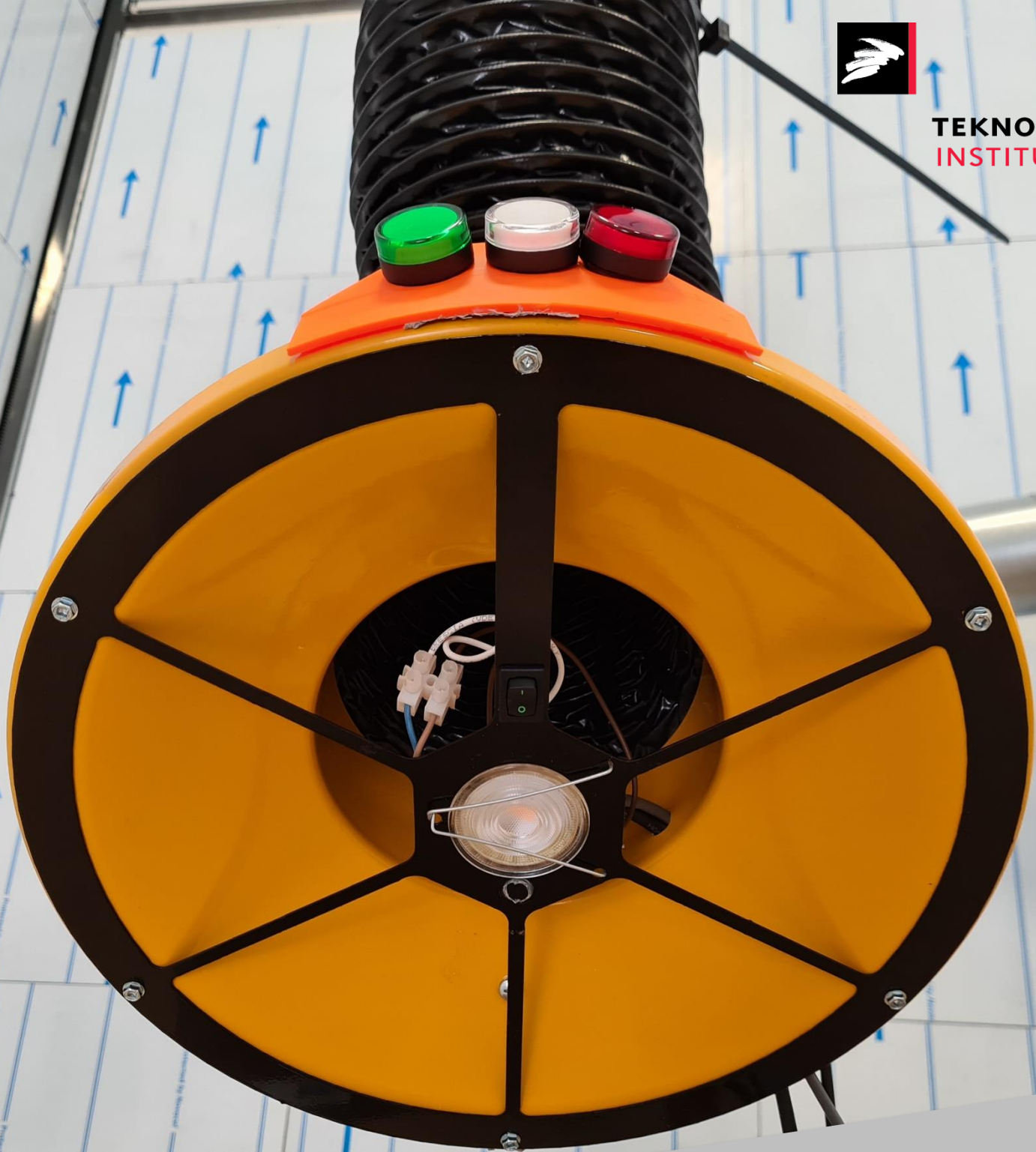


TEKNOLOGISK
INSTITUT



INTELLIGENT ENERGIEFFEKTIV PROCESVENTI- LATION DESIGNGUIDE

Juli 2022

Indholdsfortegnelse

	Side
1 Indledning	3
2 Baggrund	3
3 Procesventilation	3
4 Behovsanalyse	4
4.1 Procesudsugningsprincipper	5
4.1.1 Omslutningsprincippet	6
4.1.2 Modtagerprincippet	6
4.1.3 Gribepincippet	7
4.1.4 Opsamlingsprincippet	8
4.2 Procesventilationsprincipper	9
4.2.1 Opblandingsventilation	9
4.2.2 Fortrængningsventilation	10
4.3 Typer af forureningskilder	12
4.3.1 Uopvarmede (kolde) kilder (diffusionskilder)	12
4.3.2 Varme kilder	12
4.3.3 Dynamiske kilder	13
4.4 Diagram for behovsanalyse af procesventilationssystemer	13
5 Dimensionering af procesventilationsanlæg	15
5.1 Right sizing	15
5.2 Recirkulering	15
5.2.1 Koncept for recirkulering	15
6 Energiforbrug til procesventilation	17
6.1 Energiforbrug til ventilationsaggregat	17
6.2 Energiforbrug til opvarmning af luft	17
6.3 Energiforbrug til køling af luft	19
7 Energimærkning	20
7.1 Energimærkning af ventilationsaggregater	20

1 Indledning

Korrekt valg af ventilationsprincip samt hensigtsmæssig opbygning af indblæsnings- og udsugningssystemerne er en meget vigtig faktor for at opnå et tilfredsstillende arbejdsmiljø i produktionslokaler, hvor der udføres processer som forårsager emission af støv, gasser etc.. Derfor er det en hjælp at have nogle retningslinjer for at sikre arbejdsmiljøet. Der kan ikke anvendes de samme løsninger overalt, men løsningerne må ofte skræddersys i hvert enkelt tilfælde under hensyntagen til de forskellige aktiviteter og processer. Dette udelukker ikke, at der kan anvendes en vis metodik, således at der kan opstilles nogle ensartede retningslinjer, der kan genanvendes ved løsningen af de respektive opgaver. I denne guide er der anvist en metodik, der kan anvendes i forbindelse med nyinstallation eller renovering af procesventilationsanlæg, samt en række opmærksomhedspunkter der bør inddrages under projektforløbet.

Denne guide skal bidrage til at styrke viden om de dimensioneringsmæssige forhold, som man skal være opmærksom på, når man står overfor at skulle installere eller renovere et proces- og komfortventilationssystem, samt de energimæssige og totaløkonomiske konsekvenser ved installation af egnede procesventilationssystemer.

Denne guide er udviklet som en del af ELFORSK projektet "Intelligent energieffektiv procesventilation" med projektnr. 352-033. Projektet er finansieret af ELFORSK programmet, der er udført i perioden 1. april 2020 til medio maj 2022. Der henvises i den forbindelse til rapporten for fornævnte projekt.

2 Baggrund

I denne guide er der fokus på minimering af luftmængder, brug af recirkulation, samspil med ventilationen i øvrigt, og fastholdelse af et sikkert arbejdsmiljø. I det omfang det er muligt at reducere luftmængderne medfører det mindre anlæg, mindre energiforbrug til lufttransport og nye effektive muligheder for luftrensning, varmegenvinding og recirkulation. Derfor har et været ét af projektets primære fokusområder, at udvikle og demonstrere nye intelligente løsninger til procesventilation, der medfører minimering af luftmængder, brug af recirkulation, samspil med ventilationen i øvrigt, og fastholdelse af et sikkert arbejdsmiljø. Reducerede luftmængder medfører mindre anlæg, mindre energiforbrug til lufttransport og nye effektive muligheder for luftrensning, varmegenvinding og recirkulation. Recirkulation af ventilationsluften giver muligheder for energibesparelser, herunder på elforbrug til lufttransport, samt reduktion af supplerende opvarmning og rensning af friskluften.

De intelligente løsninger omfatter dels intelligente procesudsug, dels intelligent styring af procesventilation i samspil med lokaleventilation, der ligeledes udvikles og demonstreres i projektet.

3 Procesventilation

Der er krav om procesventilation, når der under en arbejdsproces udvikles luftarter, støv eller lignende, der er sundhedsskadelige eller eksplosive. Det gælder også, hvis der udvikles røg, mikroorganismer, aerosoler, ildelugt eller anden generende luftforurening.

Procesventilation kræves, selv om den forurenende arbejdsproces ikke forekommer hele tiden. Det er nok, at den er jævnlige gentaget og af en vis varighed, f.eks. ved afvaskning af grafiske trykvalser, arbejde med anæstesisgas og reparations svejsning.

Bestemmelserne gælder enhver forurening, der har sammenhæng med en arbejdsproces, herunder også forurening i forbindelse med for- og efterbehandling, f.eks. klargøring og tørring.

Procesventilationen skal indrettes, så den nedbringer luftforureningen effektivt. Det er ikke tilstrækkeligt at nedbringe forureningen til en eventuel grænseværdi, hvis det er muligt og rimeligt under hensyntagen til den tekniske udvikling at fjerne luftforureningen yderligere. En grænseværdi er ikke udtryk for en projekteringsnorm.

Procesventilation skal så vidt muligt etableres med procesudsugningen i direkte tilknytning til den forurenende arbejdsproces, - det vil sige punktudsugning. Et punktudsug fungerer ved, at der hvor forureningen er, tilvejebringes en hastighed, der er stor nok til at indfange forureningen. Punktudsugning har fordele frem for almen ventilation alene, fordi den sikrer et bedre klima ved arbejdsstedet, og fordi den reducerer kravet til almen ventilation, men man kan ikke dirigere luftstrømninger i et lokale alene ved udsugning.

Selv om punktudsugningen er så effektiv som muligt i forhold til arbejdsprocessen, kan forureningen måske alligevel, på grund af sin eller arbejdsprocessens art, slippe forbi punktudsugningen og spredes til rummet. Det kan f.eks. være tilfældet ved svejsning. I de tilfælde vil der normalt være behov for at etablere rumventilation som supplement til punktudsugningen.

Endvidere kan der i mange situationer forekomme små, spredte forureningskilder, hvor det ikke vil være muligt eller rimeligt at etablere punktudsugning ved hver enkelt arbejdsproces. I de tilfælde skal der etableres en procesventilation, der består af rumventilation.

Ligeledes i lokaler, hvor forurening finder sted, bør der holdes undertryk i forhold til de omkringliggende rum, der ikke ønskes forurenede. Der må udsuges mere, end der indblæses. En opstilling og vurdering af luftbalancen foretages ved at sammentælle den indblæste og udsugede volumenstrøm for hvert rum og undersøge, om det tilfredsstiller ønsket om overtryk eller undertryk. Dernæst sammentælles hele bygningens indblæste og udsugede volumenstrøm, og det vurderes, om det indblæses mere end der udsuges, hvilket normalt tilstræbes for at undgå indsvivning af luft gennem utætheder.

Afkastningsluften fra udsugningen skal i flere tilfælde også filtreres og eventuelt opsamles mv. inden afkast til det fri efter regler i miljølovgivningen.

4 Behovsanalyse

I dette kapitel beskrives hvorledes der kan foretages en analyse af behovet for industriel procesventilation. Med udgangspunkt i kilderne/forureningstyperne bliver det ved hjælp af behovsanalysen muligt at vælge de mest hensigtsmæssige ventilationsprincipper samt det mest hensigtsmæssige indblæsnings- og udsugningssystem. Behovsanalysen er illustreret med et rutediagram hvor det trin for trin gennemgås, hvilke analyser der skal foretages før det rigtige valg af installation kan træffes. Det er vigtigt at udføre en ordentlig behovsanalyse, så senere omkostningskrævende ændringer i valg af system, valg af anlæg, valg af reguleringsform m.v. undgås.

Kravene til procesventilation i industrien er fastsat af Arbejdstilsynet. Arbejdstilsynets regler om faste arbejdssteders indretning angiver, at der skal etableres en mekanisk udsugning ved arbejdsprocesser, der udvikler luftarter, støv e.l., som er sundhedsskadelige, eksplosive, udvikler røg, mikroorganismer, aerosoler, ildelugt eller anden generende luftforurening. Procesventilation skal, så vidt muligt, etableres med procesudsugningen i direkte tilknytning til den forurenende arbejdsproces - det vil sige punktudsugning. Selv om punktudsugningen er så effektiv som muligt i forhold til arbejdsprocessen, kan forureningen måske alligevel, på grund af sin eller arbejdsprocessens art, slippe forbi punktudsugningen og spredes til rummet. Det kan f.eks. være tilfældet ved svejsning. I de tilfælde vil der normalt være behov for at etablere rumventilation som supplement til punktudsugningen.

Når en virksomhed står over for at skulle installere et procesventilationsanlæg, er det nødvendigt at der først foretages en karakteristik af den eller de forureningskilder, der findes i lokalerne. Karakteriseringen af forureningskilden eller - kilderne skal indeholde vurderinger af hvilke og hvor store forureningsmængder der afgives. Karakteriseringen skal endvidere indeholde vurderinger af hvorledes forureningerne spredes samt hvilke ydre faktorer der har indflydelse på denne spredning. Endelig skal karakteriseringen vurdere eventuelle varmeafgivelser og deres indflydelse på det termiske indeklima. Når der er foretaget en karakteristik af forureningskilden eller - kilderne, er næste skridt i behovsanalysen at vurdere, hvorledes de afgivne forureningsmængder kan reduceres mest muligt. I forbindelse med dette, skal det først og fremmest vurderes, om det er hensigtsmæssigt og muligt at foretage en total indkapsling af forurenings- og varmekilderne. En total indkapsling af processen er altid den bedste løsning med hensyn til arbejdsmiljøet, men er sjældent mulig på grund af overvågning og arbejdsprocessens udførelse. Hvis det ikke er muligt at foretage en total indkapsling af processen, bør det undersøges, om en delvis indkapsling er mulig. Hvis en total eller delvis indkapsling ikke er mulig skal det vurderes hvilket procesventilationsprincip, der vil være det bedst egnede. Her er det væsentligt at der tages hensyn til forureningens naturlige bevægelsesmønster og hvorledes forureningen spredes samt hvilke ydre faktorer der har indflydelse på denne spredning.

4.1 Procesudsugningsprincipper

Afhængig af hvilken type forureningskilde der er tale om, kan der vælges mellem nedenstående fem procesventilationsprincipper:

- Omslutningsprincip
- Modtagerprincip
- Gribepincip
- Mekanisk opsamling
- Simpel udsugning

Uanset hvilket udsugningsprincip der vælges i det konkrete tilfælde er udformningen af sugestedet yderst vigtigt, når udsugningen skal være effektiv samtidig med at energiforbruget (dermed luftmængden) skal være lavt. Det er i den forbindelse især vigtigt at skærme forureningskilde bedst muligt af. Ved dimensionering af procesudsugning er det vigtigt at forureningens naturlige bevægelsesretning studeres, og der vælges den udsugningsretning, der understøtter forureningens naturlige bevægelse. Bevægelsen kan være bestemt af termisk opdrift, almen ventilation, arbejderens bevægelser, værktøjets eller arbejdsstykkets bevægelse. Forureningens massefylde i forhold til luften spiller en vis rolle. For dampe er det dog sjældent, at de i luftblanding bevæger sig på anden måde end luft. En anden væsentlig faktor ved dimensionering af et

lokalt udsug er at vurdere, hvor tæt udsugningsåbningen kan placeres ved forureningsstedet; jo nærmere des bedre virkning for samme lufthastighed i sugeåbningen.

Projektets haft til formål var at udvikle automatik til procesudsug, der kan assistere brugeren ved at tilpasse udsugningen til det faktisk, aktuelle behov, herunder at afbryde udsugningen når der ikke er behov.

4.1.1 Omslutningsprincippet

Omslutningsprincippet anvendes primært i forbindelse med udsugning fra processer, hvor der udvikles dampe/gasser der kan være helbredsskadelige og hvor det derfor vigtigt at udsugningen er meget effektiv, f.eks. i forbindelse med maleprocesser. Ved omslutningsprincippet kan der være tale om:

- En total indkapslet proces
- En delvist indkapslet proces

Set i forhold til udsugningseffektivitet og energiforbrug er det bedst at indkapsle den forurenende proces. Der skal kun opretholdes et svagt undertryk i indkapslingen for at fjerne forureningen effektivt, og den udsugede luftmængde kan derved være meget lille. I visse tilfælde vil det være hensynet til varmeafgivelse, eksplosionsfare og minimum bærehastighed i kanalsystemet hvis der er partikelemission, som vil være dimensionerende for den udsugede luftmængde. Som eksempel på total indkapslede processer kan nævnte CNC'drejebænke og plaststøbemaskiner, der placeret i lukkede kabinetter med udsugning. I de mange tilfælde vil det ikke være muligt at foretage en total indkapsling af den forurenende proces, da det vil forhindre tilstrækkelig personadgang til processen. Når det ikke af hensyn til processen er muligt at foretage en total indkapsling kan processen indkapsles delvist, dvs. at den ene af de seks side i indkapsling er helt eller delvist åben. Et par eksempler på delvist indkapsling er en malekabine og et stinkskab, hvor kun den side der har front mod operatøren er åben. I åbningen opretholdes tilstrækkelig hastighed til at forureningen ikke undslipper udsugningen. Det er vigtigt at udsugningen fra indkapslingen udformes så der skabes en ensartet lufthastighed over hele det åbne areal.

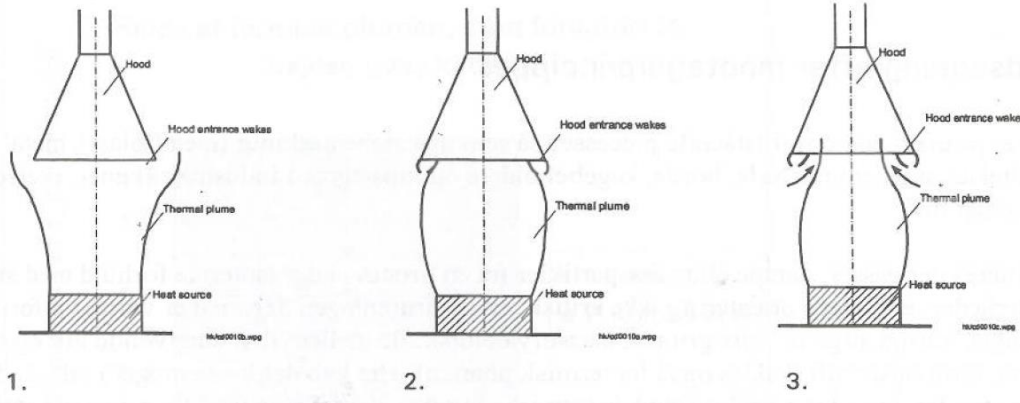
4.1.2 Modtagerprincippet

Modtagerprincippet er typisk det bedst egnede ved varme forureningskilder, som f.eks. opvarmede kar eller smelteovne. Punktudsugter placeres over den varme forureningskilde, således at udsugter opfanger emissionen, der stiger op fra processen. Hvis der emitteres gasser/dampe eller partikler ved samme temperatur som rumtemperaturen og med små hastigheder, er placeringen af udsugningen ikke kritisk. Men hvis der er en betydelig termisk belastning vil den varme forurening stige til vejrs som følge af den termiske opdrift, og det kan være svært at indfange forureningen hvis udsugningen ikke sker direkte over varmekilden, da der skal arbejdes mod de termiske kræfter. Det er vigtigt, at udformningen af udsugningen har en størrelse, der kan modtage den opstigende luftstrøm samt at udformningen af udsugningen er udført så den sikrer mod at en del af varmen forlader udsugningen igen som følge af bevægelser oppe i udsugningen. Udsugningen skal være forsynet med reflektorer, der sikrer at en del af emissionen undslipper udsugningen.

Når den varme luft (forurening) stiger til vejrs kan der opstå tre forskellige situationer:

1. Luftstrømmen er større ved sugehovens underkant end den udsugede luftmængde – situation 1

2. Luftstrømmen er af samme størrelse ved sugehovens underkant end den udsugede luftmængde – situation 2
3. Luftstrømmen er mindre ved sugehovens underkant end den udsugede luftmængde – situation 3



Figur 4.1.1 Luftstrøm i forhold til udsugets størrelse.

Det ses, at hvis den udsugede luftmængde er mindre end den opstigende luftstrøm vil en del af forureningen ikke blive fanget og forsvinder til omgivelserne (situation 1). På den anden side suges der unødigt hvis den udsugede luftmængde overstiger behovet (situation 3). Den mest effektive udsugning skabes når der er passende overensstemmelse mellem den opstigende luftstrøm og den udsugede luftmængde (situation 2).

4.1.3 Gribeprincippet

Gribeprincippet er typisk det bedste egnede forureningskilder der ikke er varme, som f.eks. malesprøjteprocesser eller uopvarmede kar. Punktudsug indfanger eller griber emissionen i en vis afstand fra forureningskilden. I nogle tilfælde er det typisk pga. arbejdsprocesserne nødvendigt at anvende gribeprincippet ved varme forureningskilder, - f.eks. ved svejsning. Ved gribeprincippet indfanges og fjernes forureningen fra en proces ved at skabe en så kraftig luftbevægelse ved forureningen at den ledes til udsugningen. Ved svejseprocesser er der tale om en kombination af gribe- og modtagerprincippet, da svejserøgen er varm. Uanset hvilken type forurening der er tale om, er det vigtigt at sugestedet placeres så tæt på kilden som overhovedet muligt. Udsug efter gribeprincippet kan give anledning til høje udsugede luftmængder. Ud fra et energioekonomisk – og også arbejdsmiljømæssigt – synspunkt bør udsugninger derfor så vidt muligt udformes efter omslutnings- eller modtageprincippet.

Punktudsug

Den allerstørste ulempe ved punktudsug er, at afstanden fra udsuget til forureningskilden i praksis varierer alt efter brugerens evne til at placere udsuget tæt på forureningskilden. Ved at holde en konstant, kort afstand til kilden kan luftmængden nedsættes og effektiviteten alligevel som minimum bevares. I dag er punktudsug karakteriseret ved, at der som oftest benyttes en fleksibel men manuel sugearm, som indstilles af brugeren til en given position i forhold til arbejdsområdet og dermed forureningskilden. Efterhånden som arbejdet skrider frem, flytter den afgivne forurening i form af røg, støv, partikler eller skadelige gasser med selve bearbejdningen.

Oftentimes it can be difficult for the user in practice to move the point suction hood quickly enough to maintain the effectiveness of the point suction hood.

By making the point suction hood movable and/or automated, the goal is to keep the point suction hood within an effective distance from the source by moving the point suction hood after the pollution source or making the user aware that the point suction hood should be moved to maintain the effectiveness of the point suction hood. The following table illustrates the relationship between distance and suction effectiveness.

		Målinger med traktposition på skrå = 45° - Præsentation af ugeeffektivitet i % baseret på de udførte lattergas målinger i PPM & Korrektion af 100% værdier																						
Volumenstrøm (m ³ /h)	0/0	20/20	20/30	20/40	20/50	0/0	0/0	30/20	30/30	30/40	30/50	0/0	0/0	40/20	40/30	40/40	40/50	0/0	0/0	50/20	50/30	50/40	50/50	0/0
400	106,9	103,3	102,8	99,9	95,9	97,5	122,5	117,5	117,6	115,0	113,3	117,4	116,7	116,0	113,5	64,8	36,5	121,7	121,7	119,3	113,3	46,0	39,2	125,9
Sugeeffektivitet		98,4%	99,7%	98,7%	96,5%			96,8%	97,6%	96,2%	95,6%			98,5%	95,6%	54,1%	30,2%			97,3%	91,8%	37,0%	31,4%	
500	120,7	112,7	111,1	106,4	88,0	98,1	121,9	116,4	116,1	98,6	96,5	118,3	143,6	137,1	132,7	111,6	85,3	146,4	146,4	141,0	139,5	93,7	84,9	145,0
Sugeeffektivitet		97,0%	99,5%	99,3%	85,7%			96,0%	96,3%	82,3%	81,1%			95,1%	91,7%	76,8%	58,5%			96,5%	95,7%	64,4%	58,5%	
600	151,9	149,8	149,6	149,1	145,8	156,3	146,4	144,1	142,5	141,6	111,5	148,4	148,4	142,8	129,2	117,6	116,2	156,1	145,7	142,8	147,2	141,1	140,4	156,5
Sugeeffektivitet		98,0%	97,3%	96,4%	93,8%			98,2%	96,8%	95,9%	75,3%			95,2%	85,3%	76,8%	75,2%			96,6%	98,1%	92,7%	91,0%	
700	133,0	132,7	132,4	132,0	127,8	136,2	136,0	134,6	138,4	139,8	133,7	135,6	135,3	130,5	131,6	131,5	130,6	132,2	132,0	130,7	131,6	130,2	128,7	132,5
Sugeeffektivitet		99,3%	98,6%	97,9%	94,3%			99,0%	101,9%	103,0%	98,6%			96,9%	98,1%	98,5%	98,3%			98,9%	99,5%	98,4%	97,2%	
800	118,6	119,7	119,1	122,3	125,0	128,2	128,7	123,9	125,2	126,3	125,8	127,8	127,1	122,2	121,1	123,8	127,4	129,3	128,0	122,4	123,8	123,7	121,1	127,4
Sugeeffektivitet		99,3%	97,3%	98,3%	99,0%			96,4%	97,6%	98,5%	98,3%			95,8%	94,6%	96,4%	98,8%			95,7%	96,9%	96,9%	94,9%	
934	142,3	139,7	142,9	141,9	141,3	145,2	145,0	141,8	141,1	140,6	139,8	144,5	144,5	139,7	139,6	138,3	138,4	142,5	141,6	140,0	138,3	137,7	136,9	141,3
Sugeeffektivitet		97,7%	99,6%	98,5%	97,7%			97,8%	97,4%	97,2%	96,7%			96,9%	97,1%	96,5%	96,8%			98,9%	97,8%	97,4%	96,9%	

Værdien fx 20/30 betyder henholdsvis 20 cm lodret over sporgskilde og 30 cm vandret væk fra sporgskilde. Det giver en direkte afstand på 36 cm

Figur 4.1.2 Udsugningseffektivitet som funktion af den vandrette og lodrette afstand til forureningskilden.

The suction effectiveness is expressed as a function of the horizontal and vertical distance to the pollution source in centimeters, i.e. that the values in the column 20/30 are the suction effectiveness, if the horizontal distance is 20 cm and the vertical distance is 30 cm at the mentioned flow rates. The table shows that a point suction hood with a suction air flow of just over 1.000 m³/h can handle a distance between the pollution source and the point suction hood of around 50/50 without a noticeable reduction in suction effectiveness. If the air flow is reduced to half or around 500 m³/h the distance should not exceed around 30/30. It is evaluated that the suction effectiveness should be over 95% to ensure the working conditions.

4.1.4 Opsamlingsprincippet

Mechanical collection is the best suited for dynamic pollution sources, such as large particles generated by grinding or sanding of wood.

Simple suction is used for dilution ventilation, where the pollution is sought to be diluted with the fresh ventilation air and the polluted air is sucked out with a simple suction system, which typically consists of tag ventilators or grilles in the duct system. Simple suction can be used with both warm and unheated pollution sources, but is not energy efficient, as there must be used a lot of air volume similar to suction after the modulator- and gripprinciple.

4.2 Procesventilationsprincipper

Når der er valgt et procesudsugningsprincip skal der vælges et egnet og understøttende indblæsningsprincip. Afhængig af hvilken type forureningskilde der er tale om, kan der vælges mellem nedenstående tre indblæsningsprincipper:

- Opblandingsprincip
- Fortrængningsprincip, passiv
- Fortrængningsprincip, aktiv
- Stempelprincip

Opblandingsprincippet er typisk det bedst egnede ved industrielle processer med moderate forureningsemissioner og konvektionsstrømme, som f.eks. fræsning og slibning af metal eller træ. Den friske luft indblæses gennem armaturer, der er placeret jævnt fordelt under loftet, så den opblandes godt med rumluften og fordeler sig jævnt i lokalet. Opblandingsprincippet er energimæssigt ikke velegnet ved kraftige forureningsemissioner og store konvektionsstrømme. Det skyldes, at der skal indblæses store luftmængder for at fortynde forureningen og reducere temperaturen i arbejdszonen.

Fortrængningsprincippet kan anvendes både som passiv fortrængning, hvor indblæsningen foretages gennem indblæsningsarmaturer der typisk er placeret på gulvet. Den rene luft indblæses ved gulvet med en temperatur, der er lavere end rumtemperaturen. Herved vil indblæsningsluften presse den varme og forurenede luft opad, hvor den gradvist vil blive udsuget. Personer, der befinder sig ved gulvet, vil være i en ren zone. Passiv fortrængningsventilation er typisk det bedst egnede ved industrielle processer med kraftige forureningsemissioner og store konvektionsstrømme, som f.eks. smeltning af metal. Aktiv fortrængningsventilation (lokal lavimpulsindblæsning) er et indblæsningsprincip som er velegnet ved industrielle processer med kraftige forureningsemissioner og store konvektionsstrømme. Den friske luft indblæses de steder, hvor der er brug for den. Det termiske og atmosfæriske klima i arbejdszonen kan forbedres væsentligt ved anvendelse af dette indblæsningsprincip samtidig med at den indblæste luftmængde er væsentligt lavere end ved anvendelse af opblandings- og fortrængningsprincippet.

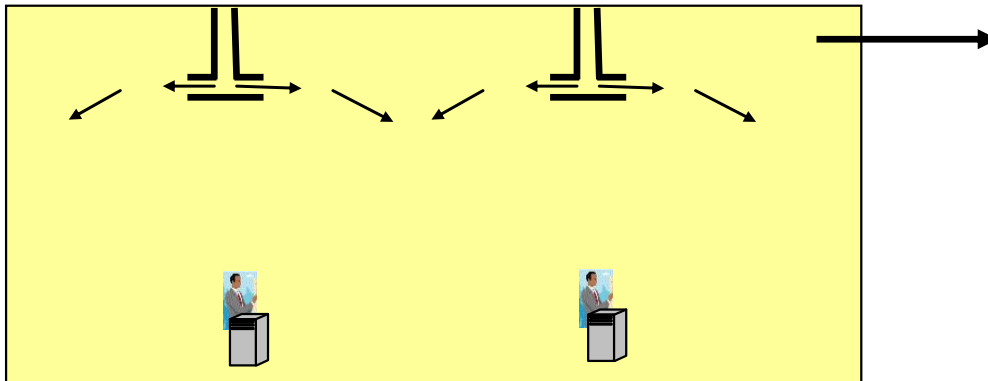
Stempelprincippet virker ved at indblæsningsluften tilføres under loftet og fortrænger rumluften nedad mod gulvet, hvorfra den udsuges. Dette princip er især anvendeligt i de tilfælde der er tale om kolde forureningskilder, - f.eks. gasser der er tunge end luft.

4.2.1 Opblandingsventilation

Ved opblandingsventilation, - også kaldet almen ventilation, tilføres den indblæste volumenstrøm lokalet gennem egnede indblæsningsarmaturer der kan placeres valgfrit i lokalet. Ventilationsprincippet der er illustreret med nedenstående figur, er blandt andet egnet til ventilation, opvarmning og køling. Effektiv opblanding fås dog kun i den del af lokalet der påvirkes af indblæsningsluften. Dette er et enkelt og meget anvendt princip, der dog har sine begrænsninger blandt andet som følge af:

- at det er svært at variere volumenstrømmen uden at strømningebilledet ændrer sig
- at overtempereret luft ofte kan give kortslutninger
- at lokale forureningskilder kan give områder med utilstrækkelig luftkvalitet

Ventilationsprincippet er uafhængigt af placeringen af udsugningen (-erne), der bør placeres under hensyntagen til lokalets forureningskilder.



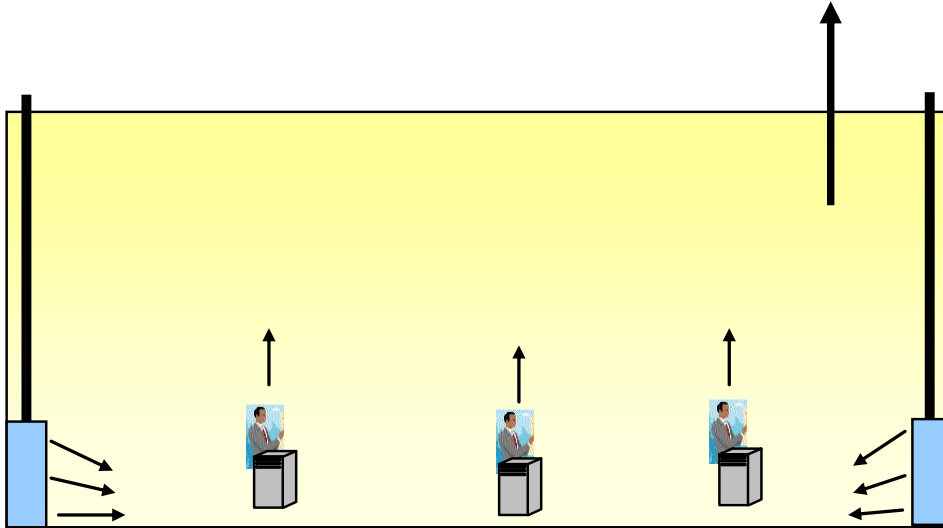
Figur 4.2.1 Opblandingsventilation.

4.2.2 Fortrængningsventilation

4.2.2.1 Passiv termisk fortrængning

Betegnelsen "passiv" anvendes fordi luftstrømningerne i opholdszonen alene styres af de termiske kilder i lokalet såsom personer, maskiner, varme processer og eventuel belysning, hvilket giver et strømningsbillede med kun opadrettede luftstrømme, der medfører at ventilationsprincippet kun er egnet til ventilation og køling af lokaler. Det grundlæggende er at varme og forurening bliver ført direkte væk fra opholdszonen og op mod loftet. Dette opnås normalt ved at de varme aktiviteter og processer, der finder sted i lokalet, skaber en opadrettet konvektionsstrøm. Konvektionsstrømmen bestående af varme og forurening, trækker omkringværende luft med sig, hvorved den opadrettede luftstrøm øges samtidig med at dens hastighed aftager.

Endvidere gælder det, at disse konvektionsstrømme virker sammen med den valgte ventilationsluft. Dette opnås almindeligvis ved at tilføre den rene luft nær gulv og udsuge den varme og forurenede luft nær loft, som vist på nedenstående figur. Der tales i denne forbindelse ofte om en grænselinje, der deler lokalet i en nedre ren og tempereret zone, samt en øvre varm og forurenede zone. Hertil kommer, at volumenstrømmen som tilføres den rene zone blandt andet har til formål at erstatte den luft, der på grund af konvektionsstrømmen føres væk fra opholdszonen, således at grænselinjen ligger mellem den rene og forurenede zone over opholdszonen. Passiv fortrængning har i rette sammenhæng mange gode egenskaber blandt andet ved at påvirke og fjerne varme forureninger i lokalet, hvorimod dens egenskaber er mere begrænsede, når der er tale om kolde og /eller neutrale forureninger. Udsugning placeres altid ved loft, men kan dog suppleres med punktudsugninger i arbejdszonen.

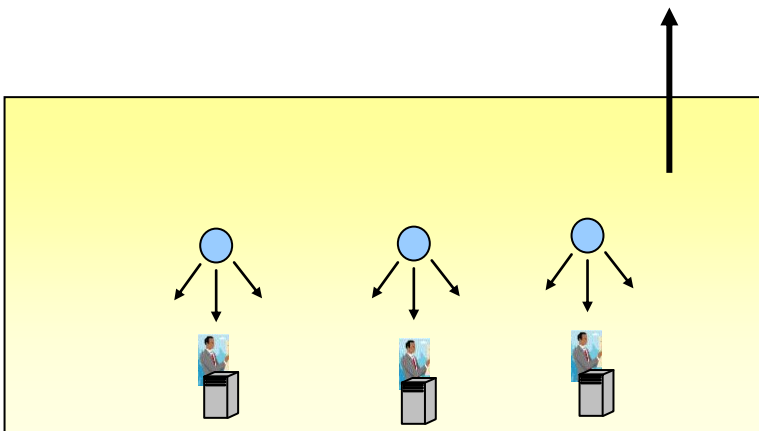


Figur 4.2.2 Passiv fortrængningsventilation.

4.2.2.2 Aktiv fortrængning

Betegnelsen "aktiv" anvendes fordi det netop er indblæsningsarmaturet der tillige med de termiske kilder forårsager luftstrømningerne (strømningsbilledet) i opholdszonen. Ventilationsprincippet er velegnet til ventilation, køling og i specielle tilfælde til opvarmning af lokaler. Det er karakteriseret ved at strømningsbilledet består af såvel opadrettede som nedadrettede luftstrømme, som illustreret med figur 4.2.3. Indblæsningsluften er nedadrettet og tilføres opholdszonen og/eller arbejdszonen ved hjælp af specielt konstruerede dysekanaler. Varme forureningskilder behandles som ved passiv termisk fortrængning, hvor forureningerne føres ned med konvektionsstrømmene mod loftet til udsugningsstederne. Kolde forureninger fortrænges af indblæsningsluften fra dysekanalerne mod gulvet til udsugningsstederne.

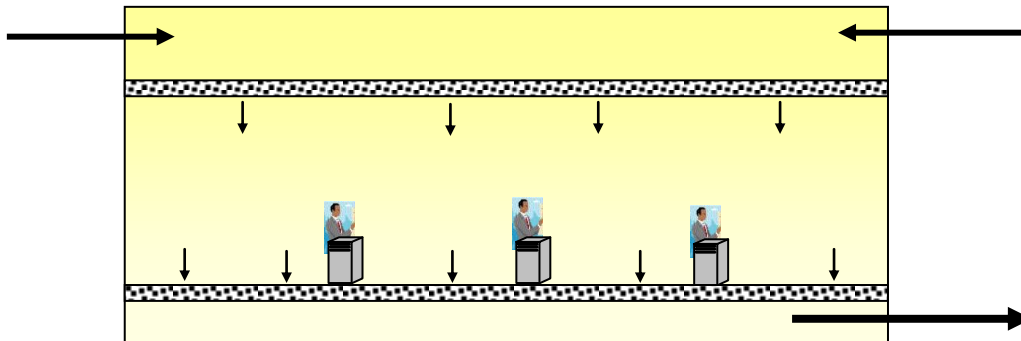
Hvis der er et varmebehov i opholdszonen, kan konvektionsstrømmene modvirkes ved at placere en dysekanal over varmekilden. Herved forhindres at ren luft strømmer ud af opholdszonen, samtidig med at varmen udnyttes. Endelig kan indblæsningsluften fra dysekanalerne anvendes til blot at tilføre erstatningsluft til punktudsugningerne. Der skal dog altid være udsugning ved loft.



Figur 4.2.3 Aktiv fortrængningsventilation.

4.2.2.3 Stempelfortrængning

Ved stempelfortrængning tilføres den indblæste volumenstrøm lokalet gennem filtre og fortrænger rumluften med en hastighed ned mod gulvet, hvor den udsuges som vist nedenstående. Ventilationsprincippet er velegnet til ventilation, opvarmning og køling.



Figur 4.2.4 Stempelfortrængningsventilation.

4.3 Typer af forureningskilder

I det følgende ses der nærmere på de forskellige forureningskilder, der typisk findes i industrien og hvordan forureningen spredes. Overordnet set kan spredning af forurening i luft inddeles i følgende:

1. Uopvarmede (kolde) kilder (diffusionskilder)
2. Varme kilder
3. Dynamiske kilder (partikler med høj starthastighed)

4.3.1 Uopvarmede (kolde) kilder (diffusionskilder)

Uopvarmede (kolde) kilder er karakteriseret ved at forureningen, - f.eks. gasser og dampe og i nogle tilfælde partikler, spredes ved diffusion i den omgivende luft i alle retninger. Spredningen af forureningen afhænger i meget betydelig grad af hastigheden og turbulensen af den omgivende luft. Mange gasarter og dampe udgør et sundhedsmæssigt problem og visse af dem udgør tillige sammen med luft en eksplosionsfare. Der er f.eks. tale om metanol, ethanol, acetone, ammoniak, benzen, butan og en lang række andre gasser.

De uopvarmede gasser og dampe blander sig med den omgivende luft og skal derfor fjernes så tæt på kilden som muligt for at undgå spredning og for at minimere den udsugede luftmængde. Gasserne og dampene er lette at bortsuge, da de uden videre bevæger sig med udsugningsluften. Det er vigtigt, at udsuget placeres på en sådan måde at udsugningsluften, der indeholder gasser og dampe, så vidt muligt ikke kommer ind i operatørens indåndingszone. Nogle dampe er dog tungere end luft og vil lægge sig ned mod en flade (bord eller gulv) og sprede sig ud over denne. Dette skal der tages hensyn til, når punktudsuget skal designes.

4.3.2 Varme kilder

Små varme kilder (punktkilder) er karakteriseret ved at forureningen spredes ved naturlig termisk opdrift omkring kilden. Der er f.eks. tale om svejse- og loddeprocesser, eller f.eks. drejning eller fræsning af metal, hvor der benyttes køle-smøremidler og hvor der kan dannes olietåger (dampe). Spredningen af forureningen afhænger i meget betydelig grad af turbulensen af den

omgivende luft. Typisk er disse processer dog placeret i lokaler, hvor luftbevægelserne kan betegnes som værende "rolige". De opvarmede gasser og dampe samt små partikler vil, på grund af den termiske opdrift, stige til vejrs. De skal fjernes så tæt på kilden som muligt for at undgå spredning og for at minimere den udsugede luftmængde. Det vil derfor være mest hensigtsmæssigt at placere udsuget over processen, men det er desværre ofte ikke muligt med en sådan placering ved f.eks. lodde- og svejseprocesser, da der er brug for at udsuget ikke er i vejen. Derfor vil udsuget ved denne type processer ofte være placeret i nærheden af kilden.

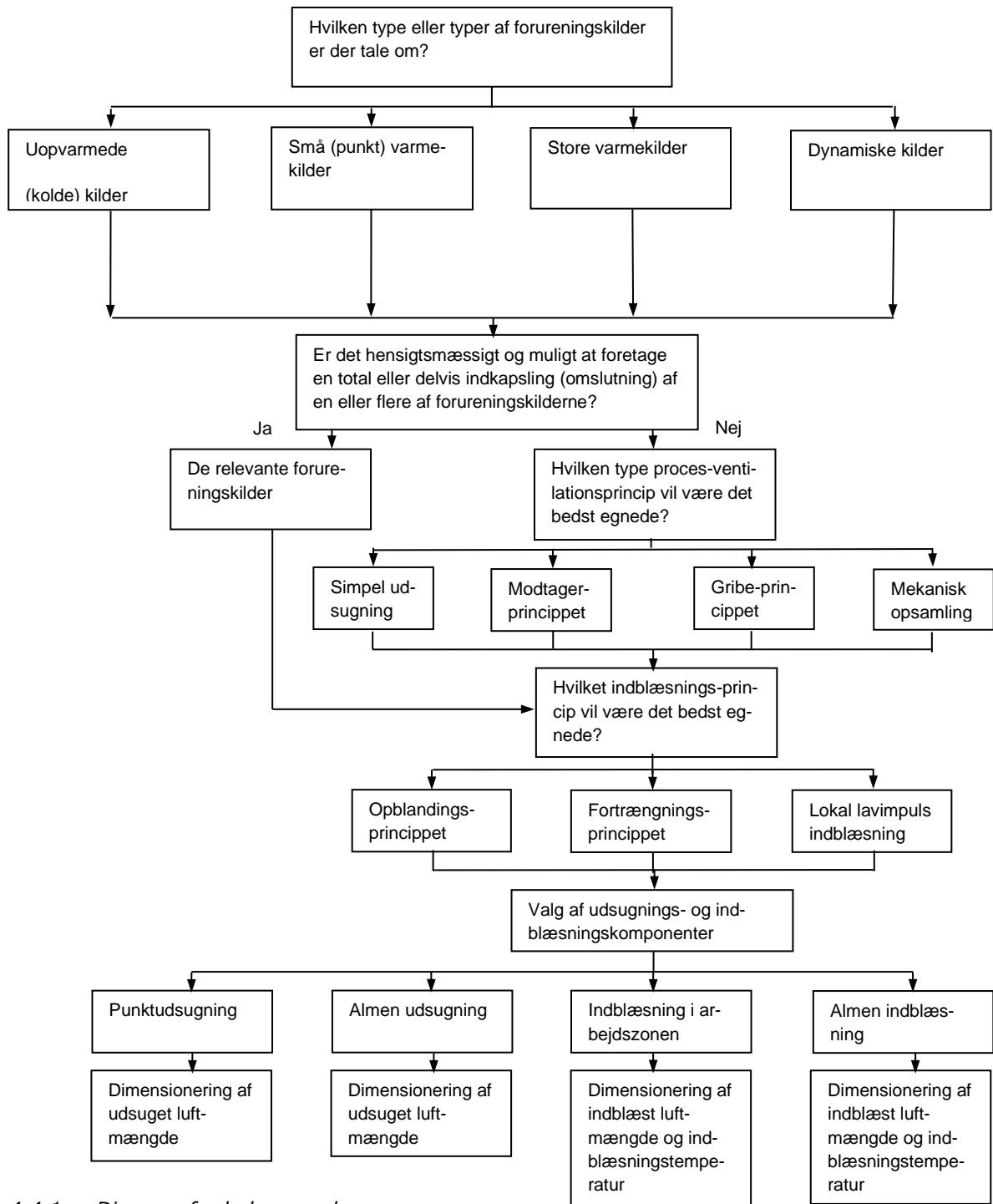
Store varmekilder og dermed store termiske belastninger giver anledning til naturlige konvektionsstrømninger omkring den termiske belastning, således at der dannes en kraftig opdrift omkring kilden. Forureningerne fra store varmekilder er gasser og dampe samt i nogle tilfælde små partikler. Eksempler på store varme processer er ovne og opvarmede kar. Ved store varme kilder vil den omgivende luft blive "revet" med som følge af den termiske opdrift omkring processen. I disse tilfælde opnås de laveste energiforbrug ved at udnytte dette selvskabte strømningsmønster. Derfor bør modtagerprincippet anvendes, hvor udsuget placeres over kilden. Store varmekilder har som oftest høje overfladetemperaturer, - over 50 °C. Dette giver ofte anledning til et dårligt indeklima med for høj termisk påvirkning af personer. Dette problem kan ofte løses ved at etablere lavimpuls indblæsning i opholdszonen ved den varme proces.

4.3.3 Dynamiske kilder

Der er primært tale om industrielle processer, hvor der udvikles eller frigives partikler med høj starthastighed, f.eks. ved polering, slibning, fræsning eller andre bearbejdningsprocesser. En partikel der emitteres ud i den omgivende luft vil bevæge sig et vist stykke før den er bremses ned som følge af luftmodstanden. Luftmodstanden har meget stor effekt, - især på små partikler. Partikler der er lungeskadelige er så små ($d_p \leq 10 \mu\text{m}$) at de standses hurtigt i den omgivende luft, og kan let opsuges uanset partiklernes bevægelsesretning fra kilden. Større, tungere partikler ($d_p \geq 10 \mu\text{m}$) kan bevæge sig op til ca. 1 meter fra kilden som følge af starthastigheden, og punktudsug for disse partikler skal derfor indrettes så der tages hensyn til partiklernes bevægelsesretning. Spredningen af forureningen afhænger i betydelig grad af uønskede luftstrømninger, der kan komme fra f.eks. varmekaloriferer, åbne porte, døre, vinduer m.m. Det bør altid overvejes om arbejdssteder kan placeres, så de er afskærmet fra uønskede luftstrømninger f.eks. ved etablering af skærmvægge eller lignende.

4.4 Diagram for behovsanalyse af procesventilationssystemer

Nedenstående diagram kan anvendes i forbindelse med analyse af behovet for procesventilation og design af mulige løsninger.



Figur 4.4.1 Diagram for behovsanalyse

5 Dimensionering af procesventilationsanlæg

5.1 Right sizing

Det ses ofte at der er energiforbedringsmuligheder i forbindelse med selve procesventilationsanlægget, dvs. ventilationsaggregatet. Det skyldes, at ventilationsaggregatets blæsere ikke passer til den fremherskende driftssituation, og derfor driftes med ringe virkningsgrad set i forhold til det mulige. Ventilationsaggregatets blæsere kan enten være dimensioneret uhensigtsmæssigt fra starten eller behovet for udsugning / ventilation kan være ændret over tid.

Den nuværende drift kan til dels fastslås ved at foretage målinger af tryk og luftflow over ventilationsaggregatets blæsere i en periode. I afhængighed af periodens længde opnås der indsigt i ventilationsaggregatets faktiske drift, der kan anvendes til at optimere det eksisterende aggregat eller ved dimensionering af et nyt aggregat, hvis der skal foretages en udskiftning.

5.2 Recirkulering

Arbejdstilsynet skriver i At – vejledning A.1.7 (2002) blandt andet følgende omkring 'recirkulation':

Der skal etableres mekanisk udsugning, når der under arbejdet udvikles luftarter, støv e.l., som er sundhedsskadelige eller eksplosive. Det gælder også, hvis der udvikles røg, mikroorganismer, aerosoler, ildelugt eller anden generende luftforurening. Den mekaniske udsugning skal så vidt muligt fjerne forureningen på det sted, hvor den udvikles. Samtidig skal der tilføres frisk erstatningsluft.

Luft, der suges ud ved procesventilation, må ikke føres tilbage til arbejdsrummet eller til andre lokaler. I stedet skal den føres ud til det fri. Omgivelserne skal sikres ifølge Miljø- og Energiministeriets regler.

Forbud mod recirkulation gælder ikke for lukkede systemer, hvor den forurenede procesluft - eventuelt efter filtrering - føres tilbage til processen, uden at de ansatte udsættes for luften.

Vejledningen refererer til At – vejledning A.1.9 (2003): "Faste arbejdssteders indretning" og At – vejledning A.1.1 (2001): "Ventilation på faste arbejdssteder", dvs. at der er andre og mere lempelige regler for områder, der ikke er kategoriseret som "faste arbejdspladser". Men i praksis er alle områder, hvor der er adgang for personale, faste arbejdspladser.

5.2.1 Koncept for recirkulering

Indblæsningsluft der tilføres arbejdslokaler med faste arbejdspladser, skal generelt være så fri for forurenende stoffer, som det er praktisk muligt. Indholdet af forurenende stoffer i indblæsningsluften skal være betydeligt lavere end de hygiejniske grænseværdier, hvor sådanne findes. I mange tilfælde regnes med en sikkerhedsfaktor på 10, dvs. at indholdet forurenende stoffer i indblæsningsluften skal være under 10% af den hygiejniske grænseværdi. I praksis skal indblæsningsluften mindst have samme luftkvalitet, som almindelig udendørs luft.

Ventilationsanlæg med recirkulation må kun monteres, hvis særlige undersøgelser har vist, at de er egnede til formålet. Det skal være muligt at lukke fuldstændig for recirkulationen.

Det skal kunne dokumenteres med målinger m.m., hvordan den fornødne luftkvalitet er opnået, og hvordan systemets pålidelighed opretholdes.

Udsugningsluft, som bliver recirkuleret til arbejdslokaler, skal filtreres, så indblæsningsluften opfylder kravene til luftkvalitet, dvs. udendørs luftkvalitet. Hvis luft fra et rum med procesventilation anvendes til recirkulation skal enhver mistanke om luftforurenende stoffer som følge af fejl i anlægget hurtigt kunne observeres, - om nødvendigt ved hjælp af måleinstrumenter monteret på ventilationsanlægget. Den forurenede luft skal derefter ledes til et andet filtreringssystem eller direkte til det fri, eller alternativt skal processen afbrydes automatisk.

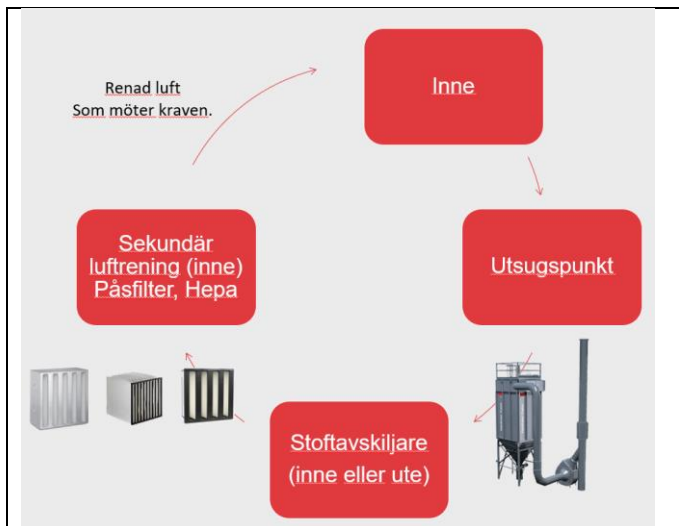
Det må understreges, at teknikker til filtrering af gasformige forureninger er mere komplicerede, og dokumentationen er mere sparsom end dokumentationen for filtrering af partikler (støv). Udsugningsluft, som indeholder gasser, der er sundhedsskadelige, bør derfor ikke recirkuleres. Olie dampe er også vanskelige at fjerne, og luften efter olietågeudskillere bør derfor ledes til det fri.

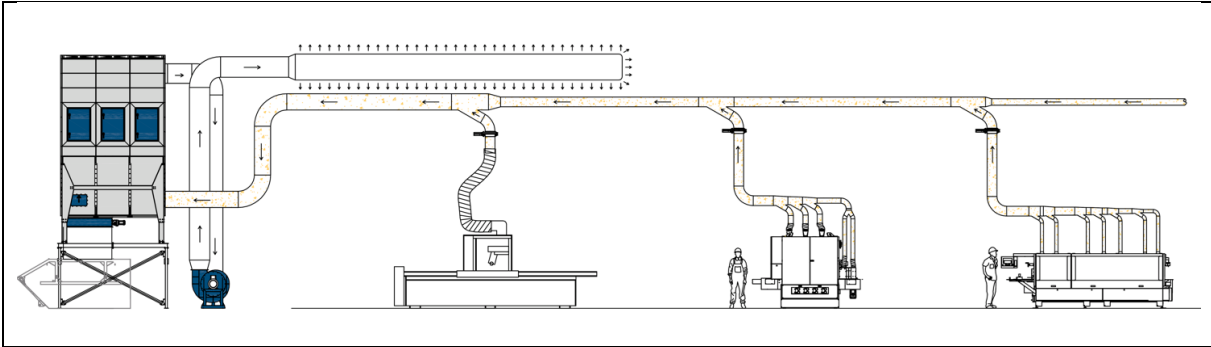
Andelen af recirkuleret luft i indblæsningsluften må maksimalt udgøre 80%.

I tilfælde af driftsforstyrrelser skal anlægget omstilles til afkast til det fri og det skal sikres at støvbelastningen i arbejdsrummene holdes så lav, som mulig. Mere præcist må udsugningsluft som indeholder stoffer, gasser markeret med 'L', 'H' og 'K' i henhold til grænseværdilisten ikke recirkuleres.

Nyinstallerede ventilationsanlæg skal efterses for at kontrollere at de fungerer efter hensigten, før den egentlige igangsætning af normal drift. Inspektion og vedligeholdelse skal dokumenteres. Det er tilrådeligt at gøre en person på virksomheden ansvarlig for disse rutiner efter nødvendige oplysninger og instruktioner. Dokumentationen skal være tilgængelig ved installationen. Af hensyn til arbejdernes sikkerhed skal der monteres systemer på ventilationsanlægget, som giver alarm i tilfælde af svigt af filtreringssystem.

En mulig principiel opbygning af procesventilation med mulighed for recirkulering er vist på den efterfølgende principskitse.





Figur 5.2.1 Eksempel på recirkulationsarrangement fra Sverige. Procesluften filtreres først gennem et egentligt filtreringssystem fx patronfilter, som renses automatisk qua trykluft. Herefter returneres den filtrerede luft til arbejdslokalet, men først efter yderligere filtrering gennem f.eks. F7 filtre.

6 Energiforbrug til procesventilation

6.1 Energiforbrug til ventilationsaggregat

Ventilator motorens effektforbrug P defineres således:

$$P = \frac{q_v \cdot \Delta p_t}{\eta_v \cdot \eta_r \cdot \eta_m \cdot \eta_f} \quad [\text{W}]$$

hvor:

q_v er volumenstrømmen [m^3/s]

Δp_t er totaltrykstigningen [Pa]

η_v er ventilatorens virkningsgrad

η_r er remvirkningsgraden

η_m er motorvirkningsgraden

η_f er frekvensomformerens virkningsgrad

$(\eta_v \cdot \eta_r \cdot \eta_m \cdot \eta_f)$ er totalvirkningsgraden også kaldet η_t

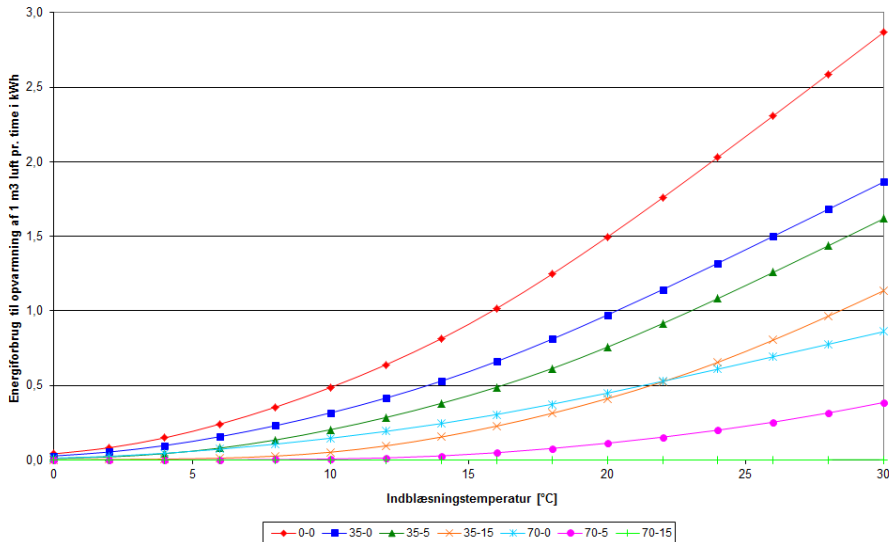
6.2 Energiforbrug til opvarmning af luft

I vejledningen til Bygningsreglementet 2018 står der "Ventilationsanlæg med indblæsning og udsugning skal opfylde kravene til varmegenvinding i EU-forordning nr. 1253/2014. Kravet i EU-forordningen svarer til 73%. Temperaturvirkningsgrad for alle typer varmegenvindingssystemer på nær væskekoblede batterier, hvor kravet er 68%". Disse krav gælder også for ventilationsanlæg i industrien, herunder procesventilationsanlæg.

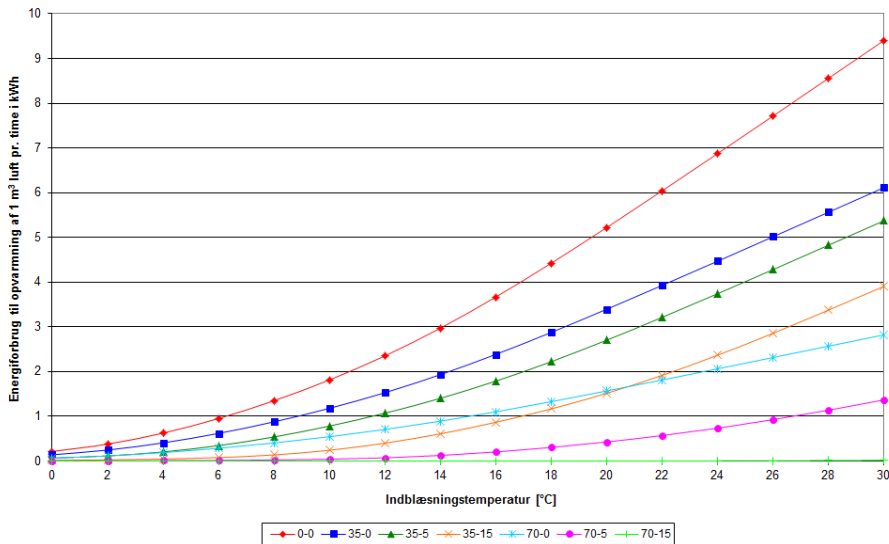
I At-vejledning om ventilation på faste arbejdssteder (Arbejdsstedets indretning – A.1.1) står der "Ved varmegenvinding i forbindelse med procesventilation skal det sikres, at den friske indblæsningsluft ikke bliver forurennet af udsugningsluften/afkastluften i varmeveksleren". Det betyder f.eks., at roterende varmevekslere ikke bør bruges ved procesventilation".

I figur 6.2.1 og 6.2.2 er energiforbruget til opvarmning af ventilationsluft opgjort for henholdsvis tidsrummet kl. 8.00 til 16.00 og kl. 0.00 til 24.00 (samtlige årets timer). På figurerne ses betydningen af varmegenvinding og udsugningstemperaturen.

70 betyder 70% virkningsgrad for varmegenvindingen (temperaturvirkningsgrad), og 5 betyder 5°C højere temperatur af afkastningsluft end den ønskede indblæsningstemperatur, dvs. at f.eks. 70-5 betyder at varmegenvindingen har en virkningsgrad på 70% og at afkastluften er 5°C varmere end indblæsningsluften. Det årlige varmeforbrug uden varmegenvinding er vist med kurven 0-0.



Figur 6.2.1 Årligt energiforbrug i kWh pr. ugedag til opvarmning af 1 m³ luft pr. time i tidsrummet fra kl. 8.00 til kl. 16.00.



Figur 6.2.2 Årligt energiforbrug i kWh pr. ugedag til opvarmning af 1 m³ luft pr. time i tidsrummet fra kl. 0.00 til kl. 24.00.

Eksempel – Energiforbrug til opvarmning af luft

Et procesventilationsanlæg har en ønsket indblæsningstemperatur på 18°C, og luftflowet er 20.000 m³/h hele året døgnet rundt (7 ugedage). Forbruget til opvarmning til 18°C pr. m³/h aflæses via den øverste kurve 0-0 (uden varmegenvinding) ud for 18°C til 4,4 kWh/år pr. m³/h pr. ugedag. For 20.000 m³/h er forbruget til opvarmning hermed:

$$4,4 \text{ kWh}/(\text{m}^3/\text{h})/\text{ugedag} \cdot 20.000 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 7 \text{ ugedage} = 616.000 \text{ kWh.}$$

Hvis der etableres varmegenvinding fra afkastningsluften, der er 23 °C varm, dvs. 5°C varmere end indblæsningsluften, med en temperaturvirkningsgrad på 70%, kan energiforbruget aflæses på kurven 70-5 til 0,3 kWh/år pr. m³/h pr. ugedag. For 20.000 m³/h er forbruget til opvarmning hermed:

$$0,3 \text{ kWh}/(\text{m}^3/\text{h})/\text{ugedag} \cdot 20.000 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 7 \text{ ugedage} = 42.000 \text{ kWh.}$$

6.3 Energiforbrug til køling af luft

I tabel 6.3.1 og 6.3.2 er køleenergiforbruget til nedkøling af ventilationsluft opgjort for henholdsvis tidsrummene kl. 8.00-16.00 og kl. 0.00-24.00 (samtlige årets timer). Bemærk, at det årlige køleenergiforbrug er opgivet i Wh/m³ pr. time, dvs. den køleenergi, der skal tilføres selve luften. For at bestemme det elforbrug, der skal tilføres kølemaskinen, skal man dividere med kølemaskinens gennemsnitlige effektfaktor (mellem 2 og 4).

T _{indblæs}	T _{overflade, køleflade}							
	8	10	12	14	16	18	20	22
8	877							
10	664	615						
12	472	439	395					
14	309	288	260	227				
16	186	175	157	137	123			
18	105	99	89	78	70	67		
20	54	51	47	41	36	35	34	
22	25	24	22	19	17	16	16	16

Tabel 6.3.1 Årligt køleenergiforbrug i Wh pr. én ugedag til nedkøling af 1 m³ luft pr time i tidsrummet fra kl. 8.00 til kl. 16.00.

T _{indblæs}	T _{overflade, køleflade}							
	8	10	12	14	16	18	20	22
8	2023							
10	1425	1324						
12	920	863	776					
14	543	510	461	399				
16	294	277	250	218	192			
18	150	141	128	112	99	94		
20	72	68	63	55	48	46	45	
22	32	30	28	24	21	20	20	20

Tabel 6.3.2 Årligt køleenergiforbrug i Wh pr. én ugedag til nedkøling af 1 m³ luft pr time i tidsrummet fra kl. 0.00 til kl. 24.00.

7 Energimærkning

7.1 Energimærkning af ventilationsaggregater

Hvad angår krav til det specifikke elforbrug (SFP) for ventilationsaggregater og ventilationsanlæg står der i Bygningsreglement 2018 §437 følgende: "§436 gælder ikke for anlæg der er knyttet til industrielle processer", dvs. at der er ingen krav til det specifikke elforbrug for procesudsugningsanlæg.

Arbejdstilsynet stiller heller ikke krav til energiforbrug, men udelukkende krav til arbejdsmiljø og hermed indirekte udsugningseffektivitet.

Som følge af EU's Ecodesign er der dog krav til:

- Minimumseffektivitet for motorer (afhængig af motorstørrelse) - EC 640/2009 / IEC 60034-30
- Minimumseffektivitet for ventilatorer - ErP2013 og ErP2015 (afhængig af ventilatortype og - størrelse)
- Klasseinddeling for beregnet middellufthastighed i aggregat (V1 til V9)
- Klasseinddeling for vekslervirkningsgrad (H1 til H6)

Elmotorer skal være minimum IE3 motorer, hvis de er større end 0,75 kW, - dog minimum IE2 motorer hvis de er med frekvensregulering. ATEX-motorer og 8 polede motorer er undtaget.

Mærkelast (kW)	IE2			IE3		
	2 poler	4 poler	6 poler	2 poler	4 poler	6 poler
0,75	77,4	79,6	75,9	80,7	82,5	78,9
1,5	81,3	82,8	79,8	84,2	85,3	82,5
3	84,6	85,5	83,3	87,1	87,7	85,6
7,5	88,1	88,7	87,2	90,1	90,4	89,1
15	90,3	90,6	89,7	91,9	92,1	91,2
30	92	92,3	91,7	93,3	93,6	92,9
45	92,9	93,1	92,7	94	94,2	93,7
75	93,8	94	93,7	94,7	95	94,6
110	94,3	94,5	94,3	95,2	95,4	95,1
160	94,8	94,9	94,8	95,6	95,8	95,6
200-375	95	95,1	95	95,8	96	95,8

Figur 7.1.1 Krav til elmotorer.

Ventilatorer og blæsere skal minimum have den virkningsgrad, der er vist i nedenstående tabel.

Mindstekrav til ventilatorers energieffektivitet fra den 1. januar 2015

Ventilatortype	Måleopstilling (A-D)	Type ventilator-virkningsgrad (statisk eller total)	Effektinterval (P) i kW	Totalvirkningsgradklasse	Virkningsgradklassificering (N)
Aksialventilator	A, C	statisk	$0,125 \leq P \leq 10$	$\eta_{\text{target}} = 2,74 \cdot \ln(P) - 6,33 + N$	40
			$10 < P \leq 500$	$\eta_{\text{target}} = 0,78 \cdot \ln(P) - 1,88 + N$	
	B, D	total	$0,125 \leq P \leq 10$	$\eta_{\text{target}} = 2,74 \cdot \ln(P) - 6,33 + N$	58
			$10 < P \leq 500$	$\eta_{\text{target}} = 0,78 \cdot \ln(P) - 1,88 + N$	
Centrifugalventilator med fremadrettede skovle og med radielle skovle	A, C	statisk	$0,125 \leq P \leq 10$	$\eta_{\text{target}} = 2,74 \cdot \ln(P) - 6,33 + N$	44
			$10 < P \leq 500$	$\eta_{\text{target}} = 0,78 \cdot \ln(P) - 1,88 + N$	
	B, D	total	$0,125 \leq P \leq 10$	$\eta_{\text{target}} = 2,74 \cdot \ln(P) - 6,33 + N$	49
			$10 < P \leq 500$	$\eta_{\text{target}} = 0,78 \cdot \ln(P) - 1,88 + N$	
Kammerventilator med bagudrettede skovle uden ventilatorhus	A, C	statisk	$0,125 \leq P \leq 10$	$\eta_{\text{target}} = 4,56 \cdot \ln(P) - 10,5 + N$	62
			$10 < P \leq 500$	$\eta_{\text{target}} = 1,1 \cdot \ln(P) - 2,6 + N$	
Centrifugalventilator med bagudrettede skovle med ventilatorhus	A, C	statisk	$0,125 \leq P \leq 10$	$\eta_{\text{target}} = 4,56 \cdot \ln(P) - 10,5 + N$	61
			$10 < P \leq 500$	$\eta_{\text{target}} = 1,1 \cdot \ln(P) - 2,6 + N$	
	B, D	total	$0,125 \leq P \leq 10$	$\eta_{\text{target}} = 4,56 \cdot \ln(P) - 10,5 + N$	64
			$10 < P \leq 500$	$\eta_{\text{target}} = 1,1 \cdot \ln(P) - 2,6 + N$	

Figur 7.1.2 Kommissionens forordning nr. 327/2011 "Krav til miljøvenligt design af elmotordrevne ventilatorer med en indgangseffekt fra og med 125 W til og med 500 kW".