

# Energieffektiv viftedrift

## Prosjekteringsveiledning



Redusert anleggsmotstand og økt virkningsgrad gir  
reduert miljøbelastning og penger spart

Forfattet av:

**Mads Mysen, Norges byggforskningsinstitutt**

Kristoffer Polak, OPAK AS

Finn Valasjø, Statsbygg

**Statsbygg**

**Luftfartsverket**

**NVE**

# FORORD TIL 1. UTGAVE

Denne prosjekteringsveiledningen skal bidra til å optimalisere løsningene i et byggeprosjekt slik at de samlede utgifter til investering og drift blir lavest mulig. Bruk av anbefalingene i denne veiledningen vil også bidra til å kvalitetssikre prosjektering og utførelse av ventilasjonsanlegg. Det betyr økt sannsynlighet for at ønsket funksjon oppnås, og redusert omfang av uforutsette problemer og kostnader.

Mads Mysen i Norges byggforskningsinstitutt, Kristoffer Polak i OPAK AS og Finn Valasjø i Statsbygg har laget heftet på oppdrag fra Statsbygg, NVE og Luftfartsverket.

Veiledningen er i første rekke myntet på beslutningstagere og premissgivere i byggeprosjekt, byggeledere, VVS-prosjekterende, ventilasjonsentreprenører, driftspersonell og lærekrefter ved VVS-tekniske undervisningssteder.

Veiledningen skal gi svar på:

- Hvorfor skal man stille krav til SFP-verdi?
- Hvilket krav bør stilles til SFP-verdi i mitt byggeprosjekt?
- Hvordan skal prosjekteringsprosessen gjennomføres for å oppnå ønsket SFP-verdi?
- Hvordan skal utførelsesprosessen gjennomføres for å oppnå ønsket SFP-verdi?
- Hvordan skal anlegget prosjekteres for å oppnå ønsket SFP-verdi?
- Hvordan gjennomføre lønnsomhetsberegninger?

Veiledningen gjennomgår også en rekke eksempler på tiltak som reduserer SFP-verdien med tilhørende lønnsomhetsanalyser.

Oslo, juni 2000

Olav J. Saue  
Statsbygg, Faggruppe VVS

# ENERGIEFFEKTIV VIFTEDRIFT

## PROSJEKTERINGSVEILEDNING

### INNHOLDSFORTEGNELSE

<b>1. INNLEDNING.....</b>	<b>3</b>
1.1 GENERELT .....	3
1.2 HVA ER SFP?.....	3
1.3 ANBEFALTE SFP-VERDIER.....	4
1.4 VIKTIGE MOMENTER VED PROSJEKTERING AV VENTILASJONSANLEGG .....	4
<b>2. KRAV TIL PROSJEKTERINGSPROSESS OG OPPFØLGING AV UTFØRELSE....</b>	<b>6</b>
2.1 HOVEDPRINSIPPER.....	6
2.2 UTFØRELSE OG KONTRAKTSMESSIGE FORHOLD .....	6
2.3 PROSJEKTERINGSRUTINE .....	7
2.4 EFFEKT- OG ENERGIBUDSJETT .....	11
<b>3. PROSJEKTERING FOR LAV SFP .....</b>	<b>12</b>
3.1 GENERELT .....	12
3.2 LUFTBEHANDLINGSAGGREGATET .....	13
3.2.1 <i>Viftesystemets virkningsgrad</i> .....	13
3.2.2 <i>Filter</i> .....	16
3.2.3 <i>Varmegjennvinnere og batterier</i> .....	17
3.3 VIFTEINNLØP OG UTLØP - SYSTEMEFFEKT .....	17
3.4 KANALANLEGGET.....	20
3.5 ANDRE KOMPONENTER .....	22
3.5.1 <i>Jet-hetter</i> .....	22
3.5.2 <i>Sjalusirist</i> .....	23
3.5.3 <i>Lokale filtre</i> .....	23
3.5.4 <i>Lyddempere</i> .....	23
3.6 LUFTHASTIGHET OG STØYGENERERING .....	24
<b>4 LØNNSOMHETSVALURDERINGER.....</b>	<b>25</b>
<b>5. EKSEMPLER .....</b>	<b>26</b>
<b>6. LITTERATURKILDER .....</b>	<b>28</b>

#### Vedlegg:

- A Veiledning for bestemmelse av SFP-verdi i nye anlegg**
- B Beregning av effekt- og energibudsjett for ventilasjonsanlegg**
- C Sjekklistor for prosjektering, optimalisering og sluttkontroll**

# 1. Innledning

## 1.1 Generelt

Forbruket av elektrisk energi til drift av vifter i yrkesbygg og boliger er i dag anslått til ca. 2,25 TWh/år. Kravene til inneklime har gradvis gitt økte luftmengder i nye og rehabiliterte bygg. Målinger viser at energibehov til viftedrift i moderne næringsbygg utgjør 15 til 20% av byggets totale energibehov. Etterhvert som bygningsmassen fornyes øker forbruket av elektrisk energi til viftedrift slik at det vil trolig bli fordoblet i løpet av 15 til 20 år hvis ingenting blir gjort.

For å dekke denne økningen av energibehovet til viftedrift i denne perioden trenger vi en kraftutbygging tilsvarende omtrent 4 nye Altakraftverk. Det er en nasjonal oppgave å stoppe denne utviklingen og sørge for at fremtidige ventilasjonsanlegg bruker mindre elektrisk energi.

Ved prosjektering av et bygg er oppgaven å gjennomføre prosjekteringen på en slik måte at man reduserer vifteeffekten så mye som mulig innenfor rammer gitt av innemiljø og økonomi.

Denne prosjekteringsveiledningen er utarbeidet for bruk i Statsbyggs prosjekter og omfatter gjeldende krav til prosjekteringsprosessen. Veiledningen inneholder anbefalte tekniske krav, sjekklister og rutiner, samt oversikt over tekniske løsninger med konsekvenser for viftedriftens energieffektivitet.

Ved å følge denne veiledningen vil løsningene i det prosjekterte bygget kunne optimaliseres slik at samlede utgifter til investering og drift blir lavest mulig.

## 1.2 Hva er SFP?

Spesifikk vifteeffekt er et meget nyttig redskap for vurdering av energieffektiviteten i ventilasjonsanlegg. SFP (forkortelsen for Specific Fan Power) angir forholdet mellom den elektriske effekten som er nødvendig for å drive viftene, og luftmengden som forflyttes i bygget ved hjelp av disse viftene. SFP beregnes ut fra følgende formel:

$$SFP = \frac{\Sigma P}{\dot{V}} [kW / m^3 / s]$$

hvor:

$\Sigma P$  - summen av alle vifteeffekter, kW

$\dot{V}$  - total sirkulert luftmengde netto, [m<sup>3</sup>/s]

I kapittel 3 gis det mer detaljer om dette nøkkeltallet.

### 1.3 Anbefalte SFP-verdier

Vi anbefaler følgende normnivåer for forskjellige typer bygg:

- SFP < 2,0 for nye bygg med begrenset driftstid (under 4.000 timer/år)
- SFP < 1,5 for nye bygg med døgnkontinuerlig drift
- for VAV-anlegg økes SFP med 1,0 ved maksimal luftmengde
- SFP < 2,5 ved nyinstallasjoner i eksisterende bygg
- SFP < 4,0 ved nyinstallasjoner i eksisterende bygg med spesielt trange tekniske rom og vanskelige føringer

Bransjen trenger å utvikle kompetanse, produkter og produktkjennskap for å oppnå disse anbefalte normnivåene. I en introduksjonsfase over et par år er det derfor fornuftig å legge SFP-kravene 0,5 høyere.

### 1.4 Viktige momenter ved prosjektering av ventilasjonsanlegg

Teoretisk underlag og systematisk gjennomgang av konsekvenser for ulike løsninger er beskrevet i kapittel 3.

For å illustrere de viktigste momentene som har betydning for prosjekteringsprosessen gis følgende eksempel:

Et moderne kontorbygg lokalisert i Oslo med:

- totalt areal: 10.000 m<sup>2</sup>
- ventilasjonsanlegg med kapasitet: 80.000 m<sup>3</sup>/h
- driftstid : 3.000 timer pr. år.
- roterende varmegjenvinner med 70% temperaturvirkningsgrad
- betydelig varmeutvikling i arbeidstiden
- begge hovedvifter arbeider mot ca. 1.000 Pa trykkøkning

vil ha et energiforbruk på: **330.000 kWh/år,**

derav:

- til luftoppvarming **65.000 kWh/år \***
- til viftdrift **265.000 kWh/år (26,5 kWh/m<sup>2</sup>/år)**

\*tilleggsvarme på varmebatteri, eksklusiv motorvarme

Av energien på ca. 265.000 kWh/år til viftdrift går ca. 135.000 kWh/år til oppvarming av tilluft via tilluftsviftemotoren. Av dette kan man grovt anslå at 100.000 gir et varmetilskudd i den kalde perioden mens 35.000 kWh/år skaper kjølebehov i varmeperioden. Av de 100.000 kWh som gir et nyttig varmetilskudd kan opp til 65.000 kWh dekkes ved å utnytte varmegjenvinneren bedre dersom vi får anleggets SFP ned og dermed redusert vifteeffekten.

Følgende konklusjoner kan trekkes av dette eksemplet:

- Energiforbruk til lufttransport er vesentlig større enn energi til ettervarming i et anlegg med effektiv varmegjenvinning.

- Vifteeffekten fra tilluftsvifter kommer bygget til gode gjennom å øke tilluftens temperatur, men denne er verdifull kun i en kort periode i løpet av året. I varme perioder skaper den et økt kjølebehov.
- Energiforbruk til viftedrift er betydelig og avhengig av luftmengde, SFP-verdi og driftstid.

Tabellen nedenfor viser eksempler på spesifikk energiforbruk til viftedrift i ulike typer bygg. Lavt forbruk tilsvarer lav luftveksling, kort driftstid, lav SFP. Høyt forbruk kombinerer tilsvarende høye verdier.

Tabell 1.1 Elektrisk energi til viftedrift [kWh/m<sup>2</sup>]

	Lav	Middels	Høy
Kontor	10	25	75
Skole	10	35	90
Kino	20	75	200

- Til å ettervarme luft kan man bruke lavverdig termisk energi, mens man må bruke høyverdig elektrisk energi til viftedrift.
- I eksisterende bygg ligger SFP vanligvis mellom 3 og 4 kW/m<sup>3</sup>/s. Med riktig prosjekterte og utførte anlegg skal det være mulig å oppnå SFP på mellom 2 og 2,5 kW/m<sup>3</sup>/s for de samme bygg, uten at anleggskostnadene øker nevneverdig. Dette gjelder anlegg med ca. 2.000 - 3.000 timers drift pr. år. For anlegg med kontinuerlig drift kan det være lønnsomt å investere i løsninger som gir SFP lik 1,5 eller lavere.

Et energieffektivt ventilasjonsanlegg (med lav SFP) skal ha lavt trykkfall og høy virkningsgrad. I prosjekteringsprosessen må man ta følgende hensyn:

### Trykkfall

- Trykkfall over aggregatet inkluderer motstand over varmegjenvinner. Reduksjon i energiforbruk til ettervarming av luft må veies mot energitap på grunn av motstand over gjenvinneren. Begge skal beregnes. (For flere detaljer kfr. kap. 2.3).
- Avviket i trykk/mengdeforholdet mellom vifte testet i laboratorium (fabrikdata) og et virkelig anlegg kalles systemeffekt og er på min 10 - 15 Pa, men kan ved uheldig utforming av flere kanalelementer, komme opp i flere hundre Pa. Høy systemeffekt kan være det verste energisluket i anlegget.

### Virkningsgrad

- Viftens maksimale virkningsgrad varierer med viftens størrelse, skovelttype og andre detaljer i utformingen (kfr. tabell 2).

Tabell 1.2 Viftens maksimale virkningsgrad i forhold til størrelse

Viftetype/størrelse	Liten, (0,5 m <sup>3</sup> /s)	Stor, (6 m <sup>3</sup> /s)
Foroverbøyde skovler	η=60%	η= 70%
Bakoverbøyde skovler	η= 80%	η= 85%

- Remdrift gir et tap på mellom 5 og 15% av motorens effekt. Riktig valg og vedlikehold av removerføringen gir store energibesparelser. Direktdrevne vifter med turtallsregulering kan være et gunstig alternativ til remdriften.
- Motorens tilpasning til belastningen har stor betydning. Ved 100% overdimensjonering vil virkningsgraden reduseres med mellom 3 og 15% avhengig av størrelse, type, og fabrikat.

## 2. Krav til prosjekteringsprosess og oppfølging av utførelse

### 2.1 Hovedprinsipper

Denne veiledningen gjelder i utgangspunktet prosjektering av nye bygg. Dersom man vil anvende de prinsippene til rehabilitering/ombygging av eksisterende bygg, må de tillempes og begrensninger som er skapt av det eksisterende bygget må tas i betraktning. Generelt kan sies at krav til SFP ved ombygging vil være mindre strenge, med andre ord må man akseptere en høyere SFP.

Prosjektering av et ventilasjonsanlegg skal være en prosess styrt av følgende kriterier:

1. Krav til innemiljø i de ventilerte lokalene
2. Krav til pålitelighet og holdbarhet
3. Lave investeringskostnader
4. Lave driftskostnader (energi)
5. Lave vedlikeholdskostnader

Krav til innemiljø er absolutt (har grenser som ikke kan fravikes). De øvrige kriteriene kan og skal optimaliseres mot hverandre, slik at byggherren oppnår en sum av kostnader som er lavest i anleggets levetid. Dette kalles LCC-metode (Life Cycle Cost) og er under implementering blant annet hos Statsbygg. Metoden kan anvendes på flere forskjellige tekniske felt, ikke bare ventilasjon.

For å kunne styre fremtidige driftskostnader til viftdrift er det viktig at ventilasjonsanleggets egenskaper bestemmes av den prosjekterende og i den riktige fasen av prosessen.

Ved prosjektering av nye bygg skal man anvende følgende hovedprinsipper:

- alle komponenter i ventilasjonsanlegget skal ha egenskaper som gir lavest mulig vifteeffekt, så lenge dette ikke medfører høyere investeringskostnader
- alle parametre som gir lavere SFP, men drar med seg direkte eller indirekte økning av investeringskostnader, veies mot besparelser i driftskostnader slik at totaløkonomien blir best mulig.

Dessuten må man ta hensyn til gjensidig påvirkning mellom varmegjenvinning og trykktap i anlegget

SFP må anvendes som et kriterium tidlig i prosjekteringsprosessen, slik at det blir mulig å optimalisere løsningene.

Kravene til prosjekteringsprosessen medfører at VVS-prosjekterende må samarbeide med byggherre og arkitekt allerede i programmerings- eller skisseprosjektstadiet.

### 2.2 Utførelse og kontraktmessige forhold

I anbuds-/tilbudsmaterialet skal det medtas krav som vil sikre en slik utførelse at anleggets SFP-faktor blir overholdt.

I prosjekter med delte entrepriser skal kontrakten sikre at anleggets komponenter utføres i samsvar med dokumentasjonen slik at alle delkriterier (trykktap i anlegget og virkningsgrader) blir overholdt. Den prosjekterende har da ansvaret for korrekte beregninger. Definisjon for målemetoder og krav til disse skal kontraktfestes.

I prosjekter basert på en totalentreprise er det totalentreprenøren som er ansvarlig for både detaljprosjektering og utførelse. Kravet til utførelse i samsvar med dokumentasjonen vil være her en

intern sak mellom totalentreprenøren og hans underentreprenører. I kontrakten mellom byggherren og totalentreprenøren skal det avtales minimum:

- krav til SFP – verdi (f. eks.  $SFP < 2,5$ , 15% måleunøyaktighet)
- definisjon av, og krav til målemetode (se vedlegg A)

I begge kontrakttyper skal det avtales konsekvenser for entreprenøren dersom krav ikke innfris (for eksempel avslag i prisen eller ombygging av anlegget).

Etter at anlegget er ferdigstilt skal man kontrollere om kravene i kontrakten er oppfylt.

Kontrollen baseres på entreprenørens dokumenterte egenkontroll. Byggherrens representant kontrollerer og etterprøver entreprenørens dokumentasjon.

## 2.3 Prosjekteringsrutine

I prosjekterings- og utførelsesprosessen følger man følgende rutine:

1. Programmeringsfasen/skisseprosjekt omfatter definering av:
  - byggherrens krav til bygget og ventilasjonsanleggene
  - byggherrens krav til SFP
2. Forprosjekt omfatter:
  - arkitektens tegninger over bygget
  - dimensjonering av luftutskifting i alle lokaler
  - systemvalg med oppdeling i antall aggregater
  - prinsippetegninger for ventilasjonsanleggene
  - valg av type og dimensjonering av ventilasjonsaggregater
  - plassering og dimensjonering av tekniske rom for ventilasjon
  - plassering og dimensjonering av sjakter
  - kanaltraseer og kanaldimensjoner
  - type og virkningsgrad for varmegjenvinner
  - energi- og effektbudsjett for hvert ventilasjonsanlegg (kfr. vedlegg B)
3. Detaljprosjektering, fase 1  
I denne fasen prosjekteres ventilasjonsanlegg i detalj med det mål for øyet å oppnå et forutsatt SFP-tall (i tillegg til øvrige funksjonskrav):
  - kanalanleggene dimensjoneres ut fra trykkfall, tegnes i 1:50 målestokk (tekniske rom tegnes i 1:20 målestokk)
  - ved valg av ventilasjonsaggregatet tar man hensyn til trykkfall
  - aggregatene tegnes inn med riktige mål
  - tilslutning mellom kanaler og aggregatet tegnes i detalj
  - alle komponenter av anlegget trykkfallsberegnes og det totale trykket for viftene bestemmes
  - viftetype og størrelse bestemmes, krav til virkningsgrad defineres
  - driftoverføring velges (remdrift eller direkte drift)
  - motoreffekt og type bestemmes, krav til virkningsgrad defineres (Motoren bør velges slik at effektreserven blir liten, helst ikke over 25%.)
  - effekt- og energibudsjettet beregnes nå ut fra verdier bestemt under detaljprosjektering
  - energibudsjettet settes opp og sammen med nøkkeltall for anlegget presenteres for byggherren
  - dersom de valgte bygningsmessige løsningene gjør det vanskelig å oppnå noen av målene (lavt trykkfall i kanaler, stort nok ventilasjonsaggregat) skal avvikene forelegges prosjekteringsleder og alternative løsninger skal vurderes

#### 4. Detaljprosjektering, fase 2

I prosjekterings fase 2 optimaliserer man og reviderer de valgte løsningene med henblikk på:

- kanaltreseer
- valg av aggregattype
- valg av vifte
- valg av motor
- valg av varmegjenvinner

Ved prosjektering av ventilasjonsanlegg er det anleggets energieffektivitet som helhet som er avgjørende for byggherren. Både energiforbruk til luftoppvarming og til viftedrift teller her. Gevinst og tap ved forskjellige løsninger veies mot hverandre, for eksempel en varmegjenvinner med større trykktap, men med høyere virkningsgrad. Det er umulig å gi noen generelle anbefalinger her. Hvert anlegg må vurderes individuelt.

Det er imidlertid viktig å ta hensyn til muligheten for utnyttelse av den varmen som gjenvinnes. Tilluftstemperaturen behøver nemlig ikke å være lik den ønskede romtemperatur. I de fleste månedene i året er den lavere. I tillegg skjer det alltid en temperaturøkning i tilluftsviften. Derfor må beregningene gjennomføres måned for måned, av hensyn til utetemperatur og ønsket tilluftstemperatur.

Man bør også huske at man kan benytte lavverdig termisk energi til ettervarming av luft, mens man til viftedrift må benytte høyverdig elektrisk energi.

Alternative løsninger vurderes ut fra gjennomførbarhet, besparelser og kostnader. Eventuelle besparelser i driftskostnader vurderes i forhold til økte investeringskostnader.

Forutsetninger for lønnsomhetsberegning defineres for hvert prosjekt i samråd med byggherren.

For tiden foreslås her å benytte følgende verdier:

- kalkulasjonsrente 5%
- energiprisen for drift av vifter bør man se i et perspektiv av anleggets livsløp, ikke kun for prosjekteringstidspunktet

Løsningen anbefales vurdert som lønnsomt dersom inntjeningstiden er mindre enn:

- for tiltak på ventilasjonskanaler 12 år
- for tiltak på ventilasjonsaggregater 8 år
- for tiltak på vifter 8 år
- for tiltak på el.motorer 8 år

Alle konsekvenser for den alternative løsningen tas med i kostnadsvurderingen, for eksempel:

- bygningsmessige (økte arealer for tekniske installasjoner, økt etasjehøyde, mm)
- driftsmessige (økte servicekostnader)

Etter at alternative løsninger er vurdert tas de lønnsomme endringer med i prosjektdokumentene.

#### 5. Dokumentering av prosjekteringsprosedyren.

Man må dokumentere, ved hjelp av KS-protokoller, at den beskrevne prosedyren er fulgt. Sjekkliste for hver fase av prosjektering skal legges ved (kfr. vedlegg C).

## 6. Krav til utførelse

Følgende skal tas med i anbuds-/tilbudsdokumenter:

- krav til trykkfall i kanaler, ventiler, inntaks- og avkastorganer
- krav til trykkfall i aggregater
- krav til viftenes virkningsgrad
- krav til motorenes virkningsgrad

Det må være enkelt å måle motoreffekten. Ledningsopplegget må være tilrettelagt for bruk av måletang for alle motorer.

For motoreffekter over 15 kW bør installasjon av en fast effektmåler vurderes (måleren kan evt. betjene flere motorer vekselvis).

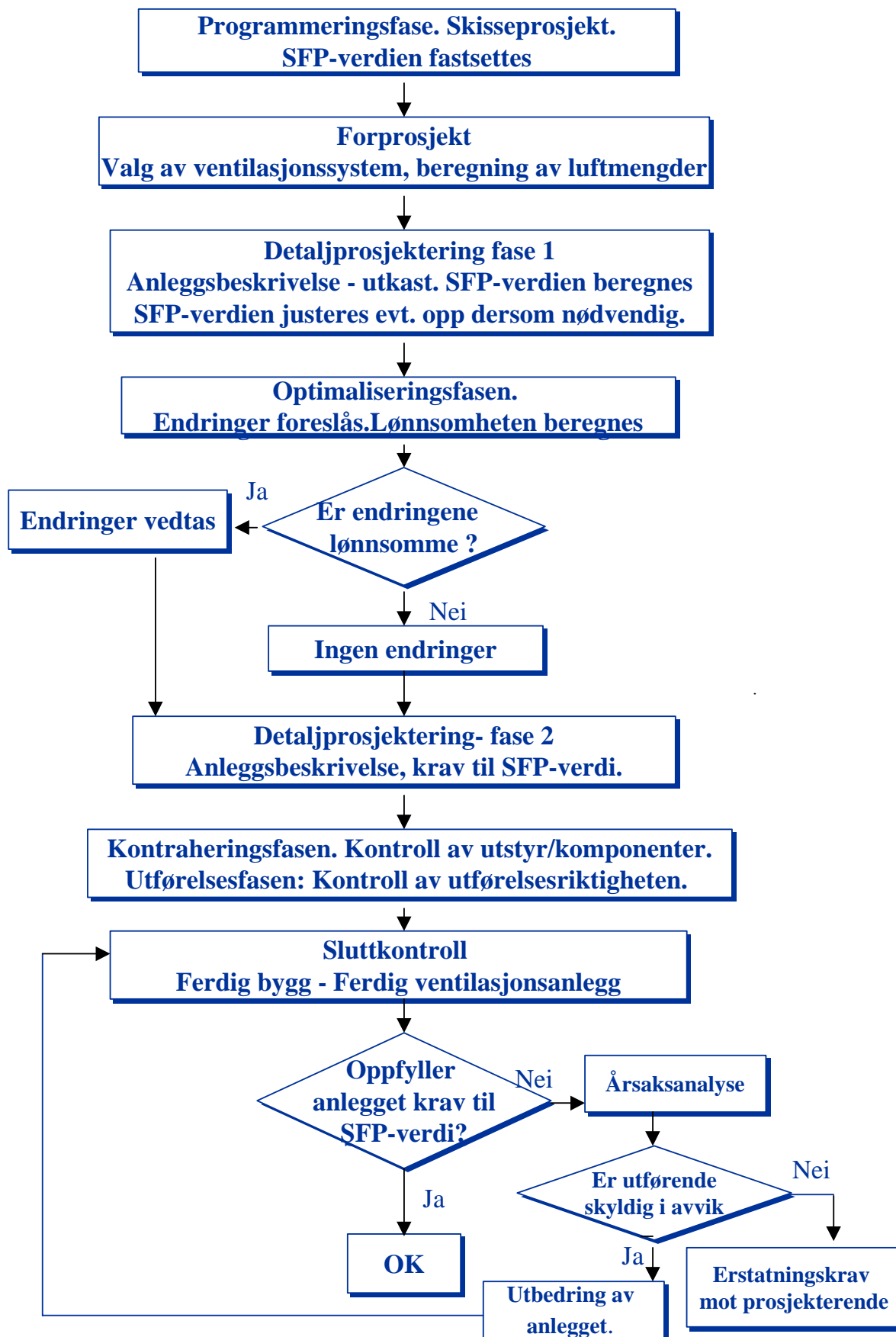
Ved prosjektering av elektriske anlegg må man ta hensyn til plassering av elektriske tavler, underfordelinger, kabellengder, etc, slik at man unngår unødvendig tap i elektriske ledninger.

## 7. Kontroll av utførelse

Oppnådd resultat skal dokumenteres etter at anlegget er ferdig.

Entreprenøren skal levere dokumentasjon for:

- innregulerte luftmengder på romnivå (netto luftmengder)
- luftmengdene målt ved aggregatet (brutto luftmengder)
- målte effektverdier (aktiv effekt)
- beregnet SFP-verdi (kfr. formel 3.1.1)
- viftens arbeidspunkt inntegnet i viftediagrammet for hver vifte
- fabrikkdokumentasjon for viftemotorer (med virkningsgrad ved gitt belastning)



Figur 2.3.1 Flytskjema som viser prosjekterings- og utførelsesprosessen

## 2.4 Effekt- og energibudsjett

Effekt- og energibudsjett skal utarbeides for hvert aggregat i tillegg til energibudsjett for hele bygget.

Maksimal ettervarmeeffekt beregnes for DUT (dimensjonerende utetemperatur), som er avhengig av geografisk plassering og krav til inneklime i bygget.

Energibudsjettet må omfatte energi til viftedrift og til ettervarming av luft for et normalt år, fordelt på måneder (kfr. vedlegg B).

Ved beregning av tilluftstemperatur skal det tas hensyn til varmebalanse i lokalene, dvs.:

- varmetap gjennom fasaden (transmisjon og infiltrasjon)
- varmetilskudd gjennom fasaden ((transmisjon, infiltrasjon og innstråling)
- interne varmetilskudd

Verdiene beregnes på månedsbasis. OBS!: For de fleste bygg vil ønsket tilluftstemperatur være lavere enn ønsket romtemperatur i de fleste av årets måneder. Dette vil redusere utnyttelsen av varmegjenvinning utover en viss verdi. (Viktig ved vurdering av nytte av varmegjenvinning mot trykktapet i gjenvinner).

Ved beregning av nødvendig ettervarme må man ta i betraktning varmen som utvikles i tilluftsviftens motor. I aggregater med motor plassert i luftstrømmen vil all elektrisk effekt tilført motor bli omdannet til varme som tilføres luften.

### 3. Prosjektering for lav SFP

#### 3.1 Generelt

SFP er et tall som angir forholdet mellom elektrisk effekt nødvendig for drift av vifter i et ventilasjonsanlegg, og den luftmengden som viftene bidrar til å skifte ut i de ventilerte lokaler.

SFP-verdien beregnes med følgende formel:

$$SFP = \frac{\sum P}{\dot{V}} [\text{kW}/\text{m}^3/\text{s}] \quad 3.1.1$$

hvor:

$\sum P$ : Summen av alle vifteeffekter, [kW]

$\dot{V}$ : Total sirkulert luftmengde [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]. Totalluftmengde defineres her som den største av tillufts- og avtrekksluftmengdene i anlegget. Det skal brukes netto luftmengde, det vil si målt på det enkelte romnivå, og ikke hovedluftmengden ved aggregatet (brutto luftmengde). Netto luftmengde er alltid lavere enn brutto luftmengde på grunn av lekkasjer i kanalsystemet.

$$\text{Da } \sum P = \frac{\dot{V} \cdot \Delta p_{tot}}{\eta_{tot}} [\text{kW}] \quad 3.1.2$$

kan SFP også uttrykkes som:

$$SFP = \frac{\dot{V} \cdot \Delta p_{tot}}{\dot{V} \cdot \eta_{tot}} = \frac{\Delta p_{tot}}{\eta_{tot}} [\text{kPa}] \quad 3.1.3$$

hvor:

$\Delta p_{tot}$ : totaltrykkfallet (sum trykkfall i tilluft og avtrekk) i anlegget, [kPa].

$\eta_{tot}$ : viftesystemets totale virkningsgrad

Viftesystemets totale virkningsgrad er videre lik:

$$\eta_{tot} = \eta_m \cdot \eta_k \cdot \eta_v \cdot \eta_t \quad 3.1.4$$

hvor:

$\eta_m$ : motorens virkningsgrad

$\eta_k$ : kraftoverføringens virkningsgrad

$\eta_v$ : viftens virkningsgrad

$\eta_t$ : turtallsstyringens virkningsgrad

I ventilasjonsanlegg har man normalt turbulent strømning. Trykkfallet mellom to punkter kan da uttrykkes som:

$$\Delta p_{1-2} = kv^2 [\text{Pa}] \quad 3.1.5$$

hvor:

k: konstant

v: lufthastigheten [m/s]

Over enkelte komponenter som roterende gjenvinnere og filtere kan man få laminære forhold . Trykkfallet følger da forløpet:

$$\Delta p_{1-2} = kv [Pa] \quad 3.1.6$$

## 3.2 Luftbehandlingsaggregatet

Som hovedregel i vanlige ventilasjonsanlegg kan man si at luftbehandlingsaggregatet påvirker ca. 75 % av energibehovet til viften. 50 % skyldes tap i forbindelse med vifte, motor, kraftoverføring og eventuell turtallsregulering, mens de resterende 25 % skyldes trykkfall over komponenter i luftbehandlingsaggregatet.

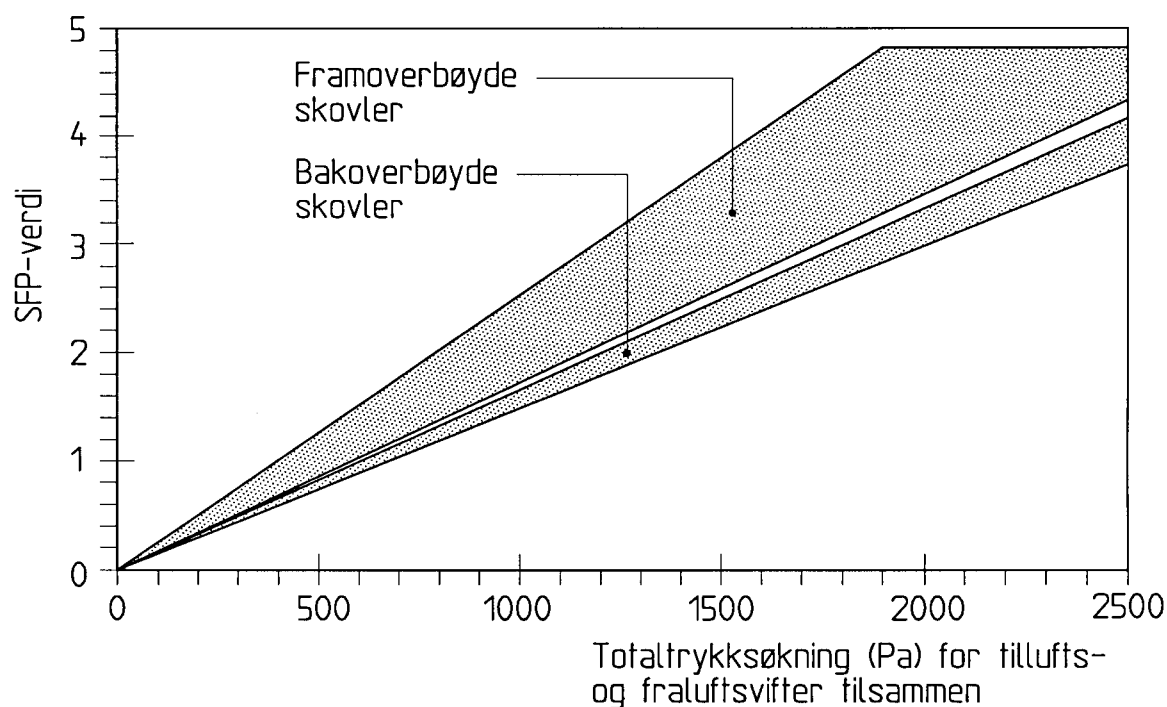
### 3.2.1 Viftesystemets virkningsgrad

Spesifikk vifteeffekt finnes etter følgende ligning:

$$SFP = \frac{P_{tv} + P_{av}}{\dot{V}} = \frac{\Delta p_{tv}}{\eta_{tv}} + \frac{\Delta p_{av}}{\eta_{av}} [kPa] \quad 3.2.1$$

hvor indeksene tv og av står for henholdsvis tilluftsvifte og avtrekksvifte.

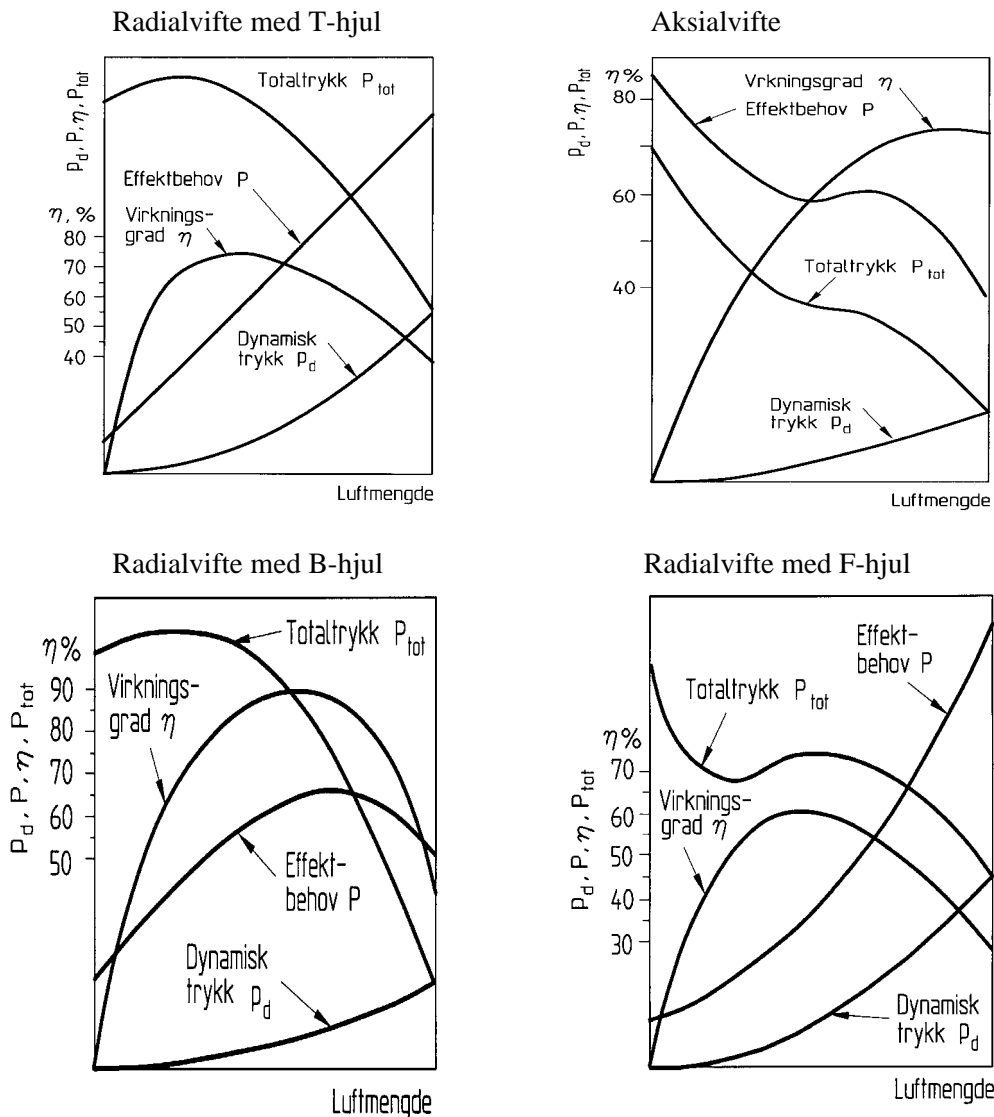
Viftesystemets virkningsgrad finner vi av formelen 3.2.1. Valg av vifte har størst betydning i forhold til viftesystemets virkningsgrad. Det finnes to prinsipielt forskjellige viftetyper; radialvifter og aksialvifter. Radialvifter kan ha skovler som enten er bakoverbøyde (B-hjul), rette/radielle (T-hjul) eller fremoverbøyde (F-hjul). Til nå har radialvifter med bakoverbøyde og fremoverbøyde skovler vært mest benyttet i vanlige ventilasjonsanlegg. Figur 3.2.1 viser sammenhengen mellom mulig totaltrykkfall i forhold til SFP-verdi for vifter med henholdsvis bakoverbøyde og fremoverbøyde skovler.



Figur 3.2.1 Største tillatte totale trykkøkning i forhold til SFP-verdi for vifter med effekt mellom 3 og 10 kW

Figur 3.2.1 viser at det er vanskelig å oppnå en SFP-faktor på 2,0 med fremoverbøyde skovler i et tradisjonelt ventilasjonsanlegg med totalt trykkfall over 1.000 Pa.

Typiske viftediagram for forskjellige typer vifter er vist på figur 3.2.2.



Figur 3.2.2 Viftekarakteristikk for aksialvifte (propellervifte) og radialvifter med bakoverbøyde (B-hjul), foroverbøyde (F-hjul) og radielle (T-hjul) skovler. Virkningsgradene er omtrentlige.

Av radialviftene har bakoverbøyde skovler høyest virkningsgrad. De er dermed det beste valget i forhold til energieffektivitet, men de har et begrenset arbeidsområde. I anlegg med varierende luftmengde må slike vifter turtallsreguleres.

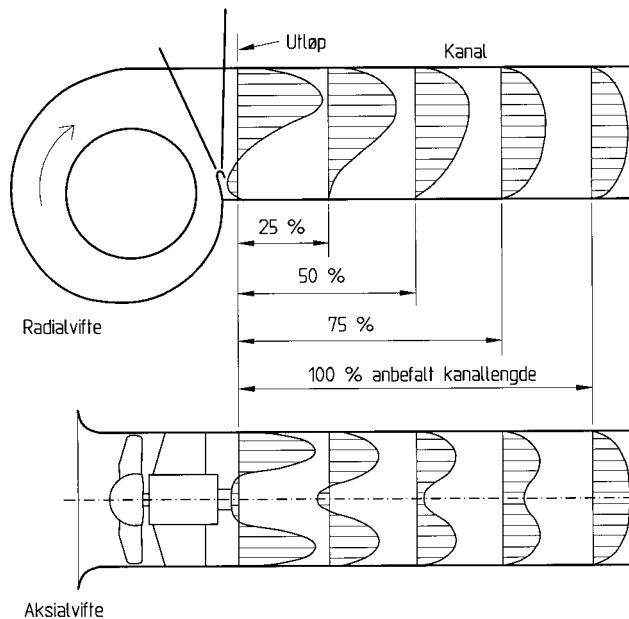
Viftens virkningsgrad er følsom i forhold til skitt på skovlene. Det må derfor stilles krav til tilgjengelighet, vaskbarhet og vaskefrekvens.

Bare unntaksvis kan det forsvares å benytte vifter med foroverbøyde eller radielle skovler.

Ved relativt lave trykkfall og store luftmengder kan aksialvifter være best. Aksialvifter egner seg også godt for direktdrift slik at tap på grunn av kraftoverføring mellom vifte og motor minimaliseres. Aksialvifter er til nå lite brukt i tradisjonelle ventilasjonsanlegg, men kan bli mer aktuelt i fremtidige anlegg med svært lav anleggsmotstand.

En ny type vifter er såkalte aksi-radielle vifter med direktdrift. Disse viftene bygger opp statisk trykk og får minimalt med utløpstap (kfr. kap. 3.3 Systemeffekt). De er fleksible i forhold til plassering av vifteutløp og videre utforming av kanalanlegg. Til gjengjeld har viftene isolert sett lav virkningsgrad.

I tilfeller hvor det er vanskelig å oppnå tilstrekkelig rettstrekk etter vifteutløp kan aksi-radielle vifter være et alternativ.



Figur 3.2.3 Hastighetsprofil i vifteutløp ved radial- og aksialvifter. Utløpskanaler bør ha et rettstrekk på minimum 2,5 diametere slik at hastighetsprofilet kan utvikles.

Som ligning 3.1.5 viser påvirker motorvalg, kraftoverføring og eventuell turtallsregulering også viftesystemets virkningsgrad.

Elektriske motorer har forskjellig virkningsgrad avhengig av størrelse, type og tilpasning til belastning. En motor med merkeeffekt større enn behovet betegner vi som overdimensjonert. Overdimensjonerte motorer har generelt lavere virkningsgrad enn motorer som er tilpasset belastningen. Denne endringen av virkningsgrad avhenger av motortype, fabrikat og størrelse og må kontrolleres i hvert tilfelle. Feltnålinger har vist at mange viftemotorer har svært dårlig virkningsgrad fordi de er kraftig overdimensjonert. Generelt bør ikke motorer overdimensjoneres slik at virkningsgraden reduseres. Det er derfor viktig å trykkfallsberegne ventilasjonsanlegget før man velger vifte og motor slik at de er tilpasset behovet. Er man usikker på arbeidspunkt, eller ønsker fleksibilitet i forhold til fremtidige endringer, eller har et anlegg med variabel luftmengde, bør man benytte frekvensomformer og turtallsregulering som sørger for at motoren får optimal drift under alle forhold. I slike tilfeller er det viktig å bruke frekvensomformer med lite internt tap (høy virkningsgrad). Stor kapasitetsreserve i forhold til fremtidige endringer bør ikke legges i motoren, men i dimensjoneringen av tilgjengelig elektrisk effekt. I stedet bør man vurdere å skifte motoren når endringen finner sted.

Kraftoverføringen mellom motor og vifte medfører også et energitap hvis ikke viftemotoren sitter direkte på vifteakslingen (direktedrift). De fleste vifter i eksisterende anlegg er imidlertid reimdrevet, slik at det er enkelt å regulere viftens turtall ved å justere utvekslingen mellom motor og vifte. Dårlig utført og vedlikeholdt reimoverføring kan gi et tilleggstrap på mer enn 10 % i forhold til tabell 3.2.1.

Tabell 3.2.1 Sammenhengen mellom virkningsgraden til motorer og kraftoverføringer med kilreimdrift i forhold til anleggstørrelse.

Vifteeffekt [kW]	Motorens virkningsgrad	Kraftoverføringens virkningsgrad
0,25	60 %	
3	80 %	85 %
3 - 10	80 - 85 %	90 %
10 - 50	85 - 90 %	93 %
> 50	> 90 %	95 %

Flatreimdrift har høyere virkningsgrad enn kilreimdrift fordi denne reimtypen bøyes lettere rundt reimskivene.

Ved direktedrift unngår man energitap på grunn av kraftoverføringen. I tillegg slipper man å få reimparkler i tilluften. Disse reimparklene er som regel den viktigste årsaken til at man har finfilter etter luftbehandlingsaggregatet på tilluftssiden.

Direktedrift må som regel kombineres med turtallsregulering. Turtallsregulering er kostnadskreven, men gir også en rekke fordeler som:

- mulighet til å regulere ned luftmengde til et minimumsnivå fremfor å stenge anlegget helt. Dette reduserer faren for mikrobiell vekst og slitasjen på aggregatet.
- mulighet for å forsere luftmengden i perioder med kjølebehov
- optimal virkningsgrad på viftemotor
- egnet for behovsstyrte ventilasjonssystemer

Turtallsregulering medfører også et energitap som må tas i betraktning.

#### Anbefalinger

- Tilstreb viftevirkningsgrad på over 80%. Velg vifter med bakoverbøyde skovler eller aksialvifter i tradisjonelle anlegg. Benytt turtallsregulering med frekvensomformer ved varierende luftmengdebehov.
- Beregn anleggstrykkfall og bruk en riktig dimensjonert motor.
- Sett krav til viftemotorens virkningsgrad.
- Ikke overdimensjoner viftemotoren slik at virkningsgraden reduseres.
- Vurder flatreimdrift fremfor kilreimdrift.
- Vurder direktedrift med turtallsregulering.

Riktige produkter og riktige dimensjoner bør gi en totalvirkningsgrad over 60 % for større anlegg.

### 3.2.2 Filter

Filter renser tilluft og beskytter aggregatkomponenter som varme- og kjølebatterier og vifter. Etter hvert som filteret tilsmusses, øker trykkfallet over filteret. Trykkfallet over skitne filter kan bli over 250 Pa. Filtertrykkfallet utgjør derfor en stor andel av trykkfallet i ventilasjonssystemet.

Det finnes flere forskjellige filtertyper. De vanligste er posefiltere av glassfiber eller plastmateriale. Av disse kan man videre skille mellom finfiltere og grovfiltere. Finfilteret skal fjerne partikler mindre enn 1 mikrometer. Filterets avskillingsgrad er relativt uavhengig av lufthastigheten. Av hensyn til energieffektiviteten bør filteroverflaten gjøres så stor som mulig for å redusere trykkfallet over filteret.

Grovfiltere skal fange partikler større enn 1 mikrometer. Partiklene avskilles blant annet ved hjelp av gravitasjonskrefter. Av den grunn er man avhengig av en viss lufthastighet over filteret for å oppnå ønsket effekt. Man kan derfor ikke uten videre øke filteroverflaten for å redusere trykkfallet over et grovfilter. Grovfiltere egner seg av samme årsak ikke i anlegg med betydelig variasjon i luftmengden. På grunn av forskjellig funksjon er det sjelden økonomisk riktig å plassere et grovfilter foran et finfilter. Dette vil normalt gi liten økning i finfilterets levetid, samtidig som det øker det totale filtertrykkfallet. Økt byggelengde på aggregatet og flere filtere å vedlikeholde er andre argumenter som taler mot denne løsningen.

I tillegg til posefiltere finnes det forskjellige typer elektrostatiske filtere. Slike filtere har som oftest lavt trykkfall i forhold til posefilter og egner seg derfor godt i energieffektive anlegg. Typiske problemer med elektrostatiske filtere er at de slipper igjennom store partikler og at klumper med ladede partikler kan løsne fra elektroden og frigis til tilluften. En mulig løsning på dette er å la luften passere et renholdsvennlig kammer med så lav hastighet at disse store partiklene og klumpene legges igjen (sedimenteres) på kammerbunnen. En annen løsning er å benytte et grovfilter etter elektrostatiske filteret.

Ved utarbeidelse av effekt- og energibudsjett skal man ta hensyn til gjennomsnittlig trykkfall over filteret.

#### Anbefalinger

- Vurder behovet for filter nøye. I mange tilfeller er det tilstrekkelig med et finfilter på tilluftsiden og et på avtrekksiden. Husk at grovfilter og finfilter i serie sjelden er noen god løsning
- Vurder bruk av elektrostatiske filtere
- Bruk posefiltere med stort frontareal, dvs. lav hastighet over filteret
- Bestem sluttrykkfallet ut fra økonomiske hensyn. Be filterleverandør om hjelp til å utføre slike beregninger.
- Vurder å sløfye avtrekksfilter i bygninger med gode rutiner for renhold av lokaler og ventilasjonsanlegg.

### 3.2.3 Varmegjenvinnere og batterier

Varmegjenvinnere og batterier står for en betydelig andel av anleggsmotstanden. Lav lufthastighet over disse komponentene er derfor viktig. I dag er det vanlig å dimensjonere med en lufthastighet på 2,5 m/s gjennom et luftbehandlingsaggregat. I mange tilfeller er det gunstig å redusere denne ned mot 1,5 m/s hvis man optimaliserer ut fra livsløpskostnadene fremfor kun investeringskostnadene. Dette vil også øke komponentenes effektavgivelse.

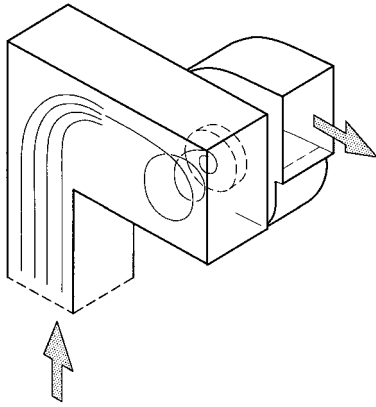
#### Anbefalinger

- Bestem aggregatstørrelse ut fra en økonomisk vurdering hvor man tar hensyn til både investerings- og driftskostnader (levetidskostnader). Be aggregatleverandørene om hjelp til å utføre slike beregninger.
- Husk at redusert hastighet gir bedre temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinnere og bedre vekslereffektivitet for varme- og kjølebatterier. Dette kan gjøre det mulig å redusere antall batteridyp.
- Benyttes varmegjenvinnere med svært høy temperaturvirkningsgrad (> 80 %) kan man vurdere å kutte ut ettervarmebatteri og dermed redusere trykkfall og byggelengde. Slike tiltak må kombineres med sikker anleggsstyring som stopper aggregatet og stenger inntaksspjeld ved frostfare.

### 3.3 Vifteinnløp og utløp - systemeffekt

Vifter testes i laboratorier under optimale forhold, som man ikke oppnår i praksis. Derfor må man regne med at tap i viftetilslutningene reduserer viftenes kapasitet. Tapet skyldes følgende:

- rotasjon i vifteinnløp
- trykkfall i vifteinnløp
- trykkfall i vifteutløp
- tilleggstrykkfall over komponenter etter vifte før hastighetsprofilen er stabilisert



Figur 3.3.1 Eksempel på uheldig utført vifteinnløp som gir medrotasjon i innløpet

Disse trykkfallene kalles systemeffekten. Systemeffekten kan, med uheldig utførelse, komme opp i flere hundre Pa. Endelig valg av vifte og motor kan først foretas etter at trykkfall er korrigert for systemeffekten.

Systemeffekten for vifter beregnes etter følgende formel:

$$\Delta p = f \cdot p_d \quad 3.3.1$$

$$p_d = \frac{\rho \cdot v^2}{2} \quad 3.3.2$$

hvor:

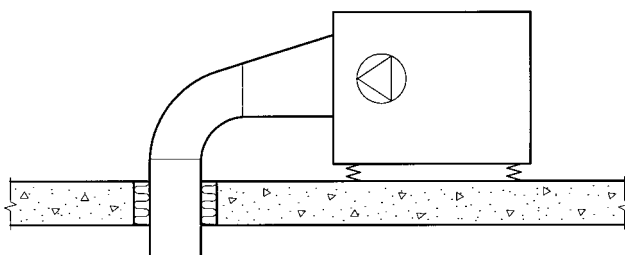
$\Delta p$ : systemeffekt

$f$ : systemeffektfaktor [dimensjonsløs]

$p_d$ : dynamisk trykk i viftens inn- eller utløp

$\rho$ : luftens tetthet [kg/m<sup>3</sup>]

$v$ : teoretisk middelhastighet (volumstrøm/areal) [m/s]



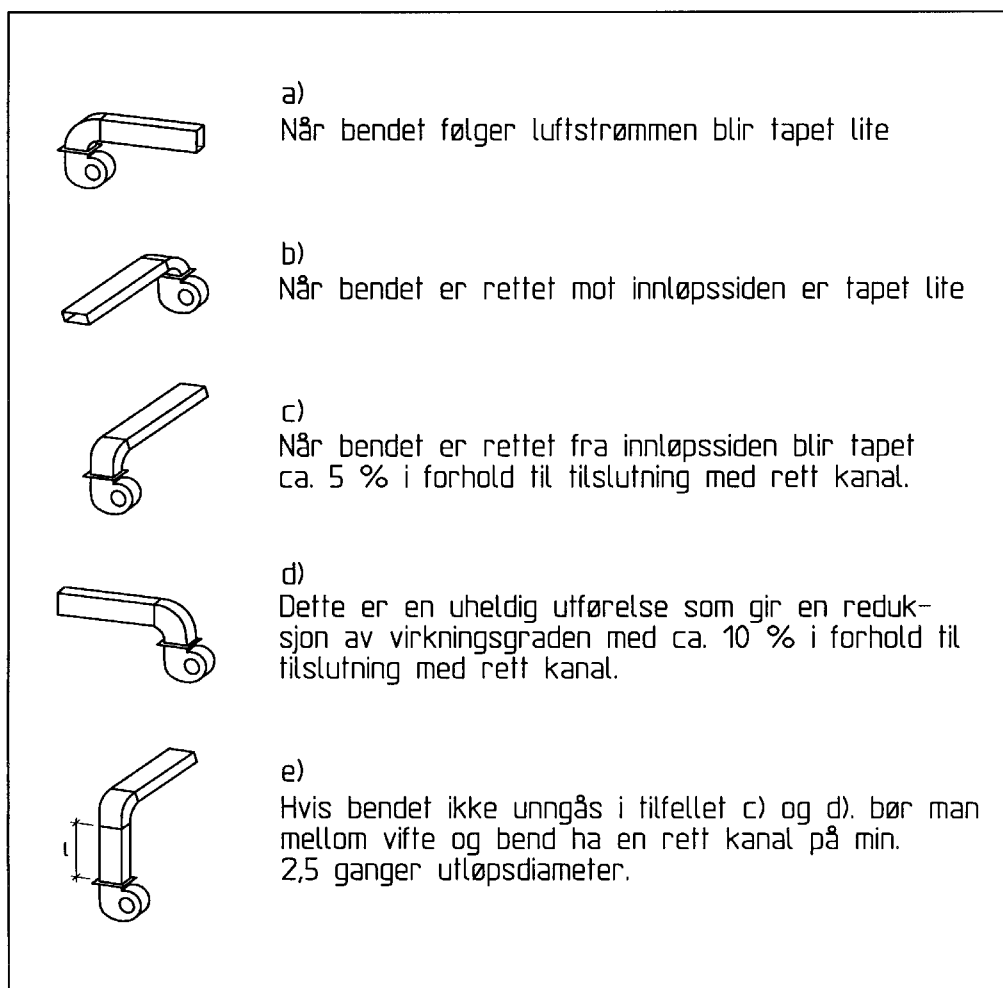
Figur 3.3.2 Eksempel på heldig utført vifteutløp med tilfredsstillende konvergensvinkel og et bend som følger luftstrømmen

#### Anbefalinger vifteinnløp

- For vifter montert i kammer bør avstanden fra vifteinnløp til tilliggende kammervegg være større enn 0,75 ganger vifteinnløpets diameter.
- Innløpskanal bør ha et tverrsnittsareal som er maksimalt 112 % og minimum 92 % av viftinnløpets areal. Konvergens i innløpet bør ha maksimal vinkel på 15°. Divergens bør ha maksimal vinkel på 7°. Konvergensvinkel og divergensvinkel er vinkel mellom senterlinjen og kanaldetaljens overflate
- Lengden på innløpskanalen bør minst være 3 ganger diameteren (avhengig av hastighet). Får man ikke dette til, bør retningsforandringer (bend) utføres med ledeskinner. Luftrettere, gjerne i form av batterier/gjenvinnere, reduserer systemeffekten.
- Strømningshindere som spjeld, påstikk m.m. må ikke forekomme i innløpskanalen.
- Unngå rotasjon i innløpet. Medrotasjon kan redusere viftetrykk og motrotasjon kan gi ustabil drift.

#### Anbefalinger vifteutløp

- Reduksjon (konvergens) av kanaltversnittet etter vifteutløpet skaper mindre trykkfall enn divergens.
- Konvergens i utløpet bør ha maksimal vinkel på 15°. Divergens bør ha maksimal vinkel på 7°. Unngå 90° bend. Bruk 45° bend.
- Utløpskanalen fra kanalvifter bør ha et rettstrekk på minimum 2,5 ganger diameteren (avhengig av hastighet) slik at hastighetsprofilen kan utvikles.
- Ta hensyn til luftstrømmens retning etter viften ved utforming av bend slik at de følger luftstrømmen.



Figur 3.3.3 Påvirkning av virkningsgraden ved forskjellige type vifteanslutninger fra radialvifter.

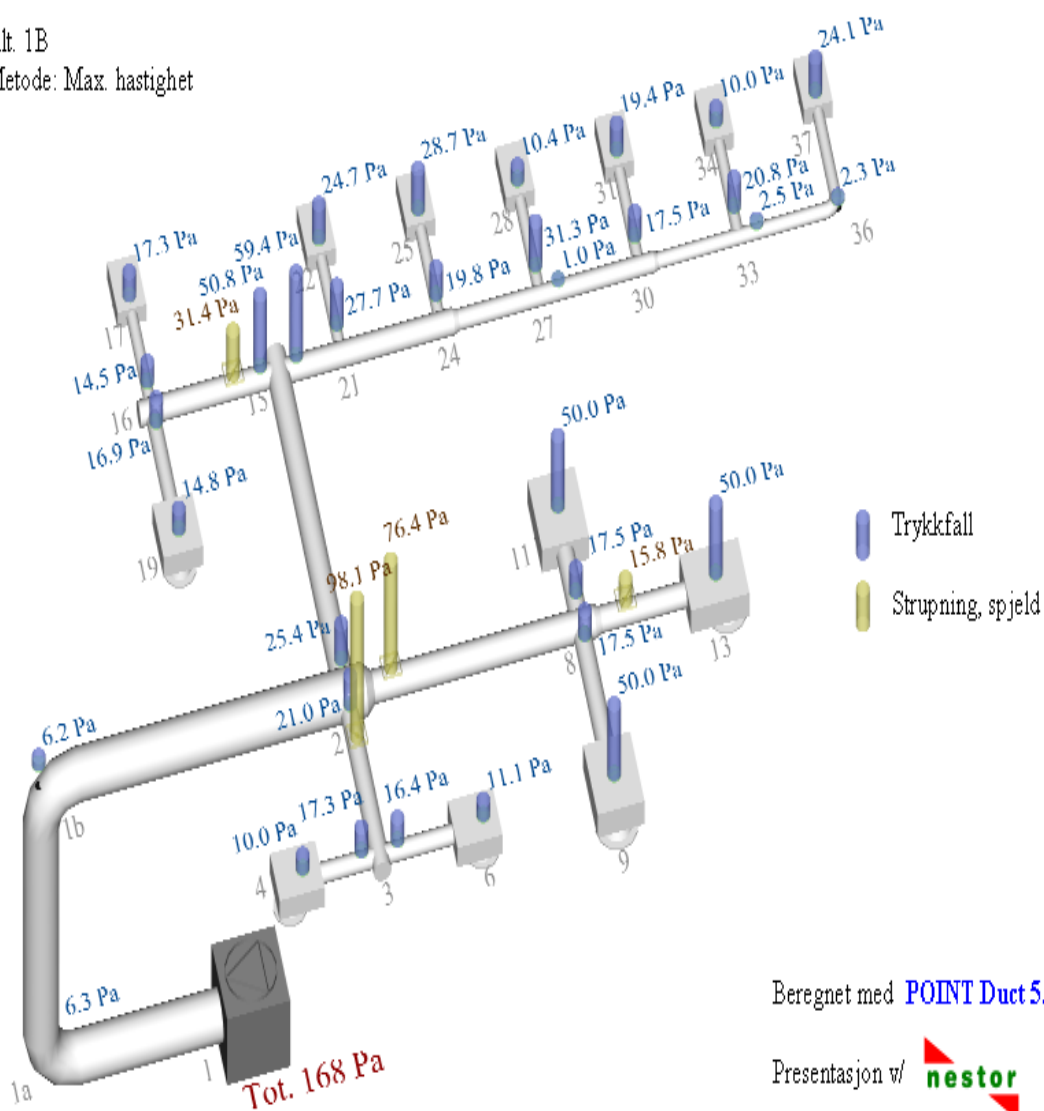
### 3.4 Kanalanlegget

Utformingen av kanalsystemet har stor innvirkning på ventilasjonsanleggets funksjon og energibehovet til viftedrift. Kanalveien med størst trykkfall fra aggregat til ventil kalles "kritisk vei". Det er denne kanaltreséen som bestemmer trykkfallet i kanalnettet. Gjør man tiltak langs kritisk vei for å redusere trykkfall kan det skje at man flytter kritisk vei. Ved optimalisering av kanaltrykkfall bør man benytte dataprogrammer som beregner resulterende trykkfall etter hvert som man prøver ut tiltak. Det er meget viktig at den prosjekterende beregner trykkfall på et tidlig stadium i prosjektet slik at man kan gjøre gunstige hovedvalg som plassering av teknisk rom, hovedføringer med mer. I tillegg må beregningene oppdateres i detaljprosjekteringen og ved senere endringer.

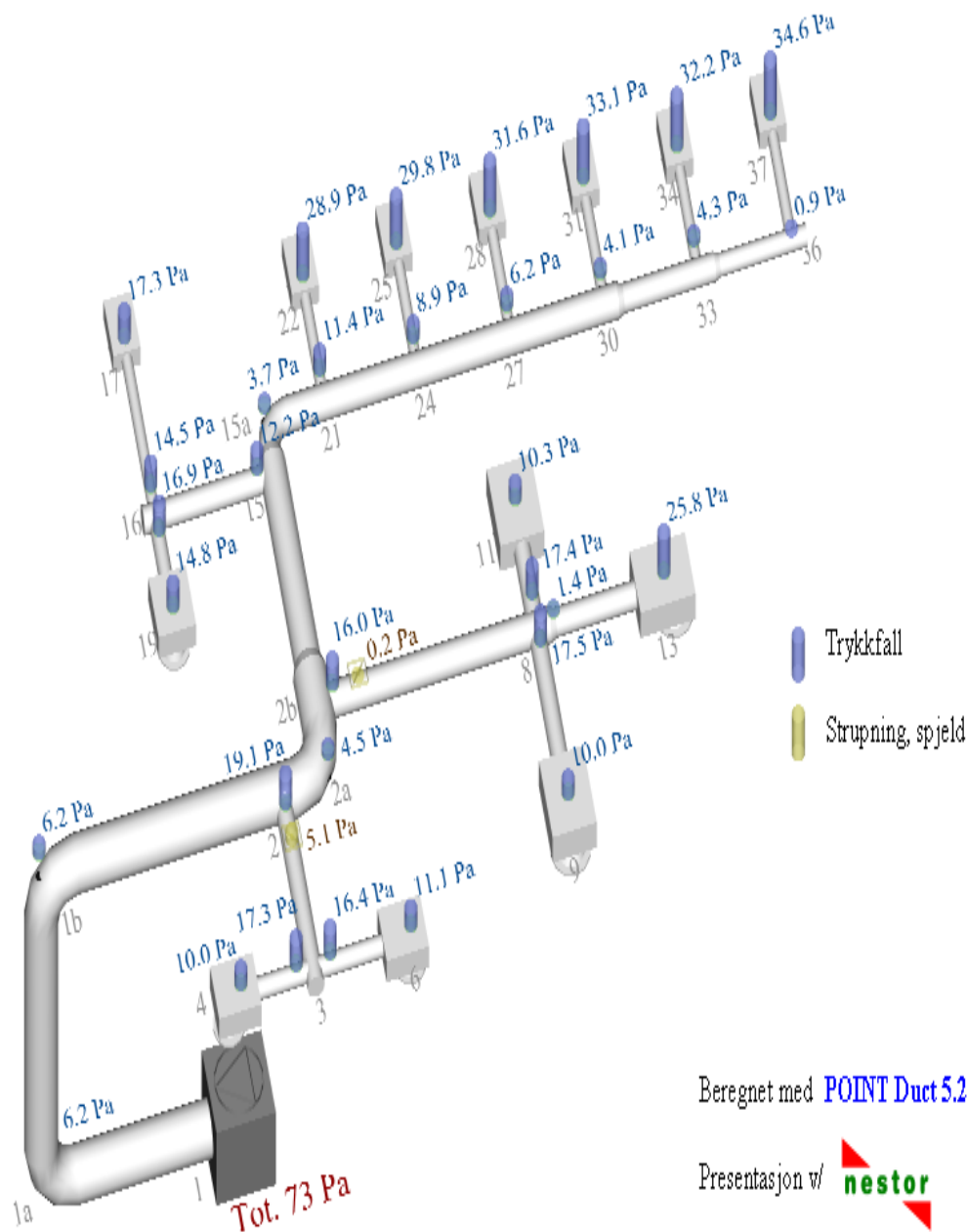
Følgende to figurer viser hvordan trykkfallet i kanalnettet halveres ved å benytte optimale komponenter langs "kritisk vei" i kanalnettet.

Alt. 1B

Metode: Max. hastighet



Figur 3.4.1 Totaltrykk ved ukritisk kanalprosjektering ble i dette tilfellet 168Pa. Dessverre er denne type løsning svært vanlig. Kraftig struping over to strupesjeld kan også gi behov for ekstra lydfeller.



Figur 3.4.2 Resulterende totaltrykk ved bruk av optimale kanalkomponenter langs kritisk vei ble redusert fra 168 Pa til 73 Pa. Tilsvarende reduksjon får vi av energibehovet til transport av luft. Vi ser at de trykkfallsreducerende tiltakene har flyttet kritisk vei fra node 34 til node 9 (åpen ventil har 10 Pa trykkfall). Spjeldstrupningen er betydelig redusert noe som også reduserer faren for uønsket støy i systemet. I tillegg kan man nå regulere inn anlegget uten strupespjeld og dermed spare seg for installasjon av disse.

Rette hovedkanaler bør prosjekteres slik at trykkfallet ligger under 0,8 Pa/m. Bend og forgreninger langs kritisk vei bør utformes slik at hver av disse bidrar med mindre enn 5 Pa. Videre må tillufts- og avtrekksventil på kritisk vei velges slik at trykkfallet over disse blir så lavt som mulig samtidig som krav til innregulering og kastelengder ivaretas. Totalt sett bør trykkfallet over et kanalnett holdes mellom 150 til 250 Pa. Vanlig praksis i dag er mellom 300 og 500 Pa.

#### Anbefalinger

- Bruk optimale komponenter langs kritisk vei. Dette gjelder særlig bruk av bend i stedet for påstikk. Bruk om mulig to 45° bend i stedet for et 90°. Plasser eventuelle 90° bend med innbyrdes avstand på minst tre kanaldiametere. Benytt tillufts- og avtrekksventil med maksimalt trykkfall på 30 Pa.
- Tilstreb systemløsninger som gir kortest mulig kanalføring og færrest mulig bend
- Ha alle spjeld åpne langs kritisk vei
- Dimensjoner hovedkanaler med et maksimalt trykkfall på 0,8 Pa/m

### 3.5 Andre komponenter

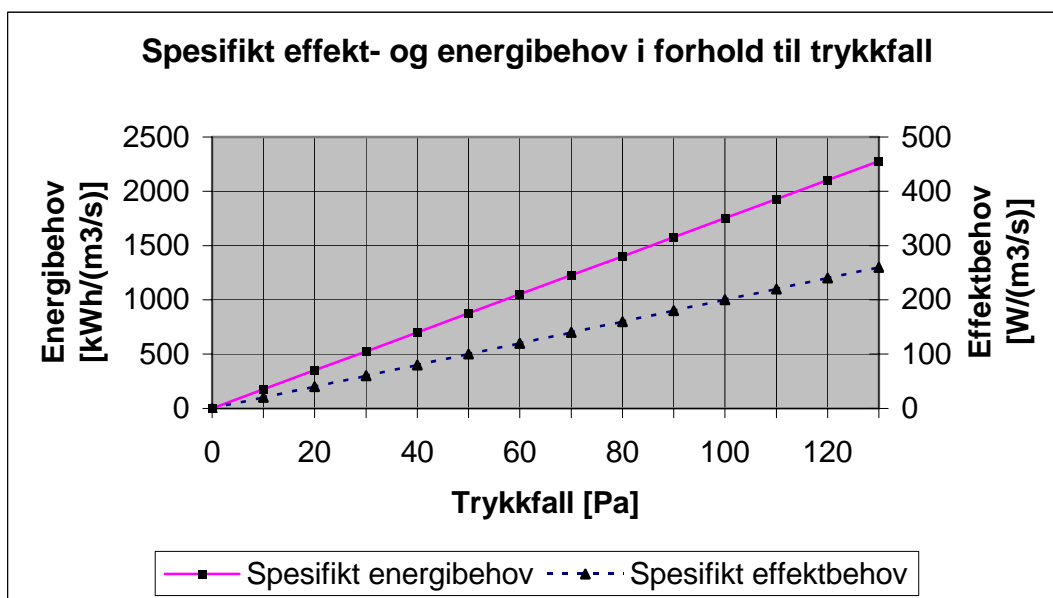
I et ventilasjonsanlegg er det en rekke andre komponenter som bidrar til anleggsmotstand og energibruk. De viktigste er:

- jethetter
- inntaksrister
- lydfeller
- terminalfiltere

#### 3.5.1 Jet-hetter

Jet-hetter benyttes til å fjerne avkastluft fra bygget slik at den ikke blander seg med friskluften ved inntaket. Jet-hetter dimensjoneres ofte med trykkfall på over 100 Pa og blir da store energisluk i ventilasjonssystemet.

Ut fra figur 3.5.1 ser vi at jet-hetter medfører et årlig energibehov til viftedrift på 525 kWh/(m<sup>3</sup>/s) ved 30 Pa til 2100 kWh/(m<sup>3</sup>/s) ved 120 Pa. Jet-hetter bør derfor velges med så lavt trykkfall som mulig samtidig som sikkerheten mot kortslutning er ivarettatt.



Figur 3.5.1. Spesifikt energi- og effektbehov i forhold til trykkfall. Et trykkfall over jet-hetten på 100 Pa medfører et årlig energibehov på 1750 kWh/m<sup>3</sup>/s. Ved beregning av spesifikt effektbehov er det benyttet virkningsgrad for viftesystemet lik 50 %. Ved beregning av spesifikt energibehov er det forutsatt årskontinuerlig drift.

#### Anbefalinger

- Plasser inntak og avkast slik at jet-hette kan unngås og slik at inntaks- og avkastkanaler blir så korte som mulig.
- Dimensjoner en eventuell jet-hette med så lavt trykkfall som mulig (maksimalt 50 Pa)

### 3.5.2 Sjalusirist

Trykkfall over rister bør ikke overstige 20 Pa. Dette trykkfallet er avhengig av lufthastighet og ristens utforming. Eksakt trykkfall bestemmes av trykkfallsdiagram utgitt av leverandør/producent. Et trykkfall på 20 Pa gir et energibehov til viftedrift på 350 kWh/(m<sup>3</sup>/s) ved årskontinuerlig drift (figur 3.5.1).

#### Anbefaling

- Dimensjoner rister med maksimalt 20 Pa trykkfall.

### 3.5.3 Lokale filtere

Lokale filtere i kanalnett kan være absoluttfiltre som plasseres som en integrert del av tilluftsventilen (terminalfiltere) i tilknytning til rom med ekstreme krav til renhet. Det kan også være filtere på avtrekk for å forhindre spredning av bakterier og virus, eller tilsmussing av kanaler.

#### Anbefaling

- Velg filtere med størst mulig tverrsnittsareal.

### 3.5.4 Lyddempere

Lydreduksjon kan enten skje sentralt i luftbehandlingsaggregatet eller lokalt i kanalsystemet.

Tradisjonelle aggregatlyddempere kan medføre et trykkfall på 50 til 100 Pa. Disse er ofte unødvendig energikrevende. Det er utviklet lavtrykkslyddempere som skal monteres rett etter viften med optimal innløpsdimensjon i forhold til vifteutløpet. Videre har lyddemperen en konisk form som gjenvinner det dynamiske trykket etter viften. Slike lyddempere reduserer aggregattrykkfallet i forhold til aggregat hvor man ikke har trykkgjenvinning etter viften.

Det finnes også aggregatlyddempere med minimalt innløps- og utløpstap på grunn av sin utforming. Slike lyddempere kan dimensjoneres for et maksimalt trykkfall på 20 Pa.

En kanallyddemper er i prinsippet en kanaldel som kles innvendig med lydabsorberende materiale. Lyddemperen bør ha samme innvendige dimensjon som kanalen for øvrig, slik at den medfører svært liten anleggsmotstand. Husk krav til tilgjengelighet for renhold!

Det er også viktig å merke seg at behovet for lyddemping reduseres i et energieffektivt ventilasjonssystem hvor man har lav hastighet over komponenter og aerodynamiske løsninger.

#### Anbefalinger

- Tilstreb bruk av aggregatlyddemper som også gir trykkgjenvinning etter viften.
- Dimensjoner eventuell annen aggregatlyddemper med maksimalt 20 Pa trykkfall.
- Foreta lydberegning. Husk at ventilasjonsanlegg med lavt trykkfall også genererer lite støy.
- Velg så lange kanallyddempere som mulig.

### 3.6 Lufthastighet og støygenerering

Endring i lydgenerering i forhold til lufthastighet i kanalnett følger sammenhengen /5/:

$$\Delta L_w = 10 \log(v_2 / v_1)^6 [dB] \quad 3.6.1$$

hvor

$\Delta L_w$ : Endring i lydeffektnivå [dB]

$v_1$ : Opprinnelig lufthastighet [m/s]

$v_2$ : Ny lufthastighet [m/s]

Dette betyr at en hastighetsreduksjon på 25% vil redusere generert støy med ca 7dB som tilsvarer omtrent dempningen i en 0,5 meter lang lydfelle om dempningen gjelder for dB(A) /1/.

I praksis betyr dette at anlegg med relativt lav SFP har lite problemer med ventilasjonsstøy og gir redusert behov for lydfeller i anlegget.

## 4 Lønnsomhetsvurderinger

Når tiltaket medfører redusert energibehov kan man tillate en merinvestering i forhold til opprinnelig løsning. Denne merinvesteringen har vi gitt betegnelsen "Tillatt investering". Tillatt investering kan finnes ved hjelp av et anslag over energibesparelse, gjennomsnittlig energipris, levetid og krav til realrente. Man ber om en foreløpig pris på tiltaket fra entreprenør og sammenligner prisen med tillatt investering. Tiltaket er lønnsomt hvis entreprenørpris inklusiv alle tillegg og antatt uforutsett, er lavere enn tillatt investering.

Tillatt investering ved energisparende tiltak er differansen mellom nåverdi av besparelsene og nåverdi av utgiftene. Nåverdi av besparelsene er summen av årlige energibesparelser over tiltakets levetid diskontert til nåverditidspunktet. Nåverdi av utgiftene er summen av eventuelle økte vedlikeholdsutgifter over tiltakets levetid diskontert til nåverditidspunktet. En slik betraktning er aktuell hvis man reduserer anleggstrykkfallet ved å skifte filteret ofte og tror prisutvikling på energi avviker fra inflasjonen. Prisutviklingen på energi kan da bakes inn i besparelsens diskonteringsfaktor (nåverdifaktor NV). Har man ikke grunnlag for å forvente en annen prisutvikling på energi enn inflasjonen kan følgende forenkling gjøres:

$$\Delta TI = \Delta B \cdot NV_{r,L} \quad 4.1.1$$

hvor

$\Delta TI$ : tillatt investering

$\Delta B$ : netto reduserte driftskostnader som følge av tiltak

$NV_{r,L}$ : nåverdifaktor (diskonteringsfaktor) basert på ønsket realrente (r) og tiltakets levetid (L)

Nåverdifaktoren kan finnes av tabell eller av følgende formel:

$$NV_{r,L} = \frac{1 - (1 + r)^{-L}}{r} \quad 4.1.2$$

Realrenten finnes av følgende formel:

$$r = \frac{r_k - j}{1 + j} \quad 4.1.3$$

hvor:

$r_k$ : ønsket avkastning uavhengig av inflasjon

$j$ : antatt prisutvikling

I kapittel 2.3 er det gitt kriterier for inntjeningstid ved beregning av lønnsomhet. Inntjeningstid er et kriterium som brukes ofte i enøk-analyser. Nedenfor følger formelen for inntjeningstid.

$$N = \frac{\log(\Delta B / (\Delta B - (I \cdot r)))}{\log(1 + r)} \quad 4.1.4$$

N: inntjeningstid

P: investering

r: realrente

Inntjeningstiden for et tiltak må alltid relateres til forutsatt levetid for tiltaket. Et tiltak betraktes normalt som lønnsomt når inntjeningstiden ikke er lengre enn halvparten av levetiden.

## 5. Eksempler

*Eksempel:*

Vi benytter en overdimensjonert asynkronmotor med virkningsgrad på 63 % og vifte med foroverbøyde skovler med en virkningsgrad på 67 % og kilremdrift med virkningsgrad på 94 %. Hva blir total virkningsgrad?

Svar:  $\eta_{tot} = 0,63 \cdot 0,67 \cdot 0,94 = 0,40$  dvs. 40 %

Vi har et anlegg med totaltrykkfall på 2.000 Pa (sum tilluft og avtrekk). Hva blir SFP-verdien?

Svar:

$$SFP = \frac{\Delta p_{tot}}{\eta_{tot}} = \frac{2}{0,4} = 5 \text{ kW/m}^3/\text{s}$$

Totaltrykkfallet er fordelt mellom kanalnett og aggregat med 1.000 Pa på hver. Ved å endre overgangen mellom aggregat og kanalnett og gå over til bend i stedet for avstikk langs kritisk vei, klarer vi å redusere kanaltrykket til 600 Pa, slik at totaltrykkfallet blir 1.600 Pa. Hva blir SFP nå?

Svar:

$$SFP = \frac{\Delta p_{tot}}{\eta_{tot}} = \frac{1,6}{0,4} = 4 \text{ kW/m}^3/\text{s}$$

Ved å gå opp en aggregatstørrelse reduserer vi hastigheten gjennom aggregatet med 30 %. Hva blir trykkfallet over aggregatet og total SFP-verdi nå? I dette tilfelle kan vi forutsette turbulent strømming.

Svar:

Ny hastighet  $v_2$  blir  $0,7v_1$ . Nytt trykkfall blir da:

$$\Delta p_2 = k \cdot 0,7^2 \cdot v_1^2 = 0,49 \cdot \Delta p_1 \approx 500 [\text{Pa}]$$

$$SFP = \frac{\Delta p_{tot}}{\eta_{tot}} = \frac{1,1}{0,4} = 2,75 \text{ kW/m}^3/\text{s}$$

Vi har mulighet til å skifte til en bedre motor med virkningsgrad på 89 % og en vifte med bakoverbøyde skovler med virkningsgrad på 84 % og flatreimdrift med virkningsgrad på 96 %. Hva blir total virkningsgrad og SFP-verdi nå?

Svar:

$$\eta_{tot} = 0,89 \cdot 0,84 \cdot 0,96 = 0,72$$

$$SFP = \frac{\Delta p_{tot}}{\eta_{tot}} = \frac{1,1}{0,72} = 1,53$$

Hva blir reduserte driftskostnader for et anlegg på 10.800 m<sup>3</sup>/h og driftstid på henholdsvis 3000 og 8760 timer pr år og el.energi pris på 0,5 kr/kWh når SFP reduseres fra 5 til 1,53?

Svar:

$$\text{Besparelse} = (SFP_1 - SFP_2) \cdot q_v \cdot \text{timer} \cdot \text{energi pris}$$

3000 driftstimer gir besparelse på 15.600 kr/år.

8760 driftstimer gir besparelse på 45.600 kr/år.

Hva blir tillatt investering (TI) for de forskjellige tiltakene:

1. Redusere trykkfall i kanalnettet fra 1000 til 600 Pa (levetid 30 år)
2. Redusere aggregattrykkfall for 1000 til 500 Pa (levetid 15 år).
3. Øke viftesystemets virkningsgrad fra 0,4 til 0,72 (levetid 15 år).

Entreprenørkostnaden for tiltak 1 er kr. 5.000,-, mens kostnaden for hver av tiltakene 2 og 3 er kr. 60.000,-. Hvordan vurderer du lønnsomheten ved realrente på 7 % og 3000 driftstimer pr år.

Svar:

Tiltak	SFP før tiltak [kW/m3/s]	SFP etter tiltak [kW/m3/s]	Netto besparelse [kr/år]	Levetid	Nåverdi-faktor	Tillatt investering	Entreprenør kostnad
1. Redusere kanaltrykkfall fra 1.000 til 600 Pa	5	4	4 500	30	12,41	55 841	5 000
2. Redusere aggregattrykkfall fra 1.000 til 500 Pa	4	2,75	5 625	15	9,11	51 232	60 000
3. Øke Viftesystemets virkningsgrad fra 0,4 til 0,72	2,75	1,53	5 490	15	9,11	50 002	60 000
Sum			15 615			157 075	125 000

Tiltak	SFP før tiltak [kW/m3/s]	SFP etter tiltak [kW/m3/s]	Netto besparelse [kr/år]	Levetid	Nåverdi-faktor	Tillatt investering	Entreprenør kostnad
1. Redusere kanaltrykkfall fra 1.000 til 600 Pa	5	4	4 500	30	12,41	55 841	5 000
3. Øke Viftesystemets virkningsgrad fra 0,4 til 0,72	4	2,22	8 010	15	9,11	72 954	60 000
Sum			12 510			128 795	65 000

Vi ser at rekkefølgen av tiltakene påvirker lønnsomheten. Tiltak 2 er ikke lønnsomt. Tiltak 3 er ikke lønnsomt hvis tiltak 2 gjennomføres. Tiltak 3 er lønnsomt hvis tiltak 2 ikke gjennomføres.

Andre fordeler med tiltakene er at de gir:

- Redusert støygenerering i anlegget med mulighet for å redusere bruken av lydfeller.
- Redusert hastighet gjennom aggregatet vil gi bedre virkningsgrad på varmegjenvinner og høyere ytelse over kjøle-/ varmbatterier med mulighet for å redusere antall dyp som vil redusere kostnader og trykkfall ytterligere.

## 6. Litteraturkilder

- /1/ NBI oppdrag O9321, Innføring av SFP, Mysen, Polak, Valasjø og Krogsrud (1999)
- /2/ Jagemar, Lennart, ENERGIEKONOMI, Val av fläkter och kanalutforming, Document D10:1991, Chalmers tekniska högskole
- /3/ Klassindelade luftdistribusjonssystem, Projektering och upphandling, Svenska inneklimatinstitutet (Version 1.0).
- /4/ SBI anvisning 188, Ventilationsanlæg med lavt energiforbruk (1995).
- /5/ Stampe O.B, Glent Klimateknik, Glent & Co, Hvidovre, DK (1982)
- /6/ Fläkten Nr 70, Bjørn Stigson, 1984
- /7/ PM-luft, Hovedkatalog 96
- /8/ Ventøk 7.3 og 7.4, Skarland press 1997/1998, forfatter Kristoffer Polak

# VEDLEGG A

## VEILEDNING FOR BESTEMMELSE AV SFP-VERDI I NYE ANLEGG

ENERGIEFFEKTIV VIFTEDRIFT - PROSJEKTERINGSVEILEDNING

### VEILEDNING FOR BESTEMMELSE AV SFP-VERDI I NYE ANLEGG

#### 1. INNLEDNING

Denne veiledningen er utarbeidet for bruk ved bestemmelse av SFP-verdi ved overlevering av nye anlegg

#### 2. DEFINISJONER

##### 2.1 SFP

SFP beregnes ut fra følgende formel:

$$SFP = \frac{\sum P}{\dot{V}} [kW/m^3/s]$$

hvor:  $\sum P$  - summen av alle vifteeffekter, kW

$\dot{V}$  - totalluftmengde, m<sup>3</sup>/s

OBS! Alle vifter i anlegget som går kontinuerlig skal tas med.

##### 2.3 Vifteeffekt

De aller fleste vifter drives ved hjelp av asynkrone trefase-vekselstrømmotorer.

Ved vekselstrøm skilles det mellom tre typer effekt:

- aktiv effekt P
- reaktiv effekt Q
- tilsynelatende effekt S

Forholdet mellom aktiv og reaktiv effekt uttrykkes ved hjelp av  $\cos\phi$  (hvor  $\phi$  er vinkelen mellom P og S):

$$P = S \times \cos\phi$$

For  $\cos\phi = 1$  (ingen forskyvning) er den aktive effekten lik tilsynelatende effekt og kan måles ved hjelp av en vanlig strømtang. For lavere verdier av  $\cos\phi$  er den aktive effekten mindre enn den tilsynelatende.

For vekselstrømmotorer er  $\cos\phi$  alltid lavere enn 1 og ligger normalt mellom 0,30 og 0,90, avhengig av motorstørrelse, fabrikk, og belastning.

Det er den aktive effekten som er proporsjonal med energi forbrukt i motoren, og strømgregningen for drift av viftemotorer er proporsjonal med denne effekten, og følgelig er det den aktive effekten som inngår i SFP.

## 2.4 Summen av vifteeffekter

Det er summen av vifteeffekter i ventilasjonsanlegget som inngår i formelen for beregning av SFP.

## 2.5 Luftmengde

Luftmengden i formelen er den største av to verdier: tilluft- eller avtrekksluftmengden.

Den luftmengden som inngår i formelen er ”netto luftmengden”, dvs denne luftmengden som i virkeligheten kommer lokalene til gode. Brutto luftmengden er den som strømmer gjennom selve viften. Det er alltid lekkasjer både i ventilasjonsaggregatet og i kanalene som reduserer netto luftmengden i forhold til brutto luftmengden.

## 3. BESTEMMELSE AV SFP

### 3.1 Bestemmelse av luftmengde.

Ved overlevering av et nytt anlegg må innreguleringsprotokollen foreligge. Målingene skal gjennomføres i hht Fellesnordiske retningslinjer, NBI-anvisning 16-7.

Ved måling skal samtlige vinduer, dører etc være lukket. Målingene skal utføres med kalibrerte måleinstrumenter og kalibreringsbevis må vedlegges.

Protokollen skal omfatte luftmengder på romnivået (netto). Fra protokollen finner man summen av tilluftsmengder og avtrekksmengder. Den største verdien av de to betegnes som  $\dot{V}$  og brukes videre i beregningen av SFP.

### 3.2 Måling av vifteeffekten

Det skal brukes et måleinstrument som gjør det mulig å bestemme den aktive effekten, f.eks. en Nanovip Power meter, Fluke 41B, Hioki 3165, Net F27, eller tilsvarende.

Målemetoden varierer for de forskjellige instrumentmerker, det henvises til bruksanvisning for hvert enkelt instrument. Effekten finnes ut/beregnes avhengig av måleinstrumentet.

Ferdig avlest/beregnet aktiv effekt i kW føres inn i måleskjemaet. Gjentas for alle motorer. Aktiv effekt for alle motorer summeres opp. Summen betegnes som  $\Sigma P$  og brukes videre i beregningen.

### 3.3 Beregning av SFP-verdi.

SFP-verdien regnes ut med formelen:

$$SFP = \Sigma P / \dot{V} \quad [kW/m^3/s]$$

### 3.4 Måleusikkerhet.

Måleusikkerheten  $F_S$  beregnes ut fra formelen:

$$F_S = \sqrt{F_V^2 + F_I^2 + F_U^2} \quad [\%]$$

Hvor:

$F_V$  - måleusikkerhet for luftmengden [%]

$F_I$  - måleusikkerhet for strømstyrke [%]

$F_U$  - måleusikkerhet for spenning [%]

Måleusikkerhet er avhengig målemetodenes og måleinstrumentenes nøyaktighet. Det er  $F_V$  - måleusikkerhet for luftmengden som har den største betydning for den totale måleusikkerheten  $F_S$ .

Det skal brukes metoder og instrumenter som gir en maksimal måleusikkerhet  $F_S$  på 12%.

## 4. RAPPORTERING

Rapporteringen skal oppfylle krav til sporbarhet og kvalitetssikring. Det skal fremgå klart fra rapporten:

- hvem har utført målingene/beregningene
- med hvilke metoder og instrumenter er målingene utført
- instrumentenes kalibrering
- hvem har kvalitetssikret rapporten
- dato for målinger og rapport
- hvilke dokumenter/kilder ble brukt for å fremskaffe øvrige opplysninger

Et forslag til standardskjema for målingene er gitt i vedlegg 1.

I dokumentasjonen bør det også medtas, i tillegg til selve SFP-verdien, følgende opplysninger:

- viftediagrammer med merket arbeidspunkt for hver vifte, med viftens virkningsgrad angitt
- data for elektriske motorer:
- merkeeffekt, med tilhørende virkningsgrad og  $\cos\phi$
- virkelig effekt, med faktisk virkningsgrad og  $\cos\phi$

**OBS! Måleprotokollen skal inneholde målt verdi av trykkfall over filteret. Dette fordi luftmengden vil avta med økt trykkfall. SFP skal i utgangspunktet måles med rent filter.**

## VEDLEGG A1

<b>MÅLERAPPORT FOR BESTEMMELSE AV SFP</b>		
Bygg:	Prosjekt:	Dato:
Anleggsnavn		Kode:
Anlegget betjener sone:	Sonens areal:	Sonens bruk:
Netto luftmengde, prosjektert: m <sup>3</sup> /h	Netto luftmengde, målt: m <sup>3</sup> /h	Antall vifter i systemet:
Netto luftmengde, <b>V</b> : m <sup>3</sup> /s	Summen av målte vifteeffekt, <b>ΣP</b> : kW	
Måleusikkerhet luftmengde: %	Måleusikkerhet effekt: %	Måleusikkerhet SFP: %
<b>SFP-verdi</b> : kW/m <sup>3</sup> /s	Rapporten utført av (firma):	
Rapporten utført av (navn):	Rapporten kontrollert av (navn):	
Underskrift (1):	Underskrift (2):	
Kommentarer:		

## VEDLEGG B

### BEREGNING AV EFFEKT- OG ENERGIBUDSJETT FOR VENTILASJONSANLEGG

ENERGIEFFEKTIV VIFTEDRIFT – PROSJEKTERINGSVEILEDNING

Energi og effektbudsjett for ventilasjonsanlegg:

Luftmengde: ..... m<sup>3</sup>/s      SFP = ..... kW/m<sup>3</sup>/s      Driftstid: .....timer/uke

Tabell 1: Beregninger til energibudsjett

		Jan.	Feb.	Mars	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Des.	SUM
Månedens utetemp.	°C													
Transm./infiltr. varmetap	kWh/mnd													
Ekstern varmetilskudd	kWh/mnd													
Intern varmeutvikling	kWh/mnd													
Ønsket tillufttemperatur	°C													
Brutto varmebehov	kWh/mnd													
Gjenvunnet varme	kWh/mnd													
Tilskudd fra tilluftsvifte	kWh/mnd													
Ettervarmingsbehov	kWh/mnd													
Energi vifter	kWh/mnd													
<b>Sum energi</b>	<b>kWh/mnd</b>													

Brutto varmebehov = (T<sub>inn</sub> - T<sub>ute</sub>) x spesifikk varme x luftmengde x driftstid

Bruttovarmebehov: energimengde nødvendig for å varme uteluft til ønsket tilluftstemperatur

Tabell 2: Effektbudsjett

Luftmengde	m <sup>3</sup> /s	
DUT	°C	
Gjenv.grad	%	
SFP		
<b>Motoreffekt</b>	<b>kW</b>	
<b>Ettervarme</b>	<b>kW</b>	

Tabell 3: Energibudsjett

		Januar	Februa r	Mars	April	Mai	Juni	Juli	August	Septe mber	Oktobe r	Novem ber	Desem ber	SUM
Ettervarmingsbehov	kWh/mnd													
Energi vifter	kWh/mnd													
<b>Sum energi</b>	<b>kWh/mnd</b>													

## VEDLEGG C

### SJEKKLISTER FOR PROSJEKTERING, OPTIMALISERING OG SLUTTKONTROLL

ENERGIEFFEKTIV VIFTEDRIFT - PROSJEKTERINGSVEILEDNING

SJEKKLISTE FOR PROSJEKTERING, FORPROSJEKT OG DETALJPROSJEKT FASE 1				
1	Nøkkeldata for bygget:			Kommentarer
	virksomhet			
	totalt areal		m <sup>2</sup>	
	totalt behandlet luftmengde		m <sup>3</sup> /h	
	anlegg nr. 1			
	behandlet luftmengde		m <sup>3</sup> /h	
	driftstid pr. år		timer	
	valgt SFP		kW/m <sup>3</sup> /s	
2	Detaljprosjektering			
	<b>TRYKKTAP</b>			
	trykktap i tilluftskanaler		Pa	
	trykktap i tilluftsventiler		Pa	
	trykktap i aggregat (tilluft)		Pa	
	systemeffekt		Pa	
	trykktap i luftinntak		Pa	
	<b>SUM TRYKKTAP TILLUFT</b>		Pa	
	trykktap i avtrekkskanaler		Pa	
	trykktap i avtrekksventiler		Pa	
	trykktap i aggregat (avtrekk)		Pa	
	systemeffekt		Pa	
	trykktap i luftavkast		Pa	
	<b>SUM TRYKKTAP AVTREKK</b>		Pa	
	<b>VIRKNINGSGRADER</b>			
	Virkningsgrad tilluftsvifte		%	
	Virkningsgrad tilluftsviftemotor		%	
	Virkningsgrad tilluft, kraftoverføring		%	
	<b>Total virkningsgrad tilluft</b>		%	
	Vifteeffekt fra diagram		kW	
	<b>EFFEKT TILLUFT, HOVEDVIFTE</b>		kW	
	Virkningsgrad avtrekksvifte		%	
	Virkningsgrad avtrekksviftemotor		%	
	Virkningsgrad avtrekk, kraftoverføring		%	
	<b>Total virkningsgrad avtrekk</b>		%	
	Vifteeffekt fra diagram		kW	
	<b>EFFEKT AVTREKK, HOVEDVIFTE</b>		kW	
	<b>EFFEKT BI-AVTREKKSIVIFTER</b>		kW	
	<b>SUM EFFEKT ALLE VIFTER</b>		kW	
	<b>BEHANDLET LUFTMENGDE</b>		m <sup>3</sup> /s	
	<b>SFP-VERDI</b>		kW/m <sup>3</sup> /s	

<b>SJEKKLISTE FOR OPTIMALISERING</b>							
		Utgangs- punkt	Etter tiltak	Ekstra kostnad	Drifts- besparelse	Inntjenings- tid	Sluttverdi
	<b>TRYKKTAP</b>			kr.	kr/år	år	
	trykktap i tilluftskanaler						
	trykktap i tilluftsventiler						
	trykktap i aggregat (tilluft)						
	systemeffekt						
	trykktap i luftinntak						
	<b>SUM TRYKKTAP TILLUFT, PA</b>						
	trykktap i avtrekkskanaler						
	trykktap i avtrekksventiler						
	trykktap i aggregat (avtrekk)						
	systemeffekt						
	trykktap i luftavkast						
	<b>SUM TRYKKTAP AVTREKK, PA</b>						
	<b>VIRKNINGSGRADER</b>						
	Virkningsgrad tilluftsvifte						
	Virkningsgrad tilluftsviftemotor						
	Virkningsgrad tilluft, kraftoverføring						
	Total virkningsgrad tilluft						
	Vifteeffekt fra diagram						
	<b>EFFEKT TILLUFT, HOVEDVIFTE</b>						
	Virkningsgrad avtrekksvifte						
	Virkningsgrad avtrekksviftemotor						
	Virkningsgrad avtrekk, kraftoverføring						
	Total virkningsgrad avtrekk						
	Vifteeffekt fra diagram						
	<b>EFFEKT AVTREKK, HOVEDVIFTE</b>						
	<b>EFFEKT BI- AVTREKKSIVIFTER</b>						
	<b>SUM EFFEKT ALLE VIFTER, KW</b>						
	<b>BEHANDLET LUFTMENGDE, M<sup>3</sup>/S</b>						
	<b>SFP-VERDI, KW/M<sup>3</sup>/S</b>						

<b>SJEKKLISTE FOR SLUTTKONTROLL</b>				
	<b>TRYKKTAP</b>	Prosjektert	Dokumen tert	Kommentarer
	trykktap i tilluftskanaler			
	trykktap i tilluftsventiler			
	trykktap i aggregat (tilluft)			
	systemeffekt			
	trykktap i luftinntak			
	<b>SUM TRYKKTAP TILLUFT, PA</b>			
	trykktap i avtrekkskanaler			
	trykktap i avtrekksventiler			
	trykktap i aggregat (avtrekk)			
	systemeffekt			
	trykktap i luftavkast			
	<b>SUM TRYKKTAP AVTREKK, PA</b>			
	<b>VIRKNINGSGRADER</b>			
	Virkningsgrad tilluftsvifte			
	Virkningsgrad tilluftsviftemotor			
	Virkningsgrad tilluft, kraftoverføring			
	Total virkningsgrad tilluft			
	Vifteeffekt fra diagram			
	<b>EFFEKT TILLUFT, HOVEDVIFTE</b>			
	Virkningsgrad avtrekksvifte			
	Virkningsgrad avtrekksviftemotor			
	Virkningsgrad avtrekk, kraftoverføring			
	Total virkningsgrad avtrekk			
	Vifteeffekt fra diagram			
	<b>EFFEKT AVTREKK, HOVEDVIFTE</b>			
	<b>EFFEKT BI-AVTREKKS VIFTER</b>			
	<b>SUM EFFEKT ALLE VIFTER, KW</b>			
	<b>BEHANDLET LUFTMENGDE, M<sup>3</sup>/S</b>			
	<b>SFP-VERDI, KW/M<sup>3</sup>/S</b>			