

Förbättrad luftkvalitet i miljörum

Hantering av lukter

Rapportnummer: U6856

Författare: Sarka Langer, IVL Svenska Miljöinstitutet; Lars Ekberg, Chalmers tekniska högskola

På uppdrag av: HSB Levande Lab Utveckling HB

Granskare: Dämien Bolinius

Godkännare: Karin Sjöberg

Summary

IVL Swedish Environmental Research Institute, in collaboration with Chalmers University of Technology, has been commissioned by HSB Living Lab Utveckling HB to undertake a study regarding knowledge overview and available technical solutions for combating odors in waste rooms.

Unpleasant odors in waste rooms represent a serious problem for residents who have to sort household waste. The smells are caused by chemical substances in the air in the waste room. Sulfur-containing substances (for example hydrogen sulphide, dimethyl sulphide and methyl mercaptan), nitrogen-containing substances (amines) and other substances such as organic acids (acetic acid) and aldehydes (acetaldehyde) which originate from, for example, rotten eggs, vegetables, fish, meat, etc., are typical pollutants that cause odors in waste rooms.

There is a number of technical solutions for the removal of foul-smelling chemicals based on, for example, ozonation, ionization, catalytic air purification or filtration. The scientific literature does not provide clear guidance as to what types of technical solutions can be expected to effectively suppress odors in waste rooms in practice. Air purifiers utilizing these technologies are available on the market with varying degrees of detail about their function and efficiency.

The recommended technical solutions that are proposed for odor removal in waste rooms are the control of the origin of odors through cleanliness in the waste rooms, control of prescribed ventilation, extended ventilation, or filtration through adsorbent materials such as activated carbon or another sorbent material.

Air purifiers that utilize ozone generation should not be used for continuous odor removal due to the harmful effects caused by the ozone itself on human health. Ozone treatment can be used as a decontamination under strictly professional conditions.

Sammanfattning

På uppdrag av HSB Levande Lab Utveckling HB har IVL Svenska Miljöinstitutet i samarbete med Chalmers Tekniska Högskola genomfört en studie avseende kunskapsöversikt och tillgängliga tekniska lösningar för bekämpning av lukter i miljörum.

Obehagliga lukter i miljörum representerar ett allvarligt problem för boende som ska sortera hushållsavfall. Lukterna orsakas av kemiska ämnen i luften i miljörummet. Svavelhaltiga ämnen (till exempel svavelväte, dimetylsulfid, metylmerkaptan), kvävehaltiga ämnen (aminer) samt andra ämnen, som till exempel organiska syror (ättiksyra) och aldehyder (acetaldehyd) som härstammar från till exempel ruttna ägg, grönsaker, fisk, kött, med mera, är typiska föreningar som orsakar lukt i miljörum.

Det finns en rad tekniska lösningar för avlägsnande av luktande kemikalier som bygger på till exempel ozonering, jonisering, katalytisk luftrening eller filtrering. Den vetenskapliga litteraturen ger ingen tydlig vägledning beträffande vilka typer av tekniska lösningar som verkligen kan förväntas fungera för att effektivt dämpa lukter i miljörum i praktiken. Luftrenare som utnyttjar dessa tekniker finns på marknaden, med varierande grad av detaljerade uppgifter om deras funktion och verkningsgrad.

De rekommenderade tekniska lösningar som föreslås är kontroll över uppkomst av lukter genom renhållning i miljörum, kontroll av föreskriven ventilation, utökad ventilation eller filtrering genom adsorbentmaterial så som aktivt kol eller ett annan sorbentmaterial.

Luftrenare som utnyttjar ozongenerering borde inte användas för kontinuerlig borttagning av lukter på grund av skadliga effekter på människans hälsa som orsakas av ozonet självt. Ozonbehandling kan utnyttjas som en saneringstekning under strikt professionella förhållanden.

Innehållsförteckning

Summary	3
Sammanfattning	4
1 Inledning	6
2 Litteraturstudie	7
2.1 Kemi	7
2.2 Lukter	8
2.3 Ozon	10
2.4 Luftreningstekniker	12
2.5 Luftrening – exempel från litteratur	18
3 Regelverk och riktlinjer	22
3.1 Avfall Sverige	22
3.2 Arbetsmiljöverkets hygieniska gränsvärden	23
3.3 Världshälsoorganisationens riktlinjer	23
3.4 Boverkets byggregler (BBR)	23
3.5 EU-Direktiv: Biocidal Products Regulations (EU) 528/2012	24
3.6 Myndigheter och bransch i samverkan	24
4 Marknadsöversikt	25
5 Slutsatser	30
6 Rekommendationer	31
7 Referensförteckning	32
8 Bilagor	36
8.1 Bilaga 1. Beräknade ozonkoncentrationer	36
8.2 Bilaga 2. Beräknade ozonkoncentrationer	42
8.3 Bilaga 3. Förslag till förhållningsregler rörande användningen av ozongeneratorer	43

1 Inledning

Det har genomförts flera projekt inom HSB Living Lab kopplat till miljörum med syfte att skapa bättre, tryggare och trivsammare miljöer. Detta i sin tur skapar förutsättningar för bättre återvinning och hantering av avfall och därmed ett mer hållbart boende.

En utmaning med miljörum är lukt, och det finns idag flera tekniska lösningar och leverantörer som marknadsför lösningar. Samtidigt finns det en kunskapsbrist hos fastighetsägare och bostadsrättsföreningars styrelser kring vilka lösningar som är mest effektiva och eventuella hälsorisker kopplat till dessa, t ex vid användning av ozon för rening av luft. Detta kan göra att "fel" lösningar väljs och i värsta fall kan detta skapa försämrad miljö och även påverka hälsan hos de boende.

Det projekt som redovisas i föreliggande rapport syftar till att samla in och dokumentera kunskap och erfarenheter på området och sammanfatta vilka tekniska lösningar som kan rekommenderas till miljörum i flerbostadshus. Projektet består av tre delar:

- o Litteraturstudie
- o Marknadsöversyn
- o Rekommendationer

Resultat från projektet är avsett att användas som underlag för planering för praktiska tester av rekommenderade lösningar i nästa steg. Behov av sådana tester ska bedömas och det ingår som del av genomförandet.

Projektet har utförts av Sarka Langer, IVL Svenska Miljöinstitutet och Lars Ekberg, Chalmers Tekniska Högskola, på uppdrag av HSB Levande Lab Utveckling HB.

2 Litteraturstudie

2.1 Kemi

Organiska ämnen är en stor klass av kemiska föreningar där en eller flera kolatomer är kopplade till atomer av andra grundämnen, oftast väte, syre, kväve eller svavel. Kolväten består av endast kol- och väteatomer. De delas ytterligare till mättade kolväten kallade alkaner, där kolatomerna är enkelbundna (-C-C-) och omättade alkener med -C=C- dubbelbindningar, eller alkyner med trippelbindningar ($\text{-C}\equiv\text{C-}$). Aromatiska kolväten består av en eller flera bensenringar. Alkoholer, aldehyder, ketoner och estrar är kolväten med s.k. funktionella grupper som innehåller syreatomer i olika konfigurationer i molekylen. Kolväten kan också innehålla svavel eller kväve. Översikten visas i Tabell 1.

Som sammanfattande begrepp för organiska luftföroreningar med vissa egenskaper (kokpunkt, ångtryck) används uttrycket flyktiga organiska ämnen, på engelska Volatile Organic Compounds, VOC.

Tabell 1. Exempel på klasser av organiska ämnen.

Klass	Funktionsgrupp	Exempel
Kolväten mättade	-C-C-	Etan $\text{H}_3\text{C-CH}_3$
Kolväten omättade	-C=C-	Etylen $\text{H}_2\text{C=CH}_2$
Kolväten omättade	$\text{-C}\equiv\text{C-}$	Acetylen $\text{HC}\equiv\text{CH}$
Aromatiska kolväten	Aromatisk ring 	Bensen
Alkoholer	-OH	Etanol $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$
Aldehyder	-CHO	Acetaldehyd $\text{CH}_3\text{-CHO}$
Ketoner	-C(=O)-	Aceton $\text{CH}_3\text{-C(=O)-CH}_3$
Organiska syror (karboxylsyror)	C(=O)OH	Ättiksyra $\text{CH}_3\text{-C(=O)OH}$
Estrar	C(=O)-O-C	Metylacetat $\text{CH}_3\text{-C(=O)-O-CH}_3$
Sulfider	C-S-C	Dimetylsulfid $\text{CH}_3\text{-S-CH}_3$
Aminer	C-NH_2	Metylamin $\text{CH}_3\text{-NH}_2$

2.2 Lukter

Lukter är molekyler som binder till luktreceptorer i näsan; det är specialiserade nervceller som är direkt kopplade till hjärnan. En biologisk slutpunkt som ger en kvantitativ bedömning av effekten av luftburna kemikalier på luktsystemet hos en människa kallas luttröskel (odor detection threshold, ODT). Luttröskeln är den lägsta koncentration av en viss luftburen förening som kan uppfattas av människans luktsinne. Luttrösklar för ett antal kemikalier har sammanfattats i litteraturen (till exempel Nagata, 2003; Abraham m.fl., 2012). För att ett ämne ska lukta måste det bli gasformigt (Din kemi¹). De flesta luktande kemikalier, med ett par undantag, är flyktiga organiska ämnen (Volatile Organic Compounds, VOC). Till exempel, alkoholer, aldehyder, ketoner och svavelinnehållande ämnen har identifierats i luktande utrymmen för uppfödning av kycklingar (Murphy m.fl., 2014). Lukten av sopor orsakas av kemikalier som uppstår genom nedbrytning av förpackning och matrester genom mikrobiologisk aktivitet av bakterier och svampar.

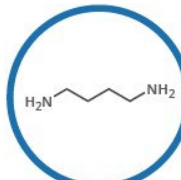
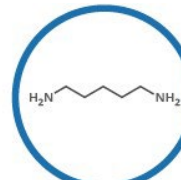
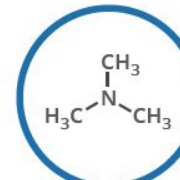
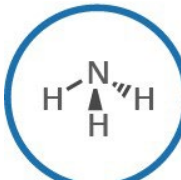
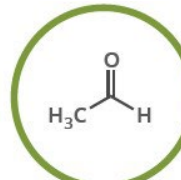
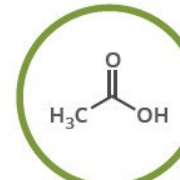
Typiska ämnen som bidrar till lukter i miljörum är sulfider (svavelväte, dimetylsulfid), ammoniak, trimetylamin och alifatiska diaminer samt acetaldehyd och ättiksyra (The smell of garbage²). En översikt av dessa kemiska föreningar som bidrar till den karakteristiska lukten av avfall visas i Tabell 2. Ammoniak, svavelväte och organiska sulfider påvisades i halter 1200 – 6900 µg/m³ över en deponi med kommunalt fast avfall i Kina (Cheng m.fl., 2020). Curren m.fl. (2016) identifierade kemiska ämnen som orsakade lukter från sopstationer för kommunalt fast avfall. Svavelföreningarna metylmerkaptan (CH₃SH) och svavelväte (H₂S) var förknippade med svavelaktig lukt av ruttna ägg och grönsaker, kväveinnehållande organiska föreningar kommer från ruttet kött och ruttan fisk, aldehyder och organiska syror orsakade söt, ättikliknande eller härsken lukt. Kemisk analys påvisade svavelinnehållande ämnen, aldehyder och organiska syror i halter som översteg luttrösklar 1 – 230 gånger.

Organiska ämnen, inklusive de luktande, adsorberas (fastnar) på luftburna partiklar (Falkovich m.fl., 2004) som därför också bör betraktas som bärare av lukter.

¹ <https://dinkemi.com/elearning/sinnen/luktsinnet-och-molekyler>.

² <https://www.compoundchem.com/wp-content/uploads/2017/06/Aroma-Chemistry-%E2%80%93-The-Smell-of-Garbage.pdf>

Tabell 2. Exempel av typiska kemiska ämnen som ger upphov till lukt i miljörum.

  			Svavelhaltiga föreningar produceras vid nedbrytning av matavfall. De har en låg luktröskel, vilket betyder att endast mycket liten mängd av dem behöver finnas för att kunna känna lukten av dem. De bidrar på ett betydande bidrag till obehaglig lukt av skräp.
Svavelväte ruttna egg	Dimetylsulfid ruttan kål	Metylmerkaptan ruttan kål	
  			Kvävehaltiga föreningar Trimetylammin, putrescin (tetrametyldiamin), kadaverin (pentametyldiamin) uppstår från ruttnande kött och fisk. De har en mycket låg luktröskel. Ammoniak produceras i stora mängder men bidrar till mindre än de andra kvävehaltiga föreningar.
Putrescin ruttet kött	Kadaverin ruttet kött	Trimethylamin ruttan fisk	
  			Andra föreningar Många andra förening bidrar till lukten, till exempel aldehyder och karboxylsyror (t.ex. ättiksyra). Dessa föreningar produceras ofta under så kallad anaerob nedbrytning (brist på syre).
Ammoniak Stickande	Acetaldehyd fruktig, stickande	Ättiksyra surt, vinäger	

2.3 Ozon

Ozon (O_3) är ett reaktivt, oxiderande ämne. Ozon bildas till största delen utomhus genom en fotokemisk reaktion mellan atmosfäriskt syre, flyktiga organiska ämnen och kväveoxider i närvaro av solljus. Ozon kan avsiktligt bildas främst genom en av två processer. Den ena processen baseras på en koronauraddning där en hög spänning, applicerad på en fin tråd eller nål bildar fria syreatomer som kombineras med en (vanlig tvåatomig) syremolekyl för att bilda ozon (Ekvation 1). I den andra processen orsakas produktionen av fria syreatomer av ultraviolett strålning. Ozon genereras också i elektrostatiske filter (ESP) designade för partikelkontroll (Nazaroff and Weschler, 2022).



O_3 är ett av ett fåtal ämnen med ett hälsobaserat rekommenderat riktvärde för inomhusluft där människor vistas (bostäder, kontor, med mera). För ozon gäller ett generellt riktvärde på $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ som motsvarar 50 ppb som en 8-timmars medelvärde (WHO, 2021). För yrkesmässig exponering gäller de arbetshygieniska gränsvärdena från Arbetsmiljöverket (AFS 2023:14). Det finns två sådana gränsvärden, dels ett nivågränsvärde på 0,1 ppm som motsvarar $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ under en arbetsdag på 8 timmar, dels ett korttidsgränsvärde på 0,3 ppm som motsvarar $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ under 15 minuter. Lukttröskeln varierar men kan ligga vid 10–15 ppb ($20 - 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (SWESIAQ, 2020).

Ozon orsakar skadliga effekter på hälsan. Hälsoutfall inkluderar sjukhusinläggningar, andningsproblem, nedsatt lungfunktion, ökade astmasymtom, ökade inflammatoriska reaktioner, inverkan på autonoma nervsystemets styrning av hjärtat, effekter på inflammationssvar och oxidativ stress. Toxikologiska studier av exponering för ozon har också visat samband med nervfunktion, sönmönster och minnesfunktion. (EPA, 2020).

Den vanligast förekommande föreställningen om luftrening genom inverkan av ozon är att de organiska luftföroreningar, kolväten, bryts ned (oxideras) till koldioxid (CO_2) och vatten (H_2O). Oxidation av kemiska ämnen måste ske med en hastighet som är jämförbar med, eller snabbare än, luftomsättningen i byggnader eller lokaler för att den ska kunna påverka ämnets halter i inomhusluften (Weschler, 2000). Luftomsättningen (h^{-1}) bestämmer den tid som är tillgänglig för föroreningar inomhus i gasfas att interagera (Weschler and Shields, 2000). Det har dock visat sig att ozon inte reagerar tillräckligt snabbt med VOC-ämnen vanligen förekommande i inomhusluft. Ozon reagerar i stället mycket långsamt med de

flesta vanliga mättade VOC-ämnen inomhus och även med de typiska ämnen som främst orsakar lukter så som svavelväte, ammoniak, organiska sulfider, aminer, aldehyder och karboxylsyror (Finlayson-Pitts och Pitts, 2000). Reaktionerna mellan dessa ämnen och ozon kan ta månader till år. Dessa ämnen elimineras alltså inte tillräckligt snabbt av ozon för det ska påverka deras halter i inomhusluft.

Å andra sidan oxiderar ozon omättade kolväten, bl.a. matolja, isopren (i gummi och ekträ), terpenerna d-limonen (i citrusfrukter, rengöringsmedel) och α -pinen (trä) eller styren (i vissa plaster och gummi). Reaktionen sker genom att ozon bryter upp $\text{C}=\text{C}$ -dubbelbindningen. Av en större molekyl bildas två mindre, syreinnehållande molekyler och två mycket reaktiva s.k. radikaler som startar ytterligare reaktionskedjor. Resultatet blir att ozon reagerar med mer eller mindre harmlösa kolväten och att det bildas aldehyder, ketoner och organiska syror med mycket lägre lukttrösklar och värre hälsoeffekter än de ursprungliga kolvätena (Finlayson-Pitts and Pitts, 2000). Den mängd av ozon som har reagerat, så kallad 'ozone loss' har föreslagits som ett mått för att undersöka potentiella negativa hälsoeffekter orsakade av exponering för produkter av ozonkemi inomhus. Ju mer ozon försvinner desto mer biprodukter bildas. (Weschler, Nazaroff, 2023).

Ozonbaserade luftrenare kan bilda hydroxyl radikaler (OH) inomhus. OH radikal är ett kortlivat ämne och en väldigt kraftfull oxidant av flyktiga organiska ämnen i utomhusluft där den bildas under inverkan av kortvågigt solljus (UV ljus) i reaktionen mellan syreatomer med hög energi och vatten. Det finns andra processer för bildning av OH radikaler som inte kräver kortvågigt UV ljus och då kan den bildas även inomhus. Mekanismen för bildning av OH radikaler baseras på reaktion mellan omättade organiska föreningar som terpenier, t.ex. limonen (i citrusfrukter och rengöringsprodukter) eller α -pinen (i trä). En studie har visat att en kommersiellt tillgänglig luftrenare med intern ozongenerering kan producera OH-koncentrationer inomhus som är högre än de som normalt observeras utomhus under varma, soliga dagar, det vil säga, höga för inomhusmiljöer (Carslaw m.fl., 2017).

Det amerikanska Naturvårdsverket – United States Environmental Protection Agency (US EPA) har sammanfattat effektivitet och hälsoeffekter av ozonbildande luftrenare. Slutsatserna från studien var 1) ozon är skadligt i sig; 2) vid halter som inte överskrider hälsobaserade referensvärden, har ozon liten potential att ta bort luftföroreningar, luktande kemikalier, virus, bakterier, mögel och andra biologiska föroreningar. Med andra ord, ozon är i allmänhet ineffektivt för att kontrollera luftföroreningar inomhus (US EPA, Ozone generators).

Under pågående ozonbehandling till koncentrationer över gällande gränsvärde ska ingen person uppehålla sig i rummet. Hur lång tid det tar att ventileras bort ozon från ett rum efter avslutad ozonbehandling illustreras i Bilaga 1.

Luftrening genom avsiktlig behandling med ozon och luftreningstekniker som eventuellt producerar ozon kan delvis vara oeffektiva eftersom ozon inte reagerar tillräckligt snabbt med den givna luftföroreningen, delvis förekommer i för höga halter.

Reducering av lukter i luften i innemiljöer, inklusive miljörum, borde i första hand bygga på rening av luften från organiska ämnen. En översikt över luftreningstekniker ges nedan.

2.4 Luftreningstekniker

ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) är en amerikansk professionell förening som vill främja design och konstruktion av värme-, ventilations-, luftkonditionerings- och kylsystem. Organisationen har utfärdat ett positionsdokument om luftrening som specificerar tekniker för luftrening i innemiljöer (ASHRAE) med avseende på hälsoeffekter av sänkta halter av luftföroreningar. Tekniker som omfattas är:

- ozonbehandling
- fotokatalytisk oxidation (PCO, PhotoCatalytic Oxidation)
- mekanisk, eventuellt elektrostatiskt förstärkt filtrering av partiklar
- sorption av gasformiga kemikalier
- ultraviolett bakteriedödande bestrålning (Ultraviolet Germicidal Irradiation, UVGI)

Användning av luftrenare som avger **ozon** genom design (dvs. med avsikt) bör inte tillåtas. Ozon är ett hälsoskadligt ämne i sig. Luftrening från luftburna kemikalier sker genom en reaktion mellan ämnet och ozon. Många biprodukter från reaktioner med ozon i luften är ämnen som skapar risker för hälsan så som formaldehyd, andra aldehyder och ultrafina partiklar.

Mest vanliga material för **fotokatalytisk oxidation** är titanium dioxid (TiO_2), zinkoxid (ZnO), volframtrioxid (WO_3), zirkonium dioxid (ZrO_2). En mängd olika UV-ljuskällor kan användas i fotokatalytisk oxidation, inklusive svarta ljus (UV-A: långvågig strålning; 400 till 315 nm), bakteriedödande lampor (UV-C: kortvågig strålning; 280 till 200 nm) och lampor som generera ozon (vakuum UV: våglängder

under 200 nm). Fotokatalysatorer genererar hälsoskadliga så kallade 'Reactive Oxygen Species'. Högre effektivitet observeras för syreinhållande organiska föreningar såsom alkoholer, ketoner och vissa aldehyder; mellaneffektivitet för aromater (bensen, toluen). Fördelar av fotokatalytisk oxidation är förmåga att behandla en mängd olika föreningar och en teoretiskt lång livscykel för den reaktiva processen. Nackdelar består av energiförbrukning och kostnad för byte av lampor samt sannolikheten för bildning av ozon, beroende på vilken lampkälla som används.

ASHRAE dokumentets slutsatser är att **mekaniska filter** minskar partikelkoncentrationer till nivåer som ligger under tillhörande lagstadgade exponeringsgränserna. Filtreringsteknik som genererar elektiska fält och/eller joner har visat positiva effekter på partikelhalter, dock många sådana kan avge signifikanta halter av ozon.

Adsorbent-baserade system kan ta bort ett brett spektrum av föroreningar med måttlig till hög effektivitet. Den vanligaste adsorbenten som används är aktivt kol; andra inkluderar aktiverade aluminiumoxider, naturliga och syntetiska zeoliter i granulat-form, kiseloxider, molekylsiktare och olika polymerer. Adsorbentens verkningsgrad kan förstärkas genom impregnering med kemikalier som binder luftföroreningar eller gör det lättare att de fastnar på filtret. Luftrenare baserade på sorption kan minska halter av organiska ämnen med varierande effektivitet, baserat på ämnets kokpunkt, molekylärvikt och koncentration.

Luftrenare som använder **ultraviolett bakteriedödande bestrålning** används mest för att inaktivera mikroorganismer som bryter ned organiskt material. Inaktiveringsgrad på 90% eller högre kan uppnås vid idealiska förhållande, beroende på typen av mikrobiell kontaminering, UV-ljuset intensitet, luftomblandning, temperatur och relativ luftfuktighet. Kombination med mekaniska filter rekommenderas.

Zhang m.fl., 2011 sammanfattar också luftreningstekniker i en översiktsartikel. Här ges en översikt över luftreningstekniker som:

- ozon-relaterade metoder
- katalytisk oxidation, inklusive fotokatalytisk oxidation
- partikelfiltrering
- sorption
- plasmabehandling
- ultraviolett bakteriedödande bestrålning (Ultraviolet Germicidal Irradiation, UVGI)

Ozon är en oxidant som kan reagera med vissa föroreningar i inomhus luft. Ozon i sig är ganska skadligt och reaktioner med föreningar som terpenier kan producera potentiellt skadliga ämnen reaktiva organiska föreningar och nanopartiklar. Luftreningstekniker som alstrar ozon, till exempel ultraviolett bakteriedödande bestrålning (UVGI), plasma, elektrostatiska filter, jonisatorer är inte att föredra oavsett om de genererar ozon avsiktligt eller oavsiktligt.

Titandioxid (TiO_2) är det mest använda materialet i forskning rörande **fotokatalytisk oxidation**; ibland förstärks dess verknings med ozon. Tekniken har testats, även med bra resultat, på enskilda kemikalier, och kunnat bryta ned de flest typer av organiska föroreningar så som aldehyder, luktande ämnen, alkaner, aromatiska ämnen med flera. Bildning av biprodukter som är mer skadliga än de ursprungliga luftföroreningarna är ett allvarligt problem för fotokatalytiska processer. Fotokatalytisk teknik är inte klar för praktisk användning.

Partikelfilter som används i luftintag i byggnader ingick inte i granskningen. Mekaniska filter kan effektivt avlägsna partiklar men mindre effektivt både flyktiga organiska och oorganiska (till exempel, kvävedioxid, svaveldioxid, ozon) kemiska föroreningar. Filtrering är en effektiv teknik för avlägsnande av partiklar dock använda partikelfilter kan vara en källa till sensorisk förorening, dvs. lukter (Bekö m.fl., 2008).

Sorption är en bra teknik för borttagning av gasformiga luftföroreningar. Det finns flera aspekter som ska beaktas vid användning av luftreningstekniker baserade på av adsorption eller kemisorption. De sorberade organiska ämnen kan vidare reagera med ozon och producera oönskade biprodukter och partiklar. Sorption med aktivt kol kan också ta bort ozon. Vattenånga (fuktighet) och andra ämnen kan ha en negativ effekt på avlägsnande av de önskade luftföroreningar genom så kallad 'competitive sorption'. Det kan vara en utmaning att ta fram rätt sorbentmaterial för valda luftföroreningar.

Luftrenare som använder **plasma** (högspänningsurladdning i gas som bildar reaktiva joner och radikaler) har visat hög effektivitet för avlägsnande av partiklar, men tekniken är inte effektiv för gasformiga föroreningar. Plasma-baserade tekniker kan öka verkningsgrad hos partikelfilter och hos katalysatorer för gasformiga ämnen. UVGI är en beprövad teknik för inaktivering av luftburna mikroorganismer. Bildning av oönskade biprodukter så som kväveoxider (NO_x) och ozon är en stor nackdel med plasmateknik.

Ultraviolett bakteriedödande bestrålning (UVGI) används för desinfektion av luft eller ytor och har varit känd för mer än 100 år. Tekniken är lämplig för bekämpning av mikroorganismer. Fältdata för bedömning av luftreningskapacitet med avseende på gasformiga föroreningar saknas.

Slutsatser from denna översiktsartikel är att 1) Ingen av tekniker som studerades i undersökningen kunde effektivt avlägsna alla luftföroreningar i inomhusluft, och under drift producerade många av dem oönskade biprodukter; 2) Partikelfiltrering och sorption av gasformiga luftföroreningar var bland de mest effektiva luftreningsteknikerna, dock finns det otillräcklig information om långtidsprestanda, drift och underhåll.

En nyare studie (Mata m.fl., 2022) diskuterar fysikalisk-kemiska tekniker: mekanisk filtrering, elektrisk filtrering (elektrostatiska filter med jonisatorer), adsorption, UV-fotokatalytisk oxidation, jonisering; och biologiska tekniker för luftrening med växter och mikroalgbaserade luftreningssystem.

Jonisering genererar positiva (H^+) och negativa (O_2^-) joner när vattenmolekyler exponeras i högspänningselektroder. Luftjoniseringsbaserade enheter inkluderar sådana som genererar endast negativa joner (unipolära jonisatorer) och de som genererar positiva och negativa joner (bipolära jonisatorer). Joniseringsteknik baseras på Corona Discharge eller så kallad Needlepoint (NBPI) jonisering. Det är begränsat med studier som dokumenterar denna tekniks effektivitet. Det förekommer att joniseringsteknik används tillsammans med luftfiltrering, för att förstärka effektiviteten (förbättra avskiljningsgraden) hos partikelfilter (Pushpawela m.fl., 2017).

Biologiska tekniker reducerar enligt denna översiktsartikel främst halter av koldioxid, och således är de inte relevanta för borttagning av lukter.

Sammanställningen med information om typ av luftförorening och metodens fördelar och nackdelar ges i Tabell 3. Information sammanställt i denna översiktsartikel visar att katalytisk oxidation, plasma- och ozonbehandling har testats huvudsakligen i laboratoriestudier. För traditionella tekniker som partikelfiltrering, sorption, jonisering och UVGI genomfördes en del studier i verkliga miljöer eller fältstudier.

FÖRBÄTTRAD LUFTKVALITET I MILJÖRUM

Hantering av lukter
Juni 2024

Tabell 3. Sammanställning över luftreningstekniker.

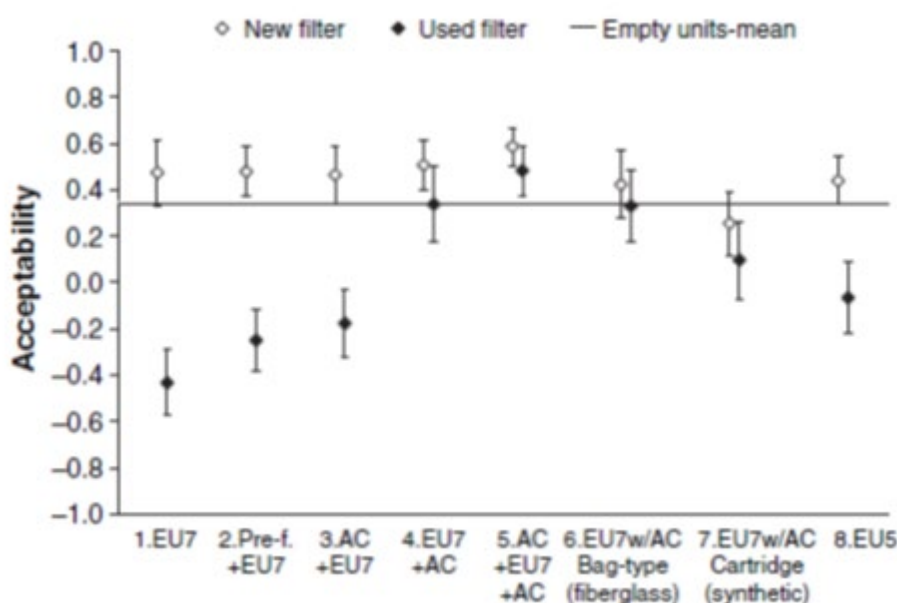
Teknik	Luftförorening att avlägsnas	Fördelar	Nackdelar
Ozonering	Gasformiga föroreningar organiska och oorganiska Luftburna mikroorganismer	Kan minska vissa bestämda lukter; Kan förstärka viss katalytisk oxidation reaktioner för avlägsnande av VOC.	Ozon i sig är en skadlig förorening och kan reagera med andra föroreningar inomhus att producera skadliga föroreningar som t.ex. aldehyder, karboxylsyror, och sekundära organiska aerosoler. Koncentrationer långt över riktvärdet och gränsvärdet skulle krävas för att uppnå någon effekt överhuvudtaget.
Jonisering	Partiklar, luftburna mikroorganismer	Vissa jonisatorer: lägre energiförbrukning, låga kostnader för underhåll. Bra i kombination med partikelfilter	Vissa jonisatorer: genererar ozon
(Foto)katalytisk oxidation	Gasformiga föroreningar organiska och oorganiska Luftburna mikroorganismer	Aktiv vid rumstemperatur. Kan bryta ned olika föroreningar (aldehyder, aromater, kolväten, luftföroreningar, luftburna mikrober). Behöver inte regenereras.	Kan generera skadliga biprodukter såsom som formaldehyd, acetaldehyd och aceton. Katalysator kan förgiftas, vilket resulterar i minskad prestanda.
Filtrering	Partiklar	Bra på att ta bort partiklar i storleksområde från 0,1 mm till 4 mm.	Begagnade partikelfilter är källor till sensoriska (luktande) föroreningar. Inga tecken på att VOC har avlägsnats med själva filtret, förutom när filtret är kombinerat med andra material, såsom aktiverat kol.
Sorption	Gasformiga föroreningar organiska och oorganiska	Inga skadliga biprodukter. Bra prestanda för gasformiga föroreningar.	Måste regenereras efter lång tids drift. Reaktioner med ozon kan generera gasformiga sekundära föroreningar.

Tabell 3 – fortsättning. Sammanställning över luftreningstekniker.

Teknik	Luftförorening att avlägsnas	Fördelar	Nackdelar
Plasma	Gasformiga föroreningar organiska och oorganiska Luftburna mikroorganismer	Kan samtidigt ta bort gasformiga föroreningar och partiklar i kombination med katalytisk teknik eller partikelfilter.	Kan producera O ₃ , NO _x och andra skadliga biprodukter. Hög spänning och hög energi konsumtion.
Ultraviolet bakteriedödande bestrålning (UVGI)	Luftburna mikroorganismer	Bra för inaktivering av vissa luftburna mikroorganismer (bakterier, mögel, virus).	Kan generera ozon och dioxin (cancerframkallande ämne).

2.5 Luftrening – exempel från litteratur

Bekö m.fl. (2008) har undersökt lukter från använda **ventilationsfilter**. Olika kombinationer av partikelfilter (klass EU5 och EU7) och gasadsorptionsfilter med aktivt kol (AC) utsattes för kontinuerlig filtrering av utomhusluft under fem månader. Filter nr. 6 och 7 är kombinerade partikel- och gasfilter med olika utseenden. En luktpanel bedömde lukter från de använda filter och identiska nys, oanvända filter i en kammare. För bedömning av lukten användes en kontinuerlig acceptansskala, som sträcker sig från Klart oacceptabelt (-1) till Klart acceptabelt (+1).

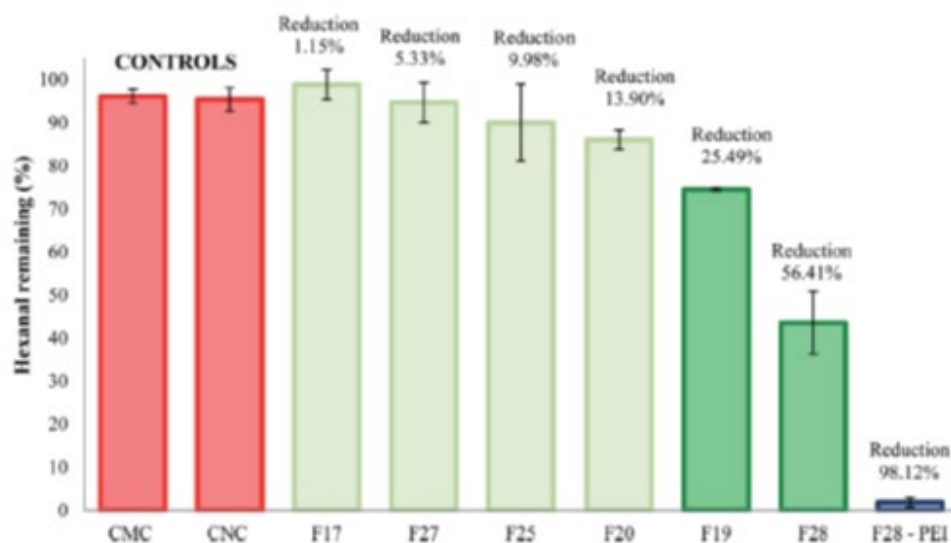


Figur 1. Acceptans av luftkvalitet dvs. bedömning av lukten nedströms de nya och begagnade filter eller filterkombinationer. Källa: Bekö m.fl. (2008), Figur 3. Helden linje visar acceptansen av luften som hade passerat genom tom kammare.

Acceptansen av luften som passerade de nya filtren var litet högre and acceptansen av luften från den tomma kammaren. De använda filter visade varierande acceptansen av lukt. Det bästa resultat uppnåddes för en kombination av EU7 filter med AC-filter (aktivt kol) både uppströms och nedströms (nr 5. på x-axel). Sådana filterkombinationer kan effektivt ta bort både partiklar och föroreningar med störande lukt.

En rapport från JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik sammanfattar en utvärdering av två metoder för luktreducering av komposterbart avfall (Torén m.fl., 2003). Den ena metoden innebar **mikrobiologisk** behandling av avfallet med en kommersiell produkt (Ambio-Dor) innehållande, naturligt förekommande jordbakterier *Bacillus subtilis* samt vatten, nonjontensider och parfym. Den andra metoden var behandling av avfallet med **ozon**. Luktreduceringen bestämdes genom mätning av luktintensitet och luktkaraktär där försökspersoner i en luktpanel fick bedöma lukten. Studiens slutsats var att de uppmätta luktreducerande effekterna var små. Vid den mikrobiologiska behandlingen var den genomsnittliga subjektiva luktreduceringen ~ 9 % och vid ozonbehandlingen minskade den subjektiva luktintensiteten i genomsnitt med 20 %.

Bravo m.fl. (2020) har studerat sorptivt upptag av hexanal, en 'model' aldehyd på cellulosa-partiklar. Cellulosa är den vanligaste naturliga polymeren på jorden, och kan utvinnas från ett brett spektrum av källor, inklusive trä, vegetation, alger och bakterier. För detta arbete har mikrokrySTALLIN cellulosa utvunnits från inhemska växter i Ecuador. Ej modifierad mikrokrySTALLIN cellulosa adsorberade hexanal med 25 – 56 % reduktion. Beläggning av mikrokrySTALLIN cellulosa med poly(etylenimin) förbättrade adsorption av hexanal till 98 %. Kommersiellt tillgänglig mikrokrySTALLIN cellulosa hade en adsorptionskapacitet av 1 – 14 %.



Figur 2. Adsorption av hexanal på olika kvaliteter av cellulosa, procentuell minskning av halten i luft. Källa: Bravo m.fl. (2020), Figur 7. Röda staplar (CMC, CNC): kontrollproven; ljusgröna staplar (F17, F27, F25, F20): mikrokrySTALLIN cellulosa från en kommersiell leverantör; mörkgröna staplar (F19, F28): experimentellt framtagen ej modifierad mikrokrySTALLIN cellulosa; blå stapel (F28-PEI): framtagen mikrokrySTALLIN cellulosa belagd med poly(etylenimin).

Bahri och Haghighat (2014) har sammanställt en översiktsartikel på laboratoriestudier i olika kammare eller reaktorer över **plasma-baserade** tekniker för luftrening i inomhusmiljöer. Effektivitet av borttagning av flyktiga organiska ämnen toluen, bensen, xylener, aceton, formaldehyd, tetrakloroetylen, trikloroetylen och butylacetat varierar mellan 38 – 97% med hjälp av icke-termisk plasma. Nästa alla citerade artiklar rapporterar biprodukter så som partiklar, koldioxid (CO₂), kolmonoxid (CO), ozon, kvävemonoxid (NO), kvävedioxid (NO₂), myrsyra, ättiksyra, bensosyra, formaldehyd, bensaldehyd, m fl. Plasma förstärkt med olika katalytiska system visade reninseffektivitet på 40 – 100 % för ämnen toluen, bensen, xylener, formaldehyd och isopropanol. Som biprodukter nämndes kolmonoxid (CO), ozon, kvävemonoxid (NO), kvävedioxid (NO₂).

Bärbara luftrenare användes i kombination med ventilation för luftkvalitetshantering i en testkammare. Funktionsprincip av tre kommersiellt tillgängliga luftrenare var en kombination av tekniker för borttagning av partiklar och gasformiga luftföroreningar (VOC). I den första luftrenaren (Sharp Corporation, Japan, modell KC-A60) användes ett förfilter, ett tvättbart filter med aktivt kol och ytterligare ett filter motsvarande filterklass HEPA-13³ tillsammans med 'Plasmacluster ion technology' som påstods bryta ner luktande molekyler. Den andra luftrenaren (Daikin, Japan, modell MC70L) hade en komplex uppsättning av sektioner för borttagning av luftföroreningar i sex steg som bestod av en urladdningsenhet, förfilter, en plasma jonisator, ett elektrostatiskt filter, en fotokatalysator och ett 'deodoriserande' katalysatorfilter. Den tredje luftrenaren (Zepter International, Germany, modell Therapy Air) bestod av en 'mikrofilter' för filtrering av partiklar > 0,4 µm, en ozon-baserad modul och en katalysator. Cigarettrök användes som källa av partiklar och VOC så som aceton, 2,3-butanedion, 2-butanon, bensen, etylbensen, styren och toluen. Alla luftrenare kunde rena luften från partiklar med en effektivitet upp till 97 %. Luftrenarnas kapacitet avseende rening av luft från partiklar uttryckt som Clean Air Delivery Rate (CADR) varierade från 37 ± 4 till 237 ± 11 m³ h⁻¹. (Ciuzas m.fl., 2016). Begreppet CADR⁴ förklaras i detalj i Bilaga 2.

³HEPA = High Efficiency Particulate Air. European Standard EN 1822-1: 2009, definierar flera klasser av HEPA-filter genom att de filtrerar bort, till över 99%, den givna mest penetrerande partikelstorleken (MPPS).

⁴Rumsluftsrenarens inverkan på halten av en viss luftförorening i ett rum beräknas enligt ekvation: $C_{med\ lr} = C_{utan\ lr} \times q / (q + CADR)$. $C_{med\ lr}$ är koncentration med luftrenare i drift (m³/tim); $C_{utan\ lr}$ är koncentration utan luftrenare i drift (m³/tim); q är ventilationsflöde (m³/tim); CADR är Clean Air Delivery Rate för luftrenaren (m³/tim).

VOC avlägsnades med betydligt lägre effektivitet på 21 – 46 % och CADR på 2,2 – 29,9 m³ h⁻¹. Alla tre bärbara luftrenare innehöll en enhet för elektrisk urladdning som tyder på att nedbrytning av VOC skedde primärt genom reaktioner med ozon. Rumsventilation har påvisats vara mera effektiv för borttagning av VOC än användningen av dessa luftrenare för partiklar (Ciuzas m.fl., 2016).

En översiktsartikel beskriver vilka faktorer är viktiga för borttagning av gasformiga luktande föreningar med **aktivt kol**. Verksamma mekanismer för uppfångning av kemiska ämnen på aktivt kol är fysisk adsorption, kemisorption och reaktiv adsorption. Artikeln fokuserar på flyktiga svavel- och kväveinnehållande ämnen samt andra flyktiga organiska ämnen så som organiska syror (t.ex. ättiksyra, smörsyra), aldehyder (acetaldehyd, butanal), ketoner (aceton, 2-butanon), terpenener (pinen, limonen), med flera. Nyckelfaktorer som påverkar adsorptionen av luktande ämnen är: partikelstorlek, ytarea, porositet, ytkemi, impregnering, pH på ytan av aktivt kol, egenskaper av ämnen som ska fångas och relativ luftfuktighet. Till exempel, aktivt kol med små mikroporer är lämpligt för borttagning av svavelinnehållande luktämnen; vatten (ånga) kan utkonkurrera andra ämnen från adsorptionsplatser så optimal relativ luftfuktighet för adsorption av svavelinnehållande är runt 60 % ämnen och för VOC < 50 %. Aktivt kol adsorberar företrädesvis VOC med högre molekylvikt och högre kokpunkt. Svavelinnehållande luktämnen fångas bättre på ytor med högt pH (basiskt). Mest information från litteraturen handlar om adsorption av enskilda ämnen. Det saknas kunskap om effektiv luftrening av blandningar av ämnen. Vid rening av luktande ämnen i miljörum skulle behövas aktivt kol med skraddarsydda egenskaper som till exempel impregnering med medel som påverkar pH på ytan av aktivt kol för att underlätta kemisorption (Le-Minh m.fl., 2018).

Borttagning av flyktiga organiska ämnen och partiklar har studerats i ett universitetsklassrum med användning av **olika luftreningstekniker**. Luftrenarnas arbetsprincip var olika kombinationer av HEPA-filter, andra filter, aktivt kol-filter, jonisatorer, UV-strålning och fotokatalytisk oxidation. Resultaten visade en inkonsekvens mellan förväntad och experimentellt erhållen Clean Air Delivery Rate som vanligt bestäms från borttagning av partiklar. För sju av åtta undersökta luftrenare var CADR för testade VOC (metanol, acetaldehyd, aceton, ättiksyra, isopren, butanon, toluen, bensaldehyd och limonen) signifikant lägre än motsvarande CADR för PM. Dessutom varierade borttagningseffektivitet av de undersökta VOC osystematiskt mellan de olika luftrenarna på grund av den faktiska konfigurationen av filter – UVC-ljus – fotokatalysator i luftrenaren (Sørensen m.fl., 2023).

En annan granskning visade också att den faktiska effektiviteten hos luftrenare är betydligt lägre i verkliga förhållanden än de värden som anges av tillverkaren. Luftrenares effektivitet beror nämligen på många faktorer, inklusive dess placering, installation, luftflöden och drifttimmar. Dessa faktorer kan skiljas avsevärt i verkligheten än under laboratorietester. (Szcotko m.fl., 2022).

Ett **ozonaggregat** av typ AirMaid® (registrerat varumärke) testades för luktreducering i frånluftskanaler som ventilerar restaurangkök. Systemet är baserat på företagets egen ozoncell kallad CGC (Corona Glass Cell). Mätningarna utfördes i en restaurang med en AirMaid ozonator installerad, och i en annan restaurang utan ozongenerator. Ozoneringen gav ett överskott av ozon i ventilationsluften på cirka 700 ppb⁵. Prover togs i speciellt för ändamålet anpassade lufttäta påsar. Sensorisk luktutvärdering genomfördes med hjälp av tränad luktpanel inom 30 timmar från provtagningen. Luktkoncentrationen minskade med cirka 95%. Det bör påpekas att ozon eventuellt närvarande i prover troligen bröts ner under de 30 timmarna före luktbedömningen. (<https://www.airmaid.com/en/reports>).

3 Regelverk och riktlinjer

3.1 Avfall Sverige

Kommunernas branschorganisation inom avfallshantering, Avfall Sverige (2023), anger i sin handbok att avfallsutrymmen ska förses med god ventilation för att minska risken för lukt. Som riktlinje anges att frånluftsflödet ska vara minst 5 l/s per m² golvyta. Om det är fråga om förvaring av enbart grovavfall räcker det dock med minst 0,35 l/s och m² golvyta, alltså motsvarande bostadsventilation. Samma handbok anger även att avfallsutrymmet kan kylas för att minska risken för lukt om det förvaras större mängder blöjor eller matavfall där. Det preciseras emellertid inte till vilka temperaturnivåer kylningen bör ske. Vidare ger handboken rådet att luftrenare kan användas om luktproblem uppstår. Inga detaljer ges beträffande vilka typer av luftrenare som är lämpliga, vilken funktionsprincip som är lämplig eller vilken kapacitet som erfordras.

⁵ Arbetshygieniskt korttidsgränsvärde (15 minuter) för ozon är 600 ppb; se avsnitt 3.2.

3.2 Arbetsmiljöverkets hygieniska gränsvärden

De arbetshygieniska gränsvärdena för ozon är dels ett nivågränsvärde (8 tim) på 0,1 ppm = 100 ppb ($200 \mu\text{g}/\text{m}^3$), dels ett korttidsgränsvärde (15 min) på 0,3 ppm = 300 ppb ($600 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Det förstnämnda gränsvärdet avser medelkoncentrationen vid exponering under 8 timmar, det andra avser exponering under 15 minuter (AFS 2023:14). Detta är lagligt bindande gränser som inte får överskridas.

3.3 Världshälsoorganisationens riktlinjer

Världshälsoorganisationen WHO har sammanställt riktvärden (guidelines) för luftkvalitet, bl.a. för ozon (WHO, 2021). Riktvärdena är primärt framtagna för utomhusluft men i den senaste, uppdaterade upplagan specificeras riktvärden för inomhusluft med undantag för arbetsmiljöer. WHOs riktvärde för ozon är $100 \mu\text{g}/\text{m}^3 = 50 \text{ ppb}$ som ett 8-timmars medelvärde. Dessa värden är en rekommendation som inte bör överskridas.

3.4 Boverkets byggregler (BBR)

Enligt BBR (2020) avsnitt 6.2 "Egenskaper hos luft som tillförs rum" gäller vid nybyggnad att byggnader och deras installationer ska utformas så att halten av föroreningar i tilluften inte är högre än gällande gränsvärden för uteluft. Vidare anges att luft som tillförs rum inte får behandlas på ett sätt som medför att luften efter behandlingen är av sämre kvalitet än den uteluft som tillförs ventilationssystemet. Med sämre kvalitet får här förstås en ökad koncentration av ämnen och formuleringen innebär alltså att det inte är tillåtet att tillföra ämnen till tilluften i ventilationssystemet. Det står inte uttryckligen, men regeln innebär att det inte är tillåtet att ozonbehandla tilluften till rum där människor vistas mer än tillfälligt.

Mellan 2011 och 2014 stod i Byggreglernas avsnitt 6:922 "Egenskaper hos luft som tillförs rum" (vid ändring av byggnad): luft som har renats med ozon bör inte användas som tilluft. Boverket förklarade i sin konsekvensutredning (Boverket, 2011) att skälet till rådet var att sådan luft kan vara "...skadlig för människors hälsa då behandlingen genom kemisk reaktion kan medföra att det skapas aldehyder...". Vid ändringen av reglerna i 2014 togs dessa formuleringar bort med motiveringen att det skulle "saknas anledning att särskilt utpeka ozon i det

allmänna rådet. Regler om ozon finns i luftkvalitetsförordningen” och att rådet skulle bli mer allmängiltigt om ett specifikt ämne inte lyfts fram, Boverket (2014).

I Energi och Miljötekniska Föreningens riktlinjer (EMTF, 2013) görs en hänvisning till Boverkets råd angående ozon enligt föregående stycke. EMTF kommenterade att det, förutom att begränsa användningen av ozon för behandling av tilluft, hade varit rimligt att även begränsa användningen av ozongeneratorer i rum.

Dessa regler/råd innebär inte nödvändigtvis något förbud mot ozonbehandling i soprum, där människor endast vistas tillfälligt.

3.5 EU-Direktiv: Biocidal Products Regulations (EU) 528/2012

Detta EU-direktiv innebär att ozon klassas som en s.k. aktiv substans och att ozongenererande apparater som säljs för att eliminera skadliga organismer ”biocides” ska vara auktoriserade (ha en godkänd märkning) enligt det aktuella direktivet. Avsikten är att produktens prestanda och funktion ska ha kontrollerats och att den är säker att använda. Den aktiva substansen (ozon) får inte utgöra risk för människor, djur eller miljön vid användning i ett realistiskt ”worst-case” sammanhang (se artikel 5, punkt 2a i Direktivet⁶). Det finns ett nätverk av europeiska leverantörer av ozonutrustningar, European Ozone Trade Association (EUOTA) som förhåller sig till EU-direktivet. Läs mer i EUOTAs Biocidal Products Regulation⁷, och i EU Biocidal Products Regulation - A Quick Guide⁸.

3.6 Myndigheter och bransch i samverkan

Berörda myndigheter (Arbetsmiljöverket, Boverket och Folkhälsomyndigheten) och bransch (Funkis, Plåt & Ventföretagen och Skorstensfejarmästares Riksförbund) har tagit fram vägledning rörande bruket av ozongeneratorer <https://ozonventilation.se/>. Där står att ”ozonrening kan vara en bra metod för att uppnå luktreduktion om det gäller avluft som innehåller lukter som stör omgivningen, t.ex. från restaurangkök. Det står också att ozonrening kan användas

⁶ <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:02012R0528-20140425&from=et>

⁷ <https://www.euota.org/biocidal-products-regulations/>

⁸ <https://jla.com/knowledge/hygiene/eu-biocidal-products-regulation-bpr>

för luktreduktion i miljörum och fettavskiljare”. Där påpekas även att anläggningar med ozonaggregat ska skötas av personal med erforderlig kunskap och att det behöver finnas säkerhetslösningar bland annat i form av övervakning, larmfunktioner och förregling så att ozongenereringen stoppas om frånluftsfläkten skulle stanna.

4 Marknadsöversikt

Nedan listas ett urval av på den svenska marknaden förekommande tekniker för reduktion/eliminering av lukter i miljörum. Teknikerna har delats in i sex olika kategorier med avseende på funktionsprincip, samt en sjunde kategori där den tillgängliga informationen inte ger en tydlig bild av funktionen.

Sex svenska leverantörer av ozonutrustningar uppges samverka inom det ovan nämnda nätverket EUOTA, och kan därför förutsättas förhålla sig till EU-direktivet om Biocidal Products Regulations. De sex företagen är enligt nätverkets hemsida (hämtat 2024-03-26) följande: OzoneTech, OAS, Swema Trading, Ljungby Fuktkontroll, PBS Generation och Arrow Lake. En aktuell lista över nätverkets medlemmar återfinns här: <https://www.euota.org/otf-ozone-task-force/>.

Information om de enskilda systemen är inhämtad från leverantörens hemsida, produktblad eller reklamblad. En sammanställning ges i tabeller 4 – 8.

Tabell 4. Luftrenare avsedda för användning i avfallsrum, baserade på ozongenerering.

Ozonering	
Ozon Stockholm	O₃-generering 2 000-10 000 mg/tim Behandlad area upp till 120 m² Information på hemsidan påpekar riskerna med ozonexponering, både för människor och material. Både ozonet och dess biprodukter ska vädras bort innan människor får tillträde. Timerfunktion för att apparaten ska sluta genera ozon innan tillträde Enligt företagets web-sida är man medlem i EUOTA Länk: https://www.ozonstockholm.se/ta-bort-lukt-i-soprum-med-ozonsanering.html

Woods	O₃-generering steglöst upp till 500 mg/tim Behandlad yta specificeras ej, men modellen uppges lämplig för just soprum. Det finns även större modeller (upp till 4000 mg/m³ med andra användningsområden, exempelvis industriell frånluftsbehandling. Påpekar riskerna och att utrustningen endast bör hanteras av utbildad/kunnig personal, den är ej för konsumentbruk Timerfunktion för att apparaten ska sluta generera ozon innan tillträde Enligt Woods web-sida är man medlem i EUOTA Länk: https://woods.se/sv/ozonaggregat/soprum/
Air Maid W	O₃-generering. Två olika stora modeller: • AirMaid 200W. Fem lägen: 50, 100, 150 och 200 mg/tim • AirMaid 500W. Steglöst i intervallet 0-500 mg/tim Instruktion att justera genereringen till en nivå där "...den obekväma doften känns på en behaglig nivå", samt att det ska vara en svag doft av ozon. Instruktion att personer som normalt besöker utrymmet ska informeras om att det ozonbehandlas. En manual informerar om Arbetsmiljöverkets gränsvärden och om symptom vid det man kallar "akut exponering". I vilka lägen sådan exponering skulle kunna uppstå anges inte. Leverantören ger exempel på nöjda kunder. Länk: https://www.airmaid.com/
Ozonetech ACT-3000/ ACT-3000P	Maxkapacitet 350 mg/tim. Steglös reglering. Leverantören framhåller att avfallsrum normalt behandlas dygnet runt. Det uppges att ozonproduktionen ska anpassas till rummets volym och hur mycket det luktar. Man uppmanas pröva sig fram. Optimal effektinställning uppges vara när det luktar lite ozon och ingenting/väldigt lite av oönskade lukter. De boende ska enligt leverantören informeras om att det kan lukta ozon men att det inte är farligt vid korta besök. Länk: https://www.rskdatabasen.se/infoDocs/MAN/MAN_1142_5547545.pdf

UV-Tech NOVA	UV ljus, ozon och kolfilter Inbyggd sensor för ozon, för att inte överstiga Arbetsmiljöverkets hygieniska gränsvärden Leverantören uppger avfallsrum (miljörum) och pantrum som exempel på användningsområden Länk: https://ga-meknett.no/sv/produkter/luftrening/nova/
---------------------	---

Tabell 5. Luftrenare avsedda för användning i avfallsrum, baserade på jonisering.

Jonisering	
Renluftsteknik i Göteborg, OxyClean	Bipolär jonisering (både negative och positiva syrejoner); det uppges att varken ozon eller andra hälsofarliga restprodukter bildas Visar reduktion av partikelhalt Enligt tillverkaren är luftrenaren lämplig för borttagning av lukter i avfallsrum Länk: https://renluftsteknik.se/produkter-2/oxyclean/
QualityAir, Oxyclean	Denna produkt förefaller vara identisk med OxyClean från Renluftsteknik i Göteborg. QualityAir marknadsför en apparat för doftgenerering i avfallsrum (Doftmaskin A1) för användning parallellt med joniseringsapparaten OxyClean. Länk: https://qualityair.se/fastigheter/fastigheter-soprum/
AP Automatik-produkter	Joniserande enheten tar bort små partiklar Ingen uppgift om ozonproduktion finns men det finns en varning att joniseringsrören alstrar upp till 3000 Volt Produkten marknadsförs för borttagning av, bland annat, lukter i avfallsrum Länk: https://www.automatikprodukter.se/index_products_airquality_ionize_garbage room_se.htm
WRU 100	EKOion produkter använder corona discharge för produktion av negativt laddade syremolekyler. Det finns ingen uppgift om produktion av ozon. Produkter marknadsförs för användning i avfallsrum och borttagning av lukter. Länk: https://ekoion.com/se/product/unit-garbage-and-waste-room

EKOion Modell	Det finns ingen användbar information om produkten, bara marknadsföring och löften om frisk luft https://bioclimatic.de/en/product/aeromat/ , säljs i Sverige av BVM AB i Göteborg https://bvm.se/klimatutrustning/bijoniserande-luftrenare/bioclimatic-aeromat/bioclimatic-aeromat/
----------------------	---

Tabell 6. Luftrenare avsedda för användning i avfallsrum, baserade på fotokatalytisk luftrening.

Fotokatalytisk luftrening	
Biozone AirCare	Man uppger att tekniken bygger på UV-ljus i kombination med fotokatalys och dessutom jonisering. Länk: https://biozone.se/teknologi/
AirSteril från LFS Thermal 1500	Antibakteriellt UVC-ljus med valbar fotokatalys samt ozon. Ljudlös. Lämplig för avfallsrum och andra rum där man vill luktsanera kontinuerligt. Anpassningsbar: Olika UVC-lampor vilket styr om ozonavgivning ska ske eller ej. Tillval av katalysatorplatta som ger fotokatalys. Länk: https://www.lfs-web.se/produkt-kategori/luftrenare/fotokatalytisk-luftrenare/
Kleenair, KA50 Air Sterilizer	Fotokatalytisk rening. På produktsidan nämns HEPA-filter men det framgår inte om det faktiskt sitter ett sådant filter i apparaten. Det verkar saluföras reserv UV-ljuskällor, men inte några reservfilter. Länk: https://kleenair.se/product/ka50/
Branova Nordic, SNE RAS-60H	Tekniken använder UV-ljus för fotokatalytisk oxidation. Enligt tillverkaren elimineras partiklar, virus, bakterier, svampar och även flyktiga organiska ämnen och ammoniak. Länk: https://branova.se/produkt/sne-fotokatalytisk-luftrenare-med-radon/

Tabell 7. Luftrenare avsedda för användning i avfallsrum, baserade på filtrering.

Filtrering	
Acetec	Generellt användningsområde, inte dedikerat för avfallsrum. Filtrering i tre steg med förfilter klass G4, aktivt kol och HEPA-filter klass H14. Länk: https://acetec.se/sv/product/products-luftrenare/luftrenare-apu-1700--51700 Saluförs via Ahlsell: Länk: https://www.ahlsell.se/products/ventilation/luftrening/luftrenare/6670331/#

Tabell 8. Luftrenare avsedda för användning i avfallsrum, baserade på enstaka eller ospecificerade lösningar.

Luktnekbrytande färg	
StoColor Climasan	Färg särskilt lämplig för lukt- och skadeämnesbelastade lokaler Appliceras på väggar och innertak med tillräcklig ljuskälla Bryter ner organiskt skadliga ämnen och lukt Tillverkaren skriver att produkten är verksam utan UV-ljus. Den har titandioxid (TiO₂) tillsatt. Detta ämne är en aktiv del i s.k. fotokatalytiska luftrenare. För att sådana ska fungera krävs UV-ljus, i motsats till vad tillverkaren uppger. Länk: https://www.sto.se/s/p/a1F2p00000Piv9HEAR/stocolor-climasan
Biologisk luktkontroll	
ORS BioSystem	En "biologiskt aktiv produkt" sprayas via munstycken som placeras över sopkärlen Systemet kan installeras i alla avfallsutrymmen och fristående miljöhus, och dimensioneras utifrån verksamhetens behov. Installeras av utbildad personal. Länk: https://bioteria.com/erbjudande/biologisk-luktkontroll/

Kombination av tekniker	
Hygeolis	antibakteriellt filter, kolfilter, ozon ozon kombineras med effektiv filterteknik för att ta hand om restprodukter av ozonrengöringen. Länk: https://sunthem.se/produkt/hygeolis/
Oklart teknik	
Hygenikx Avfall HGX-ÅV	"Framtagen för att neutralisera lukter i avfallsrum, källare och tvätttrum." Länk: https://www.greasefix.se/produkt/hygenikx-avfall-hgx-av/

5 Slutsatser

Grunden för luktbekämpning bör bygga på god ventilation, enligt de råd som ges av Kommunernas branschorganisation Avfall Sverige (2023). Frånluftsflödet ska vara minst 5 l/s per m² golvyta. Om det är fråga om förvaring av enbart grovavfall räcker det dock med minst 0,35 l/s och m² golvyta. För fall med kraftigare alstring av lukter kan ytterligare luktbekämpning bygga på kylning av avfallsrummet, eller användningen av luftrenare. Det saknas emellertid konkreta råd om vilka temperaturnivåer eller vilken typ av luftrening som bör väljas.

Vi har endast hittat en studie (Thorén m.fl., 2003) som objektivt visar att ozonbehandling av avfallsrum verkligen dämpar lukter. Underlaget är emellertid tunt och det finns inga tydliga uppgifter om hur hög ozonhalt som bör eftersträvas för ett bra resultat. Det finns dock flera vittnesmål som pekar på att tekniken fungerar. Om ozonbehandling ska utnyttjas är det nödvändigt att vidta försiktighetsåtgärder och att pröva sig fram till rätt drift (t ex lagom kraftig ozongenerering och lämpliga drifttider). Ett av de vanligaste problemen i detta område är emissioner av föroreningar som ibland är farligare för människors hälsa än de som luftreningstekniker skulle ta bort.

I Bilaga 3 återfinns en sammanställning av förslag till förhållningsregler beträffande användningen av ozongeneratorer i avfallsrum.

Det finns studier som visar att filtrering av partiklar och gaser påtagligt kan reducera lukter. När det gäller jonisering har vi däremot inte funnit några studier som påvisar någon effekt. Det tycks dock finnas vittnesmål om positiva effekter, om än dåligt dokumenterade. Den vetenskapliga litteraturen ger alltså ingen tydlig vägledning beträffande vilka typer av tekniska lösningar som verkligen kan förväntas fungera för att effektivt dämpa lukter i miljörum.

Det finns anledning att genomföra en experimentell studie med avsikt att bringa klarhet i de olika teknikernas luktdämpande effekt i avfallsrum. En sådan studie kan utföras enligt en åtgärdsstrappa; de steg som beskrivs i Rekommendationen nedan, som utgör en stigande grad av komplexitet på berörda tekniker.

6 Rekommendationer

Med litteraturstudien och marknadsöversikten som grund föreslår vi att valet av tekniska lösningar för bekämpning av lukter görs enligt en prioriteringslista där utgångspunkten är att i första hand välja tekniker med dokumenterad effekt som inte innebär hälsorisker. En grundläggande teknisk lösning för nyproducerade miljörum är att upprätthålla det frånluftsflöde som rekommenderas av Avfall Sverige, kommunernas branschorganisation inom avfallshantering. Följande steg rekommenderas i det fall luktproblem ändå uppstår:

Grunden är god frånluftsventilation, med en riktlinje på minst 5 l/s per m² golvyta, men om det visar sig inte vara tillräckligt kan komplettering göras i följande prioritetsordning:

1. Hantera uppkomst av lukt – tömning, rengöring, samt uppfylla grundläggande krav på ventilation
2. Ökad ventilation – utöver kravet på 5 l/s per m² golvyta
3. Filtrering och absorption genom mekanisk filterteknik i tre steg med förfilter, aktivt kol och HEPA-filter. Här kan nyttjas portabla eller fast installerade luftrenare som cirkulerar luften i miljörummet genom filtren.
4. Jonisering av luften. Vi har inte funnit några studier som påvisar effekten av denna teknik, men det finns flera dåligt dokumenterade vittnesmål om positiva effekter.
5. Ozonbehandling med en teknik godkänd enligt EU-direktivet: Biocidal Products Regulations (EU) 528/2012. Ozonbehandling av luktande miljörum ska inte användas i kontinuerlig drift utan som en saneringsteknik motsvarande

röksanering, som en punktinsats och det under strikt professionellt kontrollerade förhållanden. Eftersom tekniken är förknippad med hälsorisker har vi samlat förslag på förhållningsregler rörande användningen av ozongeneratorer i Bilaga 3.

7 Referensförteckning

Abraham MH, Sánchez-Moreno R, Cometto-Muñiz JE, Cain WS. An Algorithm for 353 Odor Detection Thresholds in Humans. *Chemical Senses* 2012, 37, 207-218.

AFS 2023:14. Arbetsmiljöverkets föreskrifter och allmänna råd (AFS 2023:14) om gränsvärden för luftvägsexponering i arbetsmiljön Arbetsmiljöverket, Stockholm. <https://www.av.se/arbetsmiljoarbete-och-inspektioner/publikationer/foreskrifter/beslutade-foreskrifter-som-trader-i-kraft-2025/afs-202314/> (Hämtat 2024-03-25).

Afshari, A. and Seppänen, O. Effect of Portable Air Cleaners on Indoor Air Quality: Particle Removal from Indoor Air. *REHVA Journal*, Issue 2, 2021, pp. 29-38. http://www.scanvac.eu/uploads/9/4/5/2/94521553/ali_rj2102.pdf

ASHRAE Position Document on Filtration and Air Cleaning. <https://www.ashrae.org/file%20library/about/position%20documents/filtration-and-air-cleaning-pd-feb.2.2021.pdf> (Hämtat 2024-03-25).

Avfall Sverige, Handbok för Avfallsutrymmen – Riktlinjer för utformning av avfallsutrymmen vid ny- och ombyggnation, ver. 1.0, 2023.

Bahri M, Haghighat F. Plasma-Based Indoor Air Cleaning Technologies: The State of the Art-Review. *Clean – Soil, Air, Water* 42 (2014) 1667–1680.

Bekö G, Clausen G, Weschler CJ. Sensory pollution from bag filters, carbon filters and combinations. *Indoor Air* 2008, 18, 27-39.

BBR 2020. Boverkets byggregler – föreskrifter och allmänna råd. BFS 2011:6 med ändringar till och med BFS 2020:4. <https://www.boverket.se/sv/lag--ratt/forfattningssamling/gallande/bbr---bfs-20116/> (hämtat 2024-03-25).

Boverket, Konsekvensutredning - Revidering av Boverkets ändringsregler,
Boverkets Dnr: 1101-751/2009, 2011 .

Boverket, Konsekvensutredning BBR 2014 - Ändring av Boverkets byggregler
(BBR), Boverkets Dnr: 1201-2770/2013, 2014.

Bravo I, Figueroa F, Swasy MI, Attia MF, Ateia M, Encalada D, Vizuite K, Galeas S,
Guerrero VH, Debut A, Whitehead DC, Alexis F. Cellulose particles capture
aldehyde VOC Pollutants. RSC Advances 2020, 10, 7967–7975.

Carslaw N, Fletcher L, Heard D, Ingham T, Walker H. Significant OH production
under surface cleaning and air cleaning conditions: Impact on indoor air
quality. Indoor Air 2017, 27, 1091-1100.

Cheng Z, Zhu S, Chen X, Wang L, Lou Z, Feng L. Variations and environmental
impacts of odor emissions along the waste stream. Journal of Hazardous
Materials 2020, 384, 120912.

Ciuzas D, Prasauskas T, Krugly E, Jurelionis A, Seduikyte L, Martuzevicius D.
Indoor Air Quality Management by Combined Ventilation and Air Cleaning:
An Experimental Study. Aerosol and Air Quality Research 2016, 16, 2550–
2559.

Curren J, Hallis SA, Snyder CL, Suffet IH. Identification and quantification of
nuisance odors at a trash transfer station. Waste Management 2016, 58, 52–61.

Din kemi. <https://dinkemi.com/elearning/sinnen/luktsinnet-och-molekyler>. (hämtat
2024-03-25).

EMTF, R1 – Riktlinjer för Specifikation av Inneklimatkrav, Energi och
Miljötekniska Föreningen, 2013.

EPA, 2020. Integrated Science Assessment (ISA) for Ozone and Related
Photochemical Oxidants. <https://www.epa.gov/isa/integrated-science-assessment-isa-ozone-and-related-photochemical-oxidants> (hämtat 2024-06-03).

Falkovich A, Schkolnik G, Ganor E, Rudich Y. Adsorption of organic compounds
pertinent to urban environments onto mineral dust particles. Journal of
Geophysical Research 2004, 109, D02208.

- Finlayson-Pitts BJ, Pitts JN Jr. Chemistry of the Upper and Lower Atmosphere. Theory, Experiments, and Applications. Academic Press, San Diego, 2000.
- Le-Minh N, Sivret EC, Shammay A, Stuetz RM. Factors affecting the adsorption of gaseous environmental odors by activated carbon: A critical review. Critical Reviews in Environmental Science and Technology 2018, 48, 341-375.
- Mata TM, Martins AA, Calheiros CSC, Villanueva F, Alonso-Cuevilla NP, Fonseca Gabriel M, Ventura Silva G. Indoor Air Quality: A Review of Cleaning Technologies. Environments 2022, 9, 118.
- Murphy KR, Parcsi G, Stuetz RM. Non-methane volatile organic compounds predict odor emitted from five tunnel ventilated broiler sheds. Chemosphere 2014, 95, 423–432.
- Nagata Y. Measurement of Odor Threshold by Triangle Odor Bag Method, 2003, 118–127. https://Www.Env.Go.Jp/En/Air/Odor/Measure/02_3_2.Pdf.
- Nazaroff WW, Weschler CJ. Indoor ozone: Concentrations and influencing factors. Indoor Air 2022, 32, e12942.
- NVG. Criteria for room air cleaners for particulate matter, Recommendation from Nordic Ventilation Group. 2021. <http://www.scanvac.eu/criteria-of-room-air-cleaners-for-particulate-matter.html>.
- Pushpawela B, Jayaratne R, Nguy A, Morawska L. Efficiency of ionizers in removing airborne particles in indoor environments. Journal of Electrostatics 2017, 90, 79–84.
- SWESIAQ (Swedish Chapter of the International Society of Indoor Air and Climate). Nyhetsbrev nr 71, 2020-02-05. <https://swesiaq.se/onewebmedia/Nyhetsbrev/SWESIAQ%20nyhetsbrev%20nr%2071,%20februari%202020.pdf>
- Szczotko M, Orych I, Mąka Ł, Solecka J. A review of selected types of indoor air purifiers in terms of microbial air contamination reduction. Atmosphere 2022, 13, 800.

Sørensen SB, Feilberg A, Kristensen K. Removal of volatile organic compounds by mobile air cleaners: Dynamics, limitations, and possible side effects. *Building and Environment* 2023, 242, 110541.

The smell of garbage. <https://www.compoundchem.com/wp-content/uploads/2017/06/Aroma-Chemistry-%E2%80%93-The-Smell-of-Garbage.pdf> (hämtat 2024-03-25).

Torén A, Dustan A, Ringmar A, Arinder P. Utvärdering av två metoder för luktreducering av komposterbart avfall från livsmedelsbutiker. JTI rapport Kretslopp & Avfall, 29, 2003. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:959404/FULLTEXT01.pdf> (hämtat 2024-03-25).

US EPA Ozone Generators that are Sold as Air Cleaners: An Assessment of Effectiveness and Health Consequences. https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-08/documents/ozone_generator.pdf (hämtat 2024-03-25).

Weschler CJ. Ozone in Indoor Environments: Concentration and Chemistry. *Indoor Air* 2000, 10, 269–288.

Weschler CJ, Shields HC. The influence of ventilation on reactions among indoor pollutants: modeling and experimental observations. *Indoor Air* 2000, 10, 92–100.

Weschler CJ, Nazaroff WW. Ozone Loss: A Surrogate for the Indoor Concentration of Ozone-Derived Products. *Environmental Science and Technology* 2023, 57, 13569–13578

WHO, 2021. World Health Organization, WHO Global Air Quality Guidelines: Particulate Matter (PM_{2.5} and PM₁₀), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide, 2021. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/345329> (hämtat 2024-03-25).

Zhang Y, Mo J, Li Y, Sundell J, Wargocki P, Zhang J, Little JC, Corsi R, Deng Q, Leung MHK, Fanf L, Chen W, Li J, Sun Y. Can commonly-used fan-driven air cleaning technologies improve indoor air quality? A literature review. *Atmospheric Environment* 45, 2011, 4329.

8 Bilagor

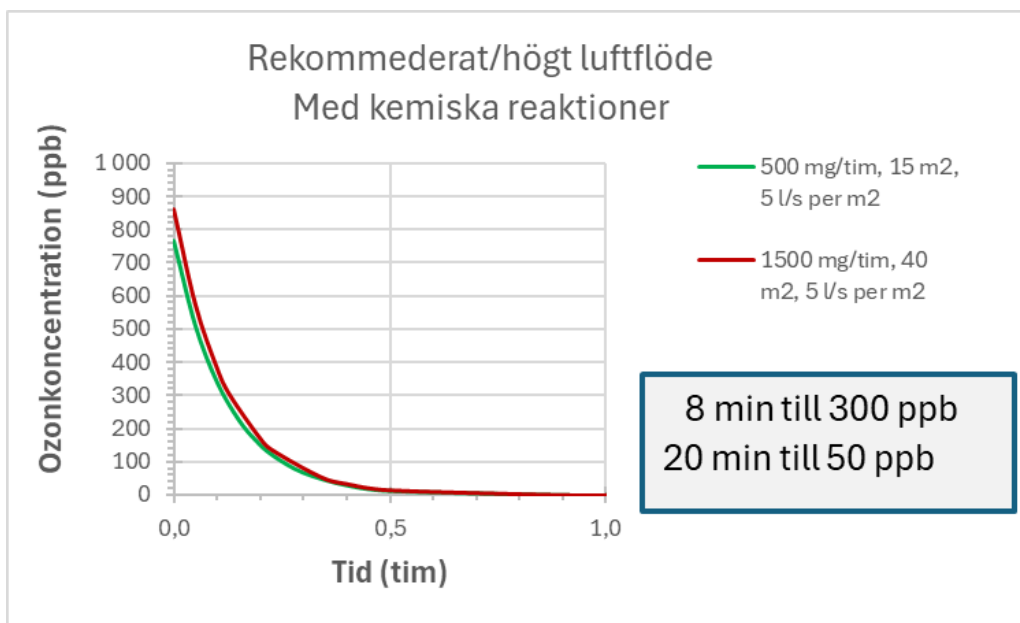
8.1 Bilaga 1. Beräknade ozonkoncentrationer

I denna bilaga redovisas resultaten av beräkningar utförda för avfallsrum av olika storlek och med olika ventilationsflöden. Vid de beräkningar som redovisas i Figurer B1, B3 och B5 har hänsyn tagits till att ozon försvinner från rummet dels genom ventilation, dels på grund av kemiska reaktioner som innebär att ozonet omvandlas till andra produkter eller bryts ner på ytor. I samtliga tre redovisade fall sattes ozonets halveringstid till 30 minuter.

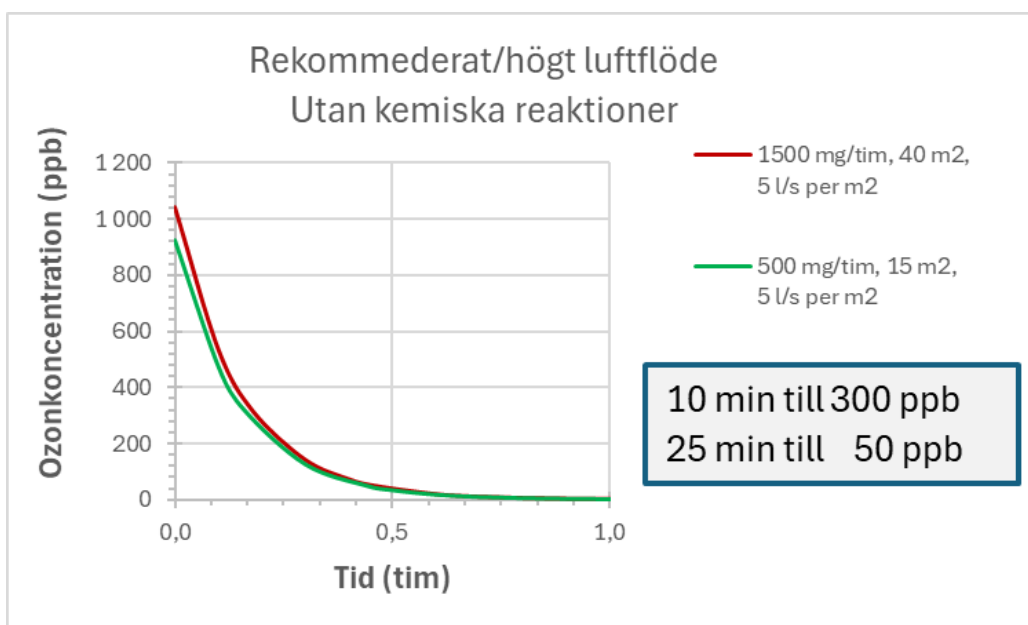
Vid beräkningarna bakom resultaten i Figurer B2, B4 och B6 har inverkan av de kemiska reaktionerna försumrats. I det fallet försvinner ozonet endast med ventilationens frånluftsflöde.

Figur B1 visar två exempel. Det ena ett litet avfallsrum med en ozongenerator av de mindre modellerna som finns på marknaden, och det andra ett sort rum med en av de större ozongeneratorerna som finns att tillgå. I båda fallen förutsätts det att rummet ventileras med ett rekommenderat luftflöde om 5 l/s per m² golvarea. I båda fallen visar beräkningarna att ozonkoncentrationen vid jämvikt kommer bli ca 800 ppb (parts per billion). Yrkeshygieniska korttidsgränsvärdet för ozon är 300 ppb = 600 µg/m³ (maximalt tillåten exponering under 15 minuter) (AFS 2023:14). Enligt beräkningarna kommer det att ta ca 8 min för koncentrationen att sjunka till ett värde under det gränsvärdet efter det att ozonaggregatet stängts av. Eftersom det inte bara är ett arbetsmiljöproblem är det relevant att även jämföra med riktvärdet 50 ppb (WHO, 2021). Beräkningarna indikerar att det kommer att ta ca 20 minuter att nå ner till den nivån.

I Figur B2 redovisas motsvarande beräkning men utan hänsyn till reduktionen av ozon på grund av kemiska reaktioner. Resultatet blir att det tar något längre tid för koncentrationen att sjunka (10 min till 300 ppb och 25 min till 50 ppb).

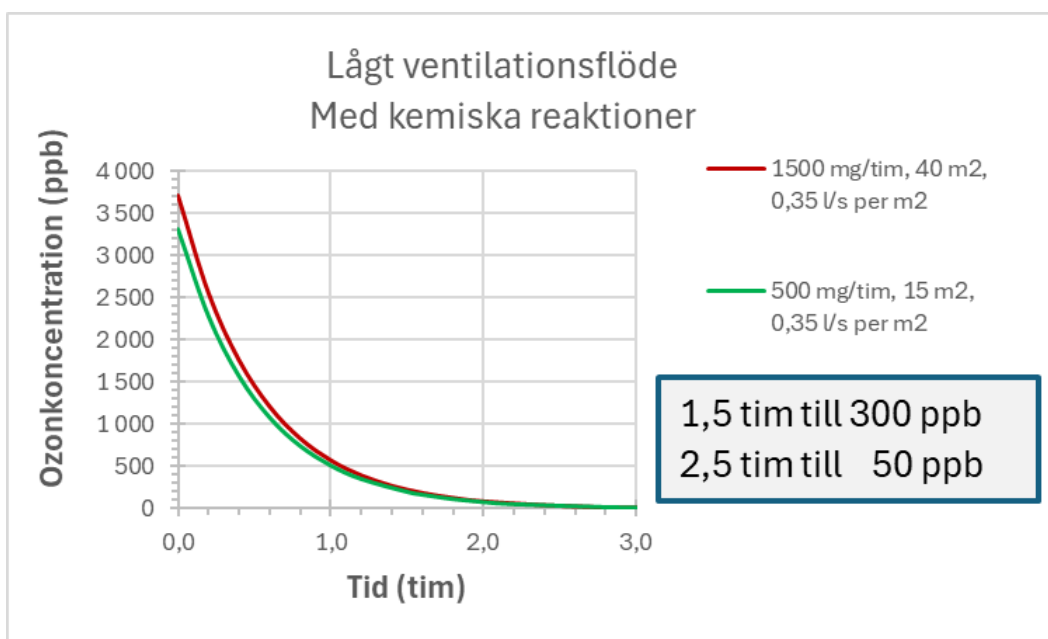


Figur B1. Beräkning för två rum av olika storlek med ozongeneratorer med olika kapacitet. Rekommenderat luftflöde om 5 l/s per m2 golv. Inverkan av kemiska reaktioner har beaktats genom att sätta ozonets halveringstid till 30 min.

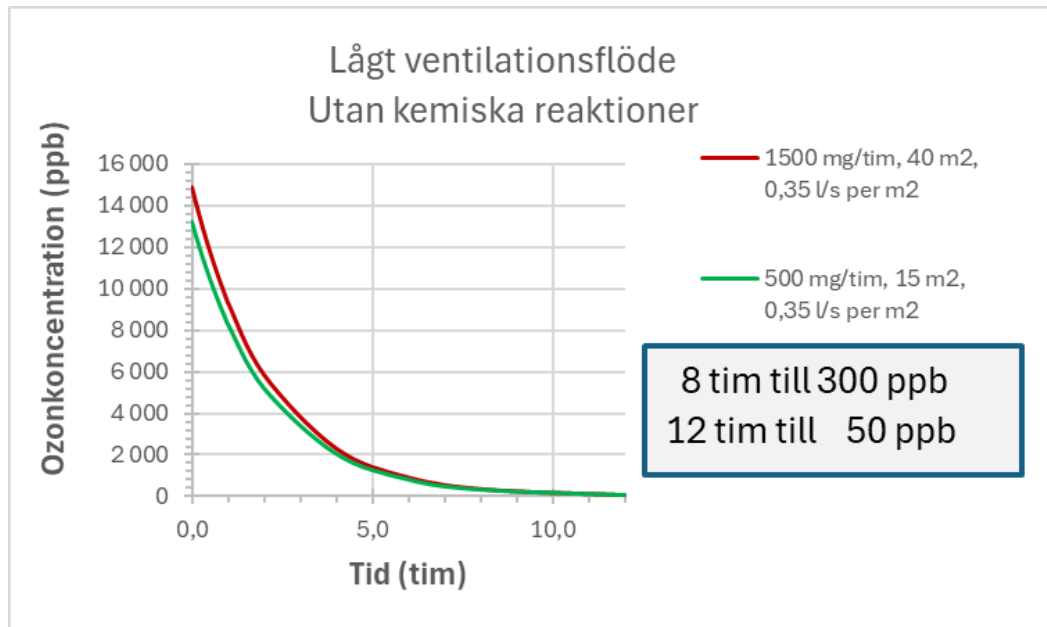


Figur B2. Beräkning för två rum av olika storlek med ozongeneratorer med olika kapacitet. Rekommenderat luftflöde om 5 l/s per m² golv. Inverkan av kemiska reaktioner har försumrats.

I Figur B3 redovisas samma fall som i Figur 1 men med skillnaden att ventilationsflödet är lågt; endast 0,35 l/s per m². I det fallet byggs ozonkoncentrationen upp till mellan 3000 och 4000 ppb, och det tar närmare 3 timmar för koncentrationen att klinga av till under 50 ppb efter det att ozonaggregatet stängts av. Om man försummar inverkan av kemiska reaktioner kommer avklingningsförloppet i stället ta ca 12 timmar, som visas i Figur B4.

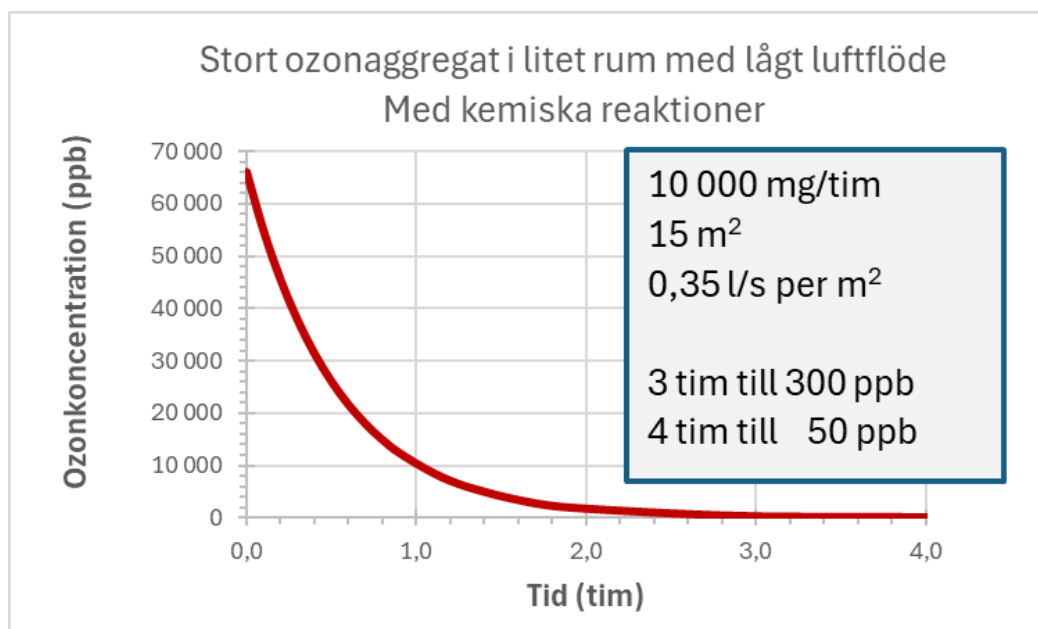


Figur B3. Beräkning för två rum av olika storlek med ozongeneratorer med olika kapacitet. Lågt luftflöde om 0,35 l/s per m² golv. Inverkan av kemiska reaktioner har beaktats genom att sätta ozonets halveringstid till 30 min.

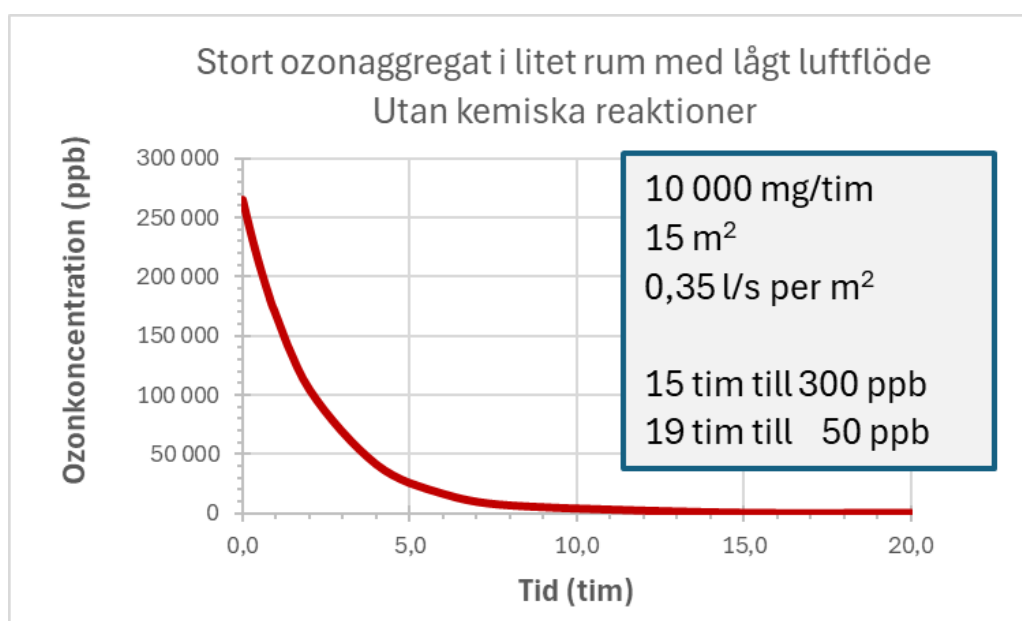


Figur B4. Beräkning för två rum av olika storlek med ozongeneratorer med olika kapacitet. Lågt luftflöde om 0,35 l/s per m² golv. Inverkan av kemiska reaktioner har försumrats.

Figur B5 visar ett extremfall som innebär att ett stort ozonaggregat körs i ett litet rum med lågt ventilationsflöde. En sådan situation skulle kunna uppstå även i välventilerade rum i samband med driftstörning av ventilationen; om frånluftsfläkten stannar och det inte finns någon förregling av ozonaggregatets drift. Enligt resultatet som visas i Figur B5 tar det i detta fall ca 4 timmar att nå under 50 ppb om ozonets halveringstid sätts till 30 minuter. Om inverkan av kemiska reaktioner försummas tar det avsevärt längre tid; 19 timmar enligt Figur B6.



Figur B5. Beräkning för ett litet rum med ett stort ozonaggregat och ett lågt ventilationsflöde om 0,35 l/s per m² golv. Inverkan av kemiska reaktioner har beaktats genom att sätta ozonets halveringstid till 30 min.



Figur B6. Beräkning för ett litet rum med ett stort ozonaggregat och ett lågt ventilationsflöde om 0,35 l/s per m² golv. Inverkan av kemiska reaktioner har försummats.

Sammanfattande kommentar

Hur hög koncentration av ozon som byggs upp i avfallsrummet beror förstås på hur kraftigt ozonaggregat som installerats och vilken kapacitet det kör på. Det beror även starkt på hur stort ventilationsflödet i rummet är. Tiden det tar för ozonkoncentrationen att sjunka till ett värde under gällande gräns- eller riktvärde varierar dessutom med rummets storlek. Enligt de här redovisade beräkningarna kan variationen vara mycket stor beroende på förutsättningarna; allt mellan tio minuter och upp emot ett dygn.

Beräkningarna visar även att ozonets halveringstid har stor inverkan. I rum utan höga föroreningshalter i luften och med rena ytor kan halveringstiden vara mycket lång, och inverkan av de kemiska reaktionerna får därför försumbar betydelse (dvs snabbar inte på avklingningsförloppet nämnvärt). I rum med högre föroreningshalter förbrukas mer ozon på grund av kemiska reaktioner. Halveringstiden kan troligen ibland vara kortare än de 30 minuter som antogs vid de i denna bilaga redovisade beräkningarna. Det förefaller dock vanskligt att tillgodoräkna sig en kraftig borttransport av ozon om storleken på denna endast grundas på ett grovt antagande. Beräkningarna visar ju tydligt att värdet man ansätter kan påverka tidsförloppet kraftigt.

Beräkningar av det här redovisade slaget kan användas för grova preliminära överslag. Den dagliga driften och avgörandet om när det ska bedömas som säkert att gå in i ett rum efter ozonbehandling bör bygga på faktiska mätningar av ozonkoncentrationen.

8.2 Bilaga 2. Clean Air Delivery Rate

Rumsluftsrenare är apparater bestående av en fläkt och ett eller flera filter.

Luftrenarens kapacitet benämns Clean Air Delivery Rate, CADR. CADR bestäms som produkten av filtrets avskiljningsgrad och luftflödet genom luftrenaren.

CADR har samma enhet som ventilationsflödet, exempelvis m³/tim.

Rumsluftsrenarens inverkan på halten av en viss luftförorening i ett rum beräknas enligt ekvation B2.1.

$$C_{\text{med lr}} = C_{\text{utan lr}} \times q / (q + \text{CADR}) \quad (\text{Ekvation B2.1})$$

Där:

$C_{\text{med lr}}$ = koncentration med luftrenare i drift (m³/tim)

$C_{\text{utan lr}}$ = koncentration utan luftrenare i drift (m³/tim)

q = ventilationsflöde (m³/tim)

CADR = Clean Air Delivery Rate för luftrenaren (m³/tim)

Som framgår av ekvationen kommer en viss luftrenares inverkan att bli allt mindre ju större ventilationsflödet är. Om CADR exempelvis skulle vara lika stort som ventilationsflödet kommer föroreningskoncentrationen teoretiskt att halveras.

Ekvationen gäller under antagande att det inte finns några andra mekanismer som för bort luftföroreningarna. I praktiken finns emellertid ofta sådana mekanismer. Exempelvis sedimenterar större partiklar på grund av gravitation. Detta gör att margineffekten på föroreningskoncentrationen i verkligheten blir något mindre än vad som beräknas med hjälp av ekvation B2.1.

Mer information om rumsluftsrenares funktion återfinns exempelvis i en artikel av Afshari och Seppänen (2021) och i ett dokument framtaget av den Nordiska Ventilationsgruppen (NVG, 2021).

8.3 Bilaga 3. Förslag till förhållningsregler rörande användningen av ozongeneratorer

I linje med branschorganisationers och myndigheters anvisningar borde man ta hänsyn till följande:

- Ozonsanering ska bara utföras av utbildad personal.
- Avfallsrum ska ha frånluftsventilation för borttransport av ozon och biprodukter från ozonets kemiska reaktioner. En utgångspunkt är att luftflöde inte bör understiga 5 l/s per m² golvarea.
- Ozonbehandling är en saneringsteknik som inte ska användas i kontinuerlig drift.
- Under pågående ozonbehandling får ingen person vara inne i soprummet. Det är nödvändigt att vänta tillräckligt länge efter avslutad ozonbehandling. Hur lång tid som erfordras behöver fastställas från fall till fall genom mätning.
- Ozon kan mätas på två principiellt olika sätt; genom aktiv direktvisande mätning med gasanalysator, eller genom passiv provtagning med diffusionsprovtagare och efterföljande analys på laboratorium. I det förstnämnda fallet kan koncentrationens variation studeras på minutnivå, i det andra fallet handlar det om att man bestämmer koncentrationens medelvärde under en viss tid, typiskt flera dygn.
- Avfallsrummet bör utrustas med ozondetektor som aktiverar ett larm om ozonkoncentrationen skulle vara förhöjd. Ozongeneratoren bör dessutom vara förreglad mot ventilationen så att ozonbehandlingen stoppas om frånluftsfläkten skulle stanna samtidigt som människor har tillträde till rummet.
- Det bör framgå tydligt av skyltning att avfallsrummet ozonbehandlas under viss tid. Alternativt skulle dörren kunna låsas per automatik under den tid behandlingen pågår (företrädesvis nattetid).
- Ozongeneratoren bör ha timer och installeras så att ingen obehörig kan ändra dess inställningar; vare sig timern eller generatorns kapacitet.
- Genomför regelbunden service av ozonutrustningen för att säkerställa dess funktion. Vissa ozongeneratorer och jonisatorer kan få en ökad avgivning av ozon när de åldras. Det kan motverkas genom adekvat service.

STOCKHOLM

Box 21060, 100 31 Stockholm

GÖTEBORG

Box 53021, 400 14 Göteborg

MALMÖ

Nordenskiöldsgatan 24
211 19 Malmö

KRISTINEBERG

**(Center för marin forskning
och innovation)**

Kristineberg 566
451 78 Fiskebäckskil

SKELLEFTEÅ

Kanalgatan 59
931 32 Skellefteå

BEIJING, CHINA

Room 612A
InterChina Commercial Building No.33
Dengshikou Dajie
Dongcheng District
Beijing 100006
China

© IVL SVENSKA MILJÖINSTITUTET AB | Tel: 010-788 65 00 | www.ivl.se