

RI. SE

SAMHÄLLSBYGGNAD
INDUSTRIELL
OMSTÄLLNING



GRETA Energieffektiv processventilation

Oskar Räftegård

RISE Rapport 2023:99

GRETA Energieffektiv processventilation

Oskar Räftegård

Abstract

GRETA energy efficient process ventilation

The report gives examples of measures and of the underlying theory to make process ventilation more electrically efficient in two Swedish foundries.

The savings for the two studied process ventilation systems are about 90% for a steel foundry and about 20% for an iron foundry. This corresponds to about 600,000 kWh/year electricity and 200,000 kWh/year, respectively. With an assumed electricity price of 1 SEK/kWh, this amounts to SEK 600,000/year and SEK 200,000/year respectively. In both cases, the measures consist of adapting air flows to the operating case by regulating the fan using a frequency converter.

The theory section shows that the distance between the source of the pollution and the exhaust has a very large impact on electricity for fan operation, but that other measures besides reducing the distance are also important. Suggestions for practical methods to tune process exhausts include the use of smoke flares that provide a clear visual response to capture capability before and after a change.

Key words: foundry, process ventilation

RISE Research Institutes of Sweden AB

RISE Rapport 2023:99

ISBN: 978-91-89821-77-4

Karlstad, 2023

Innehåll

Abstract	1
Innehåll	2
Förord	3
Sammanfattning	4
1 Introduktion	5
2 Beskrivning av fallstudier	6
2.1 Smålands Stålgjuteri.....	6
2.1.1 Princip för avgjutningsanläggningen.....	6
2.2 Bættres gjuteri i Guldsmedshyttan.....	7
3 Generell guide för el-effektivisering av processventilation	9
3.1 El-effektiv processventilation	9
3.2 Experimentell anpassning	10
4 Teoridel för ökad intuitiv förståelse av experimentella åtgärder	12
4.1 Infångningsförmåga	12
4.1.1 Rökplymens utbredning och infångningshastighet	12
Bilaga 1: Ekvationer	14

Förord

Energieffektiv processventilation är ett mindre delprojekt inom GRETA, Gjutna produkter med resurseffektiva tillverkningsprocesser och affärsmodeller. Projektet syftar till att ge Sveriges gjuteriindustri förutsättningar för en hållbar omställning med bibehållen konkurrenskraft, där högre resurseffektivitet kan erhållas för energianvändning, materialanvändning och produktdesign. Bakom projektet står ett stort antal gjuteriföretag och det statliga forskningsinstitutet RISE. Det pågår 2020-2023 och finansieras av Svenska Gjuteriföreningen och det strategiska innovationsprogrammet Metalliska material, en gemensam satsning av Vinnova, Energimyndigheten och Formas.

I arbetet som redovisas i denna rapport har Baettrs gjuteri i Guldsmedshyttan och Smålands Stålgjuteri i Eksjö medverkat.



BAETTR

Engineering the Foundation
for Future Generations

Baettrs gjuteri i Guldsmedshyttan är ett av världens äldsta gjuterier som fortfarande är i drift med anor från 1400-talet. I Guldsmedshyttan hanterar gjutjärnskomponenter upp till drygt 20 ton, främst vindkraftsnav och axlar. Årsproduktionen uppgår till ca 30 000 ton/år.



SMÅLANDS
STÅLGJUTERI AB
Castings since 1967

Smålands Stålgjuteri i Eksjö är ett familjeföretag i andra generationen med ca 35 anställda. Företaget ägs och drivs av bröderna Per, Leif och Sven Ytterell.

SSG designar och gjuter ståldetaljer upp till 800 kg. Framför allt gjuts mindre detaljer. I verksamheten ingår även värmebehandling

Tack

Författaren vill rikta ett särskilt tack till Baettr och Smålands stålgjuteri för deras deltagande i studien och till deras personal som bidragit med sin kompetens, engagemang, insikter och kreativitet. I synnerhet till:

Tommy Karlson vid Baettrs gjuteri i Guldsmedshyttan,

Rickard Celinder och Per Ytterell vid Smålands Stålgjuteri i Eksjö.

Sammanfattning

Rapporten ger exempel på åtgärder och bakomliggande teori, för att el-effektivisera processventilation i två svenska gjuterier.

Besparingen för de två studerade processutsugen är ca 90% på ett stålgiuteri och ca 20% på ett järngiuteri. Detta motsvarar ca 600 000 kWh/år elektricitet respektive 200 000 kWh/år. Med ett antaget elpris på 1 kr/kWh blir det 600 000 kr/år respektive 200 000 kr/år. I båda fallen består åtgärderna av att anpassa luftflöden till aktuellt driftfall genom att reglera fläkten med hjälp av en frekvensomriktare.

I teoridelen framgår att avståndet mellan föroreningens källa och utsuget får en mycket stor påverkan på elektricitet till fläktdrifter, men att andra åtgärder förutom att minska avstånd till källan också har betydelse. Förslag på praktiska metoder för att trimma processutsug kan t.ex. vara att använda rökfacklor som ger en tydlig visuell respons på infångningsförmåga före och efter en förändring.

1 Introduktion

Denna delrapport avhandlar åtgärder för att effektivisera processventilation. Besparingen för de två studerade processutsugen är ca 90% på SGG och ca 20% på Baettr. Detta motsvarar ca 600 000 kWh/år elektricitet på SSG respektive 200 000 kWh/år för Baettr. Med ett antaget elpris på 1 kr/kWh blir det 600 000 kr/år respektive 200 000 kr/år. I båda fallen består åtgärderna av att anpassa luftflöden till aktuellt driftfall genom att reglera fläkten med hjälp av en frekvensomriktare.

Arbetet ingår i projektet GRETA¹, som syftar till att ge Sveriges gjuteriindustri förutsättningar för en hållbar omställning med bibehållen konkurrenskraft. För en given gjuten produkt och en given framställningsprocess är målet att möjliggöra högre resurseffektivitet för energianvändningen.

Framställning av gjutna komponenter använder mycket energi. Att förnya och förbättra utnyttjandet av de metallurgiska processerna så att energianvändningen effektiviseras är ett ständigt och långsiktigt mål. Genom att utnyttja ny kunskap och utveckla allt bättre mät- och styrmetoder kan processteg optimeras för effektivare energianvändning. Det innebär inte bara att använda energi effektivt i ett specifikt processteg, utan framför allt att kunna identifiera rätt systemgränser, och för det krävs insikt om hur energi flödar mellan olika processteg.

Ur Agendan för Metalliska material, steg 6:

En av utmaningarna för framtiden blir att värma med avsevärt reducerade koldioxidutsläpp. Utvecklingen kan gå i två riktningar. Den ena är att övergå till bränslen som ger låga koldioxidutsläpp och den andra är att använda el som framställts med låga koldioxidutsläpp. [...] Miljöpåverkan över hela livscykeln måste också klargöras, till exempel risken för ökade utsläpp av partiklar och kväveoxider. ²

Gjuteriindustrin har en tydlig ambition att minska användningen av fossila bränslen. Här befaras dock att tillgången på el i allmänhet och fossilfri el i synnerhet i en snar framtid kommer att bli en begränsande faktor. Redan idag upplever gjuterier i södra Sverige tydliga tecken på kommande effektbrist. Det finns med andra ord mycket tungt vägande skäl att säkra produktionen inför framtida effektbrist.

¹ Gjutna produkter med resurseffektiva tillverkningsprocesser och affärsmodeller. Bakom projektet står ett stort antal gjuteriföretag och det statliga forskningsinstitutet RISE. Det pågår 2020-2023 och finansieras av Svenska Gjuteriföreningen och det strategiska innovationsprogrammet Metalliska material, en gemensam satsning av Vinnova, Energimyndigheten och Formas.

² <https://www.metalliskamaterial.se/globalassets/2-natverk/nationell-samling-kring-metalliska-material/pdf/nationell-samling-kring-metalliska-material-2020.pdf>

2 Beskrivning av fallstudier

Nedan beskrivs först vad SSG respektive Baettr gjort, därefter följer en generell guide. Åtgärderna är förmodligen generellt replikerbara inom gjuteriindustrin.

2.1 Smålands Stålgjuteri

Smålands stålgjuteri (SSG) har installerat en frekvensomriktare på fläkten som betjänar processutsugen för avgjutning i gjuthallen. Total besparing är ca 90%, dvs endast 10% av fläktelen återstår. Detta motsvarar storleksordning 600 000 kWh/år, vilket med ett elpris på 1 kr/kWh motsvarar 600 000 kr/år. Det går även att notera en mindre besparing på komfortvärme till följd av åtgärderna. Ytterligare minskning av fläktel är fullt möjlig, förmodligen med hälften eller mer, men det är inte ekonomiskt rimligt förrän nuvarande fläktmotor är uttjänt.

När avgjutning pågår kör fläkten så som tidigare med fullt varvtal, därefter varvas den ned under några timmars eftergång, för att slutligen stängas av helt. I samma lokal finns även processutsug för ugnar, vilka har en separat fläkt som inte berörs av denna åtgärd.

Den förändrade fläktdriften har möjliggjorts till följd av att en ny avgjutningsanläggning som installerades för några år sedan.

2.1.1 Princip för avgjutningsanläggningen



Figur 1: Avgjutningsplats

Avgjutningsanläggningen består av en avgjutningsplats i öppningen till ett inkapslat paternosterverk med fem våningsplan. I figuren t.v. visas avgjutningsplatsen och intaget till paternosterverket. Intaget kan sägas utgöra en sidohuv, vilket innebär att processventilationen skapar ett sug genom öppningen med en infångningshastighet på ca 0,8 m/s vid full fläktdrift under avgjutning. På väggen mitt emot öppningen finns två tilluftsdon som tillför uteluft under själva avgjutningen. Dessa hjälper till att blåsa in rök i paternosterverket samt försörjer personalen med friskluft och kylning.

Att uteluft tillförs direkt i avgjutningszonen innebär samtidigt att motsvarande luftmängd inte tillförs lokalerna någon annanstans, varken via ventilationssystem, öppna portar eller genom otätheter. Därmed uppstår inte heller kalldrag / oönskade luftrörelser eller ökat komfortvärmebehov i andra delar av lokalerna i motsvarande omfattning.

Väl i paternosterverket hissas fyllda formar upp till de övre våningsplanen, ovanför eller i jämnhöjd med öppningens överkant. Så länge röken är varmare än omgivningen stannar den uppe i huven ovanför öppningen av sig självt. Samtidigt blir avståndet kort

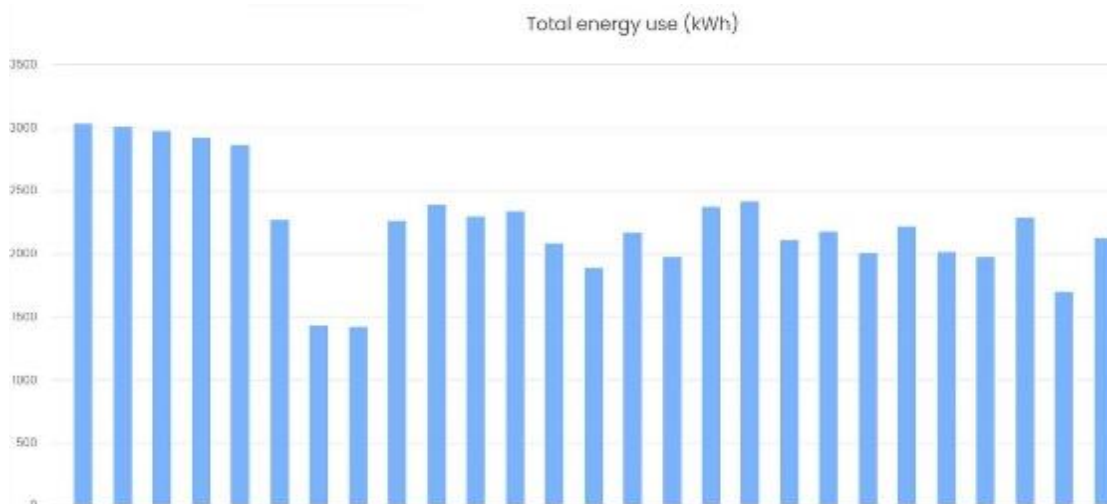
till de två utsugen i taket vilket ger dem god infångningsförmåga. Direkt efter avgjutning kan därför utsugsfläkten varvas ned så flödet minskar till nästan hälften.

Ovan är en redogörelse för principen. I verkligheten är paternosterverket öppet i bägge ändar och inte enbart i avgjutningsänden. Det är även dåligt avtätat mot ytterväggen. På fotot (figur 1) är dörren öppen in till servicegången som löper längs med ytterväggen, i urlastningsänden saknas dörr och vägg till servicegången helt och hållet. Infångningshastigheten i avgjutningsöppningen blir därmed avsevärt lägre än ovan redovisat, då luft letar sig in från många håll till utsugen i taket. En annan aspekt är att röken inte kan ta sig vertikalt uppåt igenom paternosterverkets våningsplan utan tvingas söka sig runt hela våningsplanet för att ta sig upp mot utsugen i taket. Röken driver då ut nära de bägge sidoöppningarna och riskerar att delvis hamna utanför anläggningen om infångningshastigheten blir för låg.

Trots ovanstående har ändå en besparing på hela 90% åstadkommit! När verket så småningom tätats till och urlastningssidans öppning försetts med en nedrullningsbar jalusi eller portblad, kan luftflödet reduceras ytterligare utan att rök kommer ut i lokalerna / vistelsezonen.

2.2 Bætters gjuteri i Guldsmedshyttan

Bætt har som komplement till energikartläggning (enligt lagen om EKL) hängt ut uppkopplade strömtänger på större motordrifter. Via tjänsteleverantörens³ moln-tjänst som tångerna är uppkopplad till kan drifterna antingen analyseras direkt via webbgränssnitt med de inbyggda analysverktygen (se bildexempel nedan), eller så kan data exporteras till exempelvis Microsoft Excel eller Power BI. Bætt kan därmed enkelt visualisera och identifiera betydande eldrifter och se resultat av förändringar. I figuren nedan visas elförbrukning per dygn (kWh/dygn) för utsuget.



Figur 2 Elförbrukning per dygn för ett processutsug på Bætt

Bætt provade att reglera ned fläkten. Någon märkbar/mätbar skillnad på luftflödet i utsugen kunde inte upptäckas vid en måttlig minskning av varvtalet. Filtret med tillhörande fläkt (130 kW märkeffekt) var ursprungligen byggt för ett annat system.

³ Dazoq (www.dazoq.se)

Anpassning genom nedjusteringen av fläkteffekten med ca 20% el-effekt ses som ett första steg i förbättringsarbetet med processutsuget. Före åtgärd användes ca 3000 kWh/dygn (ca 125 kW dygnsmedeleffekt) vilket syns i de fem första dyggen längst till vänster i figuren. Efter åtgärd är förbrukningen ca 2400 kWh/dygn (ca 105 kW dygnsmedeleffekt).

3 Generell guide för el-effektivisering av processventilation

Guiden är inte på något sätt en handledning för att skapa eller säkerställa en lagenlig ventilationsanläggning.

Ventilationen i en industrilokal har flera olika uppgifter, där de viktigaste är att föra bort luftföroreningar och värmeöverskott samt att tillföra ren och sval luft, med syfte att skapa förutsättningar för god hälsa och komfort. Jonas Lindhe har i sin doktorsavhandling⁴ från år 2006 gjort en förträfflig och lättläst sammanställning av ventilationens grundläggande principer, mätetal och (dåvarande) lagstiftning i inledningen av sin avhandling. Denna finns gratis tillgänglig på nätet.

3.1 El-effektiv processventilation

För det första använder processutsug i regel mycket elektricitet i förhållande till utsugen luftmängd jämfört andra ventilationsformer. Därför ger flödesminskningar på dessa stor elbesparing (kWh). Mätetalet kallas specifik fläktels-effektivitet (SFP) och mäts som eleffekt per luftflöde [$\text{kW}/(\text{m}^3/\text{s})$]

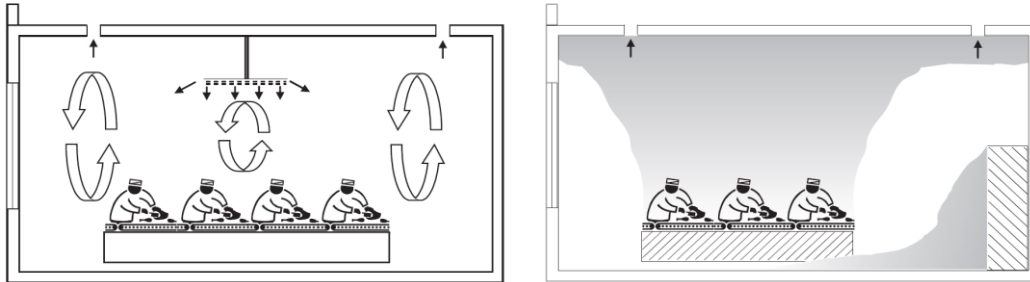
En klassisk vägg- eller takmonterad axialfläkt, typ ”lagårdsväggsfläkt”, som t.ex. kan användas för att evakuera skämd luft uppe under tak har SFP kring $0,2 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ och en elektriskt manövrerad taklucka har SFP på drygt $0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$. Processventilation har i jämförelse SFP i härad $1-10 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ vilket alltså är 5-50 gånger mer elintensivt än en vägg- eller takmonterad utsugsfläkt.

För det andra gäller affinitetslagarna för fläktar. Dessa innebär att en liten flödesminskning sparar mycket el. Förhållandet är kubiskt, en halvering av flödet (eller varvtal) minskar elbehovet till en åttondel, en minskning med 10% sparar nästan 30%. (Se ekvation och räkneexempel i teoridelen nedan). Affinitetslagarna tar dock inte hänsyn till fläktens verkningsgrad. En stor förändring av flöde kan innebära att fläkthjulets, elmotorns och frekvensomriktarens verkningsgrader påverkas negativt. Besparingen blir då mindre än enligt affinitetslagarna om inte hårdvaran byts till en som är bättre anpassad till det nya driftsfallet.

För det tredje går det att öka processutsugets infångningsförmåga, så att samma mängd rök, partiklar eller andra emissioner infångas, med en mindre mängd utsugen luft. Några exempel på hur olika faktorer påverkar så som avstånd till utsug och avskärmningar ges i teoridelen nedan.

⁴ Utvärdering och optimering av industriventilationsanläggningar, Jonas Lindhe, 2006, Lunds tekniska högskola, ISBN 91-85415-01-4

Systemsyn krävs. Någonstans finns en brytpunkt mellan processutsug som ska ta hand om koncentrerade föroreningar och allmänventilationen. Vidare påverkar hur tilluften tillförs. Tilluften kan både hjälpa och stjälpa processventilation och allmän frånluft. Nedan ges i figuren exempel på två vanliga ventilationsformer för allmänventilation.



Figur 3: Två principer för allmänventilation: omblandande respektive deplacerande ventilation.⁵

3.2 Experimentell anpassning

Om det finns en frekvensomriktare (eller annan reglering) kan man med små medel experimentera med olika flöden vid olika driftförutsättningar. Alternativt kan man dra spjäll eller på annat sätt temporärt strypa flödet.

En enkel metod för att studera hur luften rör sig och infångas av processutsug är att använda rökfacklor. Rökfacklor finns med olika brinntid, rökutveckling och färg. Ska du ut i en gjuterihall, välj en stor. Även såpbubblor kan fungera, men dessa kan leda till negativ psyko-social arbetsmiljö (sk "tråkningar" från kollegor). Såpbubblor är något tyngre än luft och sedimenterar långsamt mot golvet i stillastående luft, vilket gör dem till ett intressant alternativ.



Figur 4 Exempel på rökpatroner.

⁵Utvärdering och optimering av industriventilationsanläggningar, Jonas Lindhe, 2006

Exempel på frågeställningar:

- Påverkas infångningseffektiviteten av att luftflödet minskas något? Vilket varvtal (frekvens) krävs för att utsuget ska göra sitt jobb?
- Finns olika driftfall? T.ex. olika produktionsberoende driftfall eller kanske beroende på väderlek (sommar/vinter/blåsig/vindstilla).
- Går det att genomföra åtgärder som ökar infångningseffektiviteten, så att mer rök fångas i förhållande till volym utsugen luft? Avskärmningar, att minska avstånd till utsug och att dämpa luftrörelser så som drag från öppna portar förbättrar infångningseffektiviteten.

Det går att experimentera med tillfälliga lösningar så som byggskivor, presenningar, mobila brand-evakueringsfläktar med textilkanaler, med mera. Se även teoridel nedan som är tänkt som ett stöd inför experimentellt genomförande.

Kroppsburna eller andra enklare luftkvalitetsindikatorer kan självfallet användas i kombination med rök/bubblor för att bekräfta utfall av en åtgärd. Koldioxid, kolmonoxid och temperatur är t.ex. enkelt och billigt att mäta. Billiga VOC sensorer ger (nog) repeterbara resultat, men det är oftast oklart vad de mäter och reagerar på. Två givare kan visa helt olika mätetal.

4 Teoridel för ökad intuitiv förståelse av experimentella åtgärder

Kapitlet syftar till att ge bättre intuitiv förståelse för olika åtgärders påverkan på processutsuget, så som avstånd till utsuget, eller olika avgränsningar så som väggar, vilket kan vara till stöd innan olika åtgärder och experiment genomförs.

4.1 Infångningsförmåga

Ett processutsug kan aldrig fånga in mer än 100% av röken (eller vilken luftförorening det nu är frågan om). Att reducera processutsugen är därför fullt möjligt om annan luft än rök sugas in, utan att detta påverkar arbetsmiljön negativt. Driftförutsättningarna är generellt sett inte statiska, utan kan variera med utomhustemperatur, beteende och så klart med produktionen, vilket gör att flödet även kan anpassas efter olika driftfall.

4.1.1 Rökplymens utbredning och infångningshastighet

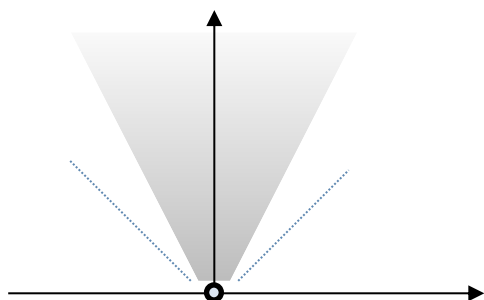
Nedan beskrivs avgasflöde från en varm process, så som en rökplym.

Det finns formler som approximerar rökplymen (egentligen varmluftsströmmen) från en het värmekälla, bl.a. i Jonas Lindhes avhandling vilka är de som används nedan i exemplet. Dessa återfinns i kapitel ekvationer nedan.

Notera och fundera på följande:

1) Rökplymens flöde (m^3/s) ökar med avståndet i höjded till utsug

Se ”flöde” i andra kolumnen i tabell 1, respektive figur 5 nedan, för att få en känsla för avståndets betydelse för rökens tillväxt.



Figur 5 Illustration av rökplymens utbredning och rekommenderad huvubredd (blå streckad linje) motsvarande tabell 1

Tabell 1 Teoretiskt exempel för ett klot med bredden 1 meter som avger 10 kW värme

avstånd höjd (m)	flöde (m^3/s)	plymbredd (m)	huvubredd (m)	hastighet i plymcentrum (m/s)
1	1,1	1,7	3	1,8
2	1,7	2,6	4	1,5
4	3,0	4,4	8	1,3
8	6,3	7,9	14	1,1

Tabell 2 Nödvändigt flöde (m^3/s) för att nå en infångningshastighet på 0,3 m/s

Avstånd (m)	1	2	4	8	16
Utsug fritt hängd i rummet	4	15	60	241	965
1 yta avgränsar, t.ex. taket	2	8	30	121	483
2 ytor avgränsar, t.ex. vägg /tak	1	4	15	60	241
3 ytor avgränsar, t.ex. ett hörn	0,5	2	8	30	121

2) Punktutsuget behöver uppnå en viss infångningshastighet

Utsuget behöver nå ut till rökplymens ytterkanter för att rök och lätta partiklar så som damm ska sugas ut och inte glida vidare längs med taket och sedan sedimentera tillbaka mot golvet.

Nödvändigt flöde ökar med kvadraten på avståndet till punktutsuget, se tabell 2.

Jämför med plymens bredd i tabell 1.

Rekommenderad infångningshastighet är 0,3-0,4 m/s för sprutboxar och 0,5-1,0 m/s för svetsning⁶ för att ge två exempel. I tabell 2 har 0,3 m/s använts. Därmed inte sagt att 0,3 m/s är nödvändigt för att fånga lätta dammpartiklar och rök.

3) Flödet kan halveras för varje tillkommande begränsningsyta

I tabell 2 framgår tydligt att begränsningsytor så som väggar och tak minskar nödvändigt flöde, för de driftfall som utsugets infångningshastigheten är dimensionerande.

4) Rökpelaren är benägen att blåsas ut av luftrörelser

Ju längre avståndet är till utsuget, desto längre tid utsätts röken för sidoverkande luftrörelser. Samtidigt är utsugets infångningsförmåga svagare på långt avstånd.

En slutsats av ovanstående är att avståndet i höjded till utsug i tak / överhuv får stor påverkan, då det både påverkar plymens flöde (m^3/s), dess bredd (m) och därmed infångningsavståndet (m) och därmed nödvändigt infångningsflöde (m^3/s), samt att horisontella luftrörelser (m/s) t.ex. från tilluftsdon och öppna portar får större möjlighet att förflytta plymen i sidled innan den når utsuget, vilket ytterligare ökar infångningsavståndet (m). Det blir lätt en negativ spiral, där allt långsammare stigande rök, driver allt längre bort.

Jämför även med fallstudie för SSG, de hissar upp fylld gjutform mot utsuget i tak, inuti en inkapsling/huv. Smart och briljant sett till ventilationsbehovet.

Alternativ till överhuv och utsug i tak

En sidohuv eller ett underifrån sugande utsug kanske kan placeras väsentligt närmare föroreningskällan än ett takplacerat utsug. Se t.ex. SSG. Sido- och underhuv behöver då övervinna den uppåtgående luftströmmens hastighet för att kunna fånga in röken.

⁶ Arbetsmiljöverket, "Processventilation – frånluft vid källan", <https://www.av.se/inomhusmiljo/luft-och-ventilation/processventilation---franluft-vid-kallan>, 2023-03-14.

Bilaga 1: Ekvationer

Specifik fläktelseffekt SFP

Fläktars el-effektivitet kan uttryckas som specifik fläktelseffekt SFP, enklast förklarad som vilken effekt som åtgår för att evakuera en kubikmeter luft per sekund:

$$[SFP] \equiv \frac{kW}{m^3/s} \equiv \frac{W}{l/s} \equiv \frac{kJ}{m^3} \equiv kPa$$

SFP beror till stor del av tryckfall, vilket även framgår av hur enheterna för SFP kan uttryckas, men även av fläkthjulets verkningsgrad liksom transmission, frekvensomriktare och elmotor i den aktuella driftpunkten påverkar. SFP [kW/(m³/s)] är alltså inte lika med mätt tryckfall (kPa) över fläkten.

Affinitetslagarna

Ekvation för affinitetslagarna

$$\left(\frac{P_1}{P_2}\right) = \left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)^3 = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3, \text{ där}$$

P = fläkthjulets axeleffekt (kW)

Q = luftflöde (m³/s)

N = varvtal (eller frekvens)

Antag att flödet sänks med 10%, vilket är det samma som att sänka varvtal eller frekvensen med 10%. Vi går då från flöde Q₂=100 till Q₁=90

$$\left(\frac{P_1}{P_2}\right) = \left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)^3 = \left(\frac{90}{100}\right)^3 = \left(\frac{90 \times 90 \times 90}{100 \times 100 \times 100}\right) = \left(\frac{729\,000}{1\,000\,000}\right) = 0,729 = 72,9\%$$

Fläkthjulets axeleffekt minskar från 100% till 72,9%, vilket innebär en besparing med 100 - 72,9 = 27,1%. Detta gäller i en ideal situation där fläkthjulets, drivlinans och elmotorns verkningsgrad förblir densamma. I verkligheten kan verkningsgraden både bli lägre och högre vid en förändring av varvtal.

Rökplym⁷

Rökplymens volymflöde från en punktformig källa som används i tabell 1 lyder: $q_v = 5,5 \cdot 10^{-3} \Phi^{1/3} (y+y_p)^{5/3}$ där q är flödet (m³/s), Φ är värmeeffekt (W) och y är avstånd (m) från värmekällan och y_p är avstånd (m) från en tänkt punktkälla. Avståndet för den tänkta punktkällan kan förenklat antas ligga mellan 1,7-2,1 diametrar från den utbredda källan.

I beräkningsexempel tabell 1 har antagits en utbredd källa med en bredd på 1 meter, att tänkt punktkälla befinner sig 1,9 meter under den utbredda källan och att värmeeffekten är 10 000 W

Infångningshastighet⁴

Ett utsugs infångningshastighet kan beräknas med hjälp av följande formel:

Fritt hängande utsug: $Q = v_x 4\pi x^2$, där Q är flöde (m³/s), v är lufthastighet (m/s) och x är avståndet (m) från utsuget. Om utsug avgränsas av en (1) yta så som ett tak halveras flödet. För två ytor som sitter kant i kant, t.ex. tak mot vägg, blir flödet en fjärdedel. För tre avgränsande ytor som bildar ett hörn blir flödet en åttondel. Se beräkningsexempel tabell 2.

⁷ Utvärdering och optimering av industriventilationsanläggningar, Jonas Lindhe, 2006, Lunds tekniska högskola, ISBN 91-85415-01-4, 2006

Through our international collaboration programmes with academia, industry, and the public sector, we ensure the competitiveness of the Swedish business community on an international level and contribute to a sustainable society. Our 2,800 employees support and promote all manner of innovative processes, and our roughly 100 testbeds and demonstration facilities are instrumental in developing the future-proofing of products, technologies, and services. RISE Research Institutes of Sweden is fully owned by the Swedish state.

I internationell samverkan med akademi, näringsliv och offentlig sektor bidrar vi till ett konkurrenskraftigt näringsliv och ett hållbart samhälle. RISE 2 800 medarbetare driver och stöder alla typer av innovationsprocesser. Vi erbjuder ett 100-tal test- och demonstrationsmiljöer för framtids säkra produkter, tekniker och tjänster. RISE Research Institutes of Sweden ägs av svenska staten.



RISE Research Institutes of Sweden AB
Box 857, 501 15 BORÅS
Telefon: 010-516 50 00
E-post: info@ri.se, Internet: www.ri.se

Industriell omställning
RISE Rapport 2023:99
ISBN: 978-91-89821-77-4