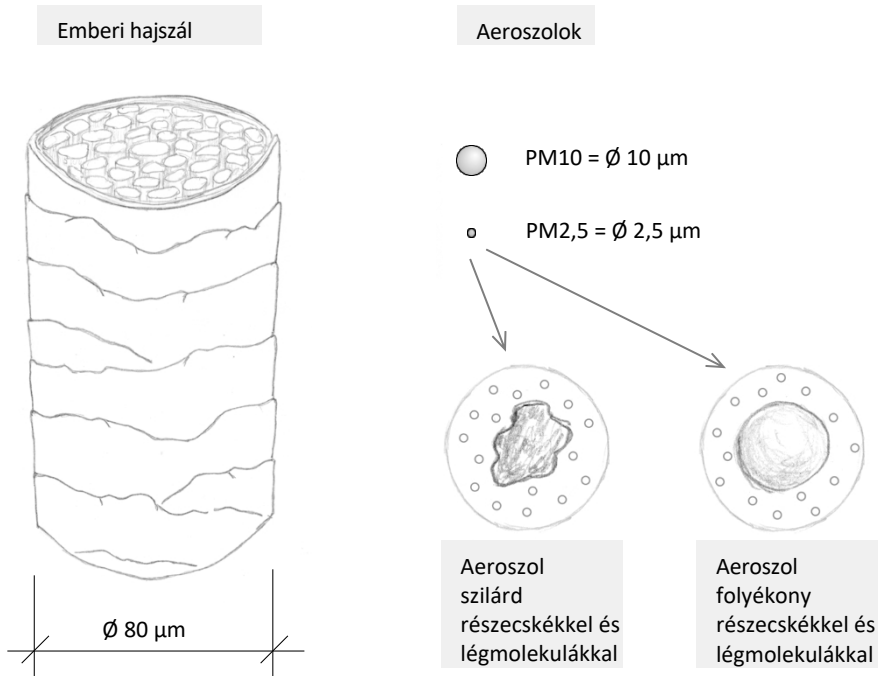
A Világ Egészségügyi Szervezet (WHO) adatai szerint a légszennyezés világszerte a legnagyobb negatív hatást gyakorolja az emberi egészségre. Ezért határozták meg 1987-ben az USA-ban az úgynevezett PM-szabványt. A PM a „Particulate Matter” (részecskeszennyezés) rövidítése, és a levegőben található szilárd vagy folyékony részecskék arányát jelenti. Ezek a szilárd vagy folyékony részecskék gyakran az aeroszolok alkotóelemei. Ennek következtében az aeroszolok a levegő és a részecskék keveréke. Ebben a kérdésben is gyakran merülnek fel félreértések, és a fogalmakat összekeverik egymással.

Téveszme

Az aeroszol a részecske szinonimája.

A levegőben lebegő részecske önmagában még nem aeroszol, az csak a környező levegővel kombinálva jön létre. A PM10 megjelölés tehát a levegőben előforduló, 10 mikrométer (0,01 milliméter) átmérőjű vagy annál kisebb apró részecskéket jelöli. Ehhez képest egy emberi hajsza átmérője körülbelül 50–80 mikrométer (0,05–0,08 mm). Fontos megjegyezni, hogy ezek a lebegő PM10-részecskék egyaránt lehetnek szilárd porrészecskék és apró folyékony olajcseppek is. Egyszerűen fogalmazva: az aeroszol mindig gázból – legtöbbször levegőből – és egy szilárd vagy folyékony részecskéből áll, amely a levegőben lebeg.

Az aeroszol mérete és összetétele



38. ábra

A PM_{10} vagy $\text{PM}_{2,5}$ megjelölés a részecske méretére utal. A szám a mikrométerben kifejezett átmérőt jelzi. Itt is ügyelni kell arra, hogy ne merüljenek fel félreértések!

Félreértés

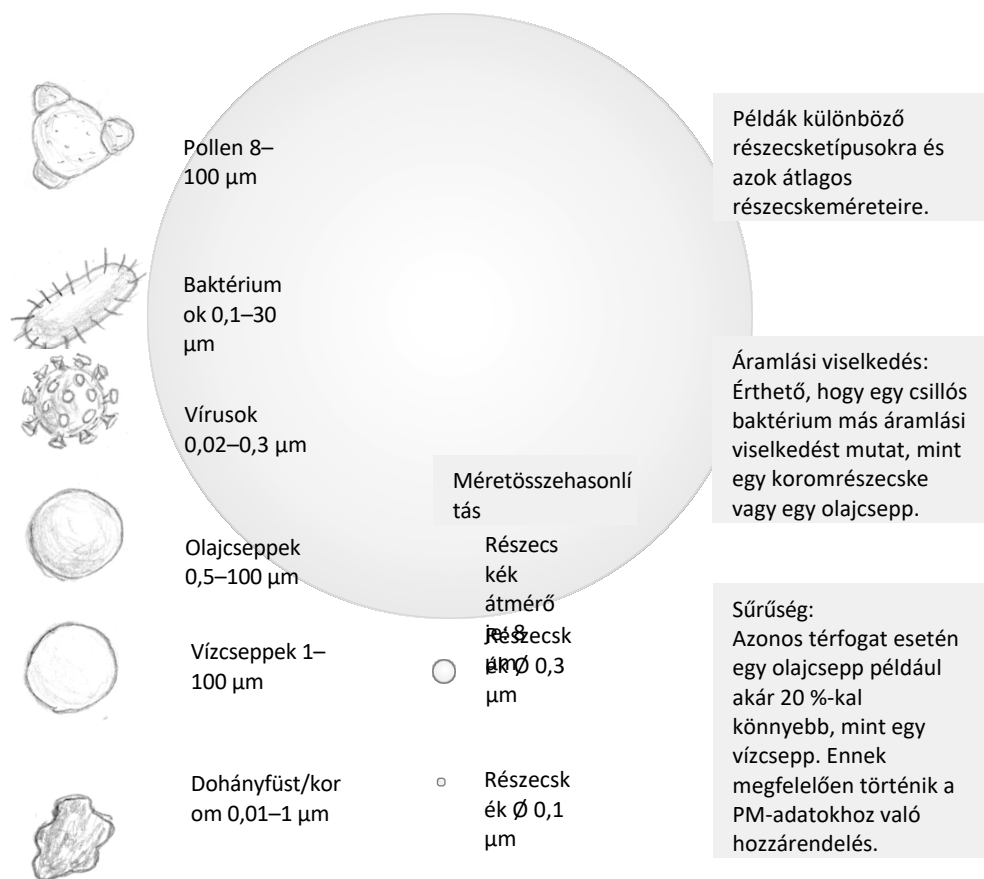
A PM-adatok alapján következtetni lehet a részecske tényleges alakjára és méretére.

Az átmérő megadása valójában egy gömb geometriáját feltételezi. De hogyan lehet ez? Vajon a porrészecskék, a homokszemcsék, a vírusok és az összes többi légszennyező anyag mindig gömb alakúak? Természetesen nem! Gyakran ezek a részecskék egészen más alakúak!

A PM-értékek hozzárendelése az egyes részecskékhez

De hogyan lehet akkor ezeket a részecskéket PM₁₀, PM_{2,5} vagy PM₁ átmérőjüként definiálni? Ehhez egy trükköt alkalmaznak: egyszerűen összehasonlítják a tényleges, tetszőleges alakú részecskéket olyan részecskékkel, amelyek gömb alakúak, és a levegőben ugyanolyan viselkedést mutatnak, mint a tényleges részecskék. Ennek során figyelembe veszik például az áramlási viselkedést, de a diffúziós viselkedést és a részecskék sűrűségét is. Megvizsgálják, melyik geometriailag gömb alakú részecske mutat ezekkel a szempontokkal kapcsolatban ugyanolyan viselkedést, mint a tényleges részecske. Az azonos áramlási és diffúziós viselkedésű gömb alakú részecske így PM₁₀, PM_{2,5} vagy PM₁-ként definiálható. Az ilyen módon meghatározott átmérőt a tudományban aerodinamikai átmérőnek is nevezik.

A részecskék típusai, alakjai és méretei



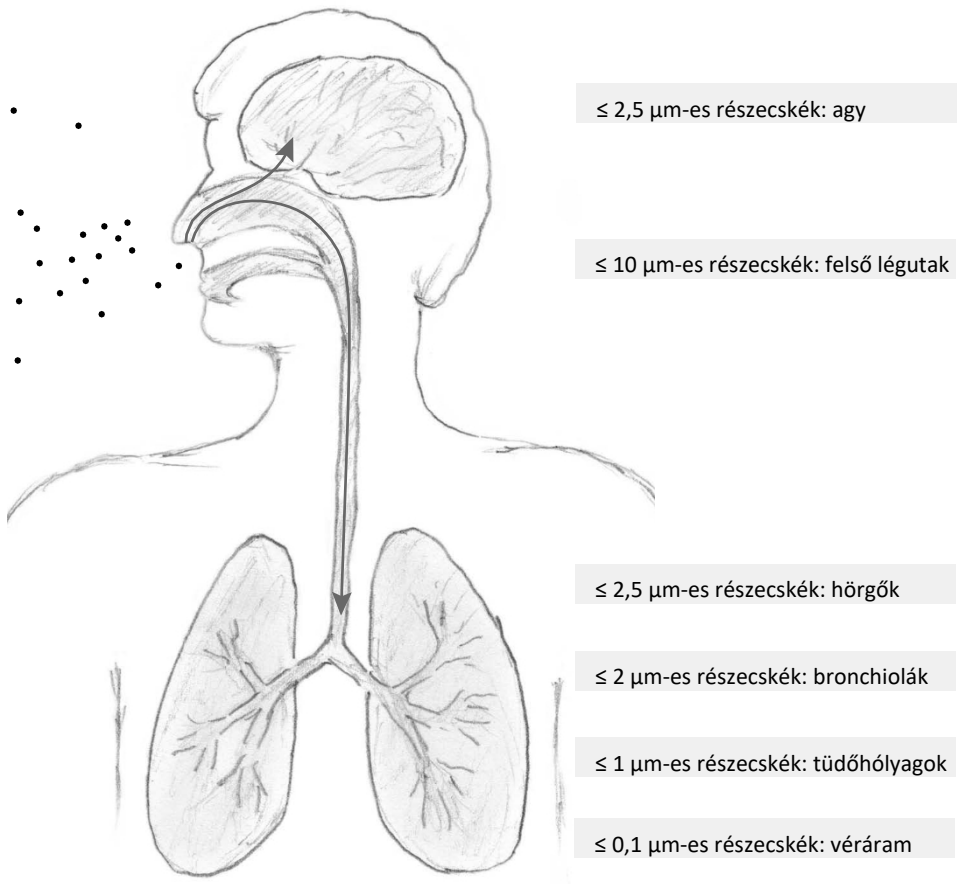
A PM10-részecskék belélegezhetők

Amikor 1987-ben az USA-ban meghatározták a légszennyezésre vonatkozó szabványokat, először a PM10-tartományba tartozó légszennyezést kezdték vizsgálni, vagyis az 10 mikrométer átmérőjű és annál kisebb részecskék által okozott szennyezést. Miért éppen ebben a mérettartományban? Mert a belégzéskor a szájban és az orrban az ilyen méretű részecskék már nem szűrődnek ki és nem válnak le. Eljutnak a tüdőbe.

A PM2,5-részecskék eljutnak a tüdőhólyagokig

Időközben ezt a tartományt tovább szűkítették PM2,5-re. Itt is az egészségvédelem játszott döntő szerepet: a 2,5 mikrométernél kisebb részecskék egészen a tüdőhólyagjainkig behatolhatnak. Ha a légszennyezés eljuthat testünk legmélyéig, elképzelhető, milyen negatív hatással lehet ez egészségünkre.

Részecskék belégzés útján történő felvétele



Mára már jól bizonyított, hogy a PM10-részecskék a felső, a PM2,5-részecskék pedig az alsó légutakban okozhatnak károsodást. A legújabb tanulmányok szerint a $2,5 \mu\text{m}$ -nél kisebbek, közvetlenül a szaglóidegen vagy a véráramon keresztül juthatnak az agyba, és ott ronthatják a teljesítőképességet.

Nemrég az egyik interjúalanyom a „Luftpost” című új podcastomban így fogalmazott:

*„Amit beltéri termelési környezetben belélegzünk,
az gyakran olyan anyagok, amelyek nem
tartoznak a testünkhöz, és amelyeknek nem is
szabadna a testünkbe jutniuk!”*

De ebben a kérdésben is nagy félreértések vannak a szellőztetés és a levegőminőség-biztosítás terén!

6.1. A beltéri levegőminőséggel kapcsolatos félreértés

Több mint két évtizedes szakmai tapasztalatom ellenére még mindig rejtély számomra, miért vannak ilyen súlyos félreértések a beltéri levegőminőséget illetően. Megmagyarázhatatlan okokból az emberek mindig abból indulnak ki, hogy a beltéri levegő minősége elfogadható, és nincs benne említésre méltó szennyeződés.

Téveszme

A beltéri levegő minősége legtöbbször nem jelent problémát.

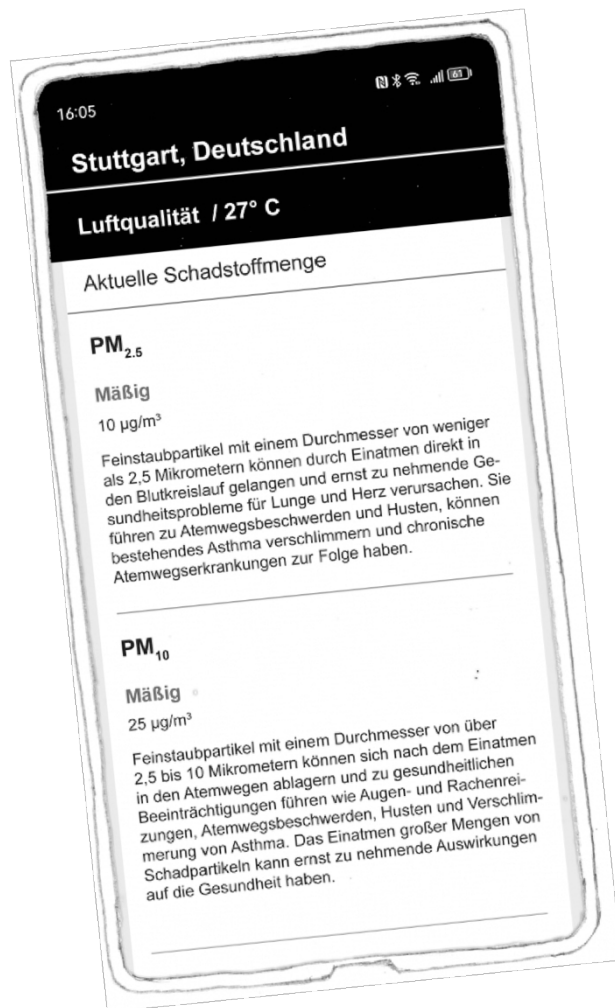
Több mint egy évtizede foglalkozunk a témával kapcsolatos felvilágosítással, de alig találunk meghallgatásra. Gyakran találkozunk meglepett arcokkal, amelyek elárulják, hogy az emberek nem igazán hisznek a magyarázatainknak! Miért van ez így? Miről szeretnénk felvilágosítást nyújtani? Alapvetően egy meglehetősen egyszerű dologról van szó, nevezetesen a német nagyvárosokban tapasztalható légszennyezés kezelésének összehasonlításáról a beltéri levegőszennyezés kezelésével.

Finompor-mérés a nagyvárosokban

Nagyvárosainkban a légszennyezésről beszélnek, és közlekedési tilalmak bevezetését fontolgatják, ha a PM10-finomporrészecskékre vonatkozó 50-es határértéket hosszabb ideig túllépik. Az értékek meghatározásához a város egy mérési pontján megméri, hogy egy köbméter levegőben hány PM10-finomporrészecske található.

Egyszerűen elmagyarázva: van egy köbméter városi levegő, és megfelelő mérőtechnikával meg lehet mérni, hogy hány, 10 mikrométer átmérőjű vagy annál kisebb finompor-részecske található ebben a köbméter városi levegőben. A részecske átmérőjéből kiszámítható a térfogata, a sűrűség segítségével meghatározható a tömege, a mért darabszám alapján pedig kiszámítható a városi levegő egy köbméterében található szennyező anyagok össz tömege. Ezt az össz tömeget mikrogrammban adják meg.

A kültéri levegőminőség jelentősége



A levegőminőség egyre növekvő jelentőségét jól mutatja a mai időjárás-alkalmazásokban található szennyezőanyagok részletes felsorolása. Az alkalmazás megjeleníti a beírt város aktuális értékeit – azzal a magyarázattal, hogy milyen hatással lehetnek a szennyező anyagok.

Példa: Stuttgart,
2023. július 14.
16:05-kor **PM10:**

25 µg/m³ PM2,5:

10 µg/m³

41. ábra

A kültéri levegőszennyezés jelenlegi határértékei

Ha például a teljes tömeg 20 mikrogramm, akkor a WHO-szabványok szerint alacsony a légszennyezettség, és így a levegő minősége elfogadható. Az EU finompor-irányelve például előírja, hogy a PM10 finompor napi átlagértéke 50 mikrogramm/köbméter városi levegő, és ezt évente legfeljebb 35 napon szabad túllépni.

Világszintű erőfeszítések a határértékek csökkentésére

Világszerte jelenleg is folynak a viták és erőfeszítések a határértékek további csökkentésére, például 40 mikrogramm finomszetre köbméterenként. Emellett világszerte egyre nagyobb figyelmet kap a PM10-részecskék helyett a PM2,5-részecskék szigorúbb figyelemmel kísérése is. Ennyit a nagyvárosok helyzetéről.

Beltéri levegőszennyezés

Hogyan áll a helyzet ezzel összehasonlítva beltéri környezetben? Vagyis olyan helyiségekben, ahol például főznek, vagy ahol modern szerszámgépek fém alkatrészeket megmunkálnak.

Gyakorlati példa: mérések beltéri környezetben

Mi, a REVEN GmbH-nál rendszeresen mérjük a beltéri levegőszennyezettséget. Hogyan tesszük ezt? Pontosan azzal a mérési technikával és eljárással, amelyet korábban a belvárosi mérések esetében ismertettünk. Megmérjük a szennyező részecskék számát egy köbméter beltéri levegőben, például egy gyártóüzemben vagy egy nagy szállodai konyhában.

Az így kapott eredmény például 10 000, 50 000 vagy 100 000 légminőségi indexet jelez. Ezek teljesen más nagyságrendek, mint a városokban! Már 500 000-es mérési eredményt is kellett bemutatnunk ügyfeleinknek! Ez azt jelenti, hogy egy köbméter beltéri levegőben akár 500 000 mikrogramm szennyező részecske is található! És ez a gyártócsarnokokban valóban nem ritkaság!

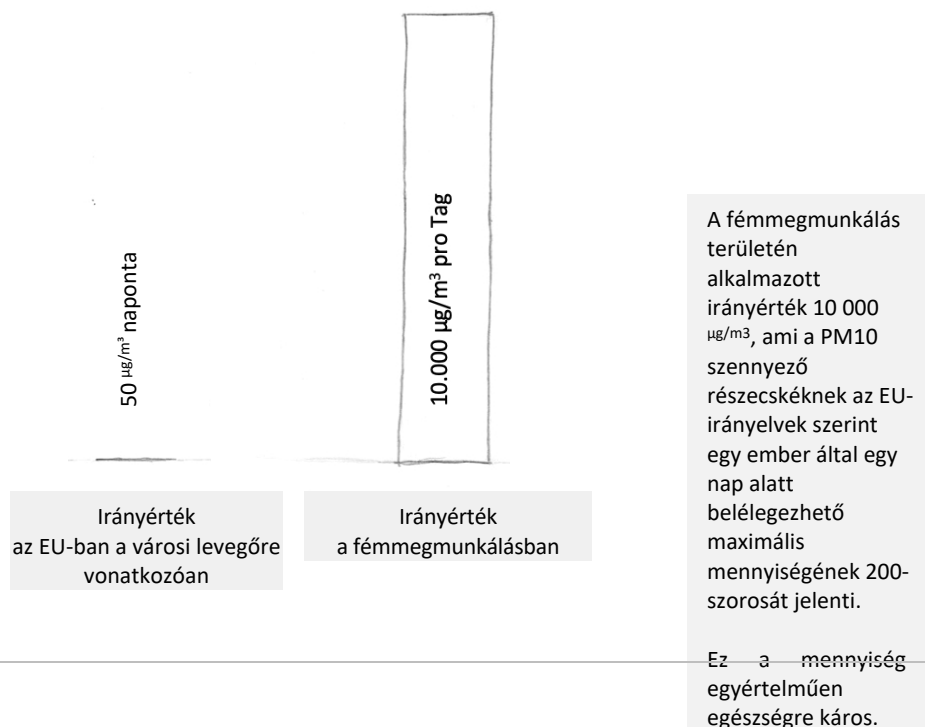
Hivatalos határérték-ajánlások a gépgyártás számára

A vonatkozó irányelvek és szabványok áttekintése során is világossá válik, hogy az ilyen magas szennyezőanyag-terhelés nem ritkaság. Így a gépgyártásra vonatkozó hivatalos irányelvekben a következő ajánlás érvényes:

A fémmegmunkálás, valamint az üveg- és kerámia-megmunkálás során használt, vízzel keverhető hűtő-kenőanyagok esetében 10 milligramm határértéket határoznak meg ezeknek az anyagoknak a térfogatban mért levegőben, ugyanígy a 100 Celsius-fok alatti lángpontú, vízzel nem keverhető hűtő-kenőanyagok esetében is.

Ez a 10 milligramm a nagyvárosokban 10 000-es levegőminőségi indexnek felel meg! Ha egy ilyen értéket egy héten át mérnének Stuttgart belvárosában, napközben egyetlen autó sem közlekedhetne ott, és az ország összes médiája erről számolna be.

A szennyező részecskék (PM10) határértékeinek összehasonlítása



42. ábra

Ha viszont egy gépgyártó üzemben vagy egy szállodai konyhában mérnek ilyen légszennyezést, az szinte senkit sem érdekel. Még az iparágak érdekképviselői sem fordítanak túl nagy figyelmet a témára. Éppen ellenkezőleg – jobb tudásuk ellenére elhallgatják ezeket a körülményeket, mert a megszüntetésük pénzbe kerülne.

A mérési eredmény jelentősége a munkavállalók számára

Még egyszer emlékeztetőül: az EU finompor-irányelve előírja, hogy a PM10 finompor napi átlagértéke 50 mikrogramm/köbméter városi levegő, és ezt évente legfeljebb 35 napon szabad túllépni.

Ha egy gépgyártó üzemben a fent említett 10 mikrogrammot mérik, ez azt jelenti az ott dolgozók számára, hogy évente körülbelül 200 munkanapon legfeljebb 10 000 mikrogramm szennyezőanyag-terhelés mellett kell dolgozniuk.

Gyakorlati következtetés

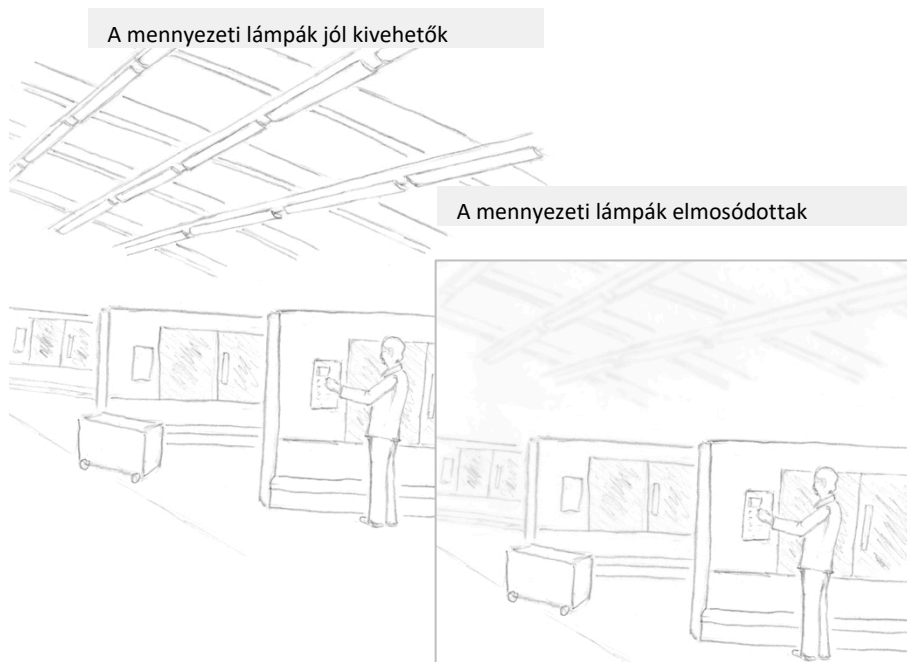
Az elmúlt 20 évben több ezer mérést végeztünk beltéri levegőszennyezettségre vonatkozóan szerte a világon. Ennek során mindenféle gyártóüzembe eljutottunk, ahol a legkülönbözőbb termékeket a legváltozatosabb alapanyagokból állítják elő. Valamennyi mérésünk során azonban újra és újra a következőket tapasztaltuk:

Valahányszor a levegő látható volt, egy köbméter beltéri levegőben 10 000 mikrogrammnál is több légszennyező anyagot mértünk.

Egy egyszerű módszer a levegőminőség értékelésére

A jövőben talán Ön is képes lesz saját maga értékelni a levegő minőségét! Ha egy gyártóhelyiségben tartózkodik – legyen az akár egy szállodai konyha, akár az élelmiszeripar vagy a gépgyártás egyik gyártóüzeme –, és ebben a helyiségben azt észleli, hogy a levegő már nem tűnik tiszta, hanem inkább az őszi reggeli ködre emlékeztet, akkor legalább 10 000 mikrogramm/köbméter légszennyezettségről van szó. Ezt a legegyszerűbben úgy állapíthatja meg, ha a helyiség világítása felé néz! Ha a lámpát tisztán és élesen látja, és a lámpa körüli levegő láthatatlan, akkor minden rendben van. Ha azonban már nem tudja tisztán kivenni a lámpát, mert a lámpa körül diffúz köd képződik, akkor biztos lehet benne, hogy a levegőminőségi index ebben a helyiségben 10 000 körül mozog!

A levegőminőség egyszerű értékelése



Ha egy helyiségben a mennyezeti lámpák nem láthatók tisztán, a levegő szennyezettségi szintje nagyon magas, körülbelül $10\,000\ \mu\text{g}/\text{m}^3$.

43. ábra

A kültéri és beltéri levegőminőség értékelése közötti eltérés

Ez az összehasonlítás a német belvárosokban hevesen vitatott légszennyezéssel rámutat arra az eltérésre, amely megdöbbenést és értetlenséget vált ki, amikor a beltéri levegőről van szó. Gyakran megkérdezzük tőlünk, hogyan indokolhatók ezek a különbségek?

Véleményünk szerint ezeket egyszerűen nem lehet megmagyarázni. A felelősök minden magyarázati kísérlete csupán gyenge kifogás, amellyel el akarják kerülni a sürgősen szükséges beruházásokat.

Egyszerűen senki sem veszi figyelembe, milyen kockázatokkal jár ez minden érintett számára. A kültéren súlyosan egészségkárosítónak minősülő mikrorészecskék koncentrációját beltérben 200-szoros mennyiségben még mindig elfogadhatónak tekintik? Ki viseli a jövőben a felelősséget ezért a veszélyért?

A szellőzőrendszer-gyártóknak át kell gondolniuk a dolgokat

Mi is, a szellőzőberendezések és légtisztítók gyártói, szembe kell néznünk ezzel a problémával! Miért? Mert az iparágunkban is több száz olyan gyártó van, akik ipari konyhákhoz vagy gépgyártó üzemekhez szánt szellőzőberendezéseket gyártanak, és még a legegyszerűbb mérőtechnikával sem rendelkeznek ahhoz, hogy az ilyen légszennyezéseket akár csak nagyjából is mérni és elemezni tudják.

Ugyanakkor olyan légtisztító termékeket kínálnak, amelyeknek feladata a helyiségek szellőztetése és a beltéri levegő szennyezőanyagoktól való megtisztítása.

A DIN EN 16282 konyhai szellőzési szabvány

A kereskedelmi célú konyhai szellőzőrendszerekre mára már létezik egy „konyhai szellőzési szabvány”, a DIN EN 16282, amely szinte egész Európában érvényes. Ez előírja, hogy a nagy konyhákban minden káros anyagot fel kell gyűjteni, elszívni, majd el kell különíteni a kipufogó levegőáramtól, ahogyan azt az előző fejezetekben megtanultuk.

Ha mindkettő sikerül, azaz a káros anyagok összegyűjtése és elszívása, valamint a kivezetett levegőáramból való elkülönítése, akkor

- a) valóban jó, modern és hatékony szellőzőrendszerünk van, és
- b) jó levegőminőséget, nagyon alacsony szennyezőanyag-terheléssel a helyiségekben.

A végrehajtás ellenőrzésének hiánya

Most pedig a kérdésem az Önökhöz: Mit gondolnak, hány újonnan felszerelt ipari konyhában ellenőrzik a szabvány betartását az üzembe helyezéskor? Körülbelül olyan gyakran, mint az új járműveknél a megadott üzemanyag-fogyasztást? Vagy olyan gyakran, mint az új hőszivattyúk áramfogyasztását?

1 000 újonnan telepített ipari konyhai szellőzőrendszer közül kevesebb mint tíznél ellenőrzik ezt!

Gyakorlati példa

Már többször is előfordult, hogy versenytársaink fordultak hozzánk, amikor egy építető ragaszkodott ehhez az ellenőrzéshez, és megkértek minket, hogy végezzük el a méréseket helyettük, mivel ők maguk nem rendelkeznek a szükséges mérőtechnikával!

Ózon – példa a gázok által okozott légszennyezésre

A gázok által okozott légszennyezés esetében nagyon hasonló a helyzet, és itt is ugyanazt a jelenséget figyeljük meg. Ezt az ózon példáján szeretném szemléltetni. Az ózon veszélyességéről már a 4. fejezetben beszámoltunk. Az ózon beltéri határértékét Európa számos országában továbbra is legfeljebb 200 mikrogramm/köbméter beltéri levegőben határozták meg. Ez volt a korábbi határérték Németországban is, amelyet azonban időközben eltöröltek. Svájcban azonban ez a határérték még mindig érvényben van. A Német Kutatási Társaság (DFG) rákkeltő anyagokra vonatkozó besorolási kritériumai szerint az ózon egy még nem kellőképpen vizsgált anyagként van besorolva, amelyről azonban feltételezik, hogy rákot okozhat az emberben.

Időjárás-alkalmazás a magas kültéri ózonterheléssel



Az időjárás-alkalmazásban a legmagasabb szennyezőanyag-értékek szerepelnek az első helyen. A lista élén az ózon áll, 104 µg/m³-es értékkel. Ez a koncentráció meghaladja a WHO által ajánlott 8 órás átlagértéket (lásd a 29. ábrát).

Példa: Hoyerswerda,
2023. augusztus 20.
9:55-kor

o₃: 104 µg/m³

44. ábra

Ózon – kültéri határértékek

A kültéri határértékekről és az egészségügyi kockázatokról a Szövetségi Környezetvédelmi Hivatal nyújt tájékoztatást. A hivatal arra figyelmeztet, hogy a levegőben jelen lévő ózon csökkentheti a tüdőfunkciót, gyulladásos reakciókat okozhat a légutakban, valamint légúti panaszokat eredményezhet.

180 mikrogramm ózon/köbméter városi levegő határérték. Ezt az értéket tájékoztatási küszöbértéknek nevezik. Ha a koncentráció meghaladja ezt az értéket, a médián keresztül magatartási ajánlásokat és figyelmeztetéseket adnak ki a lakosság számára. 240 mikrogramm ózon/köbméter városi levegő koncentráció esetén az riasztási küszöbérték túllépésre kerül, és riasztás lép életbe. Ezen felül figyelembe kell venni, hogy a kültéri ózontértékek a naptári év legfeljebb 25 napján haladhatják meg a 120 mikrogramm/köbméter városi levegő értéket, nyolc órás átlagban.

Ózon – határértékek a konyhai szellőzés területén

Jelenleg azonban a konyhai szellőzés területén jártas szakértők még mindig 20 000 mikrogramm ózon/köbméter levegő megengedett határértéket adnak meg. Ez az információ szintén a DIN EN 16282 európai szabványból származik, amelynek kidolgozásában számos nemzeti ipari szövetség is közreműködött. Csak a rosszindulatú gondolhat rosszat!

Ebben a szabványban olvasható, hogy az ózon koncentrációja egy ipari konyha elszívott levegőjében nem haladhatja meg a 10 ppm-et. 1013 hektopascal légnyomás és 20 Celsius-fok hőmérséklet mellett az ott megadott 10 ppm ózon nagyjából pontosan 20 000 mikrogramm ózonnak felel meg köbméterenként (lásd a 29. ábrát).

Ózon – önmagukért beszélő eltérések

Úgy gondolom, hogy a példában bemutatott eltérések a beltéri és a kültéri levegőminőség értékelésében önmagukért beszélnek, és nincs szükség további magyarázatra. Valójában ebben az esetben is mindenkinek világosnak kell lennie, hogy mit kell tenni, nevezetesen teljes mértékben el kell kerülni az ózonképződést, függetlenül attól, hogy beltéren vagy kültéren történik-e!

Ennek a célnak az elérése érdekében azonban a légszennyezést mérőeszközökkel kell rögzíteni és elemezni. Hogy ez hogyan valósítható meg, arról hamarosan bővebben is szó lesz.

6.2. A részecskemérések láthatóvá teszik a légszennyezést!

Milyen mérési technikával lehet mérni a levegőben található szennyező anyagokat? Milyen mérési technikával lehet igazolni egy szellőzőrendszer hatékonyságát? Alapvetően ez nem bonyolult, és már a 3. fejezetben is leírtuk. A levegő szennyezőanyag-terhelésének pontos meghatározásához ajánlott

- a) részecske- és aeroszol-mérési technika, valamint
- b) egy lángionizációs detektor (FID)

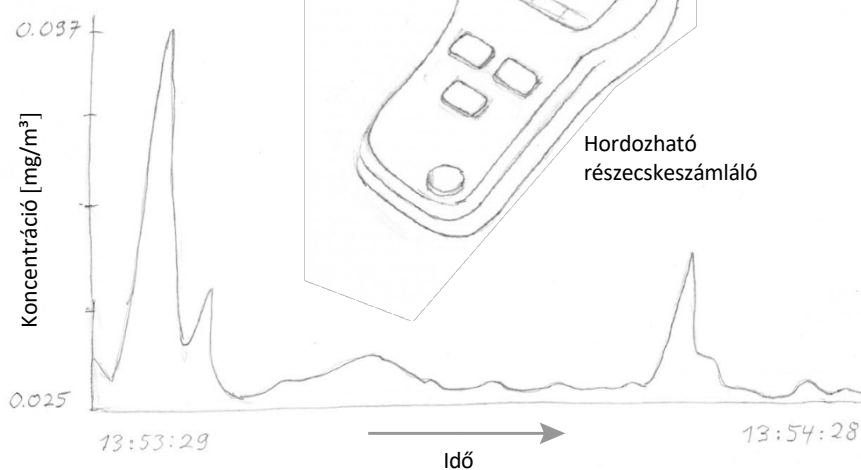
A FID-mérőműszereket már a 3. fejezetben részletesen leírtuk. A részecske- és aeroszol-mérőműszerek már régóta a tisztaterekben alkalmazott legkorszerűbb technológiát képviselik. Már évtizedek óta nincs olyan kórházi műtő vagy mikroprocesszor-gyártó üzem, ahol a szellőzőrendszer üzembe helyezésekor ne alkalmaznának részecskeszámlálót a működés ellenőrzésére. Lényegében ezzel egyszerűen és egyértelműen igazolják, hogy egy ilyen tisztatér levegője valóban tiszta és mentes a legapróbb részecskéktől. Erre szolgál a részecskeszámláló.

Hogyan méri a részecskét

A részecskeszámlálók komplex optikai rendszer és lézersugarak segítségével képesek elemezni, hogy vannak-e legapróbb részecskék a helyiség levegőjében. Ennek során megszámolják a részecskék számát, és egyidejűleg megvizsgálják a részecskék méretét, azaz meghatározzák azok aerodinamikai átmérőjét.

Hordozható részecskeszámláló

Hordozható, akkumulátorral működő részecskeszámláló szórt fény méréssel és adatrögzítéssel az aeroszol tömegek valós idejű méréséhez



45. ábra

A részecskemérési technikát a helyzethez kell igazítani

Akárcsak a tisztaterekben, úgy a gyártóüzemekben, ipari konyhákban vagy gépgyártó üzemekben is elemezhető a beltéri levegő, és meghatározható a részecskék jelenléte. Elvileg pontosan ugyanarról a módszerről van szó, azonban egy nagy és fontos különbséggel:

A részecskék száma a tisztaterekhez képest óriási mértékben eltér! Míg a tisztaterekben az a kérdés, hogy egyáltalán vannak-e PM₁₀-részecskék a helyiség levegőjében, addig egy konyha vagy gyártóüzem levegőjében azt mérik, hogy hány részecske található egy köbméter levegőben. Ez gyakran a

tízezer-szeresére vagy még nagyobb mennyiségre, mint a tisztatérben! A részecskeszámlálók ezekhez a feltételekhez kell igazítani, illetve a megfelelő mérési technikát kell kiválasztani.

Gyakorlati példa: részecskemérés levegőhígítással

Amikor 25 évvel ezelőtt elvégeztük az első részecskeméréseket ilyen magas szennyezettségű helyiségekben, megpróbáltuk a hagyományos részecskemérőket használni, mivel akkoriban alig volt megfelelőbb mérési technika. Ahogyan azt el lehet képzelni, ezek az első mérések gyakran nem voltak validálhatók, nem voltak nyomon követhetők és nagyon alacsony minőségűek voltak, mivel a részecskeszámlálók teljesen túlterheltek voltak a magas részecskekoncentrációk miatt. Az első javítási kísérlet az elemzendő levegő meghatározott hígítása volt. Ez azt jelentette, hogy megfelelő hígítási lépésekkel az elemzendő levegőt például 1 000-szeresére hígítottuk tiszta, részecskementes levegővel. Ezt a hígított levegőt aztán hagyományos részecskeszámlálókkal mértük, és az eredményt 1 000-szeresre extrapoláltuk. A részecskeszámlálók egyidejű továbbfejlesztése biztosította, hogy a készülékek később kevésbé legyenek érzékenyek a nagyon magas részecskekoncentrációkra, és a mérési eredmények egyre pontosabbak legyenek.

A modern készülékek pontos méréseket biztosítanak

A mai részecskeszámlálók még a nagyon erősen szennyezett beltéri levegőt is ugyanolyan pontossággal tudják elemezni, mint amilyenre évtizedek óta a tisztaterekben megszoktuk. Az iparágnak egyszerűen csak igazán akarnia kell ezt a pontos mérést, és készen kell állnia arra, hogy befektessen a modern mérőtechnikába.

Túl kevés mérést végeznek

Jelenleg a német nyelvterületen működő konyhai szellőzőberendezés-piacon alig van egy maroknyi gyártó, aki ilyen mérési technikát alkalmazna az új szellőzőrendszerek üzembe helyezésékor.

Sajnos ez nem félreértés!

A szellőzőrendszerek optimális működését egyszerűen feltételezik, mérési igazolások nélkül.

A szellőzőrendszer hibátlan működését, a levegőáramból származó szennyező anyagok felvételének és elszívásának hatékonyságát, valamint azok leválasztását és szűrését – mindezt hallgatólagosan feltételezik és adottnak veszik. Az a mottó érvényesül, hogy „valahogy majd összejön és rendben lesz”. A legtöbb esetben nem is akarják tudni, hogy valóban így van-e, és az elemzés és dokumentáció révén biztosított átláthatóságra még kevésbé vágnak.

Az optimális levegőminőség elérése érdekében a mérési technika elengedhetetlen

Az előző fejezetekben részletesen kifejtettük, hogy a szellőztetőtechnika olyan feladatai, mint a levegő beszívása és elszívása, a szűrés és a káros anyagok leválasztása, valamint a friss levegővel való szellőztetés, valójában milyen összetettek. Ezen okok miatt elengedhetetlen a mérési technika annak igazolására, hogy a beltéri levegő valóban mentes a káros anyagoktól. Nincs mentség arra, hogy ezt a mérési technikát ne alkalmazzák rendszeresen.

Mérési igazolások hiánya az ózon-légtisztítók esetében

Hasonlóképpen, megfelelő mérőberendezésekkel veszélyes gázok, például az ózon is mérhetőek. De ebben az esetben is ugyanaz a hozzáállás figyelhető meg, mint a fent leírt részecskemérési technika esetében: az ózon-légtisztítók több ezer gyártója közül aligha talál olyan gyártót, aki megfelelő mérőtechnikával bizonyítani tudná, hogy termékei az általuk előállított ózon révén nem okoznak több kárt, mint hasznot.

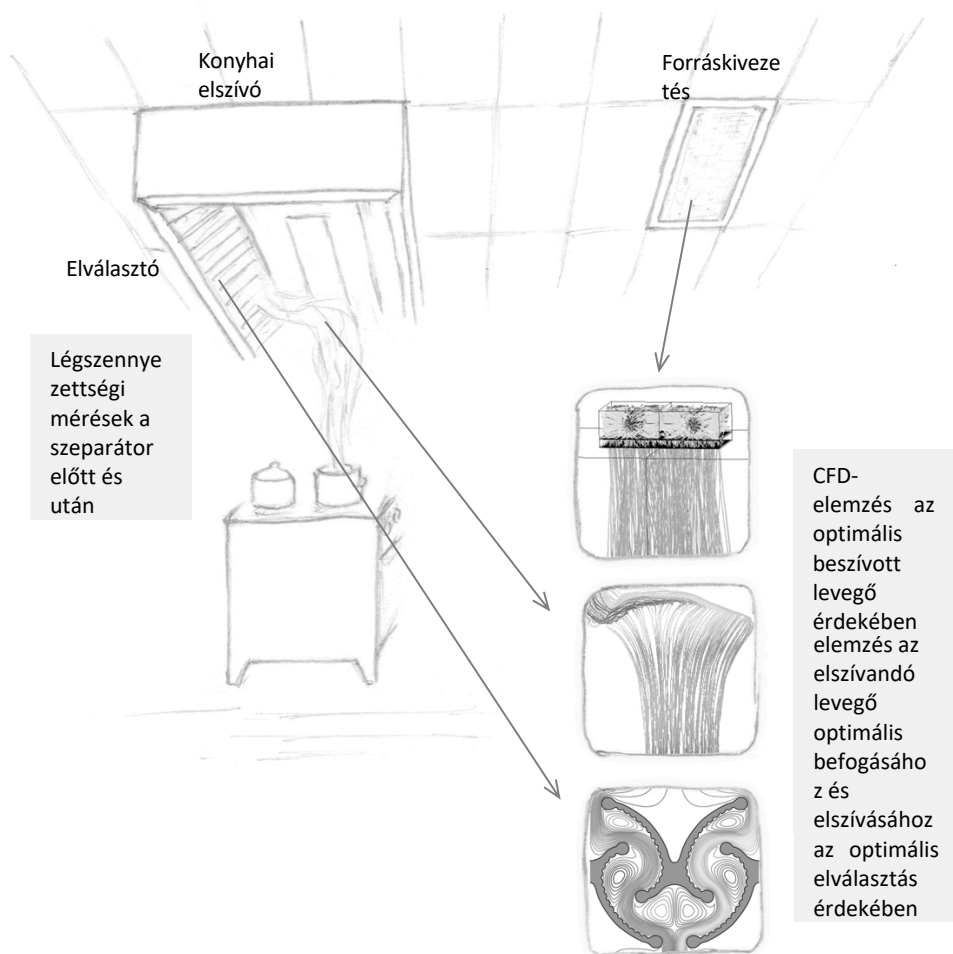
A komoly szellőztetőtechnika tudományosan megalapozott

Ahogy az eddigi fejezetekben is látható, itt is kiderül, hogy a szellőztetőtechnika és a levegőtisztítás területén a komoly termékfejlesztés tudományosan megalapozott megközelítést feltételez. A vonzóan megtervezett reklámprospektusokban szereplő nagy szavú ígéretek az iparágunkban túlságosan gyakran másra engednek következtetni. Feltétlenül maradjon éber, és kérdőjelezze meg az ilyen ígéreteket.

Összegzés

Remélem, hogy megjegyzéseimmel felkeltettem az érdeklődésüket e téma iránt, és néhány érdekes információval szolgálhattam Önöknek. Most bezárul a kör – az 1. fejezetben tárgyalt hatékony befogás és elszívás témájától a 6. fejezetben bemutatott, a szellőzés és a levegőtisztítás hatékonyságának meghatározására szolgáló megfelelő mérési technikáig mindent áttekintettünk.

Tudományosan megalapozott szellőztetőtechnika



A Rentschler REVEN-nél a konyhai szellőztetőtechnika működését tudományosan megalapozott módszerekkel ellenőrzik és optimalizálják.

Zárószó

Most már elolvasta a könyv összes fejezetét, amelyek eredetileg a „Tévhitok a szellőzéstechnikában és a levegőtisztításban” című podcastunkból származnak. Remélem, ezzel némi inspirációt tudtam nyújtani Önöknek. Egy piaci versenytársam nemrég bírálta a podcast tartalmát. Szerinte az egész túl felületes, és többet várt tőlem. Ahogy máshol is említettem, az volt a célom, hogy a szellőzéstechnika és a levegőtisztítás körüli témákat könnyen érthetővé tegyem, és a lehető legszórakoztatóbbá tegyem. Nem akartam tudományos értekezést írni. A szellőztetőipar témái inkább niche témák, amelyek nem érdeklik a nagyközönséget. Ezért fontos volt számomra, hogy a félreértéseket az iparágon kívüliek számára is egyszerűen és érthetően elmagyarázzam. Remélem, ez sikerült is. Ezen a podcaston alapulva írtuk meg ezt a könyvet. Kiegészítésként számos érdekes illusztrációt tartalmaz, amelyek vizuálisan alátámasztják az egyes információkat.

Fontos számomra, hogy iparágunkat vonzóvá tegyük a fiatal generáció számára, hiszen a levegőminőség-védelem fontos téma, és az is marad a jövőben. Éppen ezért gondossággal és felelősségtudattal kell foglalkozni ezzel a témával.

Értékesítési kollégáim a jövőben magukkal fogják vinni ezt a könyvet, és szívesen átadnak Önnek egy példányt a különböző témák szemléltetésére, ha új projektekről, új folyamatokról és új tervekről tárgyal velük. Hiszen azt szeretnénk, hogy technológiáinkat és termékeinket megértsék!

Hálánk jeléül a podcastunk hallgatóinak ingyenesen ajánljuk fel az újonnan megjelent könyvet.

Könyvprojektünkkel párhuzamosan időközben egy új podcast is elindult. Címe: „Luftpost”.



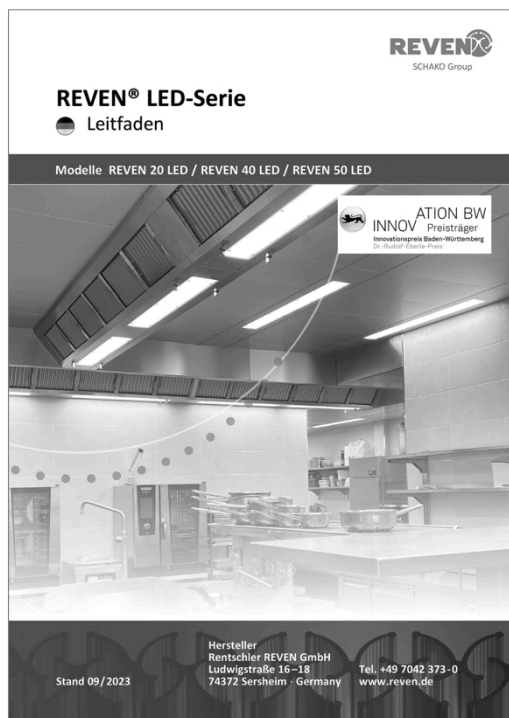
Ez az új podcast-sorozat a tiszta levegőről szól. Olyan embereket és vállalatokat mutatok be, akik a levegőtisztítás és a szellőztetőtechnika témáival foglalkoznak. Ennek keretében a legkülönbözőbb iparágak szereplőit interjúvolom meg, és technológiákat vitatunk meg. Ezt a címet azért választottam, mert tetszik az a társítás, amit a kifejezés kelt. Régen a híreket és közleményeket gyakran légi postán küldték el. A „Luftpost” című podcastomban a tiszta levegővel és az egészséges környezettel kapcsolatos legfrissebb híreket szeretném közvetíteni.

A **reven.news/luftpost** linken találhatják meg, az első epizódok már online elérhetők.

Ha Ön is a szellőztetés vagy a levegőtisztítás iparágának szereplői közé tartozik, szívesen készítünk együtt egy epizódot a podcasthoz. Ehhez szívesen el is látogatom Önt. Kérjük, lépjen kapcsolatba velem **amarketing@reven.de** címen.

Érdekes tartalmak a REVEN-től

Útmutató az LED-es lámpákhoz



Gyakran alábecsülik, mennyire fontos a jó világítás egy helyiség használata szempontjából.

Különösen a professzionális konyhákban nagy jelentősége van a megfelelő világításnak. Ezért a tervezés során figyelembe kell venni olyan szempontokat, mint a fényerő, a kontraszt és a színvilág. Ebben nyújt nagy előnyöket a világításkezelési rendszerünk.

Ebben az LED-útmutatóban elmagyarázzuk, mely tényezők fontosak a jó világításhoz, és hogy a REVEN® LED-lámpák hogyan felelnek meg ezeknek a követelményeknek.

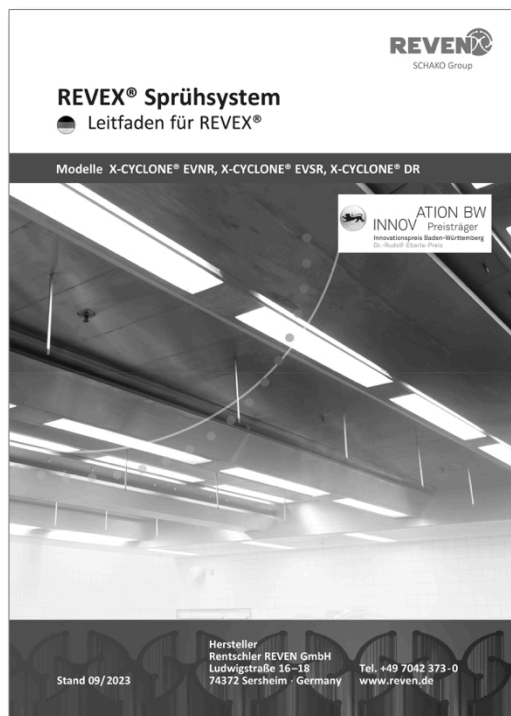
Az RSc-vezérlésről szóló brosúra



A nagy konyhák szellőzőrendszereinek gazdaságosságának javítása érdekében a Rentschler REVEN az intelligens RSc szabályozó rendszert kínálja. A rendszer a befűvott és elszívott levegő mennyiségét fokozatmentesen igazítja a főzési tevékenységekhez, teljes mértékben az innovatív Ipar 4.0 szabvány szellemében.

Brosúránkban megismerheti azokat a műszaki részleteket, amelyeket az RSc-vezérlés beépítésekor figyelembe kell venni.

Útmutató a REVEX® permetezőrendszerhez



A „konyhai szellőzőrendszerek tisztítása” témáját a múltban gyakran nem fordítottak kellő figyelmet.

A kereskedelmi konyhák szellőzőrendszereinek rendszeres, szakszerű és megfelelő tisztítása biztosítja a rendszer hibátlan működését, csökkenti a tűzveszélyt és megakadályozza a mikroorganizmusok szaporodását a rendszer belsejében. Ezen felül védi a konyhai személyzet egészségét is.

Tévhitek a szellőztetéstechika és a levegőtisztaság terén

A könyv

A podcast alatt olyan nagy volt a visszhang, hogy szinte magától adódott, hogy könyvet készítsünk belőle. A visszajelzések magukért beszélnek:

„... a légáramlásokról szóló podcast felkeltette a kíváncsiságomat, és többet akartam tudni...”

„... szeretném gratulálni Önnek az érdekes podcast

„Tévhitek a szellőztetés és a levegőtisztítás területén” című érdekes podcastjához, és köszönetet szeretnék mondani az információkért...”

„... nagyon köszönöm a valóban érdekes podcastot. Örülök, ha folytatná. Több mint 20 éve vagyok projektvezető a szellőztetéstechika területén, és sokat tanultam belőle a gyakorlat és a jövőbeli projektek szempontjából. Örülök, ha Önnel együtt építhetném a következő konyhai rendszert ...”

„... Szeretnék gratulálni a podcasthoz. A téma még olyanok számára is nagyon érthető, mint én, akik nem annyira jártasak a témában...”

„... mint a podcastjuk figyelmes hallgatója, szeretném megragadni az alkalmat, és megrendelni a 2023-ra bejelentett szakkönyvet. Remélem, lesznek további epizódok a levegő témájában – a legértékesebb ételkészítésünkben...”

A szerző

Sven Rentschler okleveles mérnök a Rentschler Reven GmbH ügyvezetője, amely egy közepes méretű légtisztító berendezések gyártója. Vállalkozóként azt tűzte ki célul, hogy világszerte elősegítse a légtisztítás fontosságának jobb megértését az iparban és a kereskedelemben. Két nemzetközi szabadalom és a Baden-Württemberg tartomány innovációs díja az elkötelezettségének eredményei. Ezenkívül Sven Rentschler blogol és előadásokat tart a légtisztítás témájában.

A célközönség

Mindenki, akit érdekel, mire kell figyelni az optimális szellőzés és légtisztítás során.

A klíma- és szellőztetőipar kezdői, ismereteiket frissíteni kívánók és szakemberei, valamint a kapcsolódó szakmákból érkező átlépők, különösen a gépgyártásban és az ételkészítésiparban dolgozó szellőztetőtervezők, kivitelező cégek, szakértők, üzemeltetők és nagy konyhák tervezői

• SZELLŐZÉS • KLÍMA • HŰTÉS

Első kiadás 2023

cci-dialog.de

A cci Buch a cci Dialog GmbH védjegye E-könyv formában is kapható

ISBN 978-3-922420-74-3



9 783922 420743

€ 47,00 (D)