



CHALMERS

Alternativ till ökade uteluftflöden i vårdlokaler Med ett fastighetstekniskt perspektiv

DANIEL OLSSON
MARI-LIIS MARIPUU
RASHA ALASMI
LARS EKBERG

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för installationsteknik

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Rapport ACE 2025:2
Göteborg, Sverige 2025

Alternativ till ökade uteluftflöden i vårdlokaler

Med ett fastighetstekniskt perspektiv

DANIEL OLSSON

MARI-LIIS MARIPUU

RASHA ALASMI

LARS EKBERG

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för installationsteknik

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2025

Alternativ till ökade uteluftflöden i vårdlokaler
Med ett fastighetstekniskt perspektiv

DANIEL OLSSON
MARI-LIIS MARIPUU
RASHA ALAMSI
LARS EKBERG

© DANIEL OLSSON, MARI-LIIS MARIPUU, RASHA ALAMSI, LARS
EKBERG, 2025

Rapport ACE 2025:2
Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Chalmers tekniska högskola 2025

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Avdelningen för installationsteknik

Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Telefon: 031-772 10 00

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik
Göteborg 2025

Alternativ till ökade uteluftflöden i vårdlokaler

Med ett fastighetstekniskt perspektiv

DANIEL OLSSON

MARI-LIIS MARIPUU

RASHA ALASMI

LARS EKBERG

Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik

Avdelningen för installationsteknik

Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

Denna rapport, som bygger vidare på en tidigare PTS-rapport från 2024, syftar till att undersöka alternativ till ökade uteluftflöden i vårdlokaler utifrån ett fastighetstekniskt perspektiv. Utredningen inkluderar även att analysera effektkostnader för fjärrvärme, fjärrkyla och el, eftersom dessa utgör en allt större del av driftkostnaderna. Uppdraget motiveras av nyutgivna rekommendationer från Svensk förening för vårdhygien (SVHF) om höjda luftflöden i allmänna vårdlokaler.

De tre ventilationsalternativ som ingår i denna utredning är användning av recirkulationsluft, desinficerande UV-ljus samt rumsluftrenare. Till skillnad från förra uppdragets analys om olika uteluftflödens inverkan på olika aspekter, tar föreliggande rapport avstamp i de luftflöden som anges i BOV 2025 (Byggnation och vårdhygien). Beräkningar och kalkyler i analysen fokuserar på tre typer av rum: vådrum, mottagningsrum och väntrum. En förenklad och fiktiv byggnad om 5 000 m² fördelad över fem våningsplan med sammanlagt 277 rum har använts i beräkningarna.

Användning av recirkulationsluft i ventilationssystem är vanligt internationellt, särskilt i USA, men mer begränsat i Sverige där det främst används i specifika miljöer som operationsrum, renrum och i vissa kommersiella lokaler. Recirkulationsluft medför potentiella smittrisker och var därför föremål för restriktioner under covid-19-pandemin, där många länder rekommenderade att minimera eller stoppa dess användning. Vetenskapligt saknas dock tydligt stöd för att recirkulationsluft i sig ökar smittspridning. Med rätt filterteknik och lokal luftrening, exempelvis med HEPA-filter eller UV-C-ljus, kan recirkulationsluft vara en möjlig och kostnadseffektiv lösning. Inför användning i vårdmiljöer krävs dock noggrann riskbedömning, krav på filtreringsgrad och säker drift över tid.

Tre designprinciper för recirkulationsluft har undersökts i uppdraget: central, lokal på rumsnivå och lokal på våningsnivå. Den lokala lösningen på rumsnivå ger lägst elanvändning (ca 30 % lägre än traditionell ventilation med samma kapacitet att föra bort luftburna föroreningar), men har högst kostnader för investering och underhåll. Central recirkulation medför högre elförbrukning och de högsta totala driftkostnaderna,

utan investeringsfördelar. Sett över hela livscykeln är lokal recirkulation på våningsnivå mest kostnadseffektiv. Lokal recirkulation på våningsnivå har också lägst klimatpåverkan i produktionsfasen (modul A1–A3 enligt SS-EN 15978), tack vare lägre material- och installationsbehov jämfört med andra system.

Ultraviolett ljus (UV-C) har länge använts för desinfektion av luft, vatten och ytor, och fick under covid-19-pandemin ökad uppmärksamhet som metod för att minska luftburen smittspridning. UV-C-ljus med våglängder mellan 200 och 280 nm, där cirka 265 nm anses mest effektivt, inaktiverar virus och bakterier genom att skada deras DNA och RNA. Effektiviteten beror på den totala UV-C-dos som mikroorganismerna exponeras för, vilket påverkas av lampans effekt, placering, luftflöde samt temperatur och luftfuktighet. För tillförlitlig desinfektion med UV-C teknik krävs noggrann dimensionering, placering och regelbundet underhåll.

Det finns flera tekniska lösningar för luftdesinfektion med UV-C: installation i ventilationskanaler (in-duct), vägg- eller takmonterade armaturer (*upper-room*), fristående enheter och nyare Far-UVC-teknik (~222 nm), där ”far” avser den del av det ultravioletta ljuset som ligger ”längre bort” från det synliga ljuset i spektrumet. Varje teknik har för- och nackdelar vad gäller effektivitet, säkerhet, kostnad och installationskrav. Ventilationskanalssystem kan användas kontinuerligt utan risk för exponering men ökar energibehovet. *Upper-room*-armaturer kräver noggrann installation för att undvika hälsorisker. Fristående enheter är flexibla och säkra men kan ge ljudstörningar och kräver högre effekt. Far-UVC är säkrare för användning i närvaro av människor, men är dyrare och kan medföra risk för ozonbildning.

Kostnadsanalysen visar att UV-C i ventilationskanaler, som ersätter HEPA-filtrering i recirkulationssystem, har betydligt högre elenergianvändning och underhållskostnader jämfört med ett traditionellt system med högre luftflöden. Bland rumsbaserade enheter har fristående UV-C-enheter lägst investerings- och livscykelkostnader, medan Far-UVC har lägst energibehov men de högsta installations- och underhållskostnaderna. Klimatpåverkan, beräknad utifrån elanvändning, är lägst för Far-UVC-tekniken tack vare dess låga energiförbrukning.

Användning av UV-C teknik för luftdesinfektion har diskuterats av flera organisationer, forskare och myndigheter och det finns riktlinjer och krav som måste följas vid användning. Myndigheter och organisationer som CDC, NHS, REHVA och ASHRAE rekommenderar UVGI (Ultraviolet germicidal irradiation, dvs. bakteriedödande bestrålning) som ett effektivt verktyg för smittreduktion. I Sverige används UV-C teknik sällan i vårdmiljöer, vilket kan bero på bristande kunskap. Det som är viktigt att tänka på är att UV-C inte ersätter grundläggande ventilation och hygien. Luftdesinfektion med UV-C ljus är ett komplement till ventilationssystem. Säkerhetsaspekterna är centrala vid användning av UV-C, med krav på korrekt placering, skyddsåtgärder och utbildning av personal.

Rumspplacerade luftrenare är en variant av återluft på rumsnivå, men utgörs i praktiken oftast av portabla enheter. Luftrenare används sedan länge i olika miljöer och fastigheter, inklusive bostäder. Inte minst i delar av Asien. Inom svensk sjukvård röntte tekniken dock en nämnvärd uppmärksamhet först i samband med Covid-pandemin. Då införskaffade flera sjukhus och andra vårdanläggningar på kort tid ett stort antal luftrenare, varav merparten troligtvis fortfarande är i drift.

Den del av rapporten som handlar om luftrenare skiljer sig mot den om UV- och recirkulationslösningar i det att det inte omfattar en ekonomisk analys. I stället är det en sammanställning av kunskap och erfarenheter från forskning, leverantörer och brukare, samt ett studiebesök på Karolinska sjukhuset i Solna.

Effektiviteten hos luftrenare varierar beroende på teknik, filtertyp, luftomsättning, placering och underhåll. Standardiserade testmetoder och certifiering är således avgörande för att säkerställa att produkter uppfyller krav på effektivitet och säkerhet. Idag finns en uppsjö av olika luftrenare, och bland de användare som testat i sjukvårdssammanhang är erfarenheterna över lag positiva förutsatt att apparaterna inte tar stort utrymme i anspråk eller bullrar för mycket.

Luftrenare lyfts fram som ett flexibelt, effektivt och enkelt komplement till befintlig ventilation. Samtidigt konstateras att det kan vara svårt för beställaren att avgöra vilken teknik och modell som kan vara lämplig för den aktuella situationen. Rapporten avslutas därför med ett förslag på en generell och teknikneutral vägledning för upphandling av luftrenare till svensk sjukvård. Vägledningen omfattar kapacitetsbehov, önskade biprodukter, placering, storlek, buller, termisk komfort, elanvändning, säkerhet, drift, underhåll och service.

Nyckelord: Vård, ventilation, luftburen smittspridning, recirkulationsluft, UV-C, FAR-UVC, luftdesinfektion, luftrening, luftrenare.

INNEHÅLL

SAMMANFATTNING	I
FÖRORD	VI
FÖRKORTNINGAR	VII
1 INTRODUKTION	1
2 ÖKADE LUFTFLÖDENS INVERKAN PÅ ENERGI OCH EFFEKT	2
2.1 Energi	2
2.2 Effekt	4
2.3 Beräknade kostnader och relativ smittriskreduktion	7
3 RECIRKULATIONS LUFT SOM ALTERNATIV TILL ÖKAT UTELUFTFLÖDE	9
3.1 Olika designprinciper för användning av recirkulationsluft	11
3.1.1 Central recirkulationsluft	13
3.1.2 Lokal recirkulationsluft på rumsnivå	14
3.1.3 Lokal recirkulationsluft på våningsnivå	14
3.2 Kostnadsanalys för recirkulationsluftsalternativ	15
3.3 Klimatpåverkan	19
4 DESINFICERANDE UV-LJUS	21
4.1 Bakgrund	21
4.2 Olika tekniker för luftdesinfektion med UV-ljus	22
4.2.1 Möjligheter och risker med olika UV-ljus tekniker	25
4.3 Effektivitet och designkriterier för luftdesinfektion med UV-C	28
4.4 Kostnadsanalys	30
4.5 Klimatpåverkan	33
4.6 Riktlinjer och krav på UV-C ljus	35
4.7 Rekommendationer för implementering av UV-C-teknik	37
5 RUMSLUFTRENARE	39
5.1 Kunskapsläget om rumsluftrenare	39
5.2 Möjligheter, begränsningar och tillämpningsområden	42
5.3 Erfarenheter från sjukvården	42
5.3.1 Karolinska sjukhuset	43
5.3.2 Region Skåne	45
5.4 Leverantörsperspektiv	47
5.4.1 Intervjuer med leverantörer	47
5.4.2 Enkät för leverantörer	49
5.5 Sammanfattande vägledning vid anskaffning av luftrenare	50
6 REFERENSER	53
APPENDIX A – INDATA FÖR BERÄKNINGAR	56
APPENDIX B – ANTAGANDEN FÖR UV-C KOSTNADSKALKYL	57

Förord

Denna rapport har tagits fram i ett samarbete mellan Avdelningen för installationsteknik vid Chalmers tekniska högskola och teknikonsultföretaget CIT Renergy. Arbetet har genomförts på uppdrag av brukarråden för VVS och Hållbarhet inom Program för teknisk standard (PTS). PTS är en samverkansorganisation mellan landets regioner med syfte att ta fram enhetliga kravställningar för vårdlokaler.

Svensk Förening för Vårdhygien (SFVH) publicerar skriften Byggnation och Vårdhygien (BOV) vars syfte är att behandla de aspekter på vårdlokaler som kan ha betydelse för att förebygga smittspridning och uppkomst av vårdrelaterade infektioner. Bland annat behandlar skriften olika rekommendationer om ventilationsluftflöden. Gällande version av BOV publicerades 2025-06-24.

Denna rapport bygger vidare på den PTS-rapport som publicerades 2024 (*Luftflöde i vårdlokaler - Med ett fastighetstekniskt perspektiv, CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA, Rapport ACE 2024:2*). Syftet nu är främst att undersöka alternativ till ökade uteluftflöden ur ett fastighetstekniskt perspektiv. Men uppdraget inkluderar även att särstudera effektkostnader för fjärrvärme, fjärrkyla och el eftersom effektkostnader utgör en allt större del av driftkostnaderna. Allt bottnar i SVHF:s nya riktlinjer om betydligt höjda luftflöden i vårdlokaler. I sammanhanget kan nämnas att uppdraget knyter an till Formasprojektet Buildings Post Corona (<https://www.buildingspostcorona.se/>), som syftar till att stödja byggsektorn i att utforma och underhålla hållbara byggnader med en hälsosam och god inomhusmiljö.

Arbetet har i huvudsak genomförts av Daniel Olsson, Mari-Liis Maripuu och Rasha Alasmi på CIT Renergy samt av Lars Ekberg på Chalmers tekniska högskola. Regelbundna avstämningar har skett med PTS-gruppen bestående av Veronique Maussier (Locum, Region Stockholm), Cajsa Lindström (Västfastigheter), Ulf Andersson (Västfastigheter), Oscar Andersson (Regionfastigheter, Region Östergötland) samt Hans Bjurbäck (Regionfastigheter, Region Jönköpings län) som också varit beställarens kontaktperson.

Göran Andersson (GICON AB) har uppskattat kostnader för tekniska installationer.

Göteborg, december 2025

Förkortningar

ACH	Air changes per hour
ACR	Air change rate
AGP	Aerosol-generating procedures
AIA	American Institute of Architects
AII	Airborne infection isolation
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
BOV	Bygghälsa och vårdhygien
CADR	Clean Air Delivery Rate
CDC	Centers for Disease Control and Prevention (USA)
CFD	Computational fluid dynamics
CO ₂ e	Koldioxidkvivalenter
ECDC	European Centre for Disease Prevention and Control
Far-UVC	Ultraviolett ljus med våglängd mellan 207 och 222 nm
FTX	Till- och frånluft med värmeåtervinning
HEPA	High efficiency particulate air
IRMM	Infection Risk Management Mode
LED	Light Emitting Diode (ljusdiod)
LOA	Lokalarea
NADR	Non-Infectious Air Delivery Rate
NHS	National health service (Storbritannien)
PTS	Program för teknisk standard
REHVA	Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations
SFP	Specific fan power
SFVH	Svensk Förening för vårdhygien
SSM	Strålsäkerhetsmyndighet
UV	Ultraviolett ljus
UV-C	Ultraviolett ljus med våglängdsintervall 200 till 280 nm
UVGI	Ultraviolet germicidal irradiation
VAV	Variable air volume
VE	Ventilationseffektivitet
WHO	World Health Organization
WR	Wells-Riley

1 Introduktion

I den senaste utgåvan av BOV ges vägledning om att ventilationsflödena skall ökas avsevärt jämfört med nuvarande praxis. Till exempel anges ett luftflöde på 60 l/s per patient som ett nytt målvärde för akutvårdsrum, att jämföra med 20 l/s per person som tillämpas av PTS. För väntrum anger SFVH 8 luftutbyten per timme som ett målvärde, vilket kan jämföras med de cirka 3 luftutbyten per timme som tillämpas idag. Med dessa nya riktlinjer är det en betydande skillnad mellan de målvärden som vårdhygiensidan vill tillämpa och vad fastighetssidan anser vara möjligt att uppnå med tanke på energianvändning, kostnader, miljöpåverkan, erforderliga utrymmen, m.m.

Chalmers och CIT Renergy har i tidigare uppdrag utrett fastighetstekniska konsekvenser av ökade uteluftflöden i vårdlokaler. Rapporten visade både hur stor den smittrisksänkande effekten av ökat luftflöde är och hur stora de negativa konsekvenserna är i termer av energibehov, inomhusmiljö, behov av tekniska installationer och utrymme för dessa samt där till hörande kostnader och klimatpåverkan [1].

En allt viktigare aspekt, som inte ingick i det tidigare uppdraget, är luftflödets inverkan på el- och värmeeffektbehovet. Trenden är tydlig att energibolag och nätoperatörer ändrar sina prismodeller till att effektdelen blir en allt större andel av kostnaderna. Därför har uppdraget kompletterats med kostnader för effektbehov.

Vidare syftar uppdraget till att utvärdera andra sätt än ökade uteluftflöden för reduktion av risken för luftburen smittspridning. De två alternativen som ingår i denna utredning är användning av recirkulationsluft respektive desinficerande UV-ljus. Till skillnad från i förra uppdraget, där svaret på frågan om luftflödets optimum var att "det beror på förekomsten av smitta", så påvisar denna utredning de olika alternativens inverkan på kostnader och klimatpåverkan, jämfört med ökat luftflöde.

Även om denna rapport avgränsas till att kvantifiera effektkostnader och belysa alternativ till ökade uteluftflöden, inleds den med en repetition av den energikvantifiering som framställdes i den tidigare rapporten av CIT Renergy och Chalmers tekniska högskola. Detta eftersom frågeställningen om effekt hänger samman med energiavsnittet i den tidigare rapporten.

Ytterligare likheter mellan rapporterna är att samma förenklade fiktiva byggnad om 5 000 m² används i analysen, bestående av 3 500 m² vådrum, 1 000 m² mottagningsrum och 500 m² väntrum. Arean fördelas över fem våningsplan med sammanlagt 277 rum.

2 Ökade luftflödets inverkan på energi och effekt

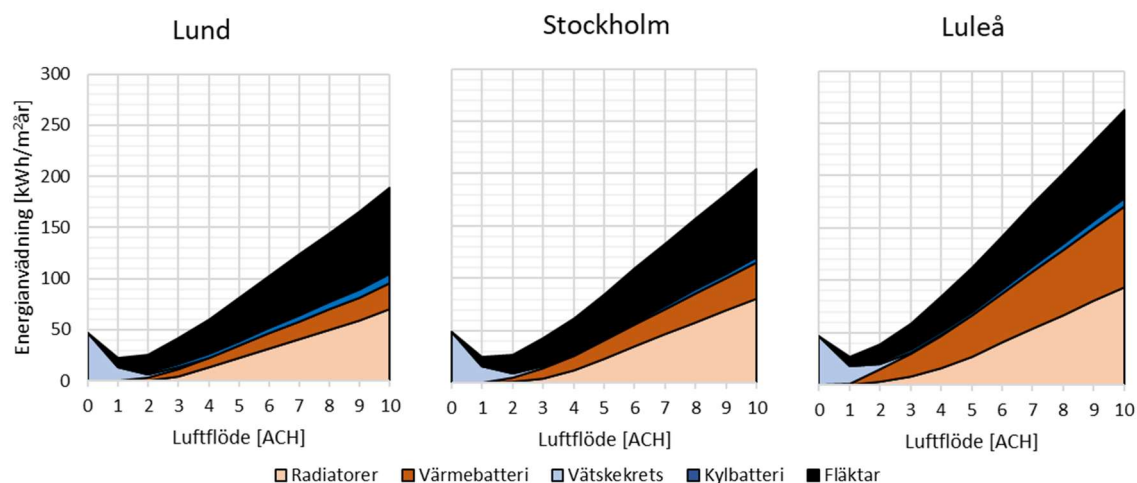
Här redovisas hur energi -och effektbehovet för var och en av de tre rumstyperna påverkas av luftflödet (0 – 10 ACH). Eftersom resultatet beror på uteklimatet så redovisas det för tre olika städer: Lund, Stockholm och Luleå. Indata för beräkningarna finns i Appendix A.

Efter Avsnitt 2.2 (Effekt) sammanställs kostnader för energi, effekt, tekniska installationer och utrymme för dessa. Även relativ smittorisk kvantifieras. Detta för att sätta energi – och effektkostnaderna i ett sammanhang. För en utförligare beskrivning om beräkning av risker för smittspridning, hänvisas till den tidigare rapporten [1].

2.1 Energi

Detta avsnitt är detsamma som i den tidigare rapporten. Syftet är att visa bakgrunden till resonemanget kring luftflödets inverkan på el- och värmeeffektbehov.

Den redovisade energianvändningen avser byggnadens behov av energi. I de fall med värmepumpar och kylmaskiner skiljer detta sig från mängden köpt energi, men vid fjärrvärme och fjärrkyla (vilket många sjukhus har) stämmer siffrorna i diagrammen även med mängden köpt energi. Posterna *Radiatorer* och *Värmebatteri* motsvarar alltså fjärrvärmebehovet, medan *Vätskekrets* och *Kylbatteri* motsvarar fjärrkylabehovet och *Fläktar* motsvarar elbehovet. Den del av energianvändningen som påverkas av luftflödet i ett vådrum med ventilationen i drift vid konstant luftflöde dygnet runt (CAV) redovisas i Figur 1.



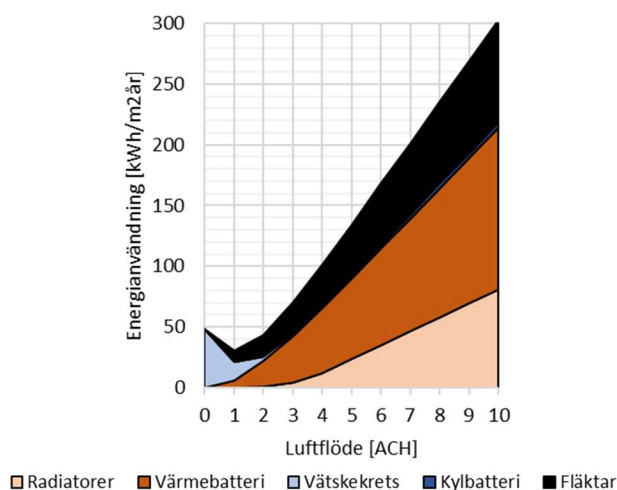
Figur 1. Samband mellan luftflöde och energianvändning i Vårdrum. Konstant luftflöde dygnet runt. 85 % temperaturverkningsgrad.

Mängden energi som behövs för Vårdrummet per ACH i intervallet 3-6 ACH redovisas även i Tabell 1.

Tabell 1. Luftflödesspecifikt energibehov per ACH i Vårdrum i intervallet 3-6 ACH [kWh/m²·år·ACH]

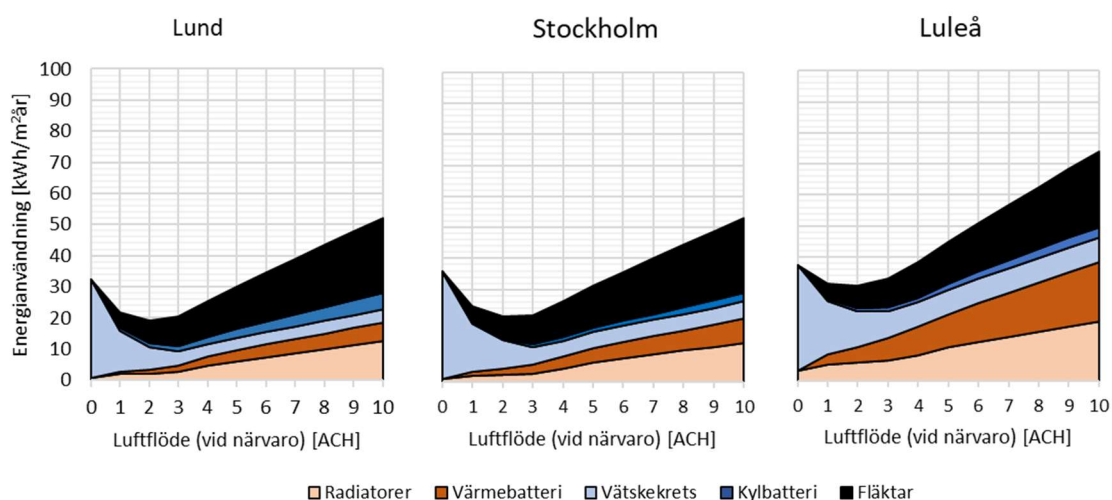
	Lund	Stockholm	Luleå
Fjärrvärme	11,7	13,9	19,0
Fjärrkyla	0,3	-0,2	0,3
El	8,4	8,4	8,4

I grundfallet ovan antas att värmeåtervinningens temperaturverkningsgrad är 85 % i enlighet med Västfastigheters tekniska krav och riktlinjer för aggregat i normal vårdverksamhet. För aggregat i verksamhet med särskilda krav på att tilluft och frånluft hålls åtskilda är kravet i stället 75 %. Eftersom temperaturverkningsgraden är den enskilt mest avgörande parametern för sambandet mellan luftflöde och energibehov så visas i Figur 2 hur energianvändningen i Stockholmsfallet blir vid 75 % temperaturverkningsgrad. Då blir det luftflödesspecifika fjärrvärmebehovet i stället 24,2 kWh/(m²år·ACH), vilket är 75 % högre än i fallet med 85 % temperaturverkningsgrad.



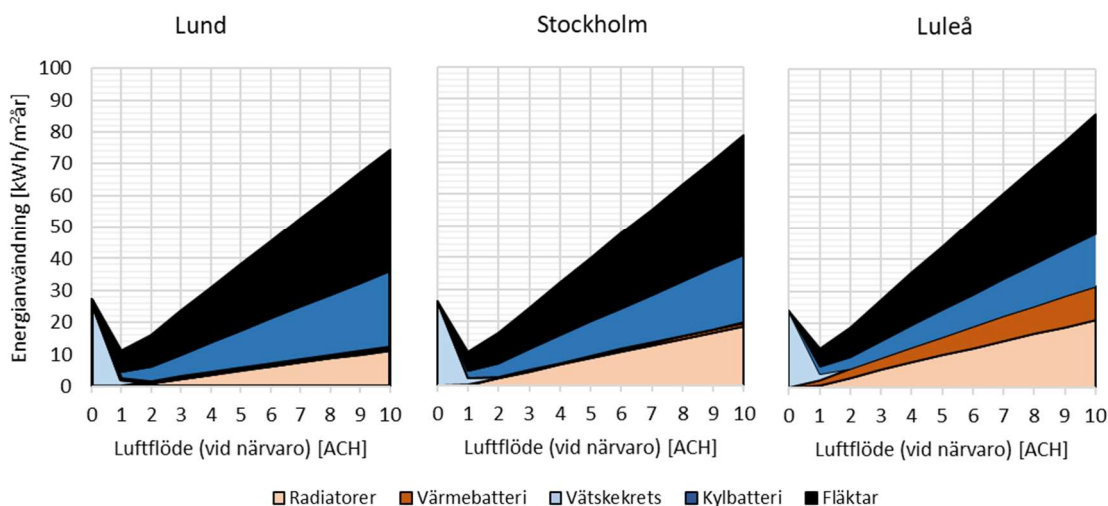
Figur 2. Samband mellan luftflöde och energianvändning i Vårdrum i Stockholm med 75 % temperaturverkningsgrad. Konstant luftflöde dygnet runt.

I Figur 3 visas åter resultatet från grundfallet, men nu för ett mottagningsrum. Observera att skalan i diagrammen skiljer sig från den i Figur 11 och 2. Anledningen till den stora skillnaden är att mottagningsrummen har ett behovsstyrt ventilationssystem som tillser att det höga luftflödet bara är aktuellt vid närvaro (6 timmar per dag), medan vårdrummet har konstant luftflöde dygnet runt.



Figur 3. Samband mellan luftflöde (vid närvaro) och energianvändning i mottagningsrum. Närvarostyrd ventilation.

I Figur 4 visas motsvarande resultat för väntrummet, där man har närvaro i 10 timmar per dygn. På grund av det relativt höga kylbehovet har väntrummet en lägre tilluftstemperatur än de andra rummen. Det ska nämnas att energibehovet hade kunnat reduceras generellt genom att optimera tilluftstemperatur för respektive rumstyp. En icke-optimal tilluftstemperatur är dock sannolikt mer verklighetsnära eftersom många olika rumstyper i praktiken försörjs av samma luftbehandlingsaggregat, i vilket tilluftstemperaturen bestäms.



Figur 4. Samband mellan luftflöde (vid närvaro) och energianvändning i Väntrum. Närvarostyrd ventilation.

För att ge en förståelse för energibehovens storleksordning kan nämnas att Västfastigheters energimål för all nyproduktion är 60 kWh/m²·år, vilket till skillnad från diagrammen ovan även inkluderar verksamhetsel (t.ex. belysning och röntgenkameror) och all fastighetsel utöver fläktelen (t.ex. pumpar och hissar). Detta mål nås dock normalt inte i byggnader med verksamhet dygnet runt. Samtidigt kan påpekas att en verklig byggnads energianvändning har förutsättningar att bli lägre än om energianvändningen för exempelbyggnadens tre rumstyper slås samman. Detta eftersom verkliga byggnader även huserar ytor såsom korridorer, teknikrum, m.m.

2.2 Effekt

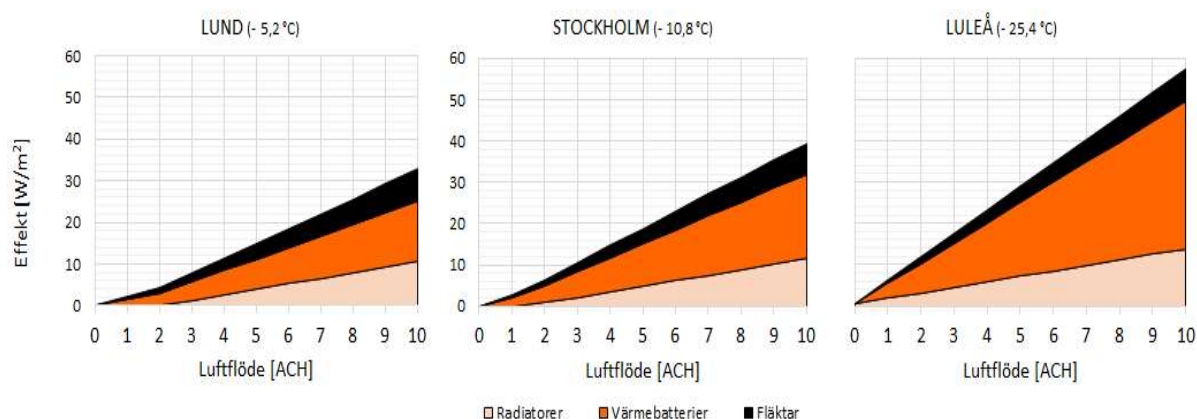
Då energiprismodeller generellt sett lägger allt större vikt vid effektuttag, redogörs i detta avsnitt för hur kostnader för effektbehov påverkas av luftflöde. Vi utgår fortfarande från exempelbyggnaden som beskrivs i Appendix A, men nu för två olika fall (Fall 1 och 2), se Tabell 2.

De två fallen togs fram i samsyn med PTS. Fall 1 är samma som innan, med 85 % temperaturverkningsgrad och effektiva fläktar. Fall 2 representerar i stället ett äldre, och i någon mån mer representativt utförande, med äldre fläktar och lägre temperaturverkningsgrad.

Tabell 2. Olikheter mellan två olika typfall för bedömning av effektbehov. Övriga parametrar lika.

	Fall 1 – energieffektivt	Fall 2 – äldre system
Temperaturverkningsgrad värmeåtervinning	85 %	60 %
Fläkteffekt	1,3 kW/(m ³ /s)	2,5 kW/(m ³ /s)

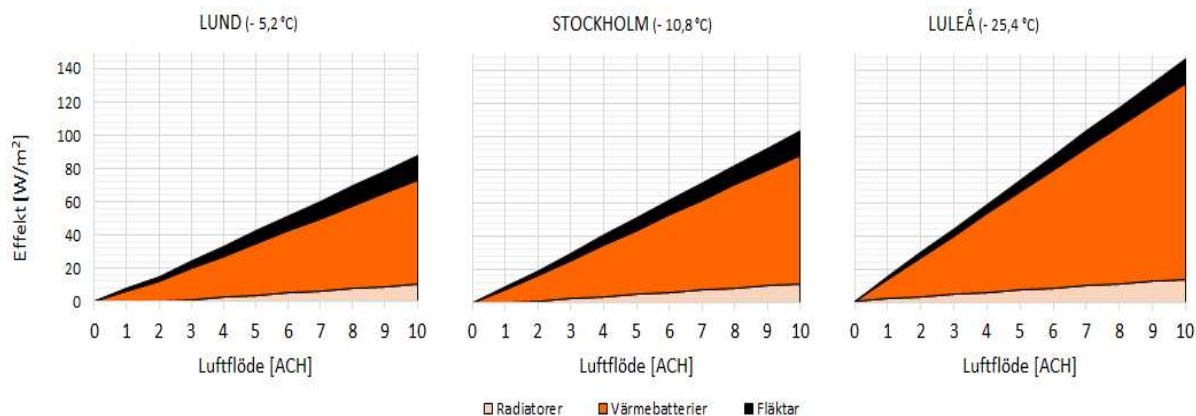
Notera att Figur 5 och 6 endast avser el och värmeeffekt och att det beräknats för genomsnittet av respektive orsts tre kallaste medeldygn under ett meteorologiskt normalår, vilket återspeglar effektprismodellens konstruktion för fjärrvärme hos flera energibolag, såsom Göteborg Energi och Jönköping Energi. Andra prismodeller ger andra resultat. Trenden är att effektkomponenten i prismodellerna baseras på allt kortare tidsintervall, vilket i detta fall skulle generera högre effektuttag än vad som här redovisas.



Figur 5. Samband mellan luftflöde (vid närvaro) och värmeeffektbehov i hela sjukhusbyggnaden. Beräknat för ett genomsnitt av orternas tre kallaste medeldygn ett meteorologiskt normalår. Fall 1.

Grafen för Lund visar en svag ”knyck” vid två ACH, vilket beror på att radiatorerna aktiveras först då. I verkligheten är de sannolikt alltid aktiverade vid så låga utetemperaturer för att motverka kallras från fönster. Men den aspekten har inte beaktats här eftersom det inte relaterar till luftflödena.

I Figur 3 visas resultat för Fall 2 - det ventilationsmässigt mindre energieffektiva utförandet. Observera att skalan i diagrammen skiljer sig från den i Figur 15, vilket beror på den stora resultatskillnaden orsakad av den tekniska prestandan.



Figur 6. Samband mellan luftflöde (vid närvaro) och värmeeffektbehov i hela sjukhusbyggnaden. Beräknat för ett genomsnitt av orternas tre kallaste medeldygn ett meteorologiskt normalår. Fall 2.

En sammanställning av erforderligt värmeeffektbehov per ACH, från 3 ACH och uppåt, redovisas i Tabell 1. Vid 0-2 ACH är effektbehovet något lägre per ACH i Lund och Stockholm eftersom radiatorerna där knappt behövs vid låga luftflöden (som ju är något undertempererade).

Tabell 3 Luftflödesspecifikt värmeeffektbehov per ACH för ett genomsnitt av respektive orters tre kallaste medeldygn ett meteorologiskt normalår [$W/m^2 \cdot ACH$]. Hela sjukhuset. Fall 1 och Fall 2.

	Lund (- 5,2 °C)	Stockholm (- 10,8 °C)	Luleå (- 25,4 °C)
Fall 1 "energieffektivt"			
Fjärrvärme	2,8	3,3	4,8
El	0,7	0,7	0,7
Fall 2 "äldre"			
Fjärrvärme	7,4	9,0	13,0
El	1,4	1,4	1,4

Kvantifiering av kyleffekt är mer komplext och påverkas inte minst av t.ex. värmelagring och solintensitet. För detta krävs simuleringsprogram med högre tidsupplösning än vad som här använts. I det följande avsnittet delas dock kostnaderna för fjärrkyla upp i energi och effekt enligt specificerad schablon för Göteborg Energi [2].

2.3 Beräknade kostnader och relativ smittriskreduktion

För att jämföra kostnaderna för energi- och effektbehov med investeringskostnaderna (för tekniska installationer och utrymme), behöver de nuvärdesberäknas. Nuvärde är det aktuella värdet av en framtida summa pengar. Vid beräkningarna användes följande indata:

- Elpris: 1,5 kr/kWh (energi och effekt)
- Fjärrvärmepris: 1,0 kr/kWh (energi och effekt)
- Fjärrkylapris: 1,0 kr/kWh (energi och effekt)
- Real kalkylränta: 3 %
- Kalkyltid: 30 år

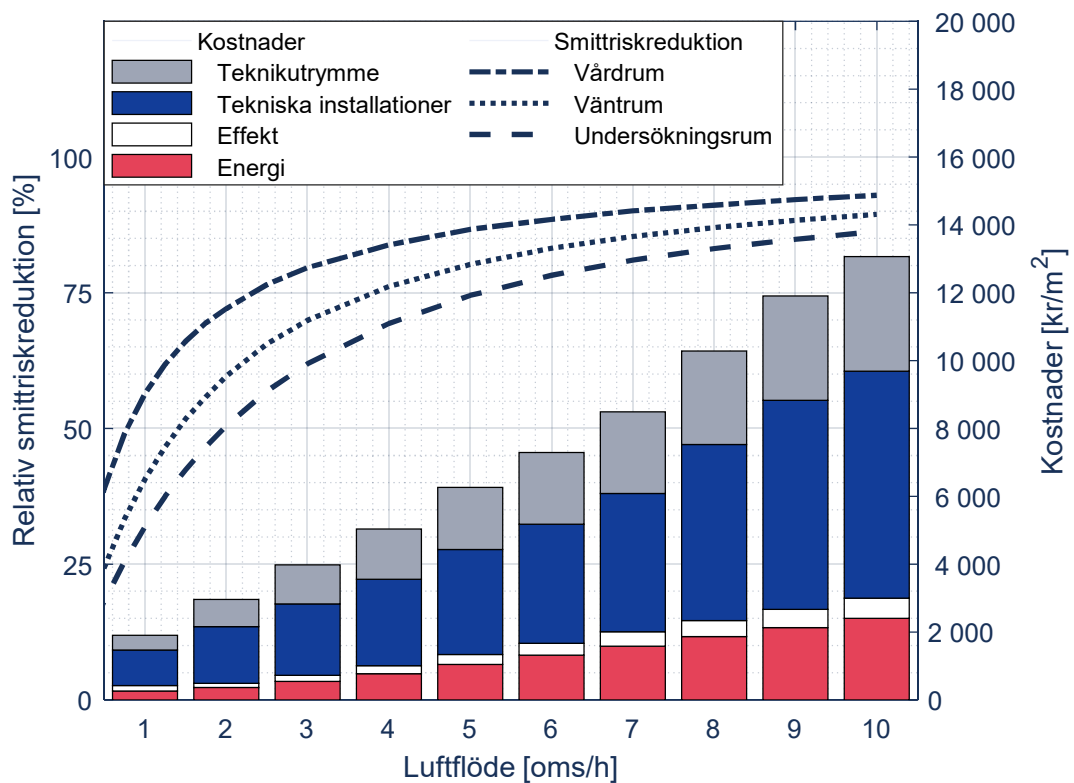
Det finns en stor variation bland olika effektprismodeller. Att reflektera en enhetlighet för hela landet låter sig inte göras. Därav den förenklade hopslagningen av energi- och effektkomponenter ovan. Men i Figur 7, där de totala kostnaderna ställs samman, särredovisas energikostnader och effektkostnader. Fördelningen dem emellan återspeglar hur Göteborg Energi prissätter sina effektkomponenter:

- Fjärrvärme: ca 1 000 kr/kW för ett genomsnitt av de tre högsta effektuttagen (dygnsmedel) under de senaste tolv månaderna [2]
- Fjärrkyla: Schablon. 60 % av totalpriset (av 1 kr//kWh ovan) * [3]
- El: ca 52 kr/kW, månad multiplicerat med månadens högsta timmedeleffekttopp** [4]

* Egentligen bestäms effektagiften för fjärrkyla bl.a. av högsta effektuttag. Men då kyleffektbehovet inte beräknats för det fiktiva sjukhuset används Göteborg Energis angivna schablon om att ca 60 % av priset är effektrelaterat.

** Här antas högspänningsanläggning 10 kV. Fläktarnas eleffektbehov har ej beräknats månadsvis, utan bara för den kallaste perioden. Förenklingen har dock minimal inverkan eftersom effektkomponenten för el i detta fall är svag.

I Figur 7 visas också den relativa smittriskreduktionen för de tre typrummen. Ett exempel för att förklara begreppet relativ smittriskreduktion är att med ett luftflöde på 2 ACH är risken för luftburen smitta i mottagningsrum 50 % lägre än vid inget luftflöde alls. Vid 4 ACH är samma smittriskreduktion i stället 70 %.



Figur 7. Nuvärde av summan av alla kostnader som påverkas av luftflödet samt relativ smittriskreduktion. Kalkyltiden är 30 år. Fall 1 i Stockholm (nybyggnation) avses. Priserna för energi och effekt har antagits följa inflationen.

En noggrann granskning av Figur 7 ger vid handen att investeringskostnaderna ökar något mer än energikostnaderna. Ur figuren kan även utläsas att risken för luftburen smitta är cirka 40 % lägre i ett rum med ett luftflöde på 4 ACH än i ett rum med 2 ACH och skillnaden kostar 2 080 kr/m² uttryckt som kostnadernas nuvärde beräknat enligt de förutsättningar som anges i avsnittets inledning.

Effektkostnadernas relativt ringa andel förklaras av att drygt 50 % av de sammanlagda energi- och effektkostnaderna utgörs av el, vars effektkomponent är tämligen svag.

3 Recirkulationsluft som alternativ till ökat uteluftflöde

Ventilationsflödets inverkan på smittrisen är väl belagd, och beräknades i avsnittet innan baserat på den tidigare PTS-rapporten av CIT Renergy och Chalmers tekniska högskola [1].

Traditionellt har ventilationsflöde och uteluftflöde setts som synonymer, och i beräkningarna i Kapitel 2 antogs att hela luftflödet utgjordes av uteluft. För att reducera det stora värmebehov som detta medför kan man i stället blanda uteluft med filtrerad frånluft. Användning av recirkulationsluft innebär att en del av den använda luften från ett utrymme (frånluft) återförs till systemet och blandas med frisk uteluft innan den blåses tillbaka in i lokalerna som tilluft.

Ventilationssystem med recirkulerande luft används i många delar av världen. Även i Sverige förekommer det, men då undantagsvis och främst i samband med luftburen värme/kyla. Recirkulationsluft används även i rum med mycket höga renhetskrav och luftflöden, såsom renrum och operationssalar. Enligt intervjuade projektörer och fastighetsägare begränsas användning av recirkulationsluft till operationsrum, renrum, stora köpcenter, vissa affärer och några ytterligare tillämpningsområden (exempelvis arkiv).

Recirkulationsluft är dock vanligt i USA där det framför allt används för komfortkyla. Förutsatt att man uppfyller minimikravet på tillförd mängd uteluft, så tillåter ASHRAE recirkulationsluft till samtliga rumstyper [5]. Däremot är det inte tillåtet att ta luft från alla rumstyper. Från rum med ”*potential contamination*” och/eller odörer, är recirkulationsluft inte tillåtet. Exempel på sådana är laboratorier, rum för ”*airborne infection*” och toaletter, men även väntrum till akutmottagning och röntgenrum. Från de rumstyper som är aktuella i denna rapport (vårdrum, väntrum och mottagningsrum) är det principiellt tillåtet att ta luft, men det måste säkerställas att frånluft från toaletter och andra kritiska rum inte blandas in i recirkulationsluft.

I beräkningarna här har antagits att all frånluft kan användas, vilket har en viss överskattande inverkan på energiresultaten.

En uppenbar nackdel med recirkulationsluft är att det innebär en smittrisk mellan olika delar av byggnaden, det vill säga en plötslig smittrisk även i rum utan egen smittkälla.

I samband med covid-19-pandemin kom många rekommendationer om förebyggande ventilationsåtgärder för att reducera smittspridningen i alla typer av byggnader. *European Centre for Disease Prevention and Control* (ECDC) sammanställde rekommendationerna från 17 olika länder och organisationer [6]. I en övervägande majoritet av rekommendationerna ingick att minimera, eller helt och hållet stänga all recirkulerande luft. I de irländska rekommendationerna ingick att HEPA-filtrera recirkulationsluften och i Cypern uppmanades man att sjukvårdsbyggnader skulle få såväl ökade uteluftflöde som recirkulationsflöde. De italienska, norska, kanadensiska och amerikanska (USA) rekommendationerna nämnde inget om recirkulationsluft. Däremot angavs i de norska rekommendationerna att luftflödet inte ska ökas i redan välventilerade rum samt att rekommendationer från WHO [7, 8] och CDC [9] inte är tillämpliga under nordiska förutsättningar.

Jarek Kurnitski i Nordiska Ventilations Gruppen lyfte i samband med covid-19-pandemins utbrott fram att det tidigare genomförts en genomgång av tillgänglig vetenskaplig litteratur för att identifiera eventuella negativa hälsoeffekter kopplade till

recirkulation. Resultatet visade att det saknas tydliga vetenskapliga belägg för att recirkulation i sig medför förhöjd smittorisk. Det finns således inga entydiga argument i litteraturen mot användning av recirkulation i ventilationssystem. Det bör dock noteras att luktproblem kan uppstå i vissa tillämpningar, även om detta i begränsad utsträckning är dokumenterat.

För att inte begränsa rekommendationerna till att bara använda uteluft används ibland begreppen CADR (clean air delivery rate) eller NADR (non-infectious air delivery rate). Detta förhållningssätt kan förstås vara användbart, men haltar en del eftersom t.ex. 1 000 l/s icke-infektiös uteluft är mycket bättre än 1 000 l/s icke-infektiös recirkulationsluft om den sistnämnda tillförs t.ex. 1 l/s infektiös luft. När man jämför svenska och utländska luftflödeskrav är det bra att ha i åtanke att de utländska riktlinjerna tillåter en stor del recirkulationsluft och att denna inte räknas om till CADR eller NADR utan faktiskt likställs med uteluften.

Med tillräckligt bra filterteknik kan dock recirkulationsluft sannolikt vara en bra lösning. Azimi & Stephens [10] gjorde en simuleringsstudie för kontor i USA och fastslog att recirkulationsluft är mer kostnadseffektivt än uteluft för reduktion av influensaspridning.

För att ett recirkulationsluftssystem ska fungera på ett säkert och robust sätt över tid krävs att driftpersonal har tillräckliga resurser för att säkerställa detta.

I BOV konstateras att recirkulering av luft i svenska vårdlokaler inte används historiskt, men kan användas för att ge högre totalluftflöden med en lägre energikostnad. Skriften öppnar upp för att delar av det totala ventilationsflödet kan utgöras av ren recirkulerad rumsluft. Men för att tillföra syre samt avlägsna koldioxid, flyktiga gaser och lukter menar man att det i de flesta vårdlokaler är olämpligt att underskrida två luftväxlingar (ACH) uteluft per timma.

Rekommenderade riktvärden för olika rumstyper och förutsättningar anges för det totala icke smittbärande ventilationsluftflödet, NADR. Några av gränsvärdena redovisas i Tabell 4 nedan.

Tabell 4 Vårdhygieniska gränsvärden för lägsta rekommenderade totala ventilationsflöden (NADR) vid närvaro i några typer av rum. Källa: Byggnation och vårdhygien, BOV.

Lokal	Luftomsättningar (ACH)	Totalt luftflöde (l/s, patient)
Vårdrum ¹	3-4	30-60
Mottagningsrum ²	2-4	20-60
Väntrum ³	8	-

¹ Benämnt "vårdrum övrigt", syftandes på annat än för somatisk akutsjukvård. Vårdrum, intensivvård: 6 ACH

² Rum för undersökning. Benämnt "mottagningsrum för öppenvård"

³ Benämnt "väntrum för somatisk akutsjukvård"

Vidare nämns i BOV att i lokaler där lukter, flyktiga gaser eller potentiella toxiner förekommer är recirkulation olämplig, exempelvis lokaler för mathantering och avfall, toaletter och laboratorier. Lukter kan givetvis tillfälligt förekomma även i enskilda vårdrum, men torde i normalfallet kunna bortses från om det endast utgör en liten del av det totala flödet.

Recirkulation kan användas även i lokaler med infektionsrisk, men endast lokalt och med luftrening inom eller tillbaka till samma rum. Detta bör ske med portabla eller fasta recirkulationsaggregat, med exempelvis HEPA-filtrer.

Eftersom recirkulation innebär en teoretisk risk för att mikroorganismer kan spridas mellan olika lokaler behöver recirkulationsluften renas genom filtrering. Eventuellt kan reningen kompletteras med annan teknik, i första hand ultraviolett ljus (UV-C). Filtreringsgraden bör anpassas till planerad verksamhet. En riskbedömning bör genomföras innan recirkulation installeras i vårdmiljö inkl. kravställning för filtreringsgrad/avdödningsrad vid recirkulerad återluft. Centralt placerade filter för recirkulation utgör också en risk vid eventuella läckage. Noggrann kontroll av filterfunktion och tryckdifferenser över filtren rekommenderas.

3.1 Olika designprinciper för användning av recirkulationsluft

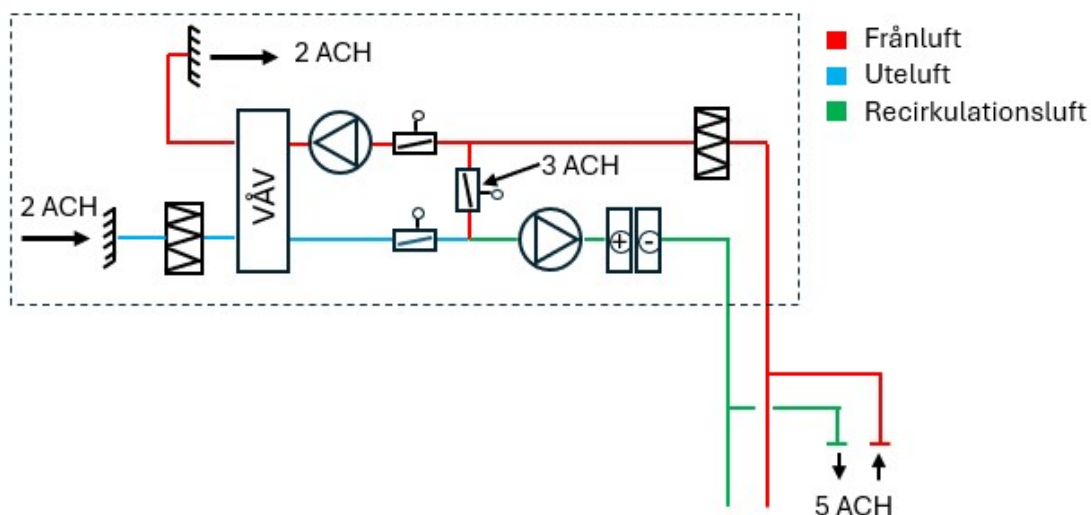
Syftet med detta avsnitt är att öka kunskapen om användning av recirkulationsluft, inklusive en konsekvensanalys som belyser recirkulationssystemets för- och nackdelar, samt dess kostnader och klimatpåverkan.

Nedan följer en analys av användning av recirkulerande luft i de tre rumstyper som ingår i analysen: vårdrum, mottagningsrum och väntrum. Som tidigare tagits upp utgår analysen från en fiktiv, förenklad byggnad om 5 000 m², bestående av 3 500 m² vårdrum, 1 000 m² mottagningsrum och 500 m² väntrum. Arean är fördelad över fem våningsplan med totalt 277 rum.

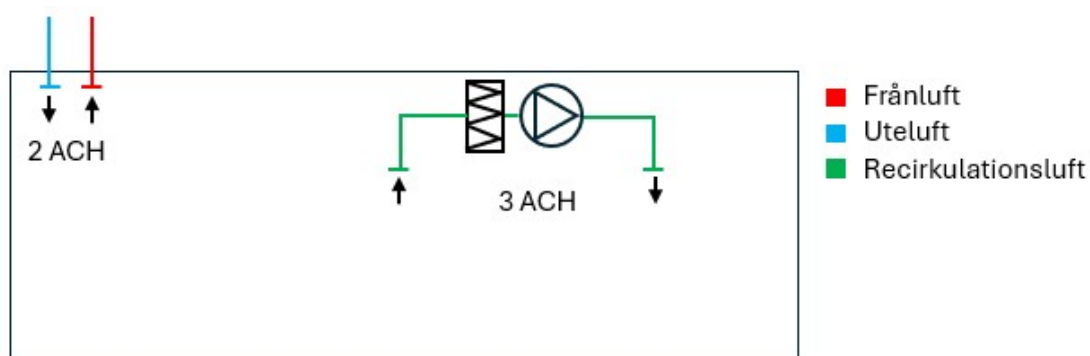
Eftersom det i Sverige inte finns någon tradition av att använda centrala recirkulation i vanliga sjukvårdslokaler (bortsett från i operationsrum), så är det inte självklart vilken designprincip som skulle kunna bli aktuell.

Här har tre olika designprinciper för recirkulationsluft utretts:

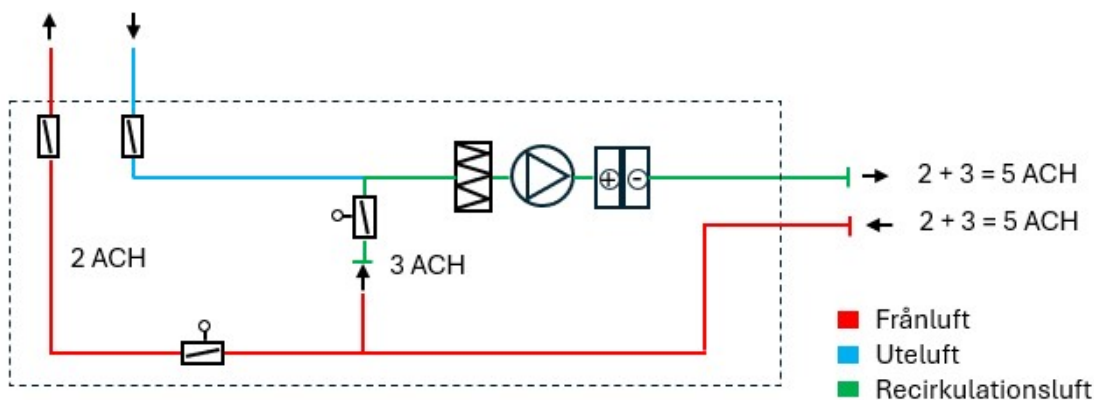
- central recirkulationsluft (Figur 8)
- lokal recirkulationsluft på rumsnivå (Figur 9)
- lokal recirkulationsluft på våningsnivå (Figur 10)



Figur 8. Principskiss för central recirkulationsluft. Angivna luftväxlingar är endast exempel.



Figur 9. Principskiss för lokal recirkulationsluft i rum. Angivna luftväxlingar är endast exempel.



Figur 10. Principskiss för lokal recirkulationsluft på våningsplan. Angivna luftväxlingar är endast exempel.

Oavsett vilken teknisk lösning som väljs är filtrering en viktig aspekt. I BOV anges att filter för ventilerings av allmänna utrymmen (Hygienklass 1) minst bör uppfylla filterklass ePM1 80 % (ISO 16890). I högriskmiljöer (Hygienklass 3, och i rum för somatisk akutsjukvård) rekommenderas avskiljningsgraden 99,5 %, vilket motsvarar filterklass EPA 12 (ISO 25E enligt ISO 29463). Eftersom filter med så hög avskiljningsgrad är dyra brukar de föregås av minst ett förfilter som skydd.

I de redovisningar som här följer används en filteruppsättning (filterbank) i tre steg, oavsett recirkulationsprincip:

- 1) Förfilter 1, ePM10, 60 % (M5). Genomsnittligt tryckfall: 50 Pa (12 Pa vid lokal recirkulationsluft)
- 2) Förfilter 2, ePM1, 60 % (F7). Genomsnittligt tryckfall: 90 Pa (30 Pa vid lokal recirkulationsluft)
- 3) Slutfilter, H13. Genomsnittligt tryckfall: 160 Pa (65 Pa vid lokal recirkulationsluft)

I de flesta tillämningar för recirkulationsluft behövs inte HEPA-filtrering. Men i sjukhussammanhang är det rimligt att så väljs i praktiken för att ta höjd för att frånluften mycket väl kan innehålla luftburen smitta och att det dessutom kan finnas särskilt smittkänsliga personer i byggnaden.

Den ordinarie ventilationsanläggningens fläkteffekt (SFP) är $1,3 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ för hela systemet, vilket är samma som i Tabell 2 tidigare (se Fall 1). I resonemang och sammanställningar nedan bortses från det faktum att fläktars SFP-värden sjunker (förbättras) med minskat luftflöde, vilket inträffar vid frånvaro i väntrum och i mottagningsrum. Förenklingen med konstanta SFP-värden kan anses motiverbar i relation till övriga antaganden.

Nedan redogörs i tur och ordning för de skissade recirkulationsprinciperna. Notera att endast nybyggnation avses. Vid konvertering av traditionella ventilationssystem till recirkulerande ventilation fås andra resultat.

I beräkningarna har det antagits att frånluften inte tas från toaletter eller andra kritiska rum som ligger i nära anslutning till dessa typer av rum. Om dessa typer av rum är sammankopplade till kritiska rum, exempelvis om det finns toaletter i vårdrum, skulle användning av cirkulationsluft innebära att ett separat system måste byggas för att försörja dessa rum.

3.1.1 Central recirkulationsluft

Principen med central recirkulation (Figur 8) är i stora drag identiskt med den traditionella ventilationslösningen. Skillnaden är att all frånluft filtreras genom den angivna filteruppsättningen och att stora delar av det luftflödet därefter återförs via spjäll till tilluften. Utluftintag och avluftshuvar mot det fria kan därmed minskas i storlek, vilket håller nere investeringskostnaden. Men den förhöjda filtreringsgraden orsakar samtidigt ökat tryckfall och därmed förhöjda fläktenergikostnader.

Som framgår av Figur 8 filtreras endast frånluften, vilket i många sammanhang kan vara rimligt, men i sjukhus kan dock tänkas att slutfiltret i stället bör placeras vid inläsningsfläkten för att där fånga in eventuella smittor utifrån. Placeringen har dock ingen betydelse för den föreliggande analysen.

För de givna förutsättningarna beräknas SFP-talet öka till ca $1,6 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ baserat på den tillkommande filteruppsättningens totala tryckfall och ett antagande om att fläktens verkningsgrad är 75 %. Det senare är en sammantagen bedömning utifrån minimikrav i VVS AMA och produktdata från ventilationstillverkaren IV Produkt.

3.1.2 Lokal recirkulationsluft på rumsnivå

Vid den rumsbaserade recirkulationsprincipen (Figur 9) tas endast uteluftflödet om hand av det centrala ventilationsaggregatet, vars SFP-värde enligt tidigare är $1,3 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$. Recirkulationsluft hanteras parallellt av aggregat i respektive rum (277 st.). Rumsaggregaten är att betrakta som luftrenare, om än monterade i undertak. Där är kanaldragningen kort och det finns inga tryckfallsalstrande batterier, å andra sidan är deras fläktar små och mindre effektiva även om de har EC-drift (likströmsmotorer). Produktdata samt pålägg för kort kanaldragning och böjar ger vid handen att de rumsplacerade recirkulationsaggregatens SFP-värden beräknas till ca $0,23 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$.

I mottagningsrum och väntrum aktiveras recirkulationsaggregaten vid närvaro. Vid frånvaro är recirkulationsflödet avstängt.

I det centrala luftbehandlingsaggregatet för uteluft finns batterir för värme och kyla, men det lokala recirkulationsaggregatet har ingen tempererande funktion.

Den typ av recirkulationsaggregat som här avses har fiberbaserade filter, vilka byts med jämna mellanrum. Det finns även elektrostatiske alternativ som, i stället för filterbyten, bara sköljs med vatten.

I Kapitel 5 redogörs ytterligare för luftrenare, men då inte kopplat till den fiktiva exempelbyggnaden. Där framgår att det finns en uppsjö av tekniker och modeller, varav et stora flertalet är portabla. Även modeller med tvättbara filter existerar. Om en modell med tvättbara filter använts även här skulle drift- och investeringskostnaderna i Tabell 5 och Tabell 7 sett annorlunda ut.

3.1.3 Lokal recirkulationsluft på våningsnivå

Principen med lokal recirkulationsluft på våningsnivå (Figur 10) är ett mellanting mellan de två förstnämnda principerna.

Varje våning förses med två recirkulationsaggregat som i sin tur får uteluft från ett centralt ventilationsaggregat och frånluft från halva våningens rum. Totalt installeras 10 recirkulationsaggregat i exempelbyggnaden.

SFP-värdet för det centrala aggregatet som tillför uteluftflödet sätts som tidigare till $1,3 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$. Recirkulationsaggregatens SFP-värde beräknas till ca $0,9 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ eftersom deras fläktar nästan är lika effektiva som i de större ventilationsaggregaten, dock med kortare kanaldragning.

Som framgår av Figur 10 gör systemuppbyggnaden för detta alternativ att varje rum tilldelas samma blandningsförhållande. Såväl vådrum (39 per våning) som mottagningsrum (13 per våning) efterfrågar blandningsförhållandet 1:0,5 vilket skall utläsas som att varje ACH uteluft kompletteras med en halv ACH recirkulationsluft. I väntrummen (4 per våning) är dock förhållandet 1:3, men då de rummen är i minoritet och blandningsförhållandet behöver vara det samma för alla rummen kommer väntrummen försörjas med en större andel uteluft än nödvändigt. Uteluftflödet blir där 5,3 ACH, i stället för erforderliga 2 ACH. I praktiken gör detta att behovet av värme och kyla i aggregaten ökar något, men då det onödigt höga uteluftflödet endast utgör ca 8 % av byggnadens totala uteluftflöde bortses från den inverkan. På samma grunder bortses från eventuella behov av utökad aggregatstorlek (uteluft), särskilt som dessa endast finns tillgängliga i ganska grova steg.

3.2 Kostnadsanalys för recirkulationsluftsalternativ

I detta avsnitt summeras recirkulationsluftalternativen avseende energi och kostnader. De tre olika recirkulationsluftsalternativen jämförs med ett traditionellt system med utökade luftflöden, enligt förslaget i BOVen. Som tidigare baseras beräkningarna på den fiktiva byggnaden med de tre typrummen och deras luftflöden (se Tabell 4).

Den slutliga sammanställningen framgår av Tabell 7, men dessförinnan behövs underlag. I Tabell 5 visas därför de filterkostnader som tagits med i kostnadsberäkningarna, följt av Tabell 6 där antal filter sammanställs för de olika ventilationslösningarna.

Tabell 5 Ungefärliga snittpriser per filter.

	Förfilter 1 ePM10, 60% (M5)	Förfilter 2 ePM1, 60 % (F7)	Slutfilter H13
Centrala aggregat	450 kr	500 kr	6 500 kr
Våningsaggregat	450 kr	500 kr	6 500 kr
Rumsaggregat	-	140 kr	1 900 kr

För begränsning av tryckfall i distributionssystem och filter krävs ofta tilltagna kanaler och kluster av flera parallellkopplade filter ("filterväggar") i aggregaten. En ungefärlig tumregel är att lufthastigheten över tvärsnittet inte bör vara mycket högre än drygt 2,5 m/s. För ett filter med måtten 0,6 x 0,6 m, motsvarar det ca 1 000 l/s per filter. Ytterligare en tumregel gör gällande att Hepa-filter behöver dubbel area jämfört med påsfilter. Detta för att reducera luftens hastighet genom filtermediet. Filteruppsättningarna i Tabell 6 baseras på dessa tumregler och samtal med leverantör.

Tabell 6 Antal filter för olika ventilationsprinciper

Ventilationsprincip	Antal filter/aggregat		Totalt antal filter	
	Uteluft	Recirkulation	Uteluft	Recirkulation
Traditionell				
ePM10 60% (M5)	16	-	32	-
ePM1 60% (F7)	16	-	32	-
Central recirkulering				
ePM10 60% (M5)	8	3	16	6
ePM1 60% (F7)	8	3	16	6
Hepa13		6		6
Lokal recirkulering i rum				
ePM10 60% (M5)	8	1	16	-
ePM1 60% (F7)	8	1	16	277
Hepa13	-	1	-	277
Lokal recirkulering per våning				
ePM10 60% (M5)	10	1	20	10
ePM1 60% (F7)	10	1	20	10
Hepa13	-	1	-	10

I Tabell 7 sammanställs energianvändning och kostnader för olika recirkulationsluftsalternativ. Luftflödena baseras på Tabell 4 tidigare (3 ACH i vårdrum och mottagningsrum, 8 ACH i väntrum), men med tillägget att väntrum och mottagningsrum vid frånvaro erfordrar uteluftflödet 0,35 l/sm², vilket motsvarar knappt

0,5 ACH. I jämförelsen har endast energianvändningen för fläktdrift inkluderats. Kyl- och värmebehovet antas vara oförändrat mellan de olika recirkulationsalternativen.

Investeringskostnaderna för de tekniska installationer som medräknats omfattar:

- avluftshuv och luftintag
- kanaler (i fläktrum, i schakt och på våningsplan) inkl. isolering och ljuddämpare
- VAV-spjäll, injusteringspjäll
- luftbehandlingsaggregat inkl. styr,
- värme och kyla
- till-, från och överluftsdon.

Även kostnader för anslutningar och montering ingår, beräknat för det fiktiva och fem våningar höga sjukhuset med totalt 5 000 m² lokalarea (LOA). Indata för beräkningarna visas i Appendix A.

Tekniska installationer kräver utrymme. I investeringskostnaderna har även kostnader förknippade med utrymmesbehov beräknats, vilket gjorts på samma sätt som i den tidigare utredningen [1]. I beräkningarna inkluderas fläktrumets storlek för det dimensionerande luftflödet, schaktstorlek och hur högt det måste vara mellan bjälklagen för att rymma horisontella kanaler som löper mellan schakt och don.

Liksom tidigare antas följande energipriserna (inkl. effektkomponenter):

- El: 1,5 kr/kWh
- Fjärrvärme: 1,0 kr/kWh
- Fjärrkyla: 1,0 kr/kWh

Övriga driftkostnader avser filterbyten. De angivna arbetskostnaderna är grovt uppskattade.

Behovet av filterbyte varierar beroende belastning. I Tabell 7 antas att filter för uteluft byts årligen. Samma gäller annat än HEPA-filter i anläggningar med recirkulationsluft. HEPA-filter antas dock bytas vart femte år.

Tabell 7 *Energianvändning, investeringskostnader och årliga driftkostnader för olika systemlösningar. Energianvändning för klimatisering av uteluft avser Stockholm.*

System	Fläktel [kWh/m ²]	Värmeenergi, batteri [kWh/m ²] ¹⁾	Kylenergi, batteri [kWh/m ²] ¹⁾	Investering, ventilation [kr/m ²]	Investering, ytbehov ²⁾ [kr/m ²]	Driftpunkter [st.]	Årliga driftkostnader [kr/m ²]			
							Energi ³⁾	Filter	Arbete	Totalt
Traditionell ventilation	22,9	8,7	4,4	2 184	1 315	2	47,5	6,1	0,6 ⁴⁾	54,2
Central recirkulering	28,3 (+23 %)	4,2	2,4	2 156	1 315	2	49,1	7,3	0,6 ⁴⁾	57,0
Lokal recirkulering på rumsnivå	15,8 (-31 %)	4,2	2,4	1 750	889	279	30,3	32,0	8,9 ⁵⁾	71,2
Lokal recirkulering på våningsnivå	20,9 (-9 %)	4,5	3,0	2 359	989	12	38,9	8,3	3,6 ⁶⁾	50,8

1) Avser enbart klimatisering av uteluft ett normaltempererat år i Stockholm. Inverkan på energi för klimatisering på rumsnivå antas försumbar.

2) Investeringskostnad för utrymmesbehov för tekniska installationer, montering och anslutningar, inkl. fläktrum, schakt och bjälklagshöjd. Vid lokal recirkulering på våningsnivå har extra fläktutrymme för cirkulationsaggregat per våning uppskattats till ca 5 m² per aggregat.

3) fjärrvärme: 1,0 kr/kWh, fjärrkyla: 1,0 kr/kWh, el: 1,5 kr/kWh (energi och effekt)

4) Antagen arbetstid för filterbyte 2,5 timmar per aggregat (2 st.), timpris 600 kr/h

5) Antagen arbetstid för filterbyte 0,25 timmar per rumsaggregat (277 st.), 2 timmar per centralaggregat (2 st.). Timpris 600 kr/h

6) Antagen arbetstid för filterbyte 2,5 timmar per aggregat, totalt 12 aggregat. Timpris 600 kr/h.

Timpris och tid för filterbyte i centrala och våningsvisa aggregat enligt kontakt med PTS.

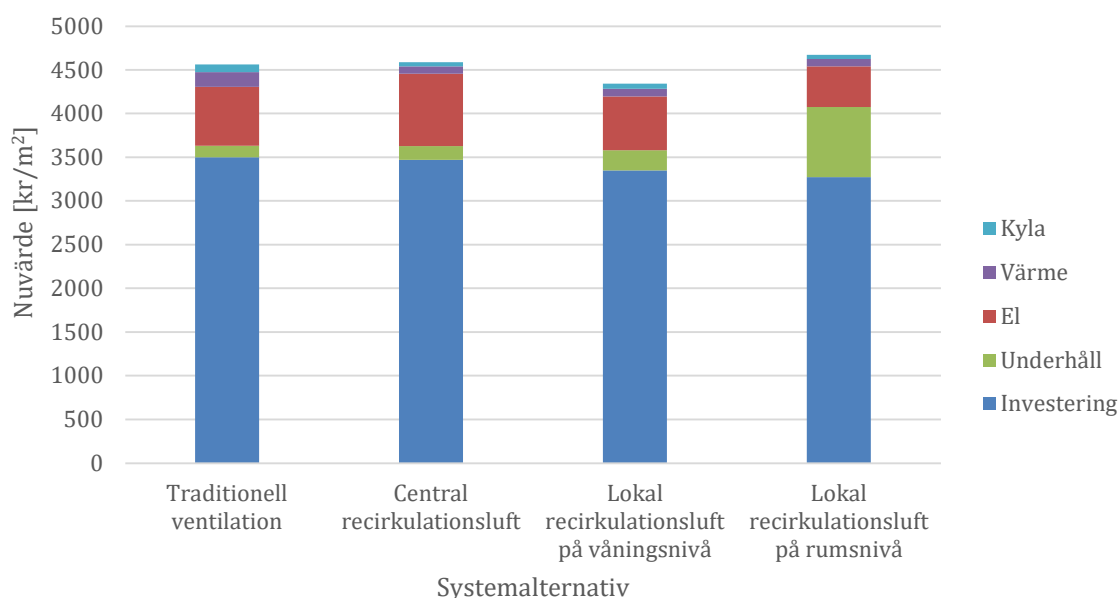
Kostnadskalkylen visar att lokal recirkulationsluft på rumsnivå leder till lägst elanvändning, jämfört med andra alternativ. Elbehovet för fläktdrift är ca 30% lägre än ett traditionellt system med högre luftflöden och utan recirkulationsluft. Samtidigt har det alternativet högst investeringskostnad per kvadratmeter eftersom det utgörs av så många recirkulerande småaggregat. Det senare gör även att de årliga underhållskostnaderna (inkl. filterbyte) sticker ut.

Central recirkulering ger högre elförbrukning (+23 %) och högsta totala driftkostnad, utan att ge någon investeringsfördel jämfört med traditionell ventilation.

För att kunna jämföra de olika alternativen, med hänsyn till både investering och årliga el- och underhållskostnader, har livscykelkostnaderna beräknats. Följande indata har använts:

- Elpris: 1,5 kr/kWh (energi och effekt)
- Fjärrvärmepris: 1,0 kr/kWh
- Fjärrkyla pris: 1,0 kr/kWh
- Real kalkylränta: 3 %
- Kalkyltid: 30 år

Elpriset har antagits följa inflationen. De olika systemalternativen har sammanställts i Figur 11.



Figur 11 Livscykelkostnader för olika recirkulationsalternativ jämfört med ett traditionellt system.

Ur ett livscykelperspektiv har lokal recirkulation på våningsnivå de lägsta kostnaderna, där både investeringskostnader och årliga driftkostnader för elenergi och underhåll har vägts in.

I sammanhanget bör åter kommenteras att analysen baseras på en fiktiv byggnad om 5 000 m², där all area utgörs av tre typer rum som återfinns i BOV. Kostnaderna har därmed fördelats på 5 000 m² "högventilerad area". I ett verkligt sjukhus finns även en mängd korridorer, förråd och andra rum där luftflödeskraven är lägre. Vid centrala cirkulationsluftlösningar får även sådana rum högfiltrerad luft. Men om

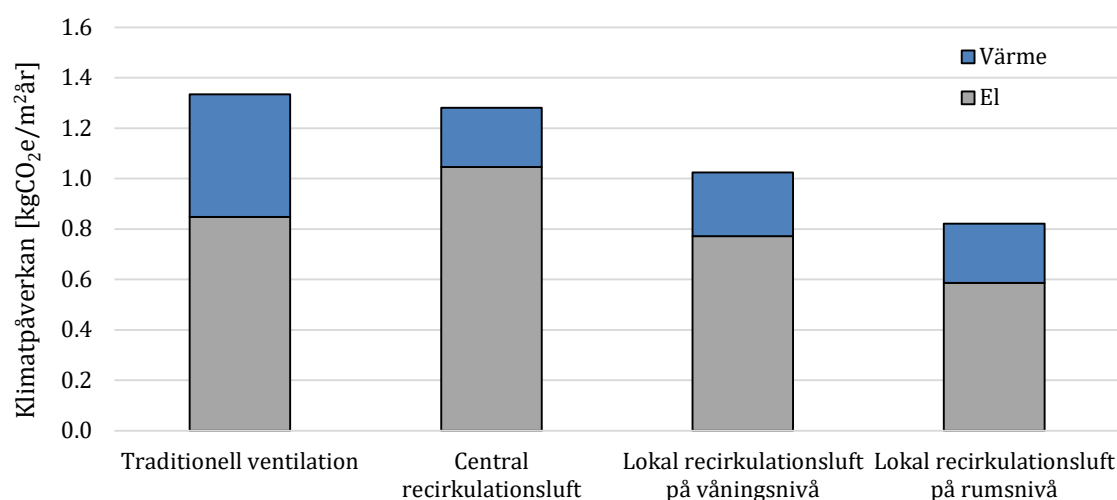
cirkulationsflödena i stället togs omhand lokalt skulle rum med lägre ventilationsbehov inte utrustas med luftrenare, varpå kostnaden per kvadratmeter skulle minska.

3.3 Klimatpåverkan

I det här avsnittet redovisas en grov uppskattning av hur de olika recirkulationsluftsalternativ påverkar utsläpp av växthusgaser jämfört med ett traditionellt system. Utsläpp av växthusgaser är inte en direkt konsekvens av luftflödet utan en följd av energibehov, behov av tekniska installationer och utrymme för dessa. Redovisad klimatpåverkan för installationer och utrymme avser produktskedet (modul A1-A3 enligt SS-EN 15978). Klimatpåverkan från övriga delar av livscykeln ingår inte.

För klimatpåverkan från energianvändning har energin för uppvärmning och fläktdrift inkluderats. För klimatpåverkan från elanvändning och fjärrvärmeanvändning har indata tagits från Boverkets klimatdatabas. Elen antas motsvara svensk elmix med en klimatpåverkan på 0,037 kgCO₂e/kWh och fjärrvärmens ett svenskt medelvärde på 0,056 kgCO₂e/kWh. För fjärrkylan antas ingen klimatpåverkan, i enlighet med miljönyckeltal från Göteborg Energi och Stockholm Exergi.

För en byggnad som till 70 % består av vådrum, till 20 % av mottagningsrum och 10 % väntrum blir energianvändningens klimatpåverkan vid olika ventilationslösningar enligt Figur 12. Eftersom systemlösningen med lokal recirkulation på rumsnivå har det lägsta elenergiebehovet, är också klimatpåverkan från elanvändningen lägre jämfört med övriga alternativ.



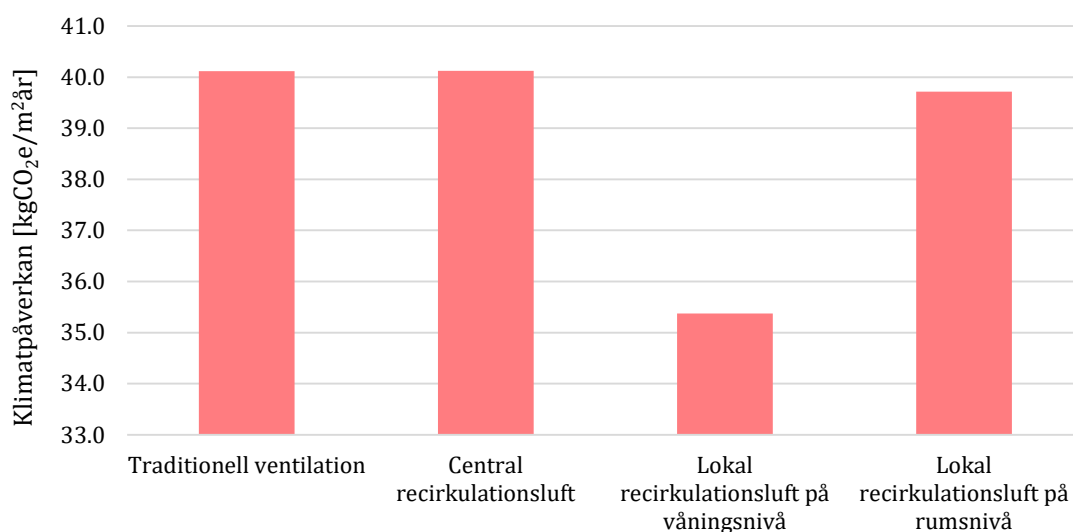
Figur 12 Klimatpåverkan från energianvändningen för olika recirkulationsluftsalternativ jämfört med traditionell ventilation.

Uppskattningen av klimatpåverkan från tekniska installationer omfattar luftbehandlingsaggregat, filter, luftkanaler, isolering, till- och frånluftsdon, ljuddämpare, luftintag/avluftshuv, VAV-spjäll, överluftsdon och IRIS-spjäll. Klimatpåverkan från filterbyte under drift har inte inkluderats i uppskattningen.

Som datakälla för klimatberäkningarna har produktspecifika miljövarudeklarationer (EPD:er) använts som exempel för vissa komponenter, så som filter, don, isolering och ljuddämpare. Där sådana uppgifter saknas – exempelvis för luftbehandlingsaggregat och cirkulationsaggregat – har generisk branschdata och välmotiverade antaganden använts.

Västfastigheter har tillhandahållit klimatdeklarationer för ett par nybyggda sjukhus (redovisade livscykel faser är A1-A5¹ och inkluderade byggnadsdelar är enligt lagen om klimatdeklaration för byggnader²). Deklarerade värden för livscykel faser A1-A3 ligger inom intervallet 301-323 kgCO₂e/m². Värdet 312 kgCO₂e/m² har använts för att uppskatta klimatpåverkan från ökad schaktstorlek, större fläktrum och högre bjälklagshöjd. För schaktstorlek och fläktrum har det ökade areabehovet multiplicerats direkt med ovan angivet värde. För den ökade bjälklagshöjden har en omräkning gjorts baserat på en tumregel om att 10 % högre bjälklagshöjd ger 7-8 % högre byggkostnad. Samma förhållande har antagits gälla för klimatpåverkan som därmed blir 0,69 kgCO₂e/m² per centimeter ökad bjälklagshöjd.

Den sammanlagda klimatpåverkan från tekniska installationer och utrymme för dessa presenteras i Figur 13.



Figur 13 Klimatpåverkan från tekniska installationer och utrymmesbehov

Systemlösningen med lokal recirkulation på våningsnivå har lägst klimatpåverkan när det gäller produktskedet (modul A1–A3 enligt SS-EN 15978), vilket beror på lägre material- och installationsbehov jämfört med andra system.

¹ Utvinning av råvara, transport till tillverkning, tillverkning, transport till byggarbetsplats och bygg- och installationsprocess.

² Ytterväggar inkl. fasader, fasadfönster, fundament, golvbeläggning inkl. golvregelsystem, stomme, bjälklag, källare inkl. stödmurar, grundplatta, innerväggar och tak inkl. beklädnad.

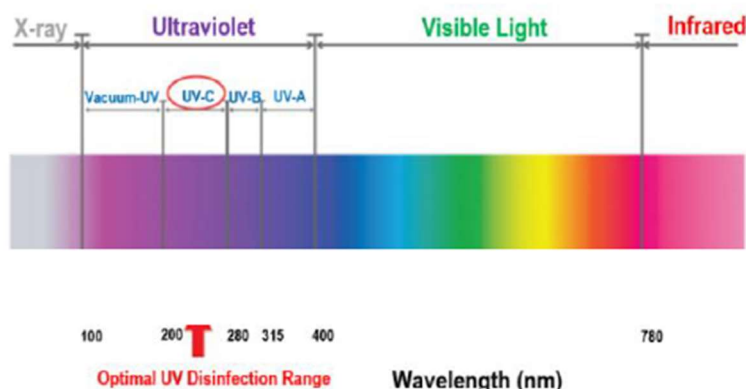
4 Desinficerande UV-ljus

Ultraviolett ljus (UV-C) har sedan början av 1900-talet använts för desinfektion av luft, vatten och ytor, men har på senare år även fått ökad uppmärksamhet som en möjlig åtgärd mot luftburen smittspridning i byggnader, särskilt i samband med pandemin. I detta avsnitt presenteras olika tekniska lösningar för UV-ljus samt skillnaderna mellan dessa. Vidare behandlas teknikens möjligheter och risker, vilka funktionskrav som bör ställas för produkter samt rekommendationer för upphandling och implementering. Även kostnader och klimatpåverkan analyseras. Syftet är att ge ett samlat kunskapsunderlag som stöd för beslut kring implementering av UV-ljus i vårdlokaler, med särskilt fokus på vårdrum, mottagningsrum, och väntrum.

4.1 Bakgrund

Ultraviolett ljus kan användas för att inaktivera virus, bakterier, mögel och andra bioaerosoler, men det är endast ultraviolett ljus inom vissa våglängder som har den effekten och som kan användas för desinfektion. UV-ljuset ändrar mikroorganismernas DNA, vilket gör att de inte kan reproducera sig och därför dör.

Det elektromagnetiska spektrumet av UV-ljus presenteras i Figur 14. Ultraviolett ljus är en del av det elektromagnetiska spektrumet med våglängder kortare än synligt ljus. Det delas in i fyra intervall: vakuum-UV, UV-C, UV-B och UV-A. Av dessa är det endast UV-C, med våglängdsintervall 200 till 280 nm, som är effektiva för desinfektion. Den högsta inaktiveringseffekten för mikroorganismer uppnås vid cirka 265 nm, där DNA och RNA hos bakterier, virus, mögelsporer och andra mikroorganismer absorberar mest energi [11].



Figur 14 Det elektromagnetiska spektrumet av UV-ljus [11].

Användning av UV-ljus för desinfektion har varit känt sedan förra sekelskiftet men fick spridning först på 1950-talet, då i syfte att bekämpa spridning av mässling och tuberkulos. Det blev även ett uppsving runt 2020 med anledning av covid-19-pandemin. Många studier har visat att UV-C-strålning effektivt kan inaktivera eller döda olika patogener [11]. På senare tid har många forskare visat att UV-C-teknik kan användas säkert inom en rad olika tillämpningsområden [12], och vetenskapliga

rapporter [13] har visat att UV-C framgångsrikt kan användas i ventilationssystem (HVAC) och i kampen mot covid-19.

Den vanligaste UV-C tekniken använder lågtryckslampor som avger ljus vid våglängden 254 nm. Tekniken kräver dock skyddsåtgärder då strålningen kan skada hud och ögon vid exponering. Vidare påverkar UV-C ljus vissa material. Exempelvis långvarig UV-C-exponering leder till att plaster och gummiprodukter blir missfärgade, spröda och förlorar sina mekaniska egenskaper [11]. Detta kan leda till spruckna kabelisoleringar, läckande packningar och havererade plastdetaljer. Konsekvensen blir ökad risk för kortslutning, överhettning och i värsta fall brand eller funktionsfel i utrustningen. Vissa gummimaterial är motståndskraftiga mot UV-ljus, medan de flesta plaster bryts ned av det.

Far-UVC ("far" som i "långt ifrån" det synliga ljuset), med våglängd mellan 207 och 222 nm, är en nyare teknik som visat sig vara effektiv mot virus, bakterier och andra mikroorganismer, samtidigt som den bedöms vara säkrare för människor [14]. Ljuset tränger inte genom det yttersta hudlagret och hornhinnan, vilket möjliggör användning i närvaro av människor. Tekniken har utvecklats och patenterats av det japanska företaget Ushio, och används idag i sjukvårdsmiljöer. En nackdel är att våglängder under 240 nm kan generar ozon, vilket kräver tekniska lösningar för att minimera emissioner. Exempelvis filter, som filtrerar bort de kortaste våglängderna under ca 200 nm, som är mest effektiva för ozobildning.

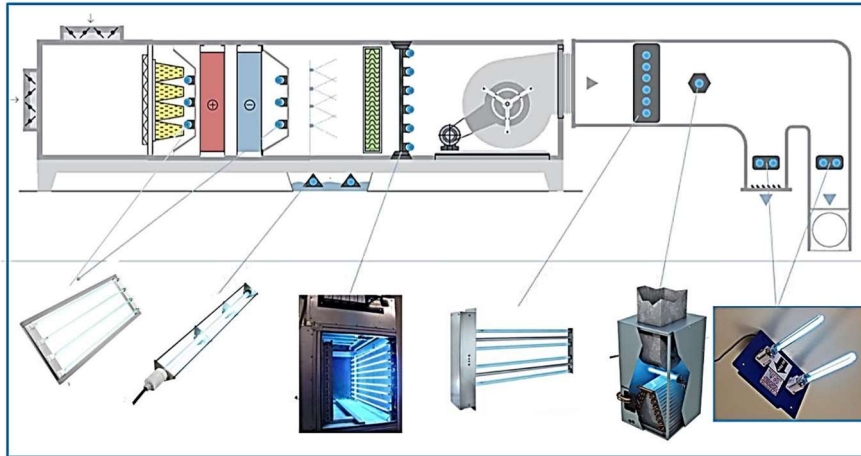
4.2 Olika tekniker för luftdesinfektion med UV-ljus

Tekniken för UV-C desinfektion har fått ökad internationell uppmärksamhet i samband med covid-19-pandemin. Relevanta myndigheter, (CDC [15] & NHS [16]) och organisationer (REHVA [17] & ASHRAE [18], framhåller UV-C ljus som ett bra och effektivt sätt att reducera smittspridning. Trots detta så används tekniken i väldigt liten utsträckning, i Sverige i princip inte alls. Denna beror sannolikt på okunskap.

Det finns fyra huvudsakliga tekniker för luftdesinfektion med UV-ljus, vilka beskrivs mer i detalj nedan.

UV-C-system i ventilationskanaler (in-duct)

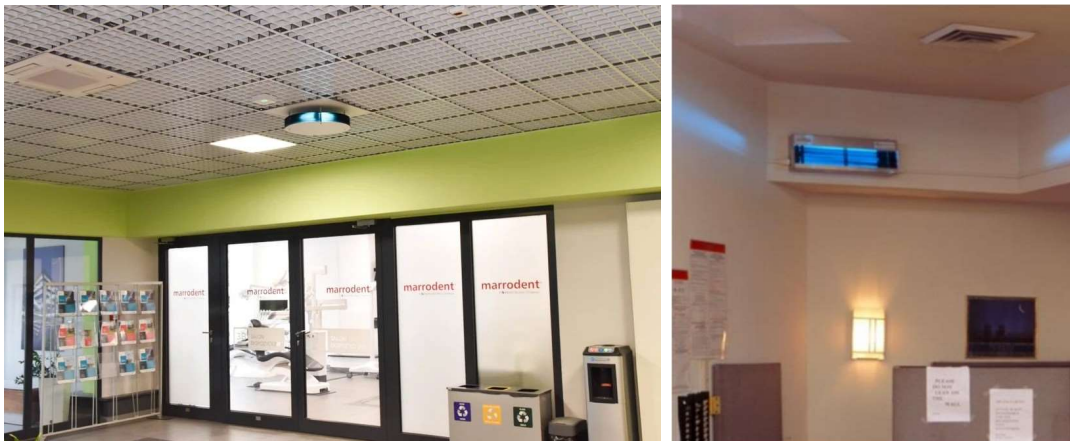
UV-C lampor placeras i ventilationskanaler eller direkt i luftbehandlingsaggregat. Luften desinficeras när den passerar lamporna. Hur UV-C enheter kan placeras i ventilationskanaler illustreras i Figur 15.



*Figur 15 Exempel på placering av UV-C-system i ventilationskanaler.
Bild: REHVA [11].*

Vägg/takmonterade UV-C armaturer (upper-room)

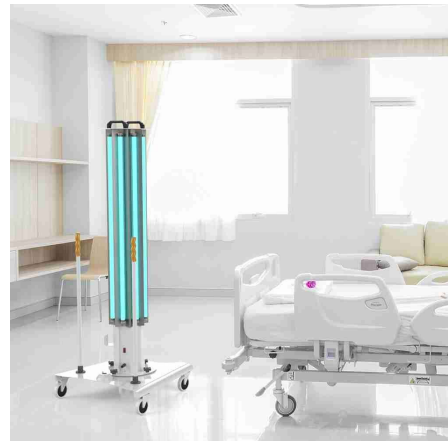
Lampor monteras högt upp i rummet, ovanför ögonhöjd (se Figur 16). Luften desinficeras via konvektion och luftomblandning.



*Figur 16 Exempel på vägg/takmonterade UV-C armaturer (upper-room).
Bilder: MacWarren och REHVA [11].*

Fristående UV-C enheter

Fristående UV-C enheter kan vara inneslutna, med skyddade ljuskällor, vilket gör dem säkra att använda i närvaro av människor. Det finns även portabla, öppna enheter med exponerat UV-C-ljus, vilka används exempelvis för desinfektion i tomma rum mellan patientbyten. Hur fristående UV-C enheter kan se ut och placeras i rummet illustreras i Figur 17.



Figur 17 Exempel på fristående UV-C enheter. Bilder från Dinies.

Far-UVC teknik

Nyare teknik som använder en kortare våglängd av UV-C, vanligtvis runt 222 nm. Far-UVC enheter kan vara tak/väggmonterade eller fristående. Hur Far-UV-C enheter kan se ut och placeras i rummet illustreras i Figur 18.



Figur 18 Exempel på Far-UV-C enheter. Bild från UV Medico.

De portabla oskyddade enheterna behandlas inte vidare i denna rapport, eftersom de inte är relevanta som alternativ till ökat luftflöde i kontinuerlig drift.

4.2.1 Möjligheter och risker med olika UV-ljus tekniker

Valet av UV-C-teknik för luftdesinfektion beror på flera faktorer såsom byggnadens förutsättningar, användningsområde, installationsmöjligheter och krav på säkerhet.

UV-C system i ventilationskanaler

UV-ljuskällorna kan monteras i tilluftskanaler eller direkt i luftbehandlingsaggregat, vanligtvis i recirkulationsluftsystem. Luften desinficeras när den passerar lamporna. Eftersom detta sker inuti kanalerna, finns ingen risk för UV-exponering för människor i rummet. UV-C systemet kan vara i kontinuerlig drift [19, 20]. Samtidigt bör driftpersonalen vidta specifika åtgärder. UV-exponeringen ska mätas regelbundet vid aggregatet för att säkerställa att inget UV-läckage når människor. Vid skada på lampor ska särskilda säkerhetsåtgärder vidtas för att undvika UV-exponering.

På grund av kort exponeringstid i luftkanalen krävs högre strålningsintensitet (irradians) från UV-lampor för att uppnå den dos som behövs för minst 90% inaktivering av mikroorganismer [21]. Effektiviteten kan ökas genom att förlänga exponeringszonen och använda reflektiva material i kanalväggarna [20, 22]. Om systemet inte är korrekt dimensionerat, exempelvis med tillräckligt antal lampor, rätt placering och reflektiva ytor, kan desinfektionen bli otillräcklig [22, 23].

Viktiga faktorer att ta hänsyn till vid placering är lufthastighet, temperatur och fuktighet. Luftdesinfektion med UV-C ljus fungerar bäst vid temperaturer runt 20-25 °C och luftfuktighet under 60 %. Därför är det bra att placera detta innan kylbatteriet i ventilationsaggregatet. Placering nedströms kan dock motverka mögeltillväxt i kanalsystemet [11, 23].

Eftersom det krävs högre strålningsintensitet för att kompensera för den kortare exponeringstiden är även effektbehovet högre jämfört med rumsenheter [21]. Dessutom leder extra komponenter i kanalsystemet till tryckfall, vilket måste kompenseras med ökad fläkt drift och därmed påverkar fläktens energibehov. Installationen kräver också utrymme i kanal eller aggregat, något som kan vara särskilt problematiskt i äldre byggnader med begränsat installationsutrymme.

En annan nackdel är att som UV-ljuskällor används vanligen lågtryckskviksilverlampor, som håller på att fasas ut inom EU om några år. Användning av LED armaturer för UV-C luftdesinfektion i ventilationskanaler är i dagsläget ganska begränsad.

Vägg/takmonterade UV-C armaturer (*upper-room*)

I så kallad *upper-room* UV-C teknik installeras UV-C armaturer högt upp på väggen eller i taket ovanför ögonhöjd, vanligtvis minst 2,1 meter från golvet [24, 22]. UV-C lamporna riktar ljuset horisontellt över rummets övre del, vilket skapar en *UV-zon* högt upp i rummet. I denna zon är UV-C-strålningen tillräckligt stark för att oskadliggöra smittämnen i luften, samtidigt som ljuset inte når ner till människorna i rummet. Desinfektionen sker genom att rumsluften cirkulerar uppåt, antingen genom naturlig konvektion eller med hjälp av fläktar, och passerar genom UV-zonen. Där exponeras smittämnen för UV-C-strålning och kan oskadliggöras, innan luften blandas tillbaka ner i rummet. För att tekniken ska vara effektiv krävs god luftomblandning i rummet [20].

För att säkerställa säkerheten för personer i rummet är både monteringshöjd och armaturens utformning avgörande. Vid en takhöjd på 2,1- 2,4 meter måste armaturen vara utrustad med skyddslameller för att förhindra direkt strålexponering. Om takhöjden är minst 2,7 meter kan armaturen i vissa fall installeras utan lameller [22]. UV-bestrålningen vid ögonnivå får inte överstiga 0,1 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ enligt gällande riktlinjer [11].

Vägg-/takmonterade UV-C-armaturer anses vara kostnadseffektiva över tid vid rätt förutsättningar (takhöjd, luftcirkulation, kontinuerlig användning) [20]. Samtidigt kräver installationen professionell montering och regelbundet underhåll, och personalen som hanterar systemen bör ha utbildning i UV-C-teknik. Felriktade lampor kan leda till hälsorisker [22].

Även här är miljöaspekten en viktig nackdel, eftersom UV-ljuskällorna som används i *upper-room*-armaturer vanligen är lågtryckskviksilverlampor, vilka kommer att fasas ut inom EU inom några år. Användningen av LED-armaturer för UV-C-desinfektion är i dagsläget fortfarande relativt begränsad.

Fristående UV-C enheter (skyddade)

Fristående (portabla) eller vägg-/takmonterade enheter har inneslutna UV-C-ljuskällor samt inbyggd fläkt. Tack vare det skyddade ljuset är dessa enheter säkra att använda i närvaro av människor. Dock bör säkerhetsavstånd på minst 1 meter från armaturen hållas.

Fristående enheter kan förekomma i olika former, till exempel som väggmonterade lösningar i hissar, specialanpassade apparater för badrum eller som dekorativa paneler, såsom tavlor, för kliniker och kontor.

Flexibel användning och enkel installation gör att de kan placeras där de behövs mest eller flyttas mellan rum.

Effektiviteten beror på rummets storlek och luftcirkulation. Fristående UV-C enheter kräver oftast mer energi beroende på rumsstorleken. Typisk eleffekt per enhet: 100 – 300 W. Vidare kan vissa enheter, med inbyggd fläkt, ge ifrån sig ljud som stör arbetsmiljön.

Även för fristående UV-C-enheter är miljöaspekten en viktig begränsning, eftersom de i dag i stor utsträckning använder kvicksilverbaserade UV-lampor, som kommer att fasas ut inom EU inom de närmaste åren. Alternativ med UV-C LED finns, men är fortfarande relativt ovanliga och begränsade i praktisk användning.

Far-UVC enheter

Far-UVC är en nyare teknik som använder ultraviolett ljus med kortare våglängder, vanligtvis runt 222 nm. Den kan monteras i tak eller på väggar och riktas nedåt, men tekniken finns även integrerad i portabla enheter.

Far-UVC enheter erbjuder flera praktiska fördelar. De är ofta enkla att installera, kräver inte samma typ av avskärmning eller säkerhetszoner som traditionell UV-C (254 nm), och det finns inga krav på takhöjd [14]. Tekniken är också mer energieffektiv än många andra desinfektionslösningar, särskilt i jämförelse med ökat ventilation eller filterlösningar i ventilationssystem [14, 20]. Far-UVC-enheter anses vara säkrare för hud och ögon vid låga doser, eftersom strålningen inte tränger djupt in i levande vävnad. Flera studier visar att 222 nm-strålning absorberas i hudens och

ögonens yttersta lager utan att orsaka mätbara biologiska skador, särskilt vid nivåer som håller sig under internationella exponeringsgränser [14]. Trots detta finns det osäkerheter kring långtidseffekter, vilket bland annat Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM) påpekat [25].

Enheterna är ofta utrustade med programvara som styr strålningen utifrån parametrar som avstånd till målytan, tillåten vistelsetid för människor samt säkerhetsmarginaler – till exempel ett skyddsavstånd på 50 cm från ögonhöjd. Systemet säkerställer att gränsvärden för exponering inte överskrids.

En viktig fördel med Far-UVC-armaturer är att de använder s.k. excimerlampor som UV-ljuskälla. Dessa är ett mer miljövänligt alternativ än lågtryckskviksilverlampor eftersom de är helt kvicksilverfria och därmed inte omfattas av EU:s utfasning av kvicksilverhaltiga ljuskällor. De möjliggör dessutom en säker och kemikaliefri produktion av UV-C-strålning.

En potentiell risk med Far-UVC är bildning av ozon och andra oxidaderande biprodukter vid interaktion med luftens syre och organiska ämnen från t.ex. hudens ytsekret [14, 26]. Dessa biprodukter kan påverka luftkvaliteten negativt, särskilt i dåligt ventilerade utrymmen. Därför rekommenderas extra ventilation i lokaler där tekniken används [14]. Det är viktigt att exponeringsgränsvärden för ozon inte överskrids.

Det finns även osäkerhet kring effektiviteten hos Far-UVC-teknik för desinfektion, särskilt med tanke på de nuvarande europeiska riktlinjerna för exponeringsgränser. Enligt Strålsäkerhetsmyndighetens (SSM) rapport kan dessa gränsvärden begränsa den dos som får användas, vilket i sin tur kan påverka den mikrobiella avdödnings effekten negativt [27]. De nyare och högre exponeringsgränsvärdena som föreslås av den amerikanska organisationen ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) tillåter en högre dos, vilket potentiellt skulle kunna göra tekniken mer effektiv i praktiken [28]. Dock är det ännu oklart om och när dessa högre gränser kommer att accepteras inom EU, vilket skapar osäkerhet vid planering och implementering av Far-UVC system i europeiska miljöer.

Far-UVC har också högre investerings- och underhållskostnader. Far-UVC enheter är fortfarande dyrare än vanliga UV-C enheter. I tabellen nedan sammanfattas några av de vanligaste UV-C-lösningarna samt deras fördelar och nackdelar utifrån både teknisk och praktisk förutsättningar.

Tabell 8 För- och nackdelar med olika UV-C tekniker.

Teknik	Fördelar	Nackdelar
UV-C-system i ventilationskanaler	• Kontinuerlig desinfektion av luftflödet • Säker vid närvaro • Osynlig lösning • Kan integreras med recirkulationsluftsystem	• Kräver plats i kanaler/ aggregatet • Svår montering särskilt i äldre byggnader • Hög installationskostnad • Kort exponeringstid • Mindre energieffektiv • Ingen ytdesinfektion • Ljuskällan är vanligen lågtryckskviksilverlampor, som inte är miljövänlig
Vägg/takmonterade UV-C-armaturer (upper-room)	• Kontinuerlig desinfektion av luft i övre delen av rummet • Kan användas i närvaro av människor (om skyddade) • Kostnadseffektiv	• Kräver viss takhöjd • Kräver tillräcklig omblandning av luft • Höga krav på installation • Risk för felinstallation • Ljuskällan är vanligen lågtryckskviksilverlampor, som inte är miljövänlig
Fristående UV-C-enheter (skyddade)	• Flexibel • Enkel installation • Säker vid närvaro (om skyddad)	• Begränsad räckvidd • Risk för UV-exponering • Ofta bullriga • Mindre energieffektiv • Ljuskällan är vanligen lågtryckskviksilverlampor, som inte är miljövänlig
Far-UVC-teknik, 222 nm	• Säker vid närvaro • Energieffektiv • Enkel installation • Miljövänligare än traditionellt UV-C-ljus	• Kan eventuellt producera ozon och andra biprodukter • Kräver extra ventilation för att hantera biprodukter • Ny teknik med osäkerheter • Högre investerings- och underhållskostnader

4.3 Effektivitet och designkriterier för luftdesinfektion med UV-C

Effektiviteten för UV-C baserad desinfektion beror på en rad tekniska och miljömässiga faktorer som påverkar hur väl mikroorganismer som virus, bakterier och mögelsporer inaktiveras. För att säkerställa tillförlitlig desinfektion krävs både noggrann dimensionering och regelbundet underhåll [20].

Den mest avgörande faktorn för UV-C-desinfektion är den totala UV-C dosen som når mikroorganismerna. Olika mikroorganismer kräver olika doser för att effektivt inaktiveras [20, 29]:

- Virus (t.ex. SARS-CoV-2): ca 2–10 mJ/cm²
- Bakterier (t.ex. *E. coli*): ca 5–20 mJ/cm²
- Mögelsporer: ofta avsevärt högre doskrav

UV-C dosen, som mäts i milli joule per kvadratcentimeter (mJ/cm²), beskriver hur mycket UV-C-strålning som en yta eller mikroorganism tar emot [20]. Dosen räknas ut genom att multiplicera irradiansen (strålningsintensiteten) på strålningen med hur länge ytan exponeras:

$$\text{UV-C dos (mJ/cm}^2\text{)} = \text{UV-C irradians (mW/cm}^2\text{)} \times \text{exponeringstid (s)}$$

UV-C irradians, som mäts i milliwatt per kvadratcentimeter (mW/cm²), anger hur mycket UV-energi som träffar en yta varje sekund. Den påverkas av flera faktorer, bland annat:

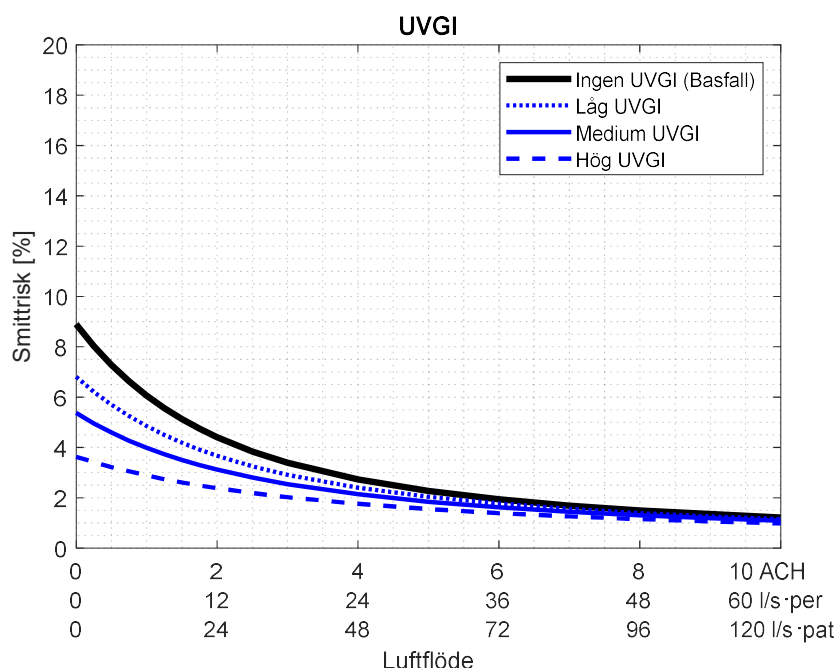
- **Lampans effekt:** En kraftigare lampa ger mer strålning.
- **Avstånd till ytan:** Strålningen minskar snabbt med avståndet enligt den så kallade inversa kvadratlagen – dubbelt så långt bort ger en fjärdedel så stark strålning.
- **Omgivningens reflektion:** Ytor som reflekterar UV-ljus, till exempel aluminium, kan förstärka effekten och hjälpa strålningen att nå fler delar av rummet.
- **Omgivningens temperatur och luftfuktighet.** Temperaturer mellan 25–40 °C och låg luftfuktighet är optimala för lågtryckskviksilverlampor, som vanligtvis används för UV-C-ljus med våglängden 254 nm. Temperaturen påverkar UV-C-intensiteten genom att reglera kvicksilverångtrycket i lampan. Avvikelser från detta temperaturområde leder till minskad UV-C-produktion och därmed försämrade desinfektionseffektivitet. Vid hög luftfuktighet absorberas UV-C-strålning av vattenånga, vilket minskar räckvidd och effektivitet [11].
- **Lampans ålder och underhåll:** UV-C-intensitet avtar med tiden. Efter ca 9 000 drifttimmar kan intensiteten ha minskat mellan 15- 50 %, trots att lampan fortfarande lyser [11]. Även smuts på lampan eller skyddsglas kan blockera stora delar av UV-C strålningen.

Det är viktigt att notera att UV-C strålningsintensitet (irradians) är en egenskap som tillverkaren anger för lampan, oftast vid ett specifikt avstånd och standardförhållanden. Lampans maximala strålningsintensitet kan inte ändras i designprocessen, men den faktiska UV-dos som en yta eller mikroorganism får påverkas av faktorer som lampmodell, placering, antal lampor, reflektiva ytor, avstånd och drifttid. Därför är det viktigt att planera installationen utifrån både tillverkarens data och de verkliga rumsförhållandena för att säkerställa önskad desinfektionseffekt [20].

Luftflöde genom UV-zonen är en viktig faktor att beakta vid dimensioneringen. Ju längre mikroorganismer exponeras för UV-C ljus, desto större blir dosen. Detta påverkas i hög grad av luftflödet och lufthastigheten i kanalanslutna och cirkulerande system. Vid användning av rumsplacerade UV-C-enheter (till exempel ”upper-room” UV-C) måste man ta hänsyn till att endast den luft som passerar genom UV-zonen blir behandlad. Som nämnts tidigare är UV-zonen det område som skapas av UV-C-strålningen genom att lamporna riktar i en bestämd riktning – där ljuset är tillräckligt starkt för att oskadliggöra smittämnen i luften.

Om luften rör sig långsamt genom UV-zonen tar det längre tid att behandla hela rummet, vilket innebär att virus och bakterier kan stanna kvar i luften längre. Om luftomsättningen däremot är för hög, minskar exponeringstiden i UV-zonen, vilket kan leda till en sämre desinfektionseffekt. Det krävs alltså en balans: luftomblandningen måste vara tillräcklig för att all luft ska passera genom UV-zonen, men inte så snabb att exponeringstiden blir för kort. Detta är särskilt viktigt för vägg- eller takmonterade armaturer samt Far-UVC enheter, eftersom dessa inte har egna fläktar. Fristående enheter har ofta inbyggda fläktar och därmed eget kontrollerat luftflöde [20].

Hur smittrisen påverkas av luftflödet illustreras med Figur 19. Där framgår t.ex. att i rum med 2 ACH, kan desinficerande UV-ljus åstadkomma samma smittriskreduktion som att öka luftflödet till nästan 5 ACH. Indata för beräkning av UV-ljusets inverkan beskrivs i Aganovic et al. [6].



Figur 19 Smittrisk som funktion av luftflöde med desinficerande UV-ljus av olika styrka (diagrammet avser deltavarianten av covid-19 för ovaccinerade personer i undersökningsrummet).

Effektiviteten för UV-C desinfektion uttrycks som log-reduktion, där varje log-steg motsvarar en tiopotensminskning av mikroorganismer. Exempelvis innebär 1-log reduktion 90% effektivitet, 2-log reduktion 99% effektivitet och 3-log reduktion 99,9% effektivitet, och så vidare [20]. Vid dimensionering av UV-C system måste man fastställa vilken reduktionseffektivitet som eftersträvas.

Vid dimensionering och installation måste även säkerhetsavstånd beaktas. Det är avgörande att UV-C systemet utformas så att personal inte utsätts för skadliga nivåer av UV-C strålning. Detta kräver noggrann placering, skärmning och eventuellt användning av rörelsesensorer eller timerstyrning.

4.4 Kostnadsanalys

Kostnaderna för de fyra olika UV-C teknikerna har analyserats i detalj. Som underlag har samma typbyggnad använts som i tidigare beräkningar i kapitel 2 och 3. De typer som ingår i analysen är vårdrum, mottagningsrum och väntrum.

För UV-C system i ventilationskanaler förutsätts att UV-C delen installeras i recirkulationsluftssystemet och att systemlösningen ersätter HEPA-filtreringen i två olika alternativa lösningar: system med central recirkulationsluft och system med lokal recirkulationsluft på våningsnivå (se kapitel 3.1).

Information om behovet av antalet enheter som behövs per system och tytrum, samt storlek på produkter, investeringskostnader, elbehov, drift och underhållsinformation baseras på uppgifter från produkttillverkare. Fyra olika tillverkare har intervjuats i detta uppdrag. Var och en av dem fick erforderligt underlag varpå de ombads rekommendera produkter och antal för det specifika ändamålet. Det bör dock noteras att effektiviteten hos de olika produkterna inte har granskats i detalj. Som beskrivits i tidigare avsnitt påverkas desinfektionseffektiviteten av flera olika parametrar, och det är svårt att avgöra detaljer enbart utifrån tillverkarnas tekniska data. Vid projektering måste man därför ta hänsyn till bland annat rummets storlek, placering av armaturer, dos per lampa för den aktuella patogenen som systemet dimensioneras för, samverkan mellan UV-zonen och ventilationsflödet samt nödvändiga säkerhetsåtgärder.

I Tabell 9 visas antalet UV-C enheter som behövs för de olika UV-C alternativen. Övriga antaganden för kostnadskalkylen sammanställs i Appendix B.

Tabell 9 Antal UV-C enheter för hela den fiktiva sjukhusbyggnaden vid olika teknikalternativ

UV-C teknikalternativ	Central systemnivå	På rumsnivå		
		Vårdrum	Undersökningsrum	Väntrum
UV-C-system i ventilationskanal- central recirkulering	2	-	-	-
UV-C-system i ventilationskanal- lokal recirkulering på våningsnivå	10	-	-	-
Vägg/takmonterade UV-C-armaturer (upper-room)	-	389	125	80
Fristående UV-C enheter	-	194	63	40
Far UV-C armaturer	-	583	188	40

I Tabell 10 nedan sammanställs energianvändning och kostnader. Luftflödena baseras på Tabell 4 tidigare, men med tillägget att väntrum och mottagningsrum vid frånvaro erfordrar uteluftflödet $0,35 \text{ l/sm}^2$, vilket motsvarar knappt 0,5 oms/h.

Liksom tidigare antas följande energipriserna:

- El: 1,5 kr/kWh (energi och effekt)
- Fjärrvärme: 1,0 kr/kWh
- Fjärrkyla: 1,0 kr/kWh

Beräkningarna visar att recirkulationssystem med UV-C har betydligt högre elenergianvändning jämfört med traditionella ventilationssystem med högre luftflöden. Detta beror på att effektbehovet för UV-C-komponenterna är relativt högt (2,2 kW för det centrala systemet och 1,1 kW för aggregat på våningsnivå), samt att systemen är i kontinuerlig drift. Även underhållskostnaderna blir höga på grund av behovet av lampbyte, som måste ske vartannat år.

Jämförelse av UV-C rumsenheter visar att *upper-room*-enheterna har det högsta energibehovet, främst eftersom fler enheter krävs per rum enligt tillverkarens uppgifter. Samtidigt har fristående UV-C-enheter de lägsta investeringskostnaderna, då betydligt färre enheter behövs per rum jämfört med andra UV-C-teknikalternativ på rumsnivå (baserat på tillverkarens data). Far UV-C-enheter har det lägsta energibehovet, men samtidigt högre installations- och underhållskostnader, bland annat på grund av lampbyten.

Tabell 10. Energianvändning, investeringskostnader och driftkostnader för olika UV-C teknislösningar i den fiktiva sjukhusbyggnaden

System	Fläktel [kWh/m ²]	Värmeenergi, batteri [kWh/m ²]	Kylenergi, batteri [kWh/m ²]	Investering [kr/m ²]	Drift- punkter [st]	Årliga driftkostnader [kr/m ²]		
						Energi ³⁾	Byte av lampor ⁴⁾	Totalt
Traditionell ventilation	22,9	8,7	4,4	3 499 ¹⁾	2	47,5	6,1	54,2
UV-C i ventilations- kanal- Centralt recirkulering	34,6 (+51 %)	4,2	2,4	3 546 ¹⁾	2	58,5	18,2	76,8
UV-C i ventilations- kanal- Lokalt recirkulering på våningsnivå	37,2 (+62 %)	4,5	3,0	3 492 ¹⁾	12	63,3	42,5	105,7
UV-C rumsenheter- upper room	47,7 (+108 %)	4,2	2,4	1427 ²⁾	594	78,1	63,3	141,4
UV-C rumsenheter- fristående	27,8 (+21 %)	4,2	2,4	723 ²⁾	297	48,3	16,9	65,2
UV-C rumsenheter- Far UV-C enheter	14,7 (-36%)	4,2	2,4	3 662 ²⁾	811	28,7	294,8	323,5

1) Investeringskostnaden omfattar även kostnader för utrymmesbehov för tekniska installationer, inkl. fläktrum, schakt och bjälklagshöjd. För lokal recirkulering på våningsnivå har extra fläktutrymme cirkulationsaggregat per våning uppskattats till ca 5 m² per aggregat.

2) Investeringskostnader inkluderar både produkt och installationskostnad. Installationskostnader enligt Sektionsfakta. För upper-room och Far UV-C enheter har installationskostnad antagits vara lika med kostnad för installation för en belysningsarmatur, 1 h arbete per armatur. För fristående enheter har 0,5h arbete per armatur antagits.

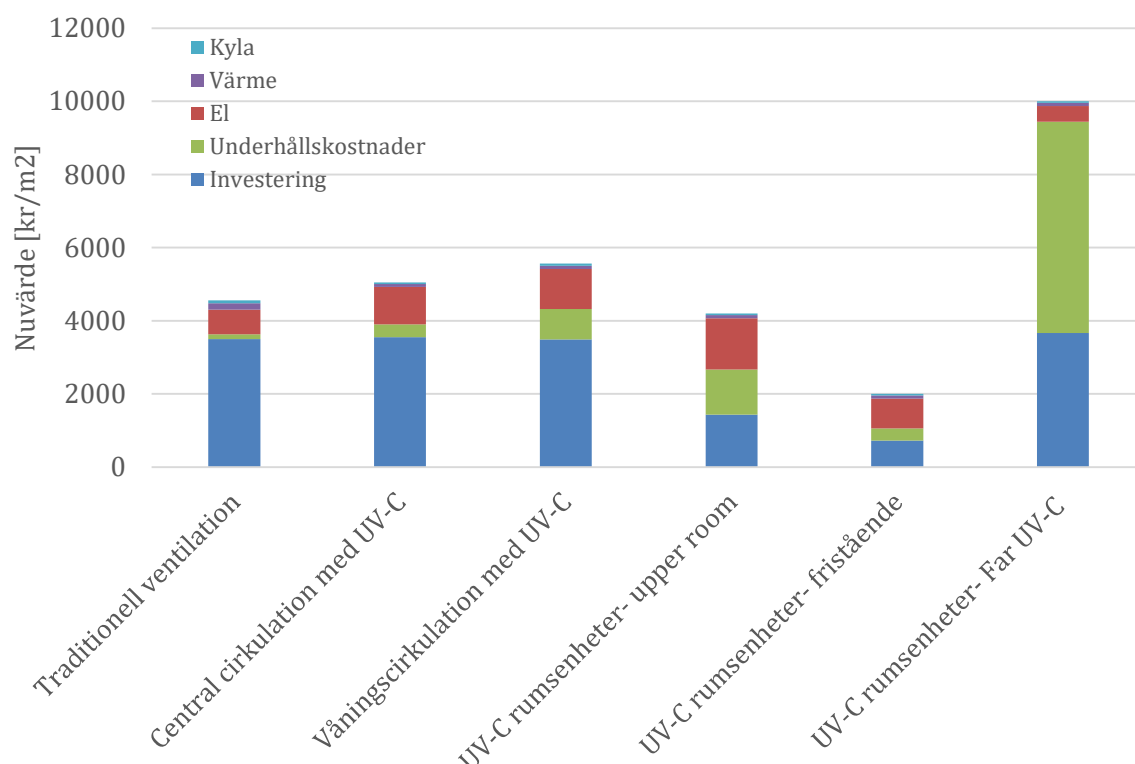
3) Priser för fjärrvärme: 1,0 kr/kWh, fjärrkyla: 1,0 kr/kWh, el: 1,5 kr/kWh (energi och effekt)

4) Byte av lampor inkluderar både materialkostnader och arbetstid. Den antagna arbetstiden för byte av UV-C-lampor i ventilationskanal är 4 timmar per centrala aggregat och 3 timmar per våningsaggregat. Enligt tillverkare får alla installations-, underhålls- och rengöringsarbeten endast utföras av godkänd personal med lämplig utbildning och de rekommenderar att ett underhållsavtal tecknas med leverantören, där både service och byte av lampor ingår. Uppgifter för dessa servicekostnader saknas och därför baseras kostnaderna på en uppskattning och antagen timpris 600 kr/h. För byte av lampor i varje UV-C armatur har arbetstiden antagits till 0,5 timmar för upper-room och fristående rumsenheter, timpris 600 kr/h. För Far UV-C enheter byts hela armaturen ut för 7 000 SEK, enligt tillverkaren. Enligt tillverkarnas uppgifter är drifttiden för UV-C delen i ventilationskanalen 12 000 timmar, upper-room armaturer 9000 timmar, fristående UV-C rumsenheter 17 500 timmar och Far UV-C enheter 17 500 timmar.

För att kunna jämföra de olika alternativen, med hänsyn till både investering och årliga el- och underhållskostnader, har livscykelkostnaderna beräknats. Följande indata har använts:

- Elpris: 1,5 kr/kWh (energi och effekt)
- Fjärrvärmepris: 1,0 kr/kWh
- Fjärrkyla pris: 1,0 kr/kWh
- Real kalkylränta: 3 %
- Kalkyltid: 30 år

Elpriset har antagits följa inflationen. De olika UV-C teknikalalternativen har sammanställts i Figur 20.



Figur 20 Livscykelkostnader för olika recirkulationsalternativ jämfört med ett traditionellt system.

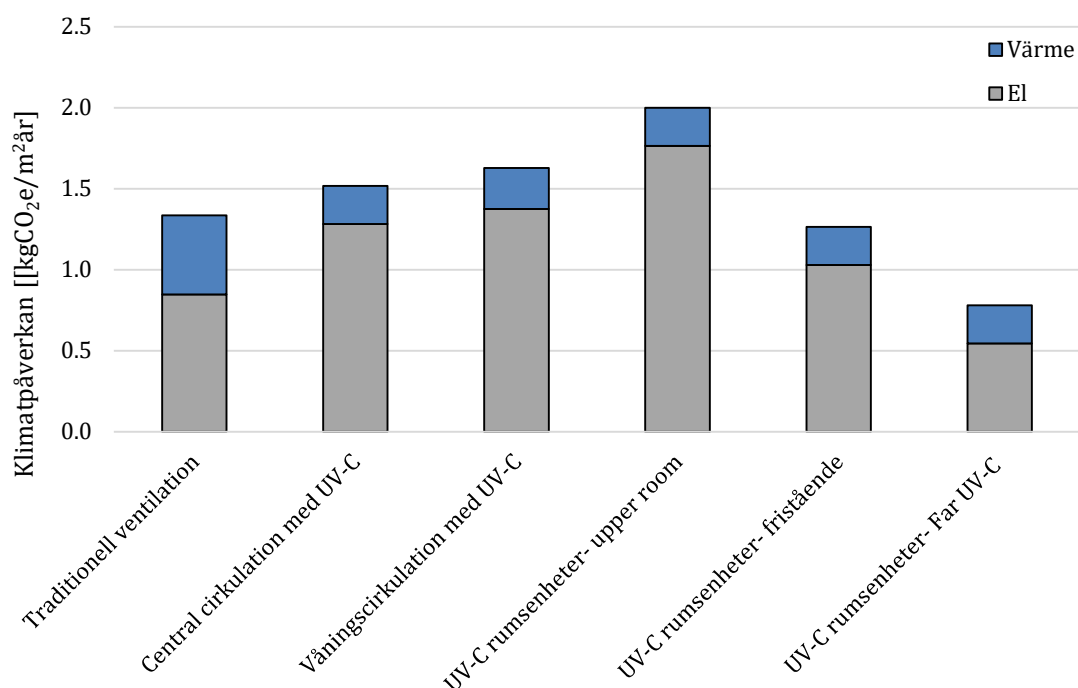
Ur ett livscykelkostnadsperspektiv har fristående UV-C rumsenheter de lägsta kostnaderna. Far UV-C rumsenheter har högsta livscykelkostnaderna på grund av höga driftkostnader (kostnader för lampbytet).

4.5 Klimatpåverkan

Eftersom det saknas data om klimatpåverkan för olika UV-C-teknikalalternativ har endast klimatpåverkan från elanvändningen inkluderats i denna rapport. För UV-C-system i ventilationskanaler förutsätts att UV-C-delen installeras i recirkulationsluftssystemet och att systemlösningen ersätter HEPA-filtreringen. I analysen av klimatpåverkan har både energianvändningen för fläktdrift och elförbrukningen för UV-C-enheten inkluderats. För UV-C-rumsenheter har elbehovet för UV-C-armaturerna tagits med.

ör klimatpåverkan från elanvändning och fjärrvärmeanvändning har indata tagits från Boverkets klimatabas. Elen antas motsvara svensk elmix med en klimatpåverkan på 0,037 kgCO₂e/kWh och fjärrvärmen ett svenskt medelvärde på 0,056 kgCO₂e/kWh. För fjärrkylan antas ingen klimatpåverkan, i enlighet med miljönyckeltal från Göteborg Energi och Stockholm Exergi.

För en byggnad som till 70 % består av vårdrum, till 20 % av mottagningsrum och 10 % väntrum blir energianvändningens klimatpåverkan vid olika UV-C tekniklösningar enligt Figur 21.



Figur 21 Klimatpåverkan från energianvändningen för olika UV-C teknikalternativ jämfört med traditionell ventilation.

Eftersom tekniklösningen med Far UV-C rumsenheter har det lägsta elenergibehovet, är också klimatpåverkan från elanvändningen lägre jämfört med övriga alternativ.

Det bör också noteras att traditionella UV-C-armaturer med våglängden 254 nm använder lågtryckskviksilverlampor. På grund av miljöaspekter pågår just nu ett omfattande arbete inom EU för att fasa ut kvicksilverlampor. Dock finns ett undantag enligt EU-direktiv 2022/279 för användning av kvicksilver i lampor som avger ljus i det ultraviolette spektrumet, giltigt till 2027 [30]. Detta innebär att det finns ett behov av att övergå till en mer miljövänlig teknik i Europa. Samtidigt har UV-C LED visat god desinfektionseffekt i flera studier [31], men tekniken är i dagsläget främst lämpad för tillämpningar i begränsad omfattning. Enligt vissa tillverkare är LED-tekniken ännu inte tillräckligt mogen för att helt ersätta lågtryckskviksilverlampor i större system, såsom *upper-room*-installationer och UV-C-lösningar i ventilationskanaler med höga luftflöden.

Excimerlampor som används i Far-UVC armaturer är ett mer miljövänligt alternativ än lågtryckskviksilverlampor eftersom de är helt kvicksilverfria och därför inte omfattas

av EU:s utfasning av kvicksilverhaltiga ljuskällor. De ger en säker och kemikaliefri UV-C-produktion.

4.6 Riktlinjer och krav på UV-C ljus

Både nationellt och internationellt finns det krav och riktlinjer som styr användningen av UV-C ljus. Lagar som Strålskyddslagen och EU-direktiv säkerställer att UV-ljus inte överskrider säkra exponeringsnivåer, medan rekommendationer från Strålsäkerhetsmyndigheten och internationella riktlinjer ger vägledning om säker användning.

Tillverkarna säger att det i dagsläget inte finns något krav på att certifiera UV-C produkter i Sverige innan de säljs men att de ändå följer gällande nationella och internationella riktlinjer för säkerhetsåtgärder.

Här följer en sammanfattning av de viktigaste riktlinjer och krav som gäller för UV-C ljus.

Nationella riktlinjer och krav

1) Strålskyddslagen (2018:396) [32]: Lagen syftar till att skydda människor från farlig strålning, inklusive UV-ljus. Den kräver att exponeringen inte överskrider de fastställda gränserna och att säkerhetsåtgärder vidtas för att minimera riskerna för skador på människor.

2) Strålsäkerhetsmyndighetens allmänna råd och riktlinjer [33, 34]: Allmänna råd om ultraviolett strålning med angivna riktvärden för UV-C strålning. Strålsäkerhetsmyndigheten följer internationella riktlinjer från ICNIRP och IEC/CIE, och har fastställt exponeringsgränsvärden på 60 J/m² vid 254 nm och 230 J/m² vid 222 nm för en exponeringstid på 8 timmar. De rekommenderar att UV-ljus med en våglängd på 254 nm inte kommer i direkt kontakt med ögon eller hud och att säkerhetsåtgärder alltid ska vidtas enligt tillverkarens instruktioner för att säkerställa att nivåerna inte överskrider gränserna. Enligt SSM bör UV-lampor för säkerhet skull endast användas i slutna system, och det rekommenderas att de kombineras med ventilation, särskilt vid installation i tak. Mer forskning behövs för att fullt ut förstå långsiktiga effekter av Far-UVC samt om det är lämpligt att ändra gällande gränsvärde för att öka effekten av att desinficera utrymmen [29, 26].

2) Produktsäkerhetslagen (2004:451) [35]: Lagen syftar till att säkerställa att produkter, inklusive UV-C lampor och andra UV-C enheter, inte orsakar skada. Lagen följer EU-direktiv (2001/95/EG) om allmän produktsäkerhet.

3) Elsäkerhetslagen (2016:732) [36]: Enligt Elsäkerhetsverket, och med stöd av elsäkerhetslagen, måste alla elektriska produkter, inklusive UV-C ljusprodukter, vara CE-märkta vilket innebär att de uppfyller alla relevanta EU-krav.

4) Arbetsmiljöverket [37, 38]: Enligt Arbetsmiljöverkets föreskrift om Artificiell optisk strålning måste gränsvärden för UV-ljus exponering följa EU-direktiv (2006/25/EG). Föreskrifterna om hygieniska gränsvärden anger också att ozonnivåerna inte får överskrida 0,2 mg/m³ som långtidsgräns och 0,6 mg/m³ som korttidsgräns.

Internationella riktlinjer och krav

1) Europeiska direktivet (2006/25/EG) [39]: Detta europeiska direktiv fastställer bindande gränsvärden för UV-ljus exponering i arbetsmiljö och kräver att arbetsgivare genomför riskbedömningar och vidtar åtgärder för att skydda arbetstagare från farlig UV-strålning. UV-ljusets exponeringsgräns för ögon och hud är 30 J/m² för våglängder 180–280 nm under 8 timmar.

2) IEC/CIE och ACGHI [40]: Internationella riktlinjer från ICNIRP, IEC/CIE anger säkerhetsgränser för UV-exponering. IEC 62471 specificerar gränsvärden för olika våglängder, exempelvis 60 J/m² vid 254 nm och 230 J/m² vid 222 nm under 8 timmar. ACGIH (USA) har högre gränsvärden, särskilt för 222 nm, med 1610 J/m² för ögon och 4790 J/m² för hud under 8 timmar.

3) ISO 15858:2016 [41] Denna ISO-standard samordnar krav för säker användning av UV-C-utrustning, särskilt för germicid användning. Den innehåller riktlinjer för mätning av UV-C-utstrålning, gränsvärden för säker exponering, och rekommendationer för installation och användning för att minimera risker för användare.

4) DIN TS 67506 [42]: En tysk standard som fokuserar på certifiering av UV-C-system vad gäller deras effektivitet att inaktivera mikroorganismer. Den omfattar testmetoder och krav för att verifiera att produkten uppnår specificerad desinfektionseffekt under angivna förhållanden.

5) UL 8802 [43]: En amerikansk säkerhetsstandard som ställer krav på konstruktion, elektrisk säkerhet och strålningsegenskaper för UV-C-utrustning. UL 8802 är viktig för att certifiera att produkten är säker att använda i kommersiella och offentliga miljöer, och att den inte utsätter användare för farliga nivåer av UV-strålning eller elektriska risker.

Trots att dessa standarder och riktlinjer är viktiga, finns det fortfarande vissa osäkerheter som behöver uppdateras med mer forskning, särskilt eftersom efterfrågan på UV-C tekniken växer. Det finns idag ett tydligt behov av att utreda hur produkter och deras användning bör regleras, antingen genom rekommendationer eller föreskrifter. Detta har uppmärksammats av Strålsäkerhetsmyndigheten, som planerar att samverka med Läkemedelsverket, Elsäkerhetsverket, Arbetsmiljöverket och Konsumentverket för att få en samsyn i hur UV-C ljus kan användas på ett strålsäkert sätt [40]. För att minimera risker med den information som finns tillgänglig idag är det avgörande att följa dessa föreskrifter och vidta nödvändiga säkerhetsåtgärder.

4.7 Rekommendationer för implementering av UV-C-teknik

Detta avsnitt utgör en sammanställning av relevanta rekommendationer och råd för att stödja en säker och effektiv implementering av UV-C-tekniken. Rekommendationerna omfattar hela processen från förberedelser till installation, drift och underhåll samt avfallshantering, och syftar till att säkerställa att tekniken används så effektivt och säkert som möjligt.

Mer detaljerade rekommendationer finns i referensmaterialet [16, 17, 18].

Förberedelser

Endast UV-C-armaturer/enheter av hög kvalitet bör användas, och systemet behöver utformas korrekt för att säkerställa effektivitet och säkerhet. Vid bedömning av kvaliteten på UV-C-armaturer eller enheter bör man kontrollera om lamporna har relevanta märkningar och certifieringar (t.ex. CE-märkning, IEC 62471, ISO 15858, DIN TS 67506, UL 8802 med flera), specificerad och stabil UV-C-våglängd och effekt, dokumenterad livslängd samt att de producerar minimalt med oönskade våglängder och ozon. Det är även viktigt att lamporna kommer från välrenommerade tillverkare med god produktpårbarhet och oberoende testresultat. Detta behövs granskas när information hämtas från olika tillverkare.

Vid projektering måste man därför ta hänsyn till bland annat rummets storlek, placering av armaturer, dos per lampa för den aktuella patogenen som systemet dimensioneras för, samverkan mellan UV-zonen och ventilationsflödet samt nödvändiga säkerhetsåtgärder. Simuleringsmodeller, som CFD, kan användas för att analysera luft rörelser och andra parametrar för att optimera placeringen av UV-C-armaturer.

Ingen personal får utsättas för direkt UV-exponering. All personal som hanterar installation, underhåll eller användning av UV-C-utrustning ska vara utbildad. Arbetet ska föregås av en anpassad riskbedömning samt kontroll av aktuella utrymmen.

Installation

Vid installation och underhåll av UV-C-lampor ska leverantörens instruktioner och relevanta säkerhetsföreskrifter följas noggrant för att säkerställa korrekt och säker hantering.

Det finns särskilda krav för olika typer av UV-C-system och enheter, till exempel:

- Minimikrav på takhöjd och minimiavstånd till personer för att undvika skadlig exponering vid vägg- och takmonterade UV-C-armaturer.
- Rumsenheter utrustade med rörelsesensorer som automatiskt stänger av UV-ljuset vid närvaro av människor.
- Programvara som styra exponering baserat på avstånd, dos och användningsmönster.
- UV-C system i ventilationskanaler ska monteras så att ljuset träffar luftströmmen vinkelrätt och vara utrustade med inspektionsfönster, säkerhetsbrytare och larm vid funktionsfel. Strömbrytare bör vara åtkomliga endast för behörig personal.

Varningsskyltar ska alltid finnas synligt vid installationen.

Parametrar som lufttemperatur, lufthastighet och luftfuktighet måste kontrolleras och säkerställas enligt leverantörens riktlinjer.

Efter installation ska en UV-radiometer användas för att säkerställa att UV-läckaget i ventilationskanalssystemet och exponeringen vid ögonhöjd båda inte överskrider det fastställda gränsvärdet på 0,1 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$.

Drift och underhåll

Visuell inspektion bör göras regelbundet för att upptäcka eventuella funktionsfel eller behov av rengöring av lampor och reflektorer.

Det ska finnas ett system för felrapportering för att snabbt kunna åtgärda problem.

Lampor byts ut när deras angivna livslängd närmar sig slutet eller när de är trasiga. Vanligtvis behövs lampbyte cirka en gång per år, beroende på drifttid.

Regelbunden rengöring av lampor och reflektorer är nödvändig för att bibehålla optimal UV-effekt, eftersom smuts, damm eller kondens drastiskt kan minska effektiviteten.

UV-exponeringen bör mätas regelbundet för att säkerställa att det inte finns något UV-läckage mot människor. Denna kontroll bör ingå i den årliga underhållsplanen.

Vid skada på lampor ska särskilda säkerhetsåtgärder vidtas för att undvika UV-exponering. All service och underhåll ska dokumenteras noggrant.

Avfallshantering

I UV-C-armaturer för luftdesinfektion används framförallt lågtryckskviksilverlampor (254 nm) och excimerlampor (Far UVC vid cirka 222 nm). Sedan ungefär tio år tillbaka finns även UV-C LED-lampor (265–280 nm) på marknaden.

Vid avfallshantering ska UV-C-lampor med lågt kvicksilverinnehåll behandlas som andra kvicksilverhaltiga produkter, till exempel lysrör, och behandlas enligt gällande miljö- och säkerhetsregler.

Far-UVC lampor kan demonteras i separata material inom fyra återvinningskategorier för att minimera avfall: metall, plast, elektronik och ljuskällor.

5 Rumsluftrenare

Rumsluftrenare finns i flera utföranden. I grova drag kan de delas upp i sex huvudkategorier baserat på deras reningsprinciper:

- Mekanisk rening. Partiklar fångas upp i fiberfilter genom bl.a. vidhäftning och silning.
- Elektrostatisk rening. Partiklar laddas (joniseras) och avskiljs genom elektrisk laddning.
- Joniserande rening. Partiklar laddas (joniseras) och faller antingen till marken eller fastnar på andra ytor.
- UV-ljusrening. Bryter ner vissa ämnen och dödar virus/bakterier genom belysning med viss våglängd.
- UV-ljusrening med fotokatalysator för att oxidera gasformiga föroreningar.
- Gasfasrening med t.ex. aktivt kol

Kombinationer av reningsprinciperna förekommer. Till exempel kan en luftrenare ha mekanisk filtrering med inbyggd jonisator eller UV-lampa. Kolfilter kan definieras som ytterligare en reningsprincip, men i luftrenarsammanhang används de sannolikt uteslutande som komplement till annan reningsteknik för att fånga upp gasformiga föroreningar.

I Avsnitt 3.1.2 avhandlades ett specialfall av recirkulerande luft där den tekniska principen kan likställas med en rumsluftrenare, om än integrerad i undertak. Även om det marknadsförs olika typer av takintegrerade rumsluftrenare är den vanligaste applikationen portabel som antingen rullas in på hjul eller enkelt hängs upp på väggar eller i undertak.

Detta kapitel inleds med en utblick av forskningsläget avseende rumsluftrenares funktionsprinciper, effektivitet, energieffektivitet och potentiella nackdelar. Inledningen följs av en övergripande analys kring möjligheter, begränsningar, tillämpningsområden, etc. för luftrenare. Därefter följer ett avsnitt om erfarenheter från några som testat tekniken i sjukvårdssammanhang. Kapitlet avslutas med ett avsnitt om tankar och uppslag kring vägledning för upphandling och praktisk tillämpning i vårdlokaler.

Mycket av innehållet baseras på samtal med kontaktpersoner inom Region Skåne och på Karolinska sjukhuset, men även på intervjuer med tillverkare av luftrenare samt en enkät som skickades till sammanlagt elva tillverkare.

5.1 Kunskapsläget om rumsluftrenare

Detta avsnitt ger en översikt över rumsluftrenare med fokus på deras teknologier, effektivitet och praktiska tillämpbarhet i byggnader. Utifrån en genomgång av vetenskapliga artiklar och internationella standarder presenteras de viktigaste funktionsprinciperna, såsom fiberbaserade HEPA-filter, elektrostatisk filtrering, UV-ljus och fotokatalytisk oxidation, samt deras respektive styrkor och svagheter.

Avsnittet belyser hur effektiviteten hos olika luftrenare varierar beroende på filtertyp, luftomsättning, placering och underhåll, och förklarar varför laborietester ofta visar högre prestanda än vad som uppnås i verkliga miljöer. Vidare nämns etablerade testmetoder och standarder för att bedöma reningseffektivitet, samt hur krav och certifiering regleras nationellt och internationellt.

Praktiska aspekter som energiförbrukning, buller, underhåll och totalkostnad diskuteras, liksom potentiella nackdelar såsom emission av ozon och andra biprodukter. Kapitlet avslutas med en jämförelse mellan olika teknologier och vägledning kring hur val av luftrenare bör anpassas efter miljöns behov, önskad effektivitet och riskprofil.

Översikt över rumsluftrenare: Teknologier, effektivitet och tillämpbarhet

Rumsluftrenare används i byggnader för att förbättra inomhusluftens kvalitet genom att avlägsna partiklar, mikroorganismer och gasformiga föroreningar. De vanligaste teknologierna är fiberbaserade HEPA-filter, elektrostatisk filtrering, UV-ljus och fotokatalytisk oxidation (PCO). Varje teknik har sina specifika styrkor och svagheter, vilket gör valet av teknologi beroende av miljöns behov och önskad riskprofil.

Funktionsprinciper och teknologier

- Fiberbaserade HEPA-filter bygger på mekanisk filtrering och är mycket effektiva för att avlägsna partiklar och mikrober. Effektiviteten kan överstiga 99,97 % för partiklar $\geq 0,3$ mikrometer under laboratorieförhållanden, men i verkliga miljöer påverkas resultatet av luftflöde, placering och underhåll. De kan ha betydande tryckfall vilket bidrar till energianvändning och buller, och de kräver regelbundet underhåll och filterbyte. Fiberbaserade HEPA-filter är känsliga för beröring och behöver hanteras med varsamhet.
- Elektrostatisk filtrering använder elektrisk laddning för att fälla ut partiklar. Tekniken är effektiv mot partiklar men kan i vissa fall generera ozon som biprodukt, vilket utgör en hälsorisk och är föremål för reglering i vissa länder. De har normalt lägre tryckfall än HEPA-baserade luftrenare. Afshari et al. [44] ger en bred översikt över elektrostatisk filtrering, dess effektivitet och potentiella nackdelar. Agranovski et al. [45] samt Ekberg & Shi [46] demonstrerar alternativ elektrostatisk luftrening som innebär att jonisering nyttjas för att öka avskiljningsgraden för fiberfilter,
- UV-ljus används främst för att inaktivera mikroorganismer (bakterier, virus, mögel) i luften. Effektiviteten beror på UV-lampans våglängd, intensitet och exponeringstid. UV-ljus reducerar mängden levande/aktiva mikroorganismer, men påverkar inte koncentrationen av partiklar eller gaser. Vid användning av UV-ljus i luftrenare orsakar själva UV-enheten i sig inte något betydande tryckfall, eftersom den inte utgör ett fysiskt hinder för luftflödet på samma sätt som filter gör. Tryckfallet i en UV-baserad luftrenare bestäms därför huvudsakligen av eventuella förfilter eller kombinerade HEPA-filter som används tillsammans med UV-ljuset. Om UV-ljuset används som enda reningsteknik är tryckfallet mycket lågt. Li och Blatchley [47] redovisar en metod för validering av luftrenare baserade på UV-desinfektion. Den undersökningen visade högst clean air delivery rate (CADR) när luftrenaren hade både mekaniskt filter och UV-ljus. Ett fall med enbart UV-ljus gav betydligt högre CADR än ett fall med enbart mekaniskt filter. Även Kujundzic et al. [48] utvärderade tillämpningen av luftrenare med UV-ljus i kombination med mekaniskt filter. Vid den undersökningen gav UV-ljus ingen förbättring av prestandan jämfört med ett fall med enbart mekaniskt filter i luftrenaren.
- Fotokatalytisk oxidation (PCO) kombinerar UV-ljus och katalysator för att oxidera gasformiga föroreningar och mikrober. Effektiviteten varierar beroende på föroreningstyp, och tekniken kan generera ozon och andra biprodukter. Tryckfallet över en PCO-enhet är generellt lågt, eftersom den fotokatalytiska ytan inte utgör ett lika tätt hinder för luftflödet som exempelvis ett fiberbaserat HEPA-filter. Konstruktionen är ofta utformad för att maximera kontaktytan mellan luft och

katalysator utan att skapa stort motstånd. Dock kan tryckfallet öka om PCO-enheten kombineras med andra filter (t.ex. förfilter eller partikelfilter), eller om katalysatorytan blir smutsig och beläggs med partiklar över tid. Tseng et al. [49] och Tejasvi et al. [50] är exempel på publikationer som beskriver tekniken med fotokatalytisk luftrening närmare.

- Gasfasrening (t.ex. aktivt kol) är effektivt mot gasformiga föroreningar och lukt, men filtren blir mättade och måste bytas ut regelbundet. Tryckfallet över kolfilter är lågt till medelhögt och påverkas av filterdesign och luftflöde. Livslängden är begränsad av filtermaterialets mättnad och kräver regelbundet byte för bibehållen funktion. Bytesintervall för kolfilter varierar beroende på föroreningskoncentration, luftflöde genom filtret, filterstorlek och konstruktion. Det är därför svårt att ange ett generellt intervall, men i praktiken rekommenderas ofta att kolfilter byts ut med några månaders mellanrum, till exempel var 3:e till 6:e månad vid kontinuerlig drift i miljöer med måttlig föroreningsbelastning. Afshari et al. [51] diskuterar olika tekniker för gasfasrening, inte bara aktivt kol, utan även bl.a. fotokatalytisk oxidation.

Effektivitet och prestanda

Effektiviteten hos rumsluftrenare beror på flera faktorer: filtertyp, luftomsättning, placering och underhåll. Laboratorietester visar ofta högre effektivitet än vad som uppnås i verkliga miljöer. Fälttester och studier i skolor, bostäder och kontor visar att faktorer som underhåll och placering är avgörande för resultatet. Effektiviteten mäts ofta som Clean Air Delivery Rate (CADR), som anger hur mycket renad luft (m^3/h) apparaten levererar för olika föroreningstyper.

Praktisk tillämpbarhet

Praktiska aspekter som buller, energiförbrukning, underhåll och kostnad påverkar användbarheten av luftrenare. Studier visar att flera mindre renare kan vara mer energieffektiva än färre stora, men totalkostnaden ökar med antalet enheter. I skolmiljöer och kontor är faktorer som ljudnivå och underhåll särskilt viktiga.

Styrkor och svagheter

- Fiberbaserade HEPA-filter: Mycket hög partikeleffektivitet, Energianvändning och buller måste beaktas. Kräver underhåll.
- Elektrostatisk filtrering: Effektivt mot partiklar. Energianvändning och buller måste beaktas (dock typiskt ett mindre problem än för luftrenare med fiberbaserade HEPA-filter). Risk för ozonbildning.
- UV-ljus: Effektiv mot mikrober, men påverkar inte partiklar/gaser och kräver skydd. Mycket låg energianvändning. Risk för ozon och andra biprodukter.
- PCO: Kan ta bort vissa gaser och mikrober. Lägre tryckfall, energianvändning och buller än fiberbaserade HEPA-filter. Högre energiförbrukning än UV-ljus. Risk för ozon och andra biprodukter.
- Gasfasrening: Effektiv mot gaser/luft, men filter måste bytas regelbundet. Betydande tryckfall.

Internationella standarder

Standardiserade testmetoder och certifiering är avgörande för att säkerställa att produkter uppfyller krav på effektivitet och säkerhet. Krav på luftrenare ställs genom internationella och nationella standarder, såsom:

- **AHAM AC-1:** Mäter CADR för portabla luftrenare (damm, pollen, rök).

- **SS ISO 16000-36:** Reduktion av luftburna bakterier.
- **SS-EN IEC 63086-1:** Allmänna krav och testmetoder för hushållsluftrenare.

Dessa standarder ger viktiga jämförelsetal. Laboratorietesterna utförs i standardiserade testkammare där man bl.a. mäter hur snabbt och effektivt luftrenaren tar bort partiklar, gaser eller mikrober. Centrala mått är exempelvis Clean Air Delivery Rate (CADR), som anger mängden renad luft per timme för olika föroreningstyper.

Men effektiviteten hos rumsluftrenare påverkas även av flera omkringliggande faktorer såsom placering, användarbeteende och underhåll. Vidare visar sig ibland HEPA-filter vara mer effektiva under laboratorieförhållanden än vid praktiska tillämpningar. Detta beror på att tester i kontrollerade kammare sker under optimala förhållanden, med definierade partikelhalter och luftflöden. Fälttester och kontinuerlig övervakning i verkliga miljöer är därför viktiga komplement till laboratorietester och kan ge en mer rättvisande bild av luftrenarens prestanda i praktisk användning.

Krav och certifiering

Krav på luftrenare ställs genom myndighetsregler och branschstandarder, med fokus på partikelavskiljning, gasrening och begränsning av biprodukter som ozon. På vissa håll, exempelvis i Kalifornien, måste luftrenare uppfylla gränsvärden för ozonemission och vara certifierade enligt lokala regler. Oberoende testinstitut som Intertek, UL och TÜV kan certifiera luftrenare enligt gällande standarder och utfärda prestandadeklARATIONER.

5.2 Möjligheter, begränsningar och tillämpningsområden

Luftrenare har funnits på marknaden i flera decennier och används i stor skala i inte minst bostäder i olika megastäder med undermålig luftkvalitet.

Även om luftrenare använts inom sjukvårdssektorn utomlands på sina ställen sedan länge, var det fram till 2020 ett i stort sett okänt fenomen inom svensk sjukvård. Därefter inträdde pandemin, vilket till stora delar förändrade intresset för den produktkategorin.

5.3 Erfarenheter från sjukvården

I det inledande skedet av Covid-pandemin hände mycket på kort tid inom sjukvården världen över. I Sverige utgick information om att viruset var luftburet och att ”adekvat” ventilation rekommenderades, vilket inte ytterligare preciserades. Vårdenheter runt om i landet började då söka med ljus och lykta efter olika typer av personskyddsutrustning. Parallellt söktes även efter ventilationslösningar, vilket konkret bl.a. innebar att ventilationsflöden i befintliga aggregat skruvades upp till max och roterande värmeväxlare stannades för att undvika läckage, etc. Men i flera fall undersöktes även möjligheten att komplettera den befintliga ventilationen med luftrenare för ytterligare utspädning ut rumslufters halter av smittoämnen.

Som ett led i detta lät bl.a. Region Skåne och Karolinska sjukhuset i Stockholm införskaffa luftrenare. Behovet bedömdes så akut att man t.ex. inte tog sig tid att detaljformulera kriterier och behovsanalyser i den omfattningen man annars skulle gjort. Då lagen om LOU vid synnerligen brådskande omständigheter medger undantag från kravet på annonsering kunde luftrenare direktupphandlas snabbt med stöd av 6

kap. 15 § LOU. Anskaffningen av luftrenare från ett antal etablerade tillverkare gick därför mycket snabbt.

I Avsnitten 5.3.1 och 5.3.2 redogörs på ett likartat vis för tillvägagångssätt och erfarenheter från nämnda vårdgivare. Innehållet baseras främst på dialog med arbetsmiljöspecialist Peter Ryd på Karolinska, överläkare i Carl-Johan Fraenkel på Region Skåne samt Bo Dolk-Petersson, senior rådgivare på QleanAir.

5.3.1 Karolinska sjukhuset

Pandemins drivkraft

När pandemin bröt ut fick Karolinska sjukhuset på kort tid in ett stort antal smittade personer. En särskild stab tillsattes tidigt för att säkerställa skyddsutrustning och arbetsmiljö på vårdenheter. Staben ledde bl.a. arbetet med att ta fram munskydd, utarbeta nya skyddsrutiner och skapa temporära infektionsrum i diverse utrymmen. De tillsåg även att ventilationsflöden maximerades, men man insåg snabbt att den tillgängliga ventilationen var otillräcklig i de tillfälliga infektionsrum som upprättades på flera ställen. Det visade sig även vara svårt att åstadkomma erforderliga undertryck och luftriktningar där. Som ett led i detta sökte staben godkännande från sjukhusledningen för inköp av luftrenare, vilket erhöles. Finansiering tillgängliggjordes av tillfälliga statliga medel till landets alla regioner.

Genom ett av sina servicebolag hade Karolinska sedan tidigare kontakt med två luftrenartillverkare, som snabbt ställde sig till förfogande. En av dem tillverkar portabla luftrenare, den andra både portabla och fasta installationer.

Inköpen leddes av arbetsmiljöspecialist Peter Ryd som lät anskaffa totalt 202 luftrenare i några olika modeller. Ungefär 120 av apparaterna installerades på Karolinska sjukhuset i Huddinge och resten på Karolinska sjukhuset i Solna. Cirka 75 % var portabla apparater, resten fasta installationer i undertak. Peter minns att de tidigt tog ett beslut om att välja traditionella fiberfilter men att man inte hann med en så mycket noggrannare urvalsprocess än så. I praktiken resulterade det i apparater med förfilter motsvarande klass F7 och HEPA14 som slutfilter.

Luftrenarna placerades efter bästa förmåga. Företrädesvis i de temporära ”infektionsrummen” som i övrigt bara hade allmänventilation. Installationerna genomfördes i samverkan mellan Hälso centrum, fastighetsförvaltarna COOR och Caverion. Processen innefattade bl.a. intrimningar, ljudbedömningar och partikelmätningar (främst 0,3 – 0,5 µm), vilket genomfördes av leverantörerna.

I mångt och mycket lät man rumsvolym styra kapacitet och modellval. Små luftrenare sattes in i små rum och större luftrenare i större rum. Typiskt ökades renluftsflödena från motsvarande ca 2 ACH till ca 7 - 8 ACH. Dock anpassades luftflödena även efter rummets ljudnivå. På t.ex. IVA, där det allmänt är hög bullernivå, accepterades maxflöden, medan luftflödena i t.ex. vådrum reducerades till ca 40 - 50 % av kapaciteten beroende på modell.

Generellt kunde man konstatera att rumsluftens partikelhalt ”vid vila” minskades till en tiondel, vilket oftast innebar att luftkvaliteten förbättrades motsvarande en ISO-klass. Luftrenarnas medicinska nytta under pandemin kvantifierades dock aldrig eftersom det är svårt och kräver omfattande underlag. Men en enkel analys av personalens sjukfrånvaro gav vid handen att IVA, där man hade flest luftrenare men också flest

smittsamma patienter, hade lägst sjukfrånvaro. Detta tolkades som att luftrenarna gjorde stor nytta.

Slutligen konstateras att acceptansen bland personalen aldrig undersökts. Men då man heller inte hört klagomål på luftrenarna menar Peter Ryd att acceptansen är god.

Luftrenarnas användning efter pandemin

Än i dag är ca 160 av luftrenarna i bruk dygnet runt. Resten är magasinerade för framtida behov. De i bruk används främst i rum där man ser att de kan göra särskild nytta som i t.ex. väntrum, sterilrum och undersökningsrum med tuberkulospatienter.

På Karolinska i Huddinge finns en helt ny operationsavdelning. Givetvis med erforderlig ventilation. Men trots det har man där numera även tillgång till fyra portabla luftrenare som rullas in vid en typ av bukanceroperationer³ där cytostatika sprutas över det öppna såret varpå aerosoler bildas. Luftrenarna används som en försiktighetsåtgärd på inrådan av Vårdhygien, PMI⁴ och Enheten för arbetsmiljö eftersom man sett att luftrenarna påtagligt reducerar luftens partikelhalter. Men det finns förmodligen inga studier som undersökt inverkan av luftburen cytostatika. Notabelt för luftrenarna i de operationsrummen är att förfiltren ersatts med kolfilter. Detta för att också ta gasformiga föroreningar.

Vidare konstateras att luftrenare även används på Karolinska i Solna, där det finns en byggnad från 60-talet med fyra operationsrum utan HEPA-filtrering. De operationsrummen har nu varsin mobil luftrenare som komplement till den ordinarie ventilationen. Så även i två steriltförråd där man installerat två portabla luftrenare i vardera förrådet. Enligt luftrenarleverantören minskades återhämtningstiden mellan operationer till en tiondel mot innan, vilket gör att verksamheten nu har möjlighet att operera fler personer per dag.

Peter Ryd menar att luftrenare förmodligen kan användas i alla rumstyper och att de även fyller en värdefull roll i samband med ombyggnationer, då det kan vara bra att ha tillgång till ”flexibel ventilation”. Han menar också de partikelmätningar som gjordes under pandemins inledande skede tyder på att luftrenarnas placering inom rimliga gränser oftast spelar någon avgörande roll, vilket vidgar implementeringsmöjligheten. Dock är det alltid viktigt att luftrenarna inte stör rummets övergripande luftflödesbild, inte blockeras, eller blåser ut en den rena luften mot frånluftdonet. Det är även viktigt att luftrenaren inte orsakar drag. Vidare konstateras att operationsrum är ett specialfall, där luftrenarnas placering kräver omsorgsfull planering.

Efter pandemin, när situationen nu antagit mindre akuta former, blommarbuller upp som en potentiellt viktigare parameter. I PTS-skriften från 2015 ”*Riktlinjer för akustikkrav i vårdlokaler*” anges tämligen utmanande rekommendationer för ljudnivå för olika rumstyper, ofta 35 dB(A), vilket är svårt att uppfylla såvida inte luftrenarna körs på kraftigt reducerad kapacitet. I rum med mer intensiv verksamhet och utrustning som väsnas kan man dock fortfarande utnyttja större delen av luftrenarkapaciteten, så länge personal och patienter inte störs.

³ Metoderna för den kirurgitypen kallas HIPEC - Hyperthermic Intraperitoneal Chemotherapy, respektive PIPAC - Pressurised Intraperitoneal Aerosolised Chemotherapy

⁴ Perioperativ Medicin och Intensivvård (PMI) förser Karolinska Universitetssjukhuset med operations- och anestesipersonal, pre- och postoperativ vård, smärtvård samt all intensivvård för vuxna.

Hittills har man inte fått in några negativa synpunkter på luftrenarna. I de rum där stora maskiner bytts mot mindre har man fått positiva kommentarer.

Ansvar, service och underhåll

Undantaget de åtta portabla luftrenarna på den äldre enheten i Solna, saknas underhållsavtal för luftrenarna som därmed får gå tills de t.ex. automatstoppar då förfilter tätats av smuts. Vid driftstopp och problem har personalen hittills kontaktat Peter Ryd, som i sin tur stått i förbindelse med leverantören. Kontaktuppgifter återfinns på de dekaler som sats på alla luftrenarna. Där finns även information om syfte, funktion, kapacitet, m.m.

För de åtta luftrenarna i den äldre byggnaden i Solna kontrakteras dock leverantören för årlig genomgång av apparaterna, inklusive byte av förfilter vartannat år och byte av slutfilter vart fjärde år. Vid filterbyte läggs filtren omedelbart i plastpåsar som försluts. Avtalet är tecknat mellan leverantör och den nämnda PMI-enheten.

Upphandling och avtal

Efter pandemin har inga ytterligare luftrenare införskaffats. För inköp i framtiden behöver leverantör/er upphandlas på ett helt annat vis än vad som skedde under pandemins inledande skede, och upphandlingsunderlag avseende teknisk prestanda, funktion, m.m. behöver utarbetas.

Peter ansåg att luftrenare framöver borde finnas med i inventarie- och ärendehanteringssystemet Medusa. Det är ett system som lagrar utrustningsinformation och händelsehistorik. Systemet finns tillgängligt via en kundportalsfunktion. Exempelvis finns där information om funktion, kapacitet, underhållsinstruktioner och serviceintervall. Det skulle göra det enklare för verksamheten att själva beställa, felanmäla, etc. Vidare förses ofta Medusa-registrerade produkter med någon form av positioneringsteknik (t.ex. GPS), vilket kan vara praktiskt på portabla produkter i samband med t.ex. teknisk genomgång.

5.3.2 Region Skåne

Pandemins drivkraft

Tanken på luftrenare som komplement till ordinarie ventilation lyftes i slutet av februari 2020 då man började planera för covid på IVA. De första beställningarna lades i mars 2020, men inte heller Region Skåne hann utarbeta några kompletta funktionskrav för detta även om man ganska omgående bestämde sig för att inte köpa luftrenare som kunde bilda ozon.

Initialt fanns en diskussion om att välja produkter med ”medicinsk klassning”. Sådana visade sig dock dyra, om än med hög kapacitet. Efter en marknadsundersökning valde man i stället några ”vanliga” luftrenarmodeller med något lägre kapacitet för utplacering på många ställen. Alla från en och samma leverantör.

Antal luftrenare per rum och deras kapacitet anpassades så att det totala renluftflödet motsvarade ca 5 ACH, vilket tidigt valts som riktlinje. Att jämföra med ordinarie ventilationsflöde (uteluft) om ca 2 ACH. Första beställningen var på 30 luftrenare som man fick det till nedsatt pris eftersom det handlade om en utgående modell.

Därefter lades tilläggsbeställningar på huvudsakligen två liknande modeller. I stort sett köptes allt de hade.

Luftrenarna fördelades mellan alla sjukhus i Skåne. Initialt leddes utplaceringsarbetet av överläkare Carl-Johan Fraenkel som då först och främst prioriterade IVA-salar, följt av fyrbäddsrums och enkelrum. I sammanhanget bör också nämnas att det i pandemins inledande fas fanns misstankar om att covid var särskilt luftburet i samband med s.k. högflödessyrgasbehandling, vilket bidrog till att många av luftrenarna först styrdes till intensivvård och intermediärvård där högflödesbehandling bedrevs. Under hösten 2020 eskalerade situationen och de särskilda covid-avdelningar som bildades på flera ställen efterfrågade ökad ventilation. Samtidigt stod det klart att misstankarna om högflödesbehandlingarna inte stämde, varpå många luftrenare omplacerades till inte minst covidavdelningarnas patientrum i de fall grundventilationen var under ca 25 l/s/patient.

Totalt införskaffades 230 luftrenare. Installation och intrimning hanterades internt på avdelningarna efter leverans, om än med en skriftlig anvisning från Carl-Johan Fraenkel.

Luftrenarnas användning efter pandemin

Luftrenarnas vidare öden efter pandemin är inte helt klarlagda mer än att många av dem fortfarande är i drift, men även att flera har magasiniserats.

Med tanke på att Region Skåne redan har 230 luftrenare att tillgå, finns i dagsläget inga tankar om ytterligare inköp. Däremot efterlyses en inventering och gärna någon form av gps-markering.

Carl-Johan Fraenkel konstaterar att luftrenarna togs emot väl i Region Skåne och att luftrenare förmodligen har framtiden för sig inom svensk sjukvård. Han menar också att luftrenare är ett enkelt sätt att ”rädda dålig luftkvalitet”. Dels i salar och rum där det bedrivs mindre kirurgiska ingrepp utanför själva operationsavdelningen, dels i väntrum under säsong med mycket luftvägsvirus. Men även i salar där man vill kunna vårda t.ex. covid och andra luftvägsvirus, där man vet att ventilationen är undermålig.

Han konstaterar även att det finns ett stort glapp att fylla mellan vad vårdpersonalen tror/vet och vad fastighetssidan tror/vet. Vårdpersonalen har god kännedom om vad som händer på alla rum men inte vad det är för ventilation, fastighetssidan vet å andra sidan allt om ventilationen men ganska lite om verksamheten i de olika rummen.

Ansvar, service och underhåll

Det tecknades inget serviceavtal med leverantören. Filterbyte ombesörjs därför av organisationen för fastighetsdrift.

5.4 Leverantörsperspektiv

Marknaden rymmer en uppsjö av luftrenarleverantörer, många av dem med ett flertal olika modeller som kan tänkas lämpliga för sjukvården. I detta avsnitt sammanställs först svar och tankar från intervjuer med representanter för luftrenarleverantörerna till Karolinska sjukhuset (Camfil och QleanAir), även om mycket av erfarenheterna från QleanAir presenterades redan i Avsnitt 5.3.1.

Den huvudsakliga leverantören till Region Skåne kontaktades ej då den saknar svensk kundtjänst.

5.4.1 Intervjuer med leverantörer

Allmänna erfarenheter

Bägge representanterna har goda erfarenheter av luftrenare i olika typer av sjukvårdssammanhang. Historiskt har luftrenare generellt främst utvecklats med skolor, kontor och tillverkande industri för ögonen. Men de bägge tillfrågade leverantörerna uppgav att de även har sjukvårdsanpassade modeller och bedömer att sjukvården är en viktig marknaden för dem framöver.

Leverantörerna menade att luftrenare i princip kan användas i alla rumstyper. Bara de uppfyller de olika rummens grundläggande krav avseende t.ex. :

- desinficerbara ytskikt
- bullernivå
- vandaliserings- och ingreppsskydd (åtminstone i vissa rum)
- utrymmesbehov ("fotavtryck")
- enkla att flytta (om portabla)
- erforderlig kapacitet och partikelavskiljningsförmåga i förhållande till krav på ACR

I Sverige tycks förfilter + HEPA 14 vara vedertagen avskiljningsnivå, men en av leverantörerna menade att de flesta andra länder nöjer sig med HEPA 13 som slutfilter. (I praktiken kan HEPA 13 och HEPA 14 vara samma filtermedia, men avsedda för olika lufthastighet.)

I operationsrum med UDF-ventilation (parallellflödande högfiltrerad luft över patient) krävs dock försiktighet avseende luft rörelser från t.ex. luftrenare för att inte störa parallellflödet. Det samma gäller vissa sterilrum där arbetszoner kan ha UDF-liknande lösningar.

Buller och utrymme uppges vara brukarnas vanligaste farhågor. De intervjuade menade dock att deras oron oftast visar sig obefogad eftersom apparatens placering och fläktens varvtal kan anpassas efter behov och önskemål. I t.ex. "tysta" rum såsom vårdrum och undersökningsrum brukar luftflödet begränsas till ca 40 % av maxkapaciteten. I delar med mer högljudd verksamhet kan uteluftflödet ökas väsentligt.

Beställning, avtal, underhåll, etc.

Vem på sjukvårdssidan som beställer luftrenarna varierar, även om det de flesta fall är verksamheten. Ibland är det inte helt tydligt för leverantören vem av dem det är.

Köp är betydligt vanligare än leasing. I de fåtal fall leasing förekommer brukar det vara när fastighetssidan beställt. Normalt sett är köpen inte så stora att kravet på LOU träder i kraft. Vid pandemin var förvisso affärerna av den magnituden men då trädde undantagsregler i kraft som gjorde att det ändå inte behövdes (se inledning av Avsnitt 5.3).

Oavsett beställare har de givetvis full frihet att installera och välja luftflöde efter eget tycke, men de intervjuade menade att de som leverantörer oftast involveras i kapacitetsval, placering, installation och samtal med berörda personer såsom chefssjuksköterska och driftpersonal. Den typen av initialt engagemang rekommenderades och brukar bakas in i affären för att minska risken för felbeslut, klagomål och problem.

Driftdelen tycks mindre homogen än installationsfasen. I de fall det inte upprättas något serviceavtal med leverantören brukar servicen i stället hamna på det aktuella fastighetsservicebolaget som efter instruktioner från leverantören byter filter med given regelbundenhet. Detta skiljer sig oftast mot då serviceavtal upprättas med leverantören som då dels byter filter, dels går över maskinerna mer ingående och bl.a. testar avskiljningsgrad med partikelräknare.

I normalfallet avlägsnas luftrenarna från rummen vid service, vilket är ett av skälen till att man ofta uppmanar beställaren att anskaffa någon eller några luftrenare i reserv som kan rullas in i avbrottskänsliga rum.

Leverantörerna rekommenderar serviceavtal även om filterbyte i normalfallet är mycket enkelt och att där finns automatik som larmar eller till och med stoppar maskinen vid höga tryckfall. Serviceavtal med leverantör eller fastighetsservicebolag säkerställer att filter byts. Annars finns en risk att verksamheten inte bryr sig om att hantera maskiner som automatstoppat eller larmar. Tryckstyrda fläktar varvas förvisso upp per automatik vid nedsmutsning för att motverka reducerat luftflöde, men då genereras också högre ljudnivåer som kan leda till att personalen stänger av dem.

Ytterligare en aspekt att beakta är att även om en person på beställarsidan informerats och lärts upp om filterbyte och kanske ytterligare teknisk översyn, så kan ju den personen byta arbetsgivare eller förflyttas inom organisationen. Inte säkert då att informationen om luftrenarna förs vidare.

Vid tecknande av serviceavtal råddes beställaren att utforma avtalet så att där tydligt framgår:

- Vad som ingår (översyn och filterbyte, eller bara det senare)
- Vad beställaren förväntas göra
- Inställelsetid vid larm (kan variera med rummets känslighet)

5.4.2 Enkät för leverantörer

En enkät skickades ut till sammanlagt elva leverantörer och tillverkare. Sex svar inkom.

Samtliga svarande uppgav att de saluför luftrenare som passar sjukvården. Flera, men inte alla, uppgav sig ha luftrenare i drift i offentligt eller privat drivna sjukvårdsanläggningar. Även utanför Sverige. I de flesta fall handlade det om köp, men även leasing förekom. Beställningarna kom lika ofta från verksamheten som från fastighetssidan.

Merparten av installationerna genomfördes av leverantörerna, men det var nästan lika vanligt att det sköttes av beställaren själva. De flesta ansåg att installationsavtal bör ingå i affären, dock ansåg några att det inte är nödvändigt såvida det inte handlar om takmontering.

Portabla luftrenare är vanligast, men även luftrenare för fasta installationer förekom. Några angav att deras produkter både kan ställas fritt på golv och monteras fast i tak eller hängas på vägg. Fiberfilter är vanligast, men även elektrostatfilter och jonisering förekommer, samt hybridvarianter.

Generellt ansåg man att luftrenarna kan användas överallt där det finns behov, såsom väntrum, op-salar, infektionsrum, undersökningsrum, m.m. Man menade att luftrenarnas stora fördel är att de på ett kostnadseffektivt sätt minskar smittspridning och mängden smittoämnen i rumsluften.

Tyvärr delgav endast ett fåtal sina generella erfarenheter avseende sjukvårdspersonalens synpunkter och observationer, etc. Men de som ändå svarade på detta uppgav sig ha mycket goda erfarenheter, men också att sjukvårdslokaler är en utsatt miljö med bl.a. många obehöriga personer. Luftrenarna behöver således vara robusta och ingreppssäkra, utöver att de också behöver vara tysta och effektiva över tid.

Ett fåtal utmaningar för luftrenare inom sjukvården konkretiserades. Dels handlade de om vikten av att informera personal, dels att beställare hittills helst håller fast vid traditionell teknik. Dock menade nästan alla att luftrenare sannolikt kommer bli allt vanligare framöver i svensk sjukvård.

I en av enkätfrågorna ombads de svara på ungefär hur stor procentuell andel av maxflödet deras luftrenare bedömdes kunna ha i ”tysta rum” som t.ex. behandlingsrum, där bullernivån totalt sett inte bör överstiga 35 dB (A). Spridningen på de svaren varierade mellan 30 % och 100 %, med ett genomsnitt på ca 75 %.

Merparten uppgav sig erbjuda och rekommendera serviceavtal, men inte alla. En av leverantörerna menade att serviceavtal är den mest prisvärda lösningen för den som vill ”prenumerera på ren luft”.

I slutet tillfrågades leverantörerna om de hade kännedom om någon ny typ av filter eller luftrenarteknik de vill testa framöver. En av dem kände till en ny teknik de skulle granska vidare, men man ville inte uppge vilken. En annan uppgav att de gärna vill testa sin teknik i operationsrum på något skandinaviskt sjukhus.

5.5 Sammanfattande vägledning vid anskaffning av luftrenare

Som nämndes i kapitlets inledning finns idag en uppsjö av luftrenare och luftrenartekniker som marknadsförs med olika tekniska egenskaper och utformningar. För beställaren kan det vara svårt att avgöra vilken teknik och modell som kan vara lämpligt för den aktuella situationen. I Tyskland finns därför en vägledning för inköp av luftrenare⁵. Även om den specifikt avser luftrenare för tyska skolor för att hantera COVID-19, torde mycket av innehållet kunna appliceras även på svensk sjukvård.

Detta avsnitt är en fri och sammanfattande tolkning av den tyska vägledningen, kompletterad med egna noteringar och vad som beskrivits i avsnitten ovan med bäring på vad som kan vara relevant för svensk sjukvård. Flera av punkterna nedan har därför redan berörts i texterna.

Vägledningen har efter bästa förmåga tagits fram för att vara teknik- och produktneutral. Syftet har inte varit att leda fram till en specifik produkt, utan ge ett mer allmänt förfrågningsunderlag inför upphandling.

Övergripande inledande ställningstaganden

Reningsstrategierna i kapitlets inledning är av vattendelande karaktär. En grundläggande frågeställning är:

- Önskar man fånga upp partiklar i filter, och därmed även bakterier och virus förutsatt att filtren är tillräckligt effektiva?
- Är det acceptabelt att partiklarna i stället främst faller till marken och fastnar på andra ytor för att därefter städas bort?
- Räcker det att mikroorganismer avdödas och gaser oxideras, utan att i stort påverka partikelhalten?

Ytterligare övergripande ställningstaganden man kan behöva fundera över är huruvida luftrenarna skall:

- vara enkelt flyttbara på golv (på hjul eller fötter)
- kunna ställas på hylla
- osynliggöras genom fast montering i undertak

Förutom att olika modeller kräver olika mycket utrymme, påverkar placeringen underhålls- och servicearbetet, även om tillgänglighetsaspekten sannolikt inte är avgörande såvida det inte handlar om täta rengöringsintervall.

Kapacitet

För fläktbaserade reningstekniker avgörs luftrenarnas kapacitet främst av luftflöde och filtrens avskiljningsgrad. För de UV-baserade reningsteknikerna avgörs det i stället främst av UV-ljus intensitet (antal lampor med avsedd våglängd). För joniseringsrening handlar det huvudsakligen om apparatens förmåga att sprida negativa joner i rumsluften.

Olika rum och verksamheter har olika kapacitetsbehov. Här kan skriften *Byggnation och vårdhygien, BOV*, vara en ledstjärna eftersom rekommenderade luftomsättningar

⁵ VDI-EE 4300 Blatt 14. Vägledningen togs fram för pandemisituationen 2021 av en expertgrupp knuten till den tyska ingenjörsföreningen VDI (Verein Deutscher Ingenieure) och den tyska standardiseringsorganisationen DIN (Deutsches Institut für Normung).

för olika typrum där nämns. Skillnaden mellan rekommenderat och faktiskt luftflöde ger en fingervisning om kapacitetsbehov. För luftrenartekniker som inbegriper fläktar bör dock överkapacitet väljas så att de i praktiken inte behöver köras på maxkapacitet. Detta kan även gälla joniserande rening och uv-baserad rening.

Kapaciteten för filterbaserad teknik brukar anges som luftflöde, eller renluftflöde (CADR, m³/h), men anges även ofta i form av ”lämplig rumsarea”. För sjukvårdssammanhang föreslås kapacitetsmåttet CADR. Säkerställ dock att angivet CADR-värde gäller aktuell filteruppsättning.

För UV-baserad rening respektive joniserande rening är kapacitetsmåttet inte lika entydigt. Ofta anges kapaciteten i form av t.ex. procentuell avdödning för en viss golvarea. Konsultera återförsäljaren för information om erforderlig kapacitet och antal enheter i de enskilda fallen.

Oönskade biprodukter

I den tyska vägledningen avråds av hälsoskäl från apparater som tillför otillbörligt höga nivåer av reaktiva ämnen till rumsluften. Ett sådant ämne är ozon som i inomhusluften kan leda till hälsoproblem även vid låga koncentrationer, varför dess bildning eller utsläpp från apparater till inomhusluften måste minimeras.

I sammanhanget kan nämnas att det svenska *Arbetsmiljöverkets föreskrifter och allmänna råd (AFS 2023:14) om gränsvärden för luftvägsexponering i arbetsmiljön*, anger lagligt bindande gränsvärden för ozon om 200 µg/m³ (0,1 ppm) vid åtta timmars exponering inomhus, och 600 µg/m³ (0,3 ppm) för korttidsexponering inomhus. Detta är höga gränsvärden som bör underskridas med god marginal, och säger inget om vad en luftrenare får generera. Den tyska vägledningen resonerar sig i stället fram till att luftrenare maximalt bör tillåtas tillföra 10 µg/m³ ozon till rumsluften (0,005 ppm), vilket motsvarar 10 % av WHO:s rekommenderade gränsvärde för utomhusluften (100 µg/m³ för åtta timmars medelvärde).

Notera även att traditionella uv-lampor innehåller kvicksilver, vilket enligt det s.k. RoHS-direktivet⁶⁶ skall vara utfasat till februari 2027. Säkerställ därför att uv-lamporna i stället har LED-teknik (LED).

Placering och storlek

Luftrenarnas effektivitet kan minska om luftrenaren placeras felaktigt. Filterbaserad rening är beroende av att till exempel följande säkerställs:

- att luftflödet inte blockeras
- att luftrenaren inte direkt suger in inkommande ventilationsluft (den är redan ren)
- att renad luft inte omedelbart sugas in i apparaten igen
- att renad luft inte omedelbart blåses ut mot rummets frånluftsdon
- att renad luft har möjlighet att fördelas över rummet

I operationsrum och vissa andra rum med parallellströmmande renluft bör särskild omsorg vidtas.

Även vid annat är filterbaserad rening kan placering spela roll. Tillverkarens anvisningar bör alltid konsulteras oavsett reningsteknik.

⁶⁶ I RoHS-direktivet (2011/65/EU) finns haltgränser för vissa farliga ämnen i elektronik, inkl. kvicksilver.

Bullernivå och termisk komfort

Vid avsedd användning och underhåll får utrustningen inte orsaka termisk okomfort, störande buller eller obehagliga lukter.

Avseende termisk komfort bör man se till att luftflöde som genereras av luftrenare med fläktar inte leder till ihållande drag i rummets vistelseområde (t.ex. genom erforderliga avstånd och lämplig placering av luftintag och -utlopp).

Konsultera leverantören för lämpliga inställningar ur dessa aspekter.

Elanvändning

Elanvändning bör begränsas i möjligaste mån för reducerad miljöpåverkan och låga driftkostnader.

Leverantören anger uppgifter om eleffektbehov. Tillse att uppgifterna rimmar med aktuella driftfall och filterval. Tänk på att fiberfilter orsakar större tryckfall efter en tid i drift (p.g.a. nedsmutsning).

Säkerhet

Enheterna bör ha tillräckligt skydd mot obehöriga ingrepp och vandalism. Därutöver måste allmän teknisk och elektrisk säkerhet, samt olycksförebyggande åtgärder och brandskydd, säkerställas.

Drift, underhåll och service

Utöver driftskostnader för el tillkommer kostnader för underhåll. Införskaffa uppgifter om:

- möjligheter till återkommande ytdesinficering
- intervall och kostnader för filterbyte (inkl. deponering av potentiellt kontaminerat avfall)
- intervall och kostnader för byte av uv-lampor
- intervall och kostnader för övrig service
- rengöringsintervall (t.ex. elektrostatfilter)

Drifttider är viktiga i sammanhanget. Så även larmfunktioner för servicebehov och oavsiktliga driftstopp.

Serviceavtal med leverantör eller annan part rekommenderas. Då bör även utlovad inställelsetid avtalas.

Ytterligare underhållsaspekter för filter

Om återkommande filterbyte sker i egen regi bör flera personer instrueras om bytesintervall och korrekt handhavande för minskad luftläckagerisk vid filtermontage.

Vid filterbyte finns risk att luften tillförs separerade partiklar med biologiska agenser (t.ex. bakterier, mögel eller virus) eller farliga ämnen (t.ex. inhalerbart och respirerbart damm). Därför måste man vid filterbyte beakta riskerna för inandning och direkt hudkontakt. Det bör också finnas destrueringsrutiner.

6 Referenser

1. Filipsson, P., Ekberg, L. Luftflöde i vårdlokaler - Med ett fastighetstekniskt perspektiv, CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA, Rapport ACE 2024:2
https://research.chalmers.se/publication/540526/file/540526_Fulltext.pdf
2. <https://www.goteborgenergi.se/foretag/fjarrvarme/fjarrvarmepriser>
3. <https://www.goteborgenergi.se/foretag/fjarrkyla/fjarrkylapriser>
4. <https://www.goteborgenergi.se/foretag/elnat/elnatavgiften#pris>
5. ASHRAE Standard 170 - 2021. Ventilation of Health Care Facilities.
<https://www.ashrae.org/technical-resources/standards-and-guidelines/read-only-versions-of-ashrae-standards>
6. Aganovic, A., Cao, G., Kurnitski, J., & Wargocki, P. (2023). New dose-response model and SARS-CoV-2 quanta emission rates for calculating the long-range airborne infection risk. *Building and Environment*, 228, 109924.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109924>
7. Atkinson, J. et al. (Ed.). (2009). Natural ventilation for infection control in health-care settings. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241547857>
8. World Health Organization. (2021). Roadmap to improve and ensure good indoor ventilation in the context of COVID-19.
<https://www.who.int/publications/i/item/9789240021280>
9. Schulster LM, et. al. Guidelines for environmental infection control in health-care facilities. Recommendations from CDC and the Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee (HICPAC). Chicago IL; American Society for Healthcare Engineering/American Hospital Association, 2003.
<https://www.cdc.gov/infectioncontrol/pdf/guidelines/environmental-guidelines-P.pdf>
10. Azimi, P., & Stephens, B. (2013). HVAC filtration for controlling infectious airborne disease transmission in indoor environments: Predicting risk reductions and operational costs. *Building and environment*, 70, 150-160.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.08.025>
11. REHVA (2021). UVGI disinfection technology (A brief overview).
[REHVA COVID-19 UVGI disinfection technology.pdf](https://www.rehva.eu/2021/04/28/uvgi-disinfection-technology/)
12. Bolashikov Z.D, Melikov A.K, Methods for indoor air disinfection and purification from airborne pathogens for applications in HVAC systems. The 6th International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation & Energy Conservation in Buildings IAQVEC 2007, Oct. 28–31, 2007, Sendai, Japan.
13. M. Biasin, A. Bianco, G. Pareschi, et al., UV-C irradiation is highly effective in inactivating SARS-CoV-2 replication. *Sci Rep* 11, 6260 (2021),
<https://doi.org/10.1038/s41598-021-85425-w>
14. Linder, A.; Zhu, A.; Bruns, R.; Olsiewski, P.; Gronvall, G. FAR-UV Technology and Germicidal Ultraviolet (GUV) Energy: A Policy and Research Review for Indoor Air Quality and Disease Transmission Control. [FAR-UV Technology and Germicidal Ultraviolet \(GUV\) Energy: A Policy and Research Review for Indoor Air Quality and Disease Transmission Control\[v1\] | Preprints.org](https://www.preprints.org/manuscript/2021/04/28/FAR-UV-Technology-and-Germicidal-Ultraviolet-GUV-Energy-A-Policy-and-Research-Review-for-Indoor-Air-Quality-and-Disease-Transmission-Control/v1)
15. CDC (2024). About Germicidal Ultraviolet (GUV).
<https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/community/ventilation/UVGI.html>
16. NHS (2023). NHS Estates Technical Bulletin (NETB 2023/01B).
<https://www.england.nhs.uk/long-read/application-of-ultraviolet-uv-c-devices-for-air-cleaning-in-occupied-healthcare-spaces-guidance-and-standards/>

17. REHVA (2020). Upper room Ultraviolet Germicidal Irradiation (UVGI).
<https://www.rehva.eu/rehva-journal/chapter/upper-room-ultraviolet-germicidal-irradiation-uvgi>
18. ASHRAE 2023.
https://www.ashrae.org/file%20library/technical%20resources/covid-19/i-p_a19_ch62_uvairandsurfacetreatment.pdf
19. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). (2020). ASHRAE Position Document on Filtration and Air Cleaning.
<https://www.ashrae.org/file%20library/about/position%20documents/filtration-and-air-cleaning-pd.pdf>
20. Kowalski, W. (2009). Ultraviolet Germicidal Irradiation Handbook: UVGI for Air and Surface Disinfection. Springer.
21. Miller, S. L., & Hernandez, M. (2020). Evaluating the performance of UVC lamps for HVAC systems. *Building and Environment*, 179, 106975.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106975>
22. ASHRAE. (2021). Ultraviolet Air and Surface Treatment. In *HVAC Applications Handbook* (Chapter 62).
23. Memarzadeh, F. (2021). Guidelines for Environmental Infection Control in Health-Care Facilities – Use of UVGI. National Institutes of Health (NIH).
24. Franchimon, F. (2020) Upper room Ultraviolet Germicidal Irradiation (UVGI).
<https://www.rehva.eu/rehva-journal/chapter/upper-room-ultraviolet-germicidal-irradiation-uvgi>
25. Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM). (2023). *Faktablad: Far-UVC (222 nm) och säkerhet*. <https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se>
26. Barber, V. P., Goss, M. B., Franco Deloya, L. J., et al. (2023). *Indoor Air Quality Implications of Germicidal 222 nm Light*. *Environmental Science & Technology*, 57(42), 15990–15998. <https://doi.org/10.1021/acs.est.3c05680>
27. Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM). (2023). *Hälsorisker med UVC-strålning vid desinfektion – en kunskapssammanställning* (SSM 2023:05).
<https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se>
28. ACGIH. (2022). Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents & Biological Exposure Indices. [TLV/BEI Guidelines - ACGIH](#)
29. Malayeri, A. H., Mohseni, M., Cairns, B., & Bolton, J. R. (2016). Fluence (UV Dose) required to achieve incremental log inactivation of bacteria, protozoa, viruses and algae. *IUVA News*, 18(3), 4-6.
30. Schulster LM, et. al. Guidelines for environmental infection control in health-care facilities. Recommendations from CDC and the Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee (HICPAC). Chicago IL; American Society for Healthcare Engineering/American Hospital Association, 2003.
<https://www.cdc.gov/infectioncontrol/pdf/guidelines/environmental-guidelines-P.pdf>
31. Nunayon SS, Zhang H, Lai ACK. Comparison of disinfection performance of UVC-LED and conventional upper-room UVGI systems. *Indoor Air*. 2020 Jan;30(1):180-191. doi: 10.1111/ina.12619. Epub 2019 Dec 1.
32. [Strålskyddslag \(2018:396\) | Sveriges riksdag](#)
33. Strålsäkerhetsmyndigheten. (2024). Rapport från SSM:s vetenskapliga råd om ultraviolett strålning 2023 (Rapport 2024:08). Hämtad från
<https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/contentassets/916fe0e3c5cc44c3b176c51445c535f6/202408.pdf>

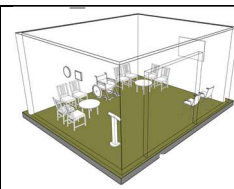
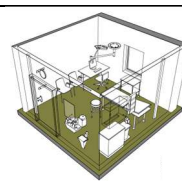
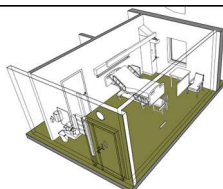
34. [SSMFS 2008:48 Strålsäkerhetsmyndighetens allmänna råd om hygieniska riktvärden för ultraviolett strålning](#)
35. [Produktsäkerhetslag \(2004:451\) | Sveriges riksdag](#)
36. [Elsäkerhetslag \(2016:732\) | Sveriges riksdag](#)
37. [artificiell-optisk-stralning-foreskrifter-afs2009-7.pdf](#)
38. Arbetsmiljöverket. (2023). Arbetsmiljöverkets föreskrifter och allmänna råd (AFS 2023:14) om gränsvärden för luftvägsexponering i arbetsmiljön. Hämtad från <https://www.av.se/arbetsmiljoarbete-och-inspektioner/publikationer/foreskrifter/afs-202314/forfattningshistorik-afs-202314/>
39. Europeiska direktivet 2006/25/EG om skydd av arbetstagare mot risker från artificiell optisk strålning. [Direktiv - 2006/25 - EN - EUR-Lex](#)
40. IEC 62471: Photobiological safety of lamps and lamp systems.
41. ISO 15858:2016 – UV-C safety standards for germicidal equipment.
42. DIN Technical Specification 67506 – Germicidal UV-C devices – Performance and test methods
43. UL 8802 Standard for Safety for Ultraviolet Germicidal Equipment
44. Afshari et al. (2020). Electrostatic Precipitators as an Indoor Air Cleaner—A Literature Review. Sustainability 2020, 12(21), 8774. <https://doi.org/10.3390/su12218774>
45. Agranovski, I. E., Huang, R., Pyankov, O. V., Altman, I. S., and Grinshpun, S. A. (2006). Enhancement of the performance of low-efficiency HVAC filters due to continuous unipolar ion emission. Aerosol Sci. Technol. 40:11, 963–968. <https://doi.org/10.1080/02786820600833203>
46. Ekberg, L. och Shi Bingbing (2010) Performance of Ionizer Assisted Air Filtration - Evaluation of long-term performance and influencing factors , CIT Energy Management AB, Chalmers Univ. ovh Technology, BELOK project 2011:6. <https://belok.se/wp-content/uploads/2023/03/Jonisering-for-effektivisering-av-grundfilter.pdf>
47. Li, Xing, Blatchley, Ernest R., Validation of In-Room UV-C-Based Air Cleaners, Indoor Air, 2023, 5510449, 14 pages, 2023. <https://doi.org/10.1155/2023/5510449>
48. Kujundzic, E., Matalkah, F., Howard, C. J., Hernandez, M., & Miller, S. L. (2006). UV Air Cleaners and Upper-Room Air Ultraviolet Germicidal Irradiation for Controlling Airborne Bacteria and Fungal Spores. Journal of Occupational and Environmental Hygiene, 3(10), 536–546. <https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/contentassets/916fe0e3c5cc44c3b176c51445c535f6/202408.pdf>
49. Tseng, T. K., et al. (2010). A review of photocatalysts prepared by sol-gel method for VOCs removal. Int. J. Mol. Sci. 11(6), 2336. <https://doi.org/10.3390/ijms11062336>
50. Tejasvi, R., Sharma, M., and Upadhyay, K. (2015). Passive photo-catalytic destruction of airborne VOCs in high traffic areas using TiO₂-coated flexible PVC sheet. Chem. Eng. J. (Supplement C) 262, 875–881. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.10.040>
51. Afshari, Alireza; Seppänen, Olli; Olesen, Bjarne W.; Mo, Jinhan. (2021). Effect of Portable Gas-Phase Air Cleaners on Indoor Air Quality. REHVA Journal, 05/2021, <https://www.rehva.eu/rehva-journal/chapter/effect-of-portable-gas-phase-air-cleaners-on-indoor-air-quality>

Appendix A – Indata för beräkningar

Typrum

	Vårdrum för en patient	Undersökningsrum	Väntrum
Takhöjd [m]	2,7	2,7	2,7
Golvarea [m ²]	18	16	25
Ytterväggsarea [m ²]	10	11	0
Fönsterarea [m ²]	1,5	1,5	0
Luftflöde vid frånvaro [l/sm ²]	-	0,35	0,35
Yttervägg, U-värde [W/m ² K]	0,15	0,15	-
Fönster, U-värde [W/m ² K]	0,9	0,9	-
Fönster, g-värde [-]	0,3	0,3	-
Solavskärmning	Nej	Nej	-
SFP [kW/(m ³ /s)]	1,3	1,3	1,3
Lufttäthet vid 50 Pa [l/sm ²]	0,3	0,3	-
Temperaturverkningsgrad [%]	85	85	85
Ventilationstyp	CAV	VAV	VAV
Tilluftstemperatur [°C]	20	20	17
Personnärvaro	Alltid en person, Ytterligare en person 10 % av tiden 8-18.	Två personer 6 h per dygn.	I genomsnitt 4 personer kl. 8-18.
Belysning (dag/natt) [W/m ²]	5 / 1	5 / 1	2 / 1
Apparater [W/m ²]	2 / 2	4 / 1	4 / 0
Rumstemperatur, vinter [°C]	21 - 23	21 - 23	19 - 23
Rumstemperatur, sommar [°C]	22 - 25	22 - 26	21 - 26
Värme	Fjärrvärme, radiatorer	Fjärrvärme, radiatorer	Fjärrvärme, radiatorer
Kyla	Fjärrkyla, kylbafflar	Fjärrkyla, kylbafflar	Fjärrkyla, kylbafflar

Skisser tillhandahållna av PTS



Exempelbyggnad

	Areor och volymer	Tot. Area (m ²)	Tot. Volym (m ³)	Antal rum (st)	Antal per halv vån (st)	Area per rum (m ²)	Volym per rum (m ³)	luftflöde min (l/s)	Total flöde (l/s)	cirkulationsflöde l/s
	Total yta typbyggnad	5000	13500	276,9	27,7					
	Yta vådrum	3500	9450	194,4	19,4	18,0	48,6	27	41	14
	Yta undersökningsrum	1000	2700	62,5	6,3	16,0	43,2	24	36	12
	Yta väntrum	500	1350	20	2,0	25,0	67,5	38	150	113
	Per halv våningsplan									
	Antal vådrum	Antal undersökningsrum	Antal väntrum	luftflöde min (l/s)	Total flöde (l/s)	Total flöde (l/s)	luftflöde min (l/s)	Antal undersökningsrum	Antal vådrum	
vån 1	19,4	6,3	2,0	750,0	1312,5	1312,5	750,0	2,0	6,3	19,4
vån 2	19,4	6,3	2,0	750,0	1312,5	1312,5	750,0	2,0	6,3	19,4
vån 3	19,4	6,3	2,0	750,0	1312,5	1312,5	750,0	2,0	6,3	19,4
vån 4	19,4	6,3	2,0	750,0	1312,5	1312,5	750,0	2,0	6,3	19,4
vån 5	19,4	6,3	2,0	750,0	1312,5	1312,5	750,0	2,0	6,3	19,4
	Totalt per halv våningsplan			3750	6563	6563	3750			
	Totalt flöde per hus max			13125,0						
	Totalt flöde per hus min			7500,0						

Appendix B – Antaganden för UV-C kostnadskalkyl

- Produktdata och produktkostnader kommer från följande tillverkare:
 - UV-C i kanalsystem: FläktGroup
 - UV-C-enheter på rumsnivå (upper-room): takenheter GC02 och rumsenheter AF60 från Macwarren
 - Fristående UV-C-enheter: UVG 80 från Dinies
 - Far UV-C-enheter: UV222 Downlight från UV Medico
- Elenergianvändning för traditionell ventilation inkluderar endast fläktel. För UV-C-system i ventilationskanaler inkluderas både fläktel och elanvändning för UV-C-delen. För övriga tekniker inkluderas endast elanvändning för UV-C-armaturerna.
- Investeringskostnaden för UV-C-system i ventilationskanal baseras på ett cirkulationssystem med F9-filter och UV-C-del på frånluftssidan (enligt tillverkarens rekommendationer). I kostnadsberäkningen har skillnaden mellan ett aggregat med HEPA-filter (F9 + M5) och ett aggregat med UV-C-teknik beräknats och sedan adderats till priset för recirkulationssystemet.
- För lampbyten i *upper-room* UV-C rumsenheter och fristående UV-C enheter antas ingen ökad kostnad relaterad till krav på särskild kompetens. Dock behövs särskild kompetens för lampbytet i UV-C enheter i kanalsystemet (ventilationsaggregatet) och för Far UV-C armaturer. Enligt tillverkare för UV-C enheter som installeras i ventilationsaggregat får alla installations-, underhålls- och rengöringsarbeten endast utföras av godkänd personal med lämplig utbildning och de rekommenderar att ett underhållsavtal tecknas med leverantören, där både service och byte av lampor ingår. Uppgifter för dessa servicekostnader saknas och därför baseras kostnaderna på en uppskattning och antagen timpris 600 kr/h. För Far UV-C enheter byts hela armaturen ut för 7000 SEK, enligt tillverkaren.
- Den årliga driftkostnaden för lampbyte baseras på olika drifttider i olika rum. Byte sker årligen, vartannat år eller mer sällan. Antalet drifttimmar per rum har dividerats med lampans livslängd (i timmar) och multiplicerats med kostnaden för nya lampor.
- Arbetskostnader för installation av en UV-C armatur bygger på installationskostnad för en typisk belysningsarmatur, antagen arbetstid 0,5 timmar per lampa. Kostnaden är hämtad från Wikells sektionsfakta.