

CATHERINE GRINI OG TORE WIGENSTAD

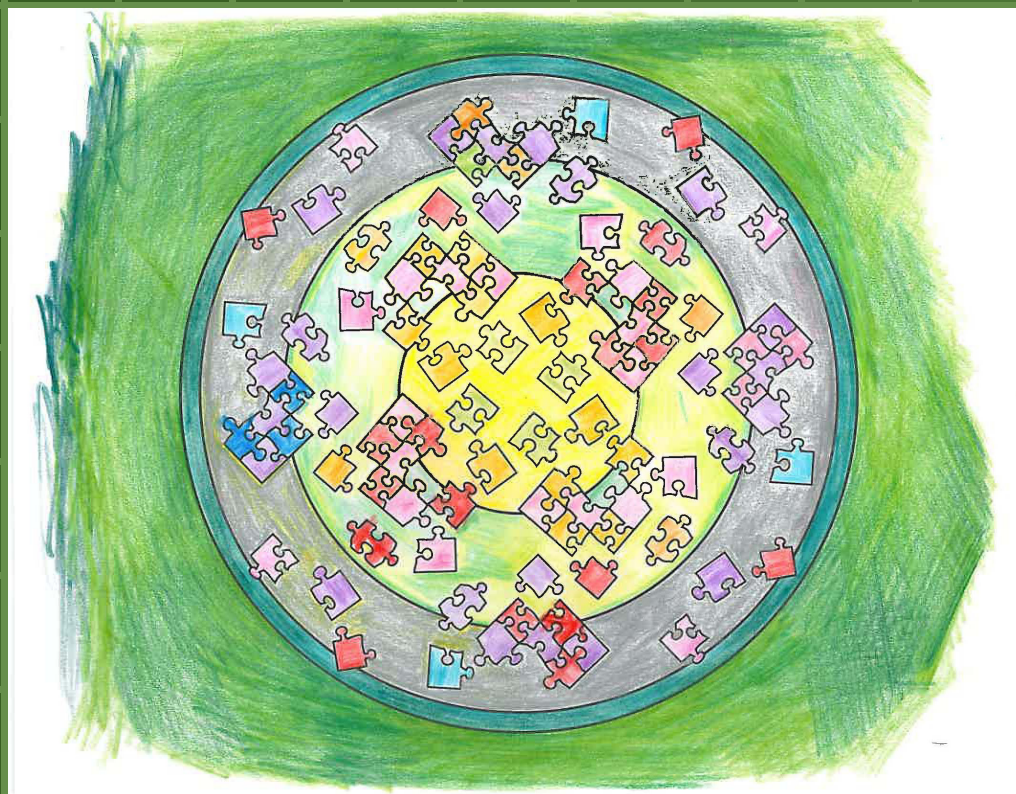
LECO

Behovstilpasset ventilasjon

Hvordan får man alle brikkene på plass?

Prosjektrapport 73

2011



SINTEF Byggforsk

Catherine Grini og Tore Wigenstad

LECO

Behovstilpasset ventilasjon

Hvordan får man alle brikkene på plass?

Prosjektrapport 73 – 2011

Prosjektrapport nr. 73
Catherine Grini og Tore Wigenstad

LECO

Behovstilpasset ventilasjon

Hvordan får man alle brikkene på plass?

Emneord:

Energibruk, ventilasjon, kontorbygg

ISSN 1504-6958

ISBN 978-82-536-1202-7 (pdf)

ISBN 978-82-536-1203-4 (trykt)

Prosjektnr.: 3B015130

38 eks. trykt av AIT AS e-dit

Innmat: 100 g munken polar

Omslag: 240 g trucard

© Copyright SINTEF akademisk forlag 2011

Materialet i denne publikasjonen er omfattet av åndsverklovens bestemmelser. Uten særskilt avtale med SINTEF akademisk forlag er enhver eksemplarframstilling og tilgjengeliggjøring bare tillatt i den utstrekning det er hjemlet i lov eller tillatt gjennom avtale med Kopinor, interesseorgan for rettighetshavere til åndsverk.

Utnyttelse i strid med lov eller avtale kan medføre erstatningsansvar og inndragning, og kan straffes med bøter eller fengsel.

Adr.: Forskningsveien 3 B
Postboks 124 Blindern
0314 OSLO

Tlf.: 22 96 55 55

Faks: 22 69 94 38 og 22 96 55 08

www.sintef.no/byggforsk



Forord

Denne studien inngår som en del av FoU-prosjektet ”LECO, Low Energy COmmercial buildings”.

Energiforbruk knyttet til norske yrkesbygg utgjorde ca. 36 TWh i 2007, hvilket tilsvarer ca 45 % av energiforbruk i bygninger. Potensialet for energieffektivisering av denne delen av bygningsmasse ved bruk av eksisterende teknologi antas å være 6,5 TWh innen 2020. (Lavenergiutvalget, juni 2009 [1])

LECO har til hensikt å samle eksisterende og å utvikle ny kunnskap om energieffektive løsninger for å redusere energibruk i næringsbygg. Målsetningen er å lage guidelines for å redusere energibruket med hhv. 50 %, 75 % og 90 % til et typisk kontorbygg av i dag (der levert energi til referansebygg er 300 kWh/m²·år.).

Energien som behøves til å ventilere et bygg består i klimatisering av ventilasjonsluften (oppvarming og evt. kjøling), drift av ventilasjonsvifter og drift av luftbehandlingsanlegget (drift av varmegjenvinner, sirkulasjonspumper til varme- og kjølebatterier og drift av automatisering). Den utgjør en betydelig post i energibudsjettet. Energibehovet som skyldes ventilasjon antas å stå for ca. 40% av den totale netto energibehov for et kontorbygg utført etter TEK07 [2].

Behovstilpasset ventilasjon anses som en riktig løsning for å redusere energibehovet knyttet til ventilasjon. Prinsippet forutsetter at ventilasjonsbruken begrenses til ventilasjonsbehovet uten at inneklimate lider av det. Denne rapporten presenterer hva som anses til å være state-of-the-art for behovstilpasset ventilasjon i Norge i dag. Studien er avgrenset til balansert ventilasjonsanlegg med varmegjenvinner.

Studien er utført av Catherine Grini (SINTEF Byggforsk). Tore Wigenstad (SINTEF Byggforsk) har vært prosjektleder for LECO. Takk til Pål Hanssen (SAAS Prosjekt as), Bjørn Tore Larsen (Stiftelsen Vekst), Paul Haaland (YIT Building Systems AS), Natasa Djuric (SINTEF Energi AS), Finn Drangsholt (Høgskolen i Oslo) og Johan Brevik (Belimo) som har bidratt med nyttig og relevant bakgrunnsinformasjon. Takk til Pål Hanssen (SAAS Prosjekt as), Ida Bryn (Erichsen & Horgen A/S), Johan Brevik (Belimo), Knut Ivar Grue (Gunnar Karlsen), Sverre Holøs (SINTEF Byggforsk) og Mads Mysen (SINTEF Byggforsk) for gjennomlesning av rapportens siste utkast. Studien ble avsluttet i vinter 2010/2011.

LECO er et kompetanseprosjekt med brukermedvirkning (KMB).

Prosjektet ledes av SINTEF Byggforsk og gjennomføres i samarbeid med SINTEF Energi AS, Erichsen & Horgen AS, Entra Eiendom AS, YIT AS, Entro AS, Hunter Douglas AS, Per Knudsen Arkitektkontor AS, Rambøll AS, Skanska AS, og OptoSense AS.

Prosjektet ble igangsatt høsten 2008 og vil pågå til utgangen av 2010.

Vi takker prosjektets partnere og Norges forskningsråd for finansiering av prosjektet.

Sammendrag

Energien som behøves til å ventilere et bygg består i klimatisering av ventilasjonsluften (oppvarming i den kalde årstiden og evt. kjøling om sommeren), drift av ventilasjonsvifter og drift av luftbehandlingsanlegget. Den utgjør en betydelig post i energibudsjettet. Energibehovet som skyldes ventilasjon antas å stå for ca. 40% av den totale netto energibehov for et kontorbygg utført etter TEK07 [2]. Ved bruk av behovstilpasset ventilasjon har det vært beregnet at denne andelen kan reduseres til 25% [3].

Med et slikt utgangspunkt er det ikke overraskende at behovstilpasset ventilasjon er en gjenganger når nyere energieffektive bygninger presenteres. Formålet med denne studien handlet i utgangspunktet om å presentere de eksisterende reguleringsprinsippene for bruk av behovstilpasset ventilasjon i kontorbygg, samt å belyse energibesparelser som kan oppnås ved bruk av slik regulering. Det visste seg at studien også måtte berøre nærliggende temaer. For å kunne vite hvordan ventilasjonsluftmengder skal behovstilpasses, er man nødt til å vite hvilket ventilasjonsbehov man har. For å kunne etterevaluere effektiviteten av behovstilpasset ventilasjon, er man nødt til å beregne effekten av dette tiltaket. Og for å kunne være trygg på effektiviteten av et tiltak, må man ha kontrollert på forhånd de teoretiske og reelle energibesparelsene i reelle anlegg i eksisterende bygg.

Denne rapporten presenterer state-of-the-art for behovstilpasset ventilasjon per i dag der tre reguleringsprinsipper konkurrerer: trykkregulering, regulering ved innlesing av spjeldposisjon og spjeldposisjonsregulering.

Studien dweler også ved enkelte problemstillinger det ikke har vært rom for å utdype nærmere. To sentrale tema vi mener trenger nærmere utdyping er:

- Ventilasjonsbehovet utenfor brukstid
- Ettorevaluering av effektivitet for behovstilpasset ventilasjon.

TEK10 krever at ventilasjonsanlegget i kontorbygg skal være i drift utenfor brukstid uten at det finnes forskningsstudier som underbygger at dette er nødvendig. Dette spørsmålet er en grunnstein som må avklares før man kan si noe om energibesparelser som ligger i behovstilpasset ventilasjon. Et kontorbygg står tomt flere timer enn det er i bruk i løpet av ett år. Natt- og helgedrift er avgjørende for energibruken. Det er behov for forskning rundt denne problematikken. Et større antall ventilasjonsanlegg med og uten døgnkontinuerlig drift må kartlegges og helst utsettes for endring i driftsregime slik at man klarer å konkludere om risiko for helsefarlig mikrobiologisk vekst i ventilasjonsanlegg med intermittert drift.

Det har vært vanskelig å finne registrering av energibruk som går til ventilasjon i nyere anlegg med behovstilpasset ventilasjon. Energioppfølging av hele bygg er blitt en vanlig driftsrutine. Analyse av de enkelte energipostene i energibudsjettet er derimot en sjeldenhet. Enda mer sjelden er oppfølging av de enkelte postene relatert til ventilasjon. Effektiviteten til behovstilpasset ventilasjon ser ikke ut til å være gjenstand for etterevaluering. På samme måte som behov for døgnkontinuerlig driftstid må begrunnes, er det behov for å analysere de reelle energibesparelser, og den ekstra energibruken i form av automatisering, som hører sammen med bruk av behovstilpasset ventilasjon. Dette temaet er gjenstand for forskning i flere pågående prosjekter. Disse vil forhåpentligvis gjøre tilgjengelig et bedre tallmaterialet i løpet av de nærmeste årene.

Begreper

Behovstilpasset eller behovsstyrt ventilasjon er et begrep for alle ventilasjonssystemer der den tilførte ventilasjonsluftmengden varierer over tid.

Buss-systemer er en fellesbetegnelse for datanettverk for styrings-, regulerings- og overvåknings-systemer. Buss-systemer er nettverkssystemer der alle enheter er koblet til samme kommunikasjonslinje (buss). Alle telegram på bussen går til alle enhetene, men kun den adresserte enheten tar vare på og behandler telegrammet.

CAV-systemer (Constant Air Volume) er ventilasjonssystemer som opererer med konstant luftmengde gjennom hele driftstiden for luftbehandlingsanlegget.

DCV-IR-systemer (Demand Controlled Ventilation – Infrared sensor) er ventilasjonssystemer som styres av en infrarød sensor som registrerer bevegelser/tilstedeværelse i rommet. Slike systemer leverer normalt to ulike luftmengder avhengig av om rommet er i bruk eller ikke.

DCV-CO₂-systemer (Demand Controlled Ventilation – CO₂-sensor) er ventilasjonssystemer som styres av en sensor som registrerer CO₂-nivå i rommet. Luftmengden styres i forhold til et ønsket maksimalt CO₂-nivå. Systemet leverer en luftmengde som er avhengig av antall personer og personaktivitet i rommet.

EIB (European Installation Buss) er et Buss-system.

ITB (Integrerte Tekniske Bygningsinstallasjoner) er en fellesbetegnelse for integrerte tekniske bygningsinstallasjoner. Betegnelsen omfatter blant annet Buss, EIB, LonWorks og SD-anlegg.

LonWorks (Local Operating Networks) eller LON er et Buss-system.

Node er den minste adresserbare enheten tilknyttet bussen. Noden sikrer at overføring gjennomføres i henhold til avtalte regler. Noder kalles også for bussdeltakere.

ppm (parts per million) er et mål på volumet av en gass i forhold til luftvolumet for øvrig.

RF (Relativ Fuktighet) er den relative fuktigheten i luften. RF uttrykkes i [%].

SD-anlegg (Sentralt Driftskontroll-anlegg) er anlegget som legger til rette for sentral styring av drift for noen eller alle tekniske installasjoner i et bygg.

SFP (Specific Fan Power) eller spesifikk vifteeffekt er forholdet mellom den elektriske effekten som er nødvendig for å drive en vifte, og den luftmengden som forflyttes ved hjelp av viften. SFP uttrykkes i [kW/(m³/s)].

SPR (Static Pressure Reset), også kalt spjeldposisjonsregulering eller regulering ved Optimiser er et reguleringsprinsipp for behovstilpasset ventilasjon.

Varmegjenvinnerens temperatur virkningsgrad angir hvor stor andel av varmen i avtrekksluften som overføres til tilluften. NS 3031 [22] inneholder retningslinjer for beregning av den.

VAV-systemer (Variable Air Volume) er ventilasjonssystemer som opererer med variabel luftmengde gjennom driftstiden for luftbehandlingsanlegget.

VAV-spjeld er motorspjeld med automatikk for struping og innebygd måling av enten luftmengde eller trykkfall.

VOC (Volatile Organic Compounds) er flyktige organiske forbindelser som finnes i luften (blanding av forskjellige gasser). VOC i inneklimate sammenheng omfatter avgassing fra byggematerialer, installasjoner, innredning, møbler, tekstiler, renholdsmidler, mat og drikke, maling, lakk, mennesker, dyr, kosmetikk, mikroorganismer osv. Måling av VOC i et innemiljø kan gi indikasjoner om luftkvalitet.

VSD (Variable Speed Drive) eller **VFD** (Variable Frequency Drive) eller frekvensomformer er en komponent ved viftemotor som brukes for regulering av viftehastighet.

TVOC (Total Volatile Organic Compounds) er totalkonsentrasjonen av VOC eller total mengde av flyktige organiske forbindelser. Måling av TVOC i et innemiljø kan gi indikasjoner om luftkvalitet. Helsedirektoratet anbefalte tidligere en øvre grenseverdi for TVOC på 400 microgr/m³. Denne terskelverdien er trukket tilbake og Norge har per i dag ingen øvre grenseverdi for TVOC. Bakgrunn for dette er at man vet for lite om de mulige helsepåvirkninger knyttet til hver enkelt VOC og de forskjellige kombinasjoner av disse.

Innhold

Forord	3
Sammendrag	4
Begreper	5
1. Betydning av ventilasjon for innemiljø	9
1.1. Krav til luftmengde	9
1.2. Forurensningskilder i et kontorbygg	11
1.3. Lufttilførsel når en bygning ikke er i bruk	12
1.3.1 Forskriftens krav	12
1.3.2 Fare for mikrobiologisk vekst	12
1.3.3 Emisjoner fra materialer	13
1.3.4 Bakgrunn for tallfestede minste luftmengde	14
1.4. Ventilasjon til romklimatisering	15
1.4.1 Dagens forskriftskrav	15
1.4.2 Fremtidens forskriftskrav	15
1.5. Hvilket ventilasjonsbehov har du?	16
2. Prinsipper for regulering av et ventilasjonsanlegg	18
2.1. Manuell eller automatisk regulering	18
2.2. Hvor foregår regulering i ventilasjonsanlegget?	18
2.2.1 Komponenter i ventilasjonsanlegget	18
2.2.2 Regulering ved spjeld	19
2.2.3 Regulering ved viften	21
2.3. Reguleringsprinsipper	22
2.3.1 Trykkregulering	22
2.3.2 Regulering ved innlesing av spjeldsposisjon	23
2.3.3 Spjeldposisjonsregulering	25
2.4. Reguleringsparameter	28
3. Betydning av ventilasjon for energiregnskap	29
3.1. Driftstid for anlegget og luftmengde	30
3.2. Oppvarming av ventilasjonsluft	32
3.2.1 Ventilasjonspost i varmetapstallet	32
3.2.2 Oppvarmingsbehov	35
3.3. Kjølning av ventilasjonsluft	37
3.4. Drift av sirkulasjonspumper	38
3.4.1 Varmebatteri	39
3.4.2 Kjølebatteri	39
3.4.3 Tillegg I i NS3031	39
3.5. Drift av ventilasjonsvifter	40
3.6. Drift av varmegjenvinner	42
3.7. Drift av automatisering	42
3.8. Hva er energibesparelsen ved bruk av behovstilpasset ventilasjon?	44
4. Viktige momenter for bruk av behovstilpasset ventilasjon	46
4.1. Prosjektering	46
4.1.1 Tilstedeværelse i kontorbygg og dimensjoneringskriteriet	46
4.1.2 Dimensjonering av kanaler	46
4.1.3 Plassering av spjeld	46
4.1.4 Dimensjonering av ventilasjonsaggregat og valg av viftetype	47
4.2. Sensorer	48
4.2.1 Krav	48

4.2.2 Plassering	48
4.2.3 Om CO ₂ -sensorer	49
4.3. Kravspesifikasjon.....	50
4.4. Innregulering.....	50
4.5. Energioppfølging av ventilasjonsanlegget.....	51
5. Referanser.....	52
Appendix 1	54

1. Betydning av ventilasjon for innemiljø

Ventilasjon i et kontorbygg har til hensikt å skape et innemiljø som tilfredsstillende så mange som mulig. Dette målet uttrykkes i regelverk med et krav til å fjerne forurensinger som skyldes menneskers aktivitet og forurensinger som kommer fra bygningsmaterialer, inventar og prosesser.

1.1. Krav til luftmengde

Det finnes tre referansedokumenter til prosjektering av ventilasjonsanlegg i kontorbygg:

1. Norsk Standard NS-EN 15251:2007 *Inneklimaparametere for dimensjonering og vurdering av bygningers energiytelse inkludert inneluftkvalitet, termisk miljø, belysning og akustikk* [4]
2. Arbeidstilsynets *Veiledning om Klima og luftkvalitet på arbeidsplassen*, bestillingsnummer 444, 2006 [5]
3. Byggeteknisk forskrift TEK10 [6].

I TEK10 er krav til ventilasjon gitt i § 13-1. *Generelle krav til ventilasjon*. Tallfestede krav til minste tillatte luftmengder er gitt i § 13-3. *Ventilasjon i byggverk for publikum og arbeidsbygning*. Forskriften trådte i kraft 01.juli 2010, med en overgangsperiode på ett år.

Ventilasjonsluftmengder oppgitt i disse dokumentene er gjengitt i Tabell 1 og sammenlignes i Figur 1.

Tabell 1. Krav til ventilasjonsluftmengde ved prosjektering av et ventilasjonsanlegg i et kontorbygg

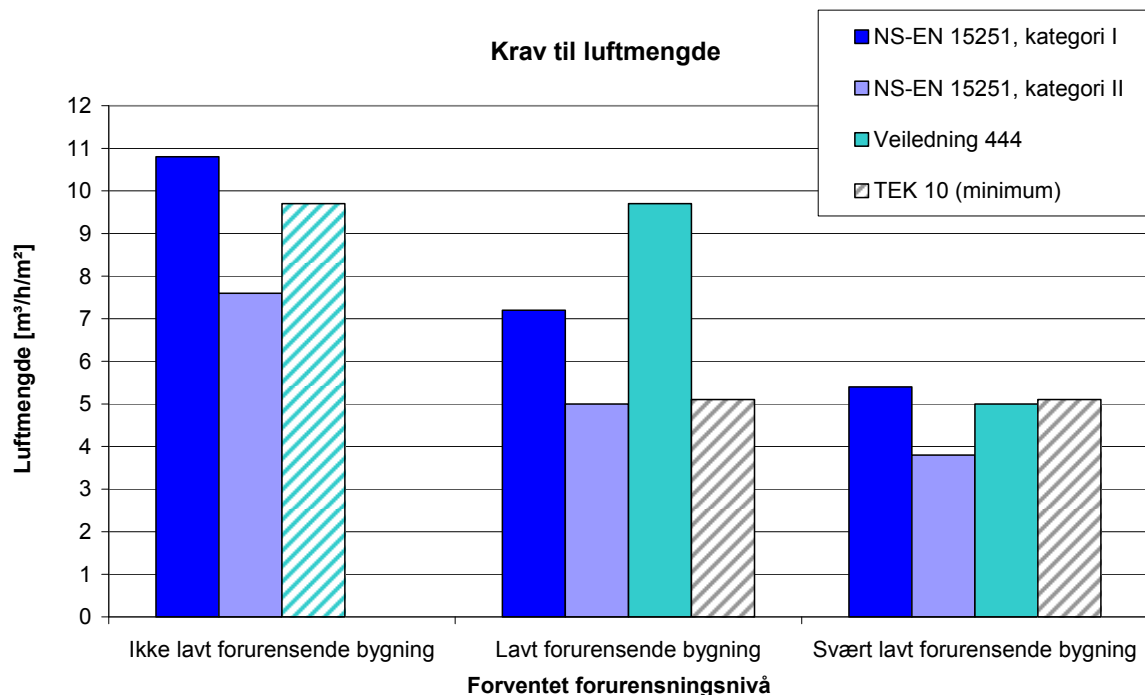
Dokument	Personer	Materialer	Sum ¹⁾ [l/s/m ²]	Sum ¹⁾ [m ³ /h/m ²]
NS-EN 15251, kategori I ²⁾				
Ikke lavt forurensende bygning	10 l/s/pers	2,0 l/s/m ²	3,0 l/s/m ²	10,8 m ³ /h/m ²
Lavt forurensende bygning	10 l/s/pers	1,0 l/s/m ²	2,0 l/s/m ²	7,2 m ³ /h/m ²
Svært lavt forurensende bygning	10 l/s/pers	0,5 l/s/m ²	1,5 l/s/m ²	5,4 m ³ /h/m ²
NS-EN 15251, kategori II ³⁾				
Ikke lavt forurensende bygning	7 l/s/pers	1,4 l/s/m ²	2,1 l/s/m ²	7,6 m ³ /h/m ²
Lavt forurensende bygning	7 l/s/pers	0,7 l/s/m ²	1,4 l/s/m ²	5,0 m ³ /h/m ²
Svært lavt forurensende bygning	7 l/s/pers	0,35 l/s/m ²	1,05 l/s/m ²	3,8 m ³ /h/m ²
Veiledning 444				
Materialer med høy emisjon	7 l/s/pers.	> 2,0 l/s/m ²	> 2,7 l/s/m ²	> 9,7 m ³ /h/m ²
Normale byggematerialer	7 l/s/pers.	2,0 l/s/m ²	2,7 l/s/m ²	9,7 m ³ /h/m ²
Materialer med dokumentert lav emisjon	7 l/s/pers.	0,7 l/s/m ²	1,4 l/s/m ²	5,0 m ³ /h/m ²
TEK10 (krever materialer og produkter som gir lav eller ingen forurensning til inneluften)				
Minste tillatte luftmengde når bygningen er i bruk	≥7 l/s/pers.	≥ 0,7 l/s/m ²	≥ 1,4 l/s/m ²	≥ 5,1 m ³ /h/m ²
Minste tillatte luftmengde når bygningen ikke er i bruk	0 l/s/pers.	≥ 0,2 l/s/m ²	≥ 0,2 l/s/m ²	≥ 0,7 m ³ /h/m ²

¹⁾ Beregnet dimensjonerende luftmengde for en persontetthet lik 10 m²/pers.

²⁾ Forventet andel misfornøyde er lik 15% i bygninger som hører under kategori I

³⁾ Forventet andel misfornøyde er lik 20% i bygninger som hører under kategori II

En må være oppmerksom på at TEK10 setter krav i § 13-1. *Generelle krav til ventilasjon* om at ”Materialer og produkter skal ha egenskaper som gir lav eller ingen forurensning til inneluften”. Videre omfatter § 13-3. *Ventilasjon i byggverk for publikum og arbeidsbygning* et krav til minste luftmengde når bygningen eller rommene ikke er i bruk.



Figur 1. Sammenligning av krav til ventilasjonsluftmengder ved prosjektering av et ventilasjonsanlegg i et kontorbygg. Figuren viser luftmengde uttrykt i $[m^3/h/m^2]$. Det er forutsatt en persontetthet lik $10m^2/pers$ ved omregning av kravnivået per person til kravnivået per areal.

For ikke-lavt forurensende bygninger, er luftmengden for kategori I i NS-EN 15251 nesten lik som luftmengden fra veiledning 444. Verdien fra veiledning 444 er en anbefalt minimum. Luftmengden for kategori II i NS-EN 15251 ligger ca. 30% lavere enn for kategori I. Forskriften TEK10 setter krav til lavt eller svært lavt forurensende bygninger. Følgelig omfatter ikke forskriften minste krav til luftmengde for ikke lavt forurensende bygninger.

For lavt forurensende bygninger gir veiledning 444 den høyeste luftmengden. Luftmengden fra NS-EN 15251 for kategori I og II er hhv. 25% og 50% lavere enn luftmengden fra veiledningen. Kravet fra TEK10 er en anbefalt minst luftmengde og er lik verdien som gjelder for kategori II i NS-EN 15251.

For svært lavt forurensende bygninger er ventilasjonsluftmengden nesten lik uavhengig av referansedokumentet. Verdien ligger på ca. $5 m^3/h/m^2$ for kategori I i NS-EN 15251, veiledning 444 og TEK 10. Kun kategori II i NS-EN 15251 skiller seg ut og ligger ca. 20% lavere enn de andre. Forskriftskrav fra TEK 10 er en anbefalt minst luftmengde.

Forskriftsteksten er tydelig på at kravet refererer til minimum luftmengde. Det er likevel en risiko for at de oppgitte verdiene blir misforstått og tolket som tilfredsstillende luftmengde. Forskriften omfatter dessuten ingen differensiering ut fra forurensingsnivået. Det anses som uheldig at forskriften inneholder tallfestede minstekrav til ventilasjonsluftmengder fremfor henvisning til eksisterende standarder.

Av hensyn til fremtidig kapasitet for ventilasjonsanleggene og med erfaring fra tidligere byggeprosjekter, prosjekteres i dag mange kontorbygg med luftmengder som tilsvarer anbefaling fra veiledning 444 for lavt forurensende bygninger.

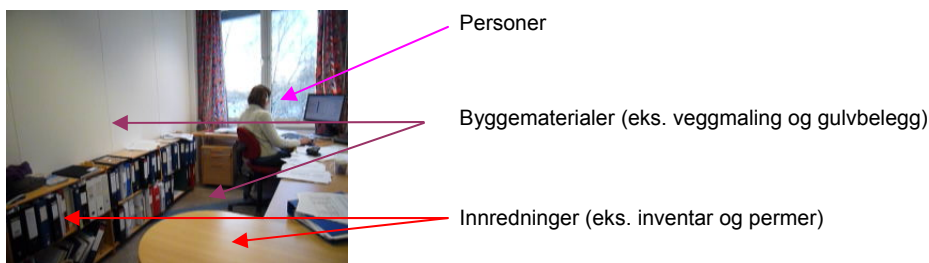
SINTEF Byggforsk [7] anbefaler å bruke de samme ventilasjonsluftmengdene som Arbeidstilsynets veiledning 444, med unntak av luftmengde relatert til normal emitterende materialer der SINTEF Byggforsk opererer med $1,0 l/s\cdot m^2$ mens Arbeidstilsynet anbefaler $2,0 l/s\cdot m^2$.

Videre anbefaler SINTEF Byggforsk å bestemme minimum tilførsel av uteluft ut fra den største verdien mellom: i) *summen av personbelastning og materialbelastning* og ii) *forurensning fra aktiviteter og prosesser*. Det siste nevnte alternativet brukes sjeldent for dimensjonering av luftmengder i kontorbygg. Dersom en bruker summen av personbelastning og materialbelastning for dimensjonering av friskluftmengde, vil ventilasjonsluftmengden utenfor brukstid være lik den som er nødvendig på grunn av materialbelastning.

1.2. Forurensningskilder i et kontorbygg

Forurensninger til inneluften i et kontorbygg, og følgelig behov for å ventilere, kommer vanligvis fra følgende kilder:

- personer og deres aktivitet
- byggematerialer
- innredninger, møbler og kontorutstyr
- rengjørings- og vedlikeholdsprosedyrer



Figur 2. Vanlige forurensningskilder i et kontorbygg. Foto: Catherine Grini / SINTEF Byggforsk

Selve ventilasjonsanlegget kan bli en forurensningskilde om luftinntaket er feilplassert eller ved sviktende rengjørings- og vedlikeholdsprosedyrer. Renholdsplan for ventilasjonsanlegget må bestå av regelmessig inspeksjon og rengjøring av luftinntak, regelmessig filterbytte, samt rengjøring av aggregatet og kanalnettet ved behov. Forurensning via ventilasjonsanlegget bør normalt ikke forekomme og omtales ikke videre i dette avsnittet.

Fuktproduksjon i kontorbygg er som regel beskjeden (kun relatert til personer) eller avgrenset til en liten sone i forhold til byggets areal (evt. dusj, trimrom eller kjøkken). I kontorbygg uten røykerom og uten eget kantine/kjøkken blir forurensninger primært knyttet til byggematerialer og inventar.

TEK10 inneholder et helt nytt krav om at ”Materialer og produkter skal ha egenskaper som gir lav eller ingen forurensning til inneluften”. Kravet gjelder for alle bygninger.

Intensjonen med dette nye kravet er prisverdig. Formuleringen virker noe urealistisk ved å kreve at materialer og produkter skal ha lav eller *ingen* forurensning; og noe mangelfull siden verken rengjøring eller vedlikehold er nevnt, selv om dette også påvirker forurensningsnivået. En bedre formulering ville vært ”Valg av materialer, innredninger, møbler, utstyr, rengjørings- og vedlikeholdsprosedyrer skal sikre en lav forurensning til inneluften.” Dessuten må nivået *lav* forurensning defineres (eksempelvis med henvisning til NS-EN 15251 eller til en annen klassifiseringsordning).

Til tross for dets formulering, er dette kravet banebrytende. Det er påvist at valg av lavemitterende materialer i byggeperioden kombinert med riktig utførelse på byggeplass bidrar til å redusere konsentrasjoner av forurensninger i inneluften som TVOC og ammoniakk (Tuomainen et al, 2001 og 2003 [8][9]). Enhver byggherre har nå et ansvar for å bestille materialer og produkter som gir minimal avgassing til inneluften. Dette innebærer at byggherren må kreve dokumentasjon fra de forskjellige produsentene av byggematerialer og produkter som skal inn i bygget. På den andre siden må produsentene være i stand til å oppgi en slik dokumentasjon, noe som blir muligens vanskelig å fremskaffe i en overgangsperiode.

Avgassing fra byggematerialer og inventar er størst når materialene er nye, noe som betyr at man vil registrere de høyeste konsentrasjonene av forurensninger i inneluften den første tiden etter at en ny eller nyoppussede bygning flyttes inn. Eksisterende feltundersøkelser (Tuomainen et al, 2001 og 2003, Järnström, 2007 [10]) viser at når ventilasjonsanlegget settes i drift før et nytt bygg flyttes inn, blir forurensningsnivået betydelig lavere enn ved innflytting uten ”tyvstarting” av ventilasjonsanlegget. Tiltaket forutsetter at støvgenererende byggarbeid er avsluttet slik at ventilasjonsanlegget ikke forurenser av den tidlige driften. Overnevnte studier har vist at en eller to uker drift av ventilasjonsanlegget før innflytting er nok til å bedre den innendørs luftkvaliteten ved innflyttingsdato. I rapporten ”Innemiljø i skolebygg” [11] anbefaler man, i tillegg til å velge materialer med lave emisjoner, om å ventilere kontinuerlig hele døgnet det første året etter innflytting, samt god utlufting før og etter skoletiden for å redusere materialforurensningen.

Avgassing fra kontorutstyr (printere og datamaskiner) vil også forekomme. I Finland ble avgassing fra tre moderne laserprintere målt. Deretter ble målingene benyttet til å simulere partikkelnivået i et kontor. Resultatet fra simuleringene visste at partikkelkonsentrasjonen ved bruk av printer økte elleve ganger i forhold til bakgrunnsnivået uten printer (Koivisto, 2010 [12]). Avgassing fra kontorutstyr vil være kontinuerlig, i motsetning til avgassing fra byggematerialer som har en tendens til å avta over tid. Bruk av kontorutstyr vil følgelig ha betydning for ventilasjonsbehovet.

1.3. Lufttilførsel når en bygning ikke er i bruk

1.3.1 Forskriftens krav

TEK10 setter krav til minimum luftmengde når en bygning ikke er i bruk. § 13-3. (2) *Ventilasjon i byggverk for publikum og arbeidsbygning - ”Frisklufttilførsel når bygningen eller rommene ikke er i bruk skal være minimum $0,7 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2_{\text{gulvareal}}$ ”*. Til sammenligning er kravet til friskluft på grunn av materialforurensning når bygningen er i bruk, minimum $2,5 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2_{\text{gulvareal}}$. Kravet til luftmengden utenfor brukstid tilsvarer ca. 30% av den materialrelaterede delen av kravet til luftmengden i brukstiden.

Bakgrunnen for dette kravet er uklar. Kravet er per i dag verken begrunnet eller forklart i veiledningen til byggt teknisk forskrift.

Kravet omfatter to momenter:

1. Ventilasjonsanlegget må være i drift selv om bygningen ikke er i bruk
2. Ventilasjon må tilføre en tallfestet minst luftmengde lik $0,7 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2_{\text{gulvareal}}$ i hele bygget

1.3.2 Fare for mikrobiologisk vekst

Det første momentet kan komme fra et ønske om å unngå fare for mikrobiologisk vekst ved luftinntak og i aggregatet, blant annet ved filteret. Det har vært vanskelig å finne forskningsresultater der driftstans av ventilasjonsanlegget om natten eller utenfor brukstid er analysert med tanke på hvilke konsekvenser dette momentet *alene* kan ha for mikrobiologisk vekst i ventilasjonsanlegget.

I HYGMIK-prosjektet [13] ble 46 ventilasjonsanlegg kartlagt med tanke på hygiene og mikrobiologi. Blant de 46 anleggene var det 29 som opererte med døgnkontinuerlig drift og 17 opererte med dagdrift. Av de 29 som opererte med døgnkontinuerlig drift var det 24 (83%) som hadde en dårlig score på hygienetest og 5 (17%) som hadde en dårlig score på mikrobiologi. Av de 17 som opererte med dagdrift var det hhv 9 (53%) og 1 (6%) som hadde en dårlig score på hhv. hygienetest og mikrobiologi. I dette prosjektet fant man ikke direkte sammenheng mellom driftstid og mikrobiologisk vekst i anleggene. Prosjektet hadde imidlertid til hensikt å utvikle en metode for å dokumentere og vurdere helsetilstanden i ventilasjonsanlegg, ikke å undersøke betydning av driftstid for mikrobiologisk vekst. Man ønsket å belyse om det fantes en sammenheng mellom dårlig score på hygienetest og høy risiko for mikrobiologisk vekst, noe som undersøkelsene av de

46 anleggene bekreftet. Flere forhold påvirker risikoen for mikrobiologisk vekst, blant annet alderen på anlegget samt plassering og utforming av luftinntaket. Konklusjonen fra HYGMIK-prosjektet hadde vært mer relevant i forhold til forskriftens krav dersom man hadde undersøkt betydning av endring i driftsregimet ved noen anlegg. Eksempelvis ved å studere om de "friske" ventilasjonsanleggene som opererte med døgkontinuerlig drift scoret like høyt på hygienetest og mikrobiologisk undersøkelse etter noen måneder med kun dagdrift.

I regi av det europeiske prosjektet AIRLESS [14] prøvde man å definere luftforurensningene som skyldes eller kommer fra VVS-installasjoner, blant annet fra luftfiltre i ventilasjonsaggregater. Et fullskalaforsøk på 28 uker fant sted, der hensikten var å forstå hvordan driftsregimet (døgkontinuerlig kontra av/på-drift) innvirket på forurensningsnivået i filter. Mikrobiologisk vekst i filter, VOC-konsentrasjoner og lukt-nivåer før og etter filter ble registrert. Forskjell i driftsregimet ga ingen signifikant forskjell ved måling av VOC-konsentrasjoner og lukt-nivåer [15]. I aggregat med av/på-driftsregimet fant mikrobiologisk vekst sted på begge sider av filteret (også på den "rene" nedstrøms siden), uten at dette resulterte i et høyere lukt-nivå enn i aggregat med døgkontinuerlig drift. Måling av VOC-konsentrasjoner og lukt-nivåer fra AIRLESS-prosjektet taler for natt- og helgestans av ventilasjonsanlegg. Men konsekvenser for innemiljøkvalitet av mer mikrobiologisk vekst i filter med av/på-driftsregimet enn i filter med døgkontinuerlig drift behøver videre utredning.

I et nordisk prosjekt [16] ble lukt-nivået fra filter registrert som funksjon av driftsregimet for ventilasjonsviften. I motsetning til AIRLESS-målingene som ble gjort ut i feltet, ble forsøkene i det nordiske prosjektet foretatt i laboratoriet og over kun 24 timer. Et posefilter som hadde vært i bruk i tre måneder ble delt i biter. Tre brukte filterbiter ble deretter satt i tre forskjellige lukkede kamre og utsatt for tre forskjellige driftsregimer (døgkontinuerlig, av/på-drift og redusert luftmengde om natten), sammen med tre referanser (nytt filter, tom kammer, kammer med kontrollert acetonkonsentrasjon), i et innvendig laboratorium. De to brukte filterbitene uten døgkontinuerlig ventilasjon visste et høyere luktnivå enn den med døgkontinuerlig drift, etter at ventilasjon hadde vært i gang/tilbake til full luftmengde for 30 minutter. Etter to timer med full luftmengde hadde alle tre brukte filterbitene likt luktnivå. Luktnivået ble vurdert i forhold til en skala fra -1 (helt uakseptabelt) til +1 (helt akseptabelt). Etter to timer med full luftmengde viser alle kamre, bortsett fra den med aceton, resultater i tilnærmet lik intervall (fra +0,1 til +0,6). Vel å merke at ingen kammer, ikke heller den uten filter, bedømmes med den beste karakter. Det er uklart hvilken effekt som ble testet ved denne studien siden eventuell mikrobiologisk vekst vil oppstå over lengre tid enn ett døgn. Videre vil uteluft, og ikke en forhåndsfiltret romluft, strømme gjennom filteret ved reelle forhold. Derfor synes det usannsynlig at resultatene fra dette forsøket kan overføres til ventilasjonsanlegg med reelle driftsforhold.

Helsefarlig mikrobiologisk vekst skal ikke forekomme i ventilasjonsanlegg med gode rengjørings- og vedlikeholdsprosedyrer. Samtidig finnes det fysiske forhold som man ikke kan gjøre noe med. Når et ventilasjonsaggregat slås av om vinteren, vil luften som står i aggregatet beholde likt fuktinnhold mens temperatur i aggregatet (blant annet overflatetemperatur på aggregatens vegg og temperatur på filterets overflate) vil gå ned. Når overflatetemperaturer regelmessig faller under duggpunktet kan kondens gi gode vekstbetingelser for mugg. Et annet forhold er at lufthastigheter over 0,3m/s virker hemmende på sporedannelse hos muggsopper (Catrine Ahlen, 1997 [17]). Dette er argumenter for døgkontinuerlig drift av ventilasjonsanlegg.

1.3.3 Emisjoner fra materialer

Behov for nattdrift av ventilasjonsanlegg kan argumenteres for rom med fuktproduksjon om natten (for eksempel soverom), men argumentet vil ikke gjelde i kontorbygg.

I kontorbygg kan man derimot ønske å ventilere kontinuerlig på grunn av emisjoner fra materialer. I prosjektet "Innemiljø i skolebygg" ble innemiljø kartlagt i åtte skoler før og etter rehabilitering. Som et ekstraprosjekt fikk man ved Tranberg skole målt total mengde av flyktige organiske forbindelser (TVOC). Målingene ble gjort i to omganger: i første omgang rett etter rehabilitering

og senere etter ett års drift. Det ble hver gang foretatt to målinger i et klasserom: en måling etter at ventilasjonsanlegget hadde vært avstengt i 3 døgn. Så ble det tatt en ny måling etter at ventilasjonsanlegget hadde vært i drift i ca. 1,5 time. Emisjonsnivået fra målingene etter rehabilitering og etter ett års drift viser en stor reduksjon både i antall komponenter og nivået på disse når ventilasjonsanlegget har vært avstengt i 3 døgn (i tråd med finske studier referert i avsnitt 1.2). Når ventilasjonsanlegget er slått av, er det ingen aktivitet på skolen (verken personell eller elever) og målingene gjenspeiler i hovedsak emisjoner fra materialer, inventar og overflatebehandlinger. Resultatene fra målingene etter rehabilitering viser en reduksjon av TVOC-konsentrasjonen på over 95% etter at ventilasjonsanlegget har vært i drift i 1,5 time. Målingene ett år senere viser en reduksjon av TVOC-konsentrasjonen på ca 90% etter at ventilasjonsanlegget har vært i drift i 1,5 time.

Driftspersonell med fokus på energibruk argumenterer gjerne for å erstatte nattdrift med en tidlig start på ventilasjonsanlegget. Den tidlige starten påstås å kunne fjerne nattens forurensning før bygget tas i bruk. Målingene ved Tranberg skole underbygger en slik tilnærming.

1.3.4 Bakgrunn for tallfestede minste luftmengde

Det andre momentet ved forskriftens krav gjelder den tallfestede minste luftmengden utenom driftstiden som skal være lik $0,7 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2_{\text{gulvareal}}$. Verdien refererer ikke til NS-EN 15251 der minste anbefalt luftmengden for å fjerne emisjoner fra materialer er satt til $1,1 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2_{\text{gulvareal}}$ i kategori III (se Tabell 2). Verdien er vanskelig å finne igjen i eksisterende referansedokumenter, og det kan reises spørsmål om det har vært en forveksling i benevning. Var det $0,7 \text{ l/s}\cdot\text{m}^2_{\text{gulvareal}}$ som var ment og som tilsvarer den materialrelaterte luftmengden oppgitt i NS-EN 15251 for kategori II og lavt forurensende bygning? En annen forklaring kan komme fra kravet til ventilasjonsluftmengde utenom brukstid som gjelder for boenheter, som også er $0,7 \text{ l/s}\cdot\text{m}^2_{\text{gulvareal}}$. Tallet for boenheter tilsvarer et utluftingsbehov lik 0,3 luftskifte per time (tidligere anbefaling fra Norges byggforskningsinstitutt for boliger [18]), som blir omregnet til $0,7 \text{ l/s}\cdot\text{m}^2_{\text{gulvareal}}$ ved en romhøyde lik 2,3m.

Tabell 2. Krav til ventilasjonsluftmengde for å fjerne emisjoner fra materialer i NS-EN 15251.

Referanse	Luftmengde pga. materialer	
	[l/s/m ²]	[m ³ /h/m ²]
NS-EN 15251, kategori I		
Ikke lavt forurensende bygning	2,0 l/s/m ²	7,2 m ³ /h/m ²
Lavt forurensende bygning	1,0 l/s/m ²	3,6 m ³ /h/m ²
Svært lavt forurensende bygning	0,5 l/s/m ²	1,8 m ³ /h/m ²
NS-EN 15251, kategori II		
Ikke lavt forurensende bygning	1,4 l/s/m ²	5,0 m ³ /h/m ²
Lavt forurensende bygning	0,7 l/s/m ²	2,5 m ³ /h/m ²
Svært lavt forurensende bygning	0,35 l/s/m ²	1,3 m ³ /h/m ²
NS-EN 15251, kategori III		
Ikke lavt forurensende bygning	0,8 l/s/m ²	2,9 m ³ /h/m ²
Lavt forurensende bygning	0,4 l/s/m ²	1,4 m ³ /h/m ²
Svært lavt forurensende bygning	0,3 l/s/m ²	1,1 m ³ /h/m ²

Det bør bemerkes at med dagens teknologi klarer ikke spjeldene for behovsstyring (VAV-spjeldene) å måle små lufthastigheter. Dette resulterer i at spjeldene ikke kan lukkes helt. Den minste luftmengden gjennom spjeldet ligger på ca. 30% av maksimal luftmengde. Viftemotorer opererer med et driftsintervall som går fra 100% til ca. 30% av maksimal luftmengde. Dersom man har prosjektert med en maksimal luftmengde lik $5,1 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2_{\text{gulvareal}}$ (se avsnitt 1.1) vil minimum luftmengde ligge rundt $1,5 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2_{\text{gulvareal}}$ (ca. 30% av 5,1) og være ca. to ganger større enn den minste anbefalte luftmengden. Dersom man prosjekterer med høyere verdier for maksimal luftmengde vil minimum luftmengde ligge høyere. Den minste luftmengden vil med andre ord ikke

kunne oppnås med tradisjonelle løsninger og vanlig prosjektering. Dersom døgnkontinuerlig drift er ønskelig for å unngå mikrobiologisk vekstdannelse i ventilasjonsanlegget, vil alle ventilasjonsanleggene måtte være i drift døgnet rundt. I beste fall vil luftmengde utenfor driftstid ligge på ca. 30% av maksimal luftmengde.

Dersom døgnkontinuerlig drift er ønskelig for å ventilere bort forurensninger utenom driftstid, vil man kunne begrense luftmengde til minste kravet ved å ha et separat aggregat for nattedrift. Slik praksis er per i dag svært uvanlig.

Det finnes ikke entydig faglig underlag for fastsettelse av kravet i § 13-3. (2) i TEK10. Det er behov for å spesifisere og begrunne kravets funksjon ved neste revisjon av forskriften.

1.4. Ventilasjon til romklimatisering

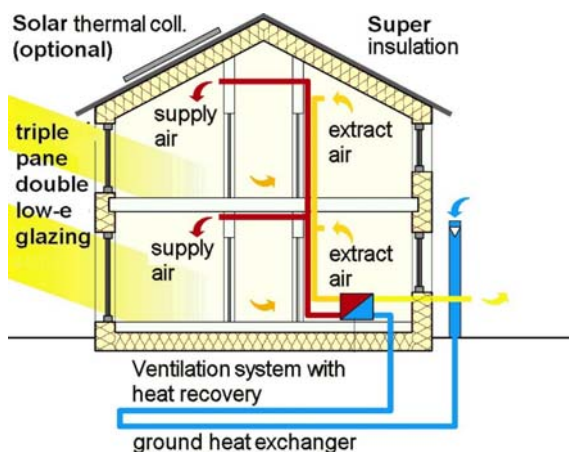
1.4.1 Dagens forskriftskrav

Kontorbygninger utført i samsvar med krav til energieffektivitet i TEK07 eller TEK10 skal ikke ha behov for lokal kjøling. Krav til energieffektivitet bygger på en forutsetning om at dersom bygningen har et kjølebehov, skal dette behovet kunne dekkes av ventilasjonsluften. Man forutsetter at ventilasjonsluften skal føres fram uansett. Da kan den likegodt oppfylle to funksjoner samtidig. Denne forutsetningen kan imidlertid komme i konflikt med ønske om behovstilpasset ventilasjon fordi behovet for friskluft tilførsel og kjøling ikke nødvendigvis alltid oppstår på samme tidspunkt.

Om det er behov for kjøling på et tidspunkt der rommet ikke er bruk, må reguleringsparameter for ventilasjonsanlegget prioritere mellom behovet for kjøling eller ønske om redusert luftmengde.

1.4.2 Fremtidens forskriftskrav

Myndigheter varsler om trinnvis skjerpelse av energikravene i retning av passivhusstandard.



Figur 3. Prinsippkisse for et passivhus der ventilasjonsluften sørger for romklimatisering – Kilde: Passivhaus Institut, Tyskland [18]

Definisjon av passivhusstandard for andre bygningskategorier enn boliger er per i dag ikke ferdig utarbeidet i Norge. Den opprinnelige tyske definisjonen av passivhus er følgende: ”Et Passivhus er en bygning med komfortabelt inneklima, som er mulig å oppnå kun med ettervarming eller etterkjøling av uansett nødvendige ventilasjonsluftmengder” (Passivhaus Institut [18]). Den norske definisjonen relatert til boliger (NS 3700, [20]) er basert på samme tankegang, der hensikten er å oppnå et komfortabelt inneklima om vinteren ved hjelp av et forenklet varmeanlegg. Prosjektrapporten 42 fra SINTEF Byggforsk definerer kriterier for passivhus- og lavenergibygg for

yrkesbygg [3] og begrunner bruk av begrepet ”passivhus” ved at ”...i mange av byggkategoriene vil det være mulig å dekke oppvarmingsbehovet (og eventuelt kjølebehov) med luftbåren oppvarming (kjøling) via ventilasjonsanlegget”. Denne forutsetningen kan, på samme måte som ved dagens forskrift, komme i konflikt med ønske om behovstilpasset ventilasjon.

Hvis man tillater at romtemperatur beveger seg utenfor det fastsatte intervallet for komforttemperatur når rommet ikke er bruk fordi ventilasjonsluftmengden reduseres til et minimum (eller slås av), kan det være en risiko for ikke å komme tilbake til det ønskede intervallet den første tiden etter at rommet tas i bruk. Varme- eller kjøleeffekten som ventilasjonsluften kan føre frem er begrenset av tilluftstemperaturen og luftmengden/luft hastighet/risiko for trekk. I slike tilfeller vil temperaturkomfortkrav og ønsket om energieffektiv drift av ventilasjonsanlegget være vanskelig å samkjøre.

1.5. Hvilket ventilasjonsbehov har du?

Forutsetningen bak behovstilpasset ventilasjon bygger på prinsippet at behovet for ventilasjon er ikke alltid den samme. Hvis man planlegger å bruke behovstilpasset ventilasjon må man starte med å kartlegge ventilasjonsbehovet over tid.

Dette første kapittelet om betydning av ventilasjon for innemiljø, ønsker å se utover de fastsatte krav til luftmengde. Det er nødvendig å drøfte spørsmålet om funksjonen som er tenkt bak hvert krav og om funksjonen som ventilasjonen skal oppfylle. Eksempelvis er funksjonen bak kravet om friskluft tilførsel utenfor brukstid ikke tydelig definert. Noen funksjoner er ikke godt nok begrunnet i regelverket og ikke utredet nok i eksisterende forskningsstudier.

Det er etter vårt skjønn behov for faglig utdyping rundt følgende spørsmål:

- Kravet om *”Materialer og produkter skal ha egenskaper som gir lav eller ingen forurensning til inneluften”*
 - Hvor realistisk er kravet?
 - Hvordan påvirker kravet ventilasjonsbehovet i og utenfor brukstid?
 - Hvordan sikrer man at kravet omfatter de mest relevante materialene og produktene i et levetidsperspektiv, og ikke bare nye byggematerialer.
- Etter innflytting i et nytt bygg eller i et nyoppusset bygg
 - Er det behov for døgntilførsel av ventilasjon?
 - Kan ventilasjonsanlegget da operere med redusert luftmengde utenfor brukstid?
 - Hvor lenge har man behov for døgntilførsel av ventilasjon etter at et bygg er flyttet inn?
- Døgntilførsel av ventilasjon
 - Hvorfor er det behov for døgntilførsel av ventilasjon?
 - Skal luftmengde utenfor brukstid defineres ut i fra et utluftingsbehov knyttet til emisjoner fra materialer?
 - Skal luftmengde utenfor brukstid defineres ut i fra en minste nødvendig hastighet gjennom ventilasjonsaggregatets komponenter slik at fare for mikrobiologisk vekst-dannelse unngås?

Om man planlegger å benytte behovstilpasset ventilasjon, må man aller først avklare ventilasjonens funksjon.

- Hvilke funksjon(er) skal ventilasjonsanlegget oppfylle?
 - Kun frisklufttilførsel?
 - Frisklufttilførsel og romklimatisering ved kjølebehov?
 - Frisklufttilførsel og romklimatisering ved varmebehov?
 - Frisklufttilførsel og romklimatisering ved både kjøle- og varmebehov?

Frisklufttilførsel er den primære funksjonen til et ventilasjonsanlegg. Romklimatisering kan være en ønsket sekundær funksjon men vil aldri komme foran frisklufttilførsel. Dette enkle og grunnleggende prinsipp er viktig å huske på ved drift av et ventilasjonsanlegg med behovsregulering.

2. Prinsipper for regulering av et ventilasjonsanlegg

Som skrevet tidligere, bygger behovstilpasset ventilasjon på prinsippet at behovet for ventilasjon varierer over tid. Begrepet behovstilpasset ventilasjon omfatter i teori alle styringsprinsipper der den tilførte ventilasjonsluftmengden gjennom ventilasjonsanlegget varierer over tid. Behovstilpasset ventilasjon kan oppnås både med CAV- (Constant Air Volume) og VAV-systemer (Variable Air Volume).

Å oppnå behovstilpasset ventilasjon med CAV-systemer vil skje ved bruk av urregulering. For VAV-systemer finnes det mengder av mulige reguleringsparametre (ur, tilstedeværelse, CO₂-konsentrasjon, temperatur, relativ fuktighet, konsentrasjon av VOC, konsentrasjon av enkelte gasser, trykkforskjeller osv). Fokuset videre er avgrenset til reguleringsparametre som anses mest robuste og relevante for bruk i kontorbygg, dvs ur, tilstedeværelse, CO₂-konsentrasjon og temperatur.

2.1. Manuell eller automatisk regulering

Regulering av luftmengde i ventilasjonsanlegget kan foregå enten manuelt eller automatisk.

Ved manuell regulering kan brukeren/driftspersonalet bestemme tilførsel av friskluft manuelt ut fra forskjellige kriterier, for eksempel klokkeslett, antall tilstedeværende, temperaturforhold, solforhold, opplevd luftkvalitet osv. Manuell regulering kan enten skje via en ”av” / ”på” knapp eller via et kontrollpanel med trinnvise innstillinger. Manuell regulering er i stor grad avhengig av brukerens/driftspersonalets kompetanse og holdninger. Energieffektiviteten av slik regulering er vanskelig å forutsi. Av den grunn omtales ikke manuell regulering videre i rapporten. Selv om uttrykket ”manuell regulering” virker utdatert, kan det ligge et potensial for energieffektivitet i det. Den forholdsvis lave energibruken for kontorbygget i Bassengbakken 1 i Trondheim ble studert tidligere i LECO [21]. Den reelle energibruken var vanskelig å gjenfinne ved simulering av bygningsmodellen. Driftslederen styrer manuelt flere parametre med betydning for energibruken, for eksempel ved å slå av varmeanlegget tidlig på ettermiddagen ved solrike vinterdager. Regulering blir da optimalisert utover de målbare parametrene som inngår i beregningsverktøyene.

Ved automatisk regulering vil tilførsel av friskluft styres via luftbehandlingsaggregat eller SD-anlegget ut i fra forhåndsbestemte innstillinger. Automatisk regulering kan gjøres ved urstyring eller ved sensorstyring. Ved sensorstyring vil en sensor måle en (eller flere) ønsket styringsparameter, eksempelvis tilstedeværelse, CO₂-nivå eller temperatur. Måleverdien blir sendt tilbake til styringsenheten der den blir sammenlignet med ønsket verdi. Friskluftmengden endres (eller forblir uendret) ut fra resultatet av denne sammenligningen. Rapporten fokuserer på automatisk regulering fordi løsningen anses som forutsigbar og etterprøvbare.

2.2. Hvor foregår regulering i ventilasjonsanlegget?

2.2.1 Komponenter i ventilasjonsanlegget

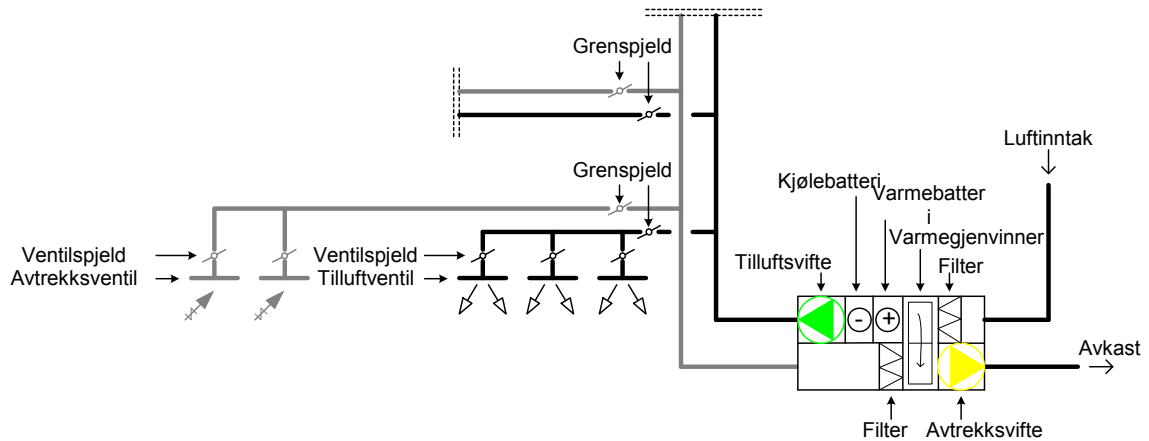
Forskriftens krav til energieffektivitet, og alle ønsker utover forskriften om å bygge energieffektivt, medfører bruk av balansert ventilasjonsanlegg med varmegjenvinner. Videre i rapporten omtales kun denne typen ventilasjonsanlegg.

Et ventilasjonsanlegg består som regel av et ventilasjonsaggregat og et kanalnett. Se Figur 4.

I ventilasjonsaggregatet finner man følgende hovedkomponenter:

- Tilluftsvifte
- Filter
- Varmegjenvinner
- Evt. varmebatteri
- Evt. kjølebatteri
- Avtrekksvifte

Kanalnettet består hovedsakelig av kanaler, reguleringspjeld og ventiler.



Figur 4. Komponenter i et ventilasjonsanlegg – prinsippskisse. Tegning: Catherine Grini / SINTEF Byggforsk

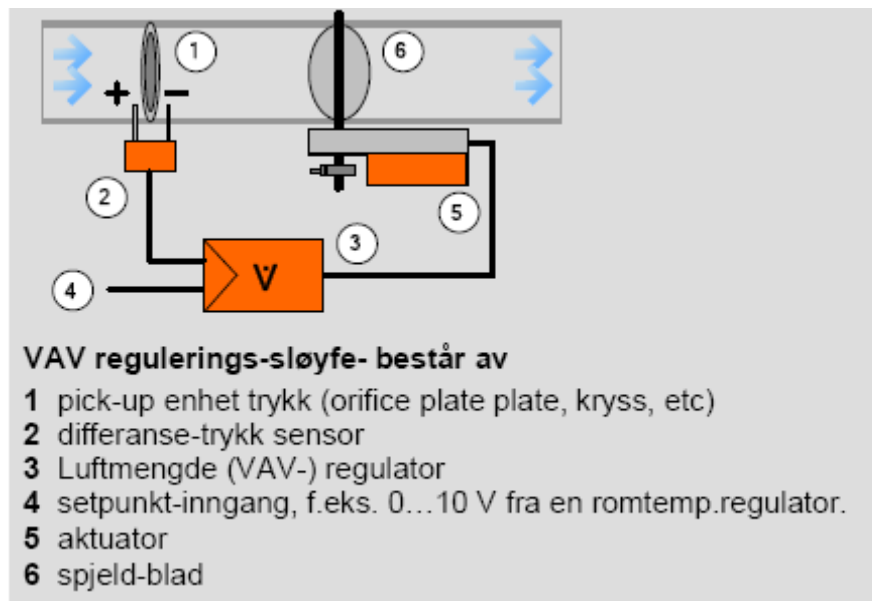
Vifte og spjeld er de to komponentene som kan brukes til regulering av luftmengde i ventilasjonsanlegget. Dersom man velger regulering med ur i et CAV-system vil viften være den eneste komponent som brukes til regulering. Dersom man går bort fra CAV-systemer vil regulering skje ved et samspill mellom VAV-spjeld og vifte.

2.2.2 Regulering ved spjeld

I et CAV-system brukes grenspjeld og ventilspjeld til innregulering av anlegget. Med andre ord sørger spjeldene for riktig fordeling av luftmengde i anlegget. Spjeldene har en fast innstilling og brukes ikke til regulering.

I et VAV-system brukes VAV-spjeld, dvs. motorspjeld med automatikk for struping og innebygd måling av enten lufthastighet eller trykkfall. Et VAV-spjeld kan måle, sammenligne den målte verdien med ønsket verdi og regulere. Se Figur 5 for komponenter som inngår i et VAV-spjeld.

Automatikken (også kalt elektronisk styringsenhet, luftmengderegulator, VAV-regulator eller regulator) får et signal fra sensor i rommet om hvilken innstilling spjeldet bør ha. Signalet sendes videre til spjeldmotor. Spjeldmotoren har mulighet til å strupe eller åpne spjeldet deretter. Både grenspjeld og ventilspjeld kan være VAV-spjeld. Det finnes også tillufts- og avtrekksventiler med innebygd VAV-spjeld.



Figur 5. Komponenter tilknyttet et VAV-spjeld. Kilde: Belimo

VAV-spjeld har et arbeidsområde som går fra valgt minimum luftmengde til valgt maksimal luftmengde. De ytterste grenseverdiene for minimum luftmengde og maksimal luftmengde er fastsatt av produsenten for hver spjelddimensjon. Grenseverdiene for minimum luftmengde og maksimal luftmengde (i m^3/h . eller i l/s .) som skal gjelde når spjeldet er i bruk, fastsettes i VAV-enhetens elektroniske styringsenhet (regulator). Dette gjøres som regel i bygget når ventilasjonsanlegget innreguleres. Om ønskelig kan grenseverdiene forhåndsstilles av produsenten. VAV-spjeld kan brukes til trinnløs regulering av luftmengde, for eksempel ved regulering via CO_2 -sensorer, der man ønsker en gradert tilførsel av frisk luft. Men VAV-spjeld kan også brukes til regulering ved to driftpunkter, enten maks. eller min. luftmengde, for eksempel ved regulering via tilstedeværelsessensor der man ønsker maks. luftmengde når rommet er i bruk og min. luftmengde når rommet ikke er i bruk.

Anbefalt arbeidsområde for et VAV-spjeld går fra ca. 80% til ca. 30% åpning. Den øvre grensen skyldes to faktorer. På den ene siden sikrer man minimum ventilautoritet. Ved for liten ventilautoritet kan spjeldmotorene utsettes for unødvendig slitasje på grunn av pendling. Målekorset kan registrere marginale endringer av lufthastigheten som resulterer i pendling rundt 100% åpning (spjeldmotoren søker bestandig etter ønsket verdi og driver kontinuerlig åpning/stenging). På den andre siden, vil ikke et spjeld med 100% åpning sikre at luftmengden gjennom spjeldet er lik prosjektert maks. verdi. Spjeldet kan stå 100% åpnet fordi det søker etter mer luft, men ikke får det. Ved å innstille VAV-spjeldet slik at maksimum prosjektert luftmengde går gjennom ventilen ved 80% åpning (eller 85% åpning), sikrer man gode driftsforhold. Den nedre grensen er gitt av krav til målenøyaktighet og støygenerering.

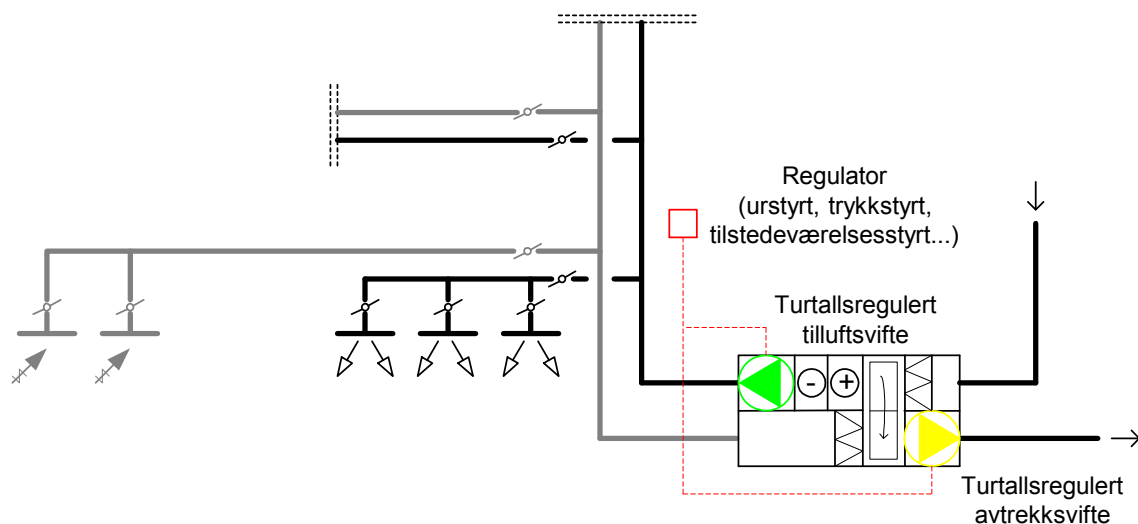
En bør være oppmerksom på at *ingen* VAV-spjeld i et VAV-system kan stå *helt* åpent. Til sammenligning vil CAV-spjeldene som står langs den kritiske veien (veien som går fra viften til romventil og som har høyest trykkfall) i et ventilasjonsanlegg med konstant luftmengde stå 100% åpent.

I et fullverdig VAV-system vil struping ved VAV-spjeld bli meldt tilbake til viften og føre til en reduksjon av turtallet ved viftemotoren og følgelig reduksjon av energibruk til viftedrift. Det er også mulig å regulere ventilasjonsluftmengde kun ved hjelp av struping ved VAV-spjeld uten tilbakemelding til viften. Ved en slik struping øker trykkmotstanden i ventilasjonsanlegget. Driftpunktet for viftemotoren flytter seg på ventilasjonsanleggets karakteristik. I noen tilfeller vil viftemotoren jobbe like mye for å føre fram en mindre luftmengde og bekjempe en større trykkmotstand. Muligheten for å redusere energibruk til viftedrift utnyttes ikke.

2.2.3 Regulering ved viften

Viftemotoren kan reguleres på tre måter:

1. ”Av” eller ”På” innstilling
2. Flerhastighetsmotor
3. Turtallsregulering med frekvensomformer



Figur 6. Regulering for turtallsregulerbare vifter – prinsippkisse med samkjørt regulering av tillufts- og avtrekksvifte. Tegning: Catherine Grini / SINTEF Byggforsk

Regulering med av/på innstilling og flerhastighetsmotor kan brukes til regulering av CAV-anlegg. Innstilling for motorhastighet som funksjon av klokkeslett kan forhåndprogrammeres i SD-anlegget. Om man bruker av/på-innstilling vil ventilasjonsluftmengden ut til hvert rom være enten lik prosjektert luftmengde eller null. Denne driftinnstilling er vanskelig å forene med forskriftens krav om minste luftmengde utenfor brukstid (se avsnitt 1.3). Dersom man bruker en flerhastighetsmotor vil man kunne velge en innstilling for motorhastighet i brukstiden og en lavere innstilling utenfor driftstiden. Et anlegg med slik regulering vil fortsatt gå under benevnelse CAV-system fordi posisjon til de forskjellige spjeldene og fordelingen av ventilasjonsluften i systemet forblir uendret selv om viftemotoren girer opp eller ned (forutsatt at ventilasjonsanlegget er riktig innregulert).

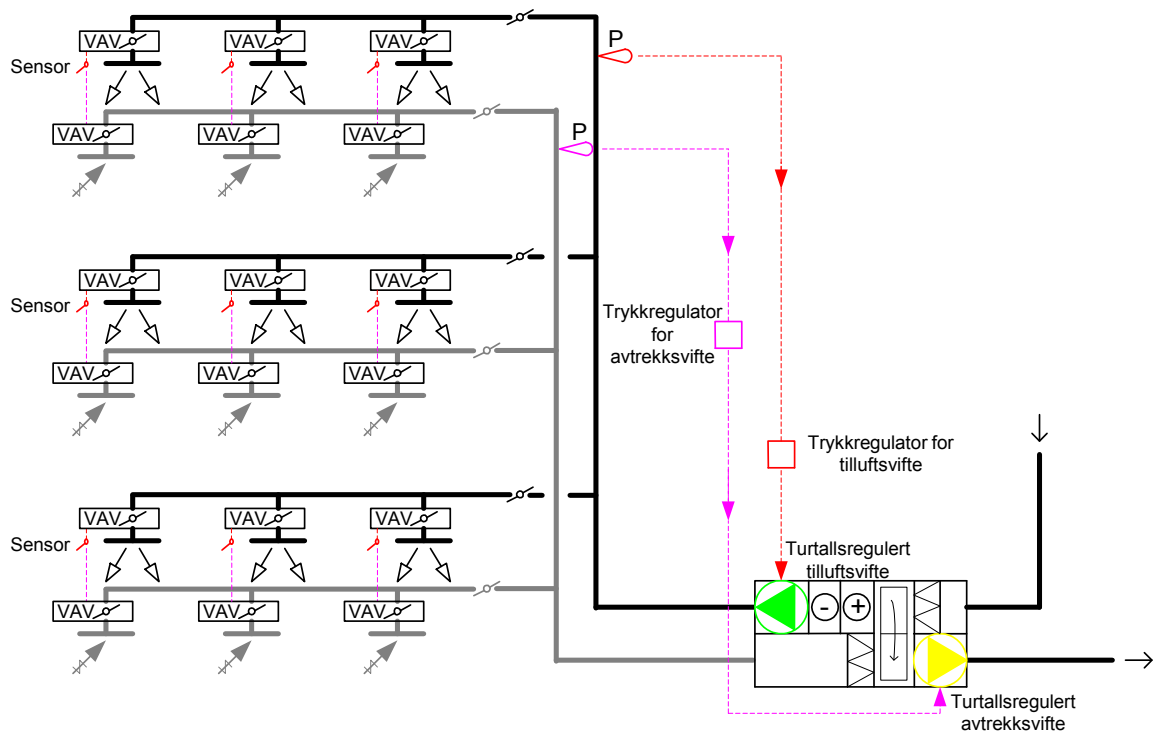
Nye ventilasjonsaggregater er som regel bygget med turtallsregulerbare vifter. Mengde tilluft og avtrekk styres da trinnløst. Bruk av turtallsregulering ved hjelp av frekvensomformer er den vanligste løsningen i nye kontorbygg, og anses å være den mest energieffektiv, særlig når den brukes i kombinasjon med VAV-spjeld.

2.3. Reguleringsprinsipper

Nedenfor beskrives de mest vanlige reguleringsprinsipper.

2.3.1 Trykkregulering

Ved trykkregulering plasseres en trykkføler i hovedgren i kanalnettet. Trykkføleren er koblet til en regulator. Regulatoren er programmet til et bestemt trykk (referansetrykket) som ønskes opprettholdt ved trykkføleren. Regulatoren tar imot informasjon om trykket ved trykkføleren og sørger ved hjelp av en turtallsregulerbar vifte for konstant trykk ved trykkføleren. Trykkregulering vises på Figur 7.



Figur 7. Trykkregulering – prinsippskisse. Tegning: Catherine Grini / SINTEF Byggeforsk

Romspjeld/ventilspjeld er VAV-spjeld med et arbeidsområde fra valgt minimums luftmengde til valgt maksimal luftmengde. Ventilspjeld regulerer luftmengde til/fra rom avhengig av beskjeden som kommer fra sensoren i rommet, enten ved trinnløs regulering eller som maks./min. regulering. Spjeldene sender ingen signaler tilbake til SD-anlegg eller til viften.

Det hender at avtrekksviften styres av samme trykkregulator som tilluftviften. Dette bør unngås i alle ventilasjonsanlegg der trykkfallet på avtrekksiden er ulikt trykkfallet på tilluftssiden (i praksis nærmest alle anleggene). Hvis avtrekksviften reguleres likt tilluftviften samtidig som trykkfallet er ulikt på tilluft- og avtrekksiden, er det en risiko for at systemtrykket på avtrekksiden blir høyere enn nødvendig. Det høye trykket vil enten føre til mer struping på avtrekkspjeldene (og følgelig unødvendig viftearbeid) eller til undertrykk i bygget med tilhørende infiltrasjon av uteluft gjennom utettheter i bygningsskallet (og følgelig økt varmetap). Avtrekksviften bør derfor ha egen trykkregulator i anleggene med trykkregulering.

Trykkregulering kan brukes i et rent VAV-system (system der alle spjeld er VAV-spjeld) eller i et blandet system med innslag av både CAV og VAV-spjeld. I et rent VAV-system vil det i prinsipp ikke være behov for grenspjeld, noe som kanskje lar seg gjøre i små anlegg med få spjeld. Uten grenspjeld må hver VAV-spjeld være i stand til å kompensere for trykkvariasjoner i forhold til hele anlegget. Kraftig struping ved enkelte spjeld vil kunne forårsake støy. I et blandet system er

grenspjeld som regel nødvendig for å få tilstrekkelig stabilt trykk foran CAV-spjeldene og for å lete innregulering.

Når VAV-spjeld åpnes, faller trykket i kanalen. Regulatorens gir da beskjed til viften om å øke luftmengden inntil referansetrykket i kanalen igjen er nådd. Hvis VAV-spjeld stenges, øker trykket i kanalen. Regulatoren gir da beskjed til viften om å redusere luftmengden slik at trykket i kanalen reduseres til referansetrykket.

Ved korrekt innregulering av et ventilasjonsanlegg med konstant luftmengde sørger man alltid for at den kritiske veien står helt åpent. Den kritiske veien er veien fra viften til den ugunstigste ventilen, m.a.o. veien i kanalnett som har høyest trykkfall. For å minimere energibruken ved viften er det svært viktig at ingen spjeld står delvis stengt langs den kritiske veien.

I et VAV-system vil VAV-spjeldene endre spjeldposisjon hver gang de får beskjed av sensoren. Det betyr at det ikke finnes *en* kritisk vei i et VAV-system, men at den kritiske veien kan endre seg hver gang et VAV-spjeld endrer posisjon. Følgelig er det ikke sagt at den kritiske veien i et VAV-system med trykkregulering alltid står helt åpent fra viften og ut til rommet. I praksis vil VAV-system med trykkregulering bruke unødvendig mye vifteenergi på grunn av unødvendig struping i kanalnett i nesten alle driftssituasjoner.

Til nå har trykkregulering vært den mest brukte løsningen for regulering av VAV-systemer og for systemer med innslag av både CAV- og VAV-spjeld. Plassering av trykkføleren er avgjørende for å få gode driftsforhold, og det synes vanskelig å finne den beste plassering på planleggingsstadiet.

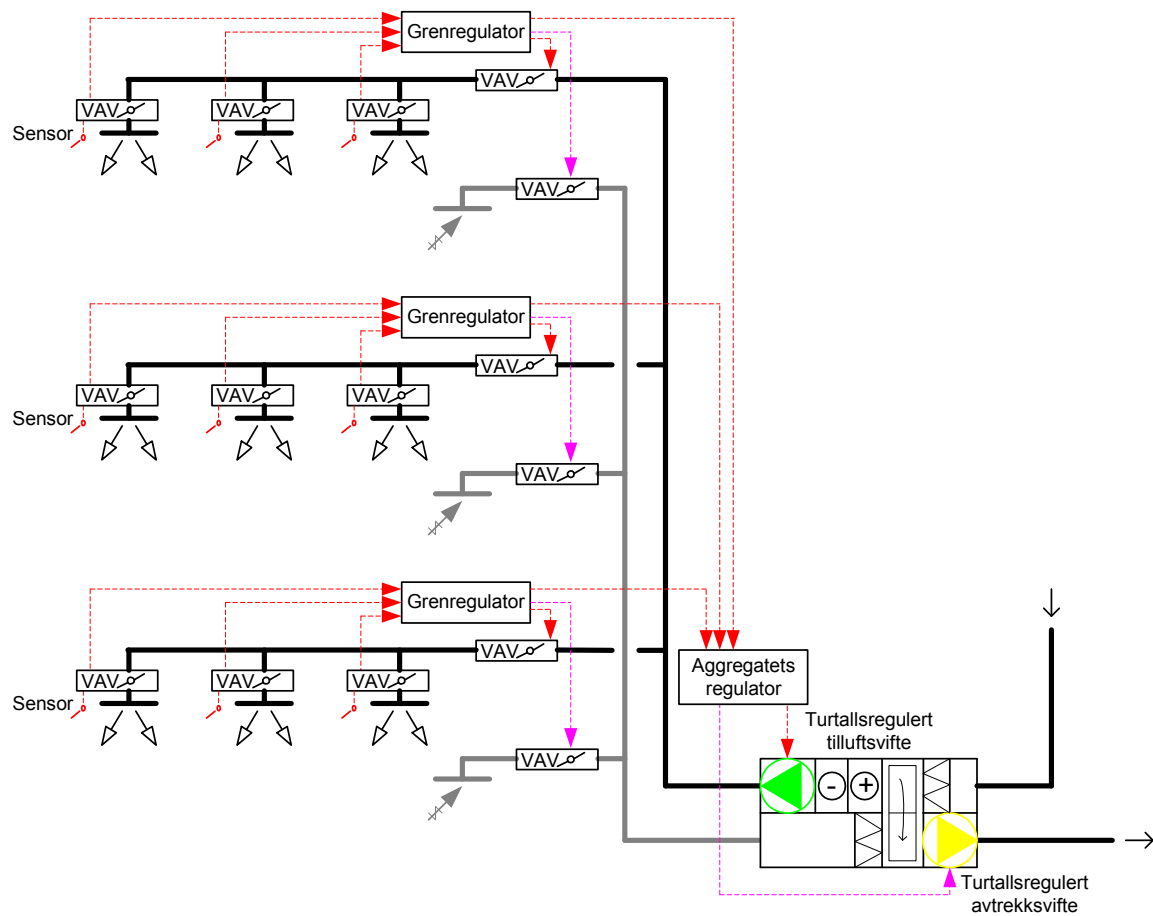
Det rapporteres om dårlige erfaringer med slike anlegg, blant annet på grunn av feil plassering av trykkføleren.

2.3.2 Regulering ved innlesing av spjeldsposisjon

Regulering ved innlesing av spjeldsposisjon heter også luftmengderegulering eller digital behovstilpasset ventilasjon. Dette reguleringsprinsippet har vært utviklet av Stiftelsen Vekst i samarbeid med SAAS Prosjekt as. Prinsippet er i bruk i flere kontorbygg i Norge, både i nye og rehabiliterte bygninger. Beskrivelse av reguleringsprinsippet gjengitt under er delvis hentet fra [22]. Regulering ved innlesing av spjeldsposisjon vises på Figur 8.

Alle spjeld er forsynt med en styrings- og kommunikasjonsenhet. Systemet er hierarkisk oppbygget, vanligvis på tre nivåer:

1. På laveste nivå står romspjeld/ventilspjeld som regulerer luftmengden til/fra rom/soner. Dette spjeldet har en to-posisjoners spjeldmotor og spjeldvinkelen *gir enten maks. eller min. luftmengde*. Spjeldet kan kalles for ”forenklet VAV-spjeld”. Forenklet fordi det ikke kan regulere trinnløs, men likevel VAV-spjeld fordi det vil føre forskjellige luftmengder gjennom driftstiden (enten maks. eller min.). Spjeldposisjon ved maks. eller min. luftmengde fastsettes ved innregulering av anlegget.
2. Grupper av rom får luft fra en gren utstyrt med et grenspjeld. Grenspjeldet reguleres ved hjelp av en grenregulator. Ved innregulering av anlegget blir luftmengdene for alle grenens romspjeld (i hhv. maks. og min. posisjon) lagt inn i grenregulatoren. Under drift vil grenregulatoren til enhver tid beregne riktig luftmengde for grenen, basert på romspjeldenes posisjon. Antall romspjeld som kan sende beskjed til grenregulator er begrenset til 12. Dersom det er flere enn 12 spjeld på en gren, må systemet bygges med ”underregulator” på grenen.
3. Grenregulatorer melder sine luftmengdebehov (summen av romspjeldenes behov) til aggregatets regulator. Aggregatets regulator summerer alle grenluftmengdene, og totalluftmengden benyttes som settpunkt for aggregatets luftmengde.



Figur 8. Regulering ved innlesing av spjeldposisjon– prinsippsskisse. Tegning: Catherine Grini / SINTEF Byggforsk

Regulering ved innlesing av spjeldposisjon kalles også digital behovstilpasset ventilasjon på grunn av digital kommunikasjon mellom ”hovedenheter” i systemet: romspjeld, grenregulator og aggregatets regulator. Romspjeldene i en gren melder sine luftmengdebehov til grenregulator ved hjelp av en lokal Buss (”telefonledning” / Twisted Pair nettverkskabel). Grenregulatorer melder videre sine luftmengdebehov til aggregatets regulator ved hjelp av LonWorks Buss.

Styringsignal for romspjeld kan være enten analogt eller digitalt. Et analogt signal vil komme via egen inngang ved styringsenhet for romspjeld (for eksempel bevegelsesdetektor med egen kobling til styringsenhet). Et digitalt signal vil komme gjennom styringsnettverket for bygget (for eksempel bevegelsesdetektor koblet til styringsnettverk, hvor nettverket kommuniserer med flere enheter enn kun ventilasjonsspjeldet).

Kommunikasjon mellom grenregulatoren og grenspjeldet er analog. Grenspjeldet stilles til å gi den rette luftmengden ved at grenregulatoren sender et analogt 0-10V signal til VAV-grenspjeldmotoren (forstilling av settpunkt for volum).

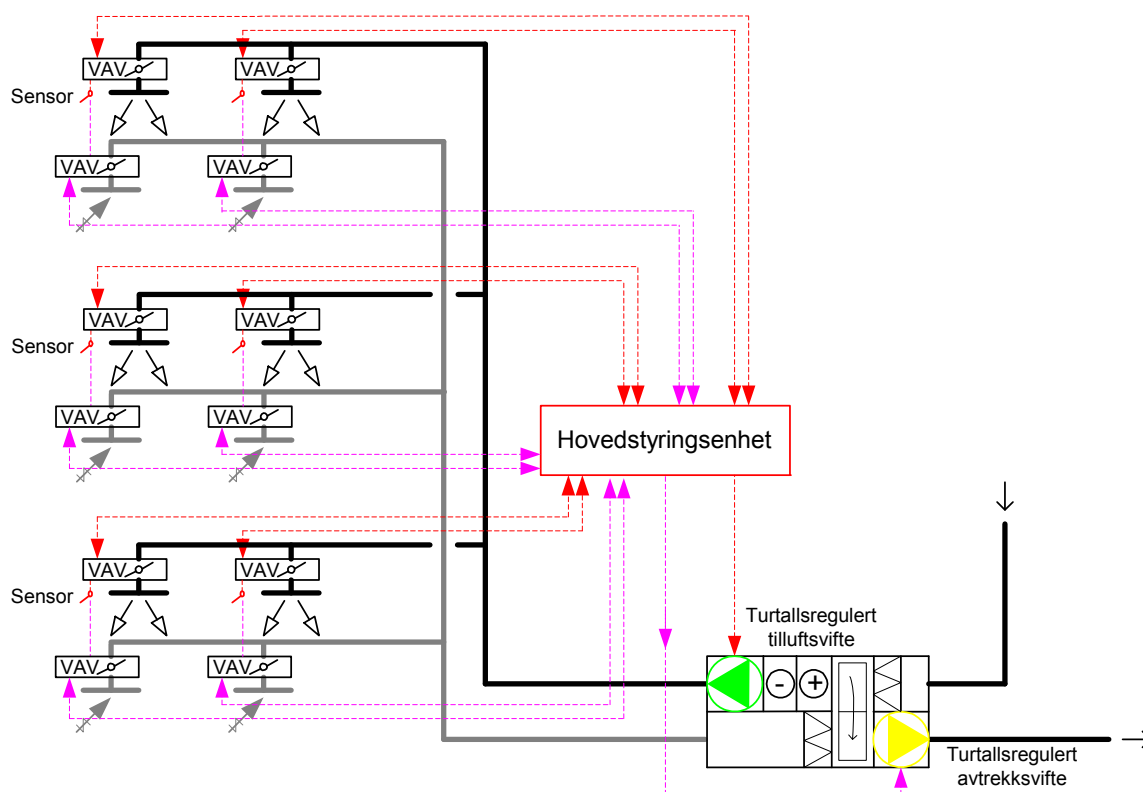
Kommunikasjon mellom aggregatets regulator og viftemotoren kan være enten analogt eller digitalt. Totalluftmengden kan foreligge som et analogt 0-10V signal fra aggregatets regulator, slik det er tilfellet mellom grenregulatoren og grenspjeldet. Ved innregulering av anlegget må motorfrekvenser som skal tilsvare utsignal fra aggregatets regulator forhåndsprogrammeres. Dersom aggregatet er LonWorks-kompatibel, kan totalluftmengden foreligge som en LonWorks variabel (digital signal). Totalluftmengden omregnes kontinuerlig til riktig motorfrekvens. Hvis aggregatet i tillegg har innebygd direkte luftmengdemåling, kan den leverte luftmengde sammenlignes med den ønskede totalluftmengde og evt. justeres.

Dersom det er tilluft og avtrekk til hvert rom/soner, vil styringsenhet for romspjeld styre tilluftspjeldets motor og, når avtrekk er slave av tilluft, også avtrekkspjeldets motor. Hvis tilluft- og avtrekksgren er prosjektert til samme luftmengde, noe som kan være tilfellet med cellekontorer langs en korridor, kan den samme grenregulatoren styre både tilluft- og avtrekksgrenspjeldet. Er det sentralt avtrekk i et område, med flere tilluftspjeld og ett avtrekkspunkt, kan grenregulatoren styre både tilluft- og avtrekksgrenspjeldet, akkurat som ved tilluft og avtrekk til hvert rom/soner. Denne løsningen vises på Figur 8. Er det sentralt avtrekk i et veldig stort område, med flere tilluftgrenener og ett avtrekkspunkt, vil grenregulatoren som styrer luftmengdene i tilluftgrenene melde sine luftmengder ved hjelp av LonWorks Buss til grenregulator som styrer avtrekksluftmengden.

Dette reguleringsprinsippet er tatt i bruk i to rehabiliterte kontorbygg i Oslo: Calmeyers gate 1 (ca. 10 000m²) og Storgata 33 (ca. 20 000m²). Den er også brukt i to nyere kontorbygg: Forskningsparken (ca. 20 000m²) og regjeringskvartalet R6 (ca. 20 000m²), i tillegg til flere skoler.

2.3.3 Spjeldposisjonsregulering

Spjeldposisjonsregulering heter ”Static Pressure Reset” (SPR) på engelsk og omtales ofte som regulering med Optimiser. Uttrykket ”regulering med Optimiser” kan være misvisende siden Optimiser refererer til et produktnavn fra en leverandør (Belimo). I dag er flere kommersielle produkter og løsninger fra forskjellige leverandører, dog med andre navn, tilgjengelige til samme formål. Åpne protokoller til bruk i buss-systemer gir også mulighet for utvikling av nye løsninger. I dette avsnittet brukes betegnelsen spjeldposisjonsregulering for reguleringsprinsippet og produktet som sørger for regulering kalles hovedstyringsenhet. Denne hovedstyringsenhet kan enten være en dedikert enhet til formålet eller en CPU (Central Processing Unit), dvs. en undersentral som tilhører SD-anlegget. Spjeldposisjonsregulering vises på Figur 9, Figur 10 og Figur 11.

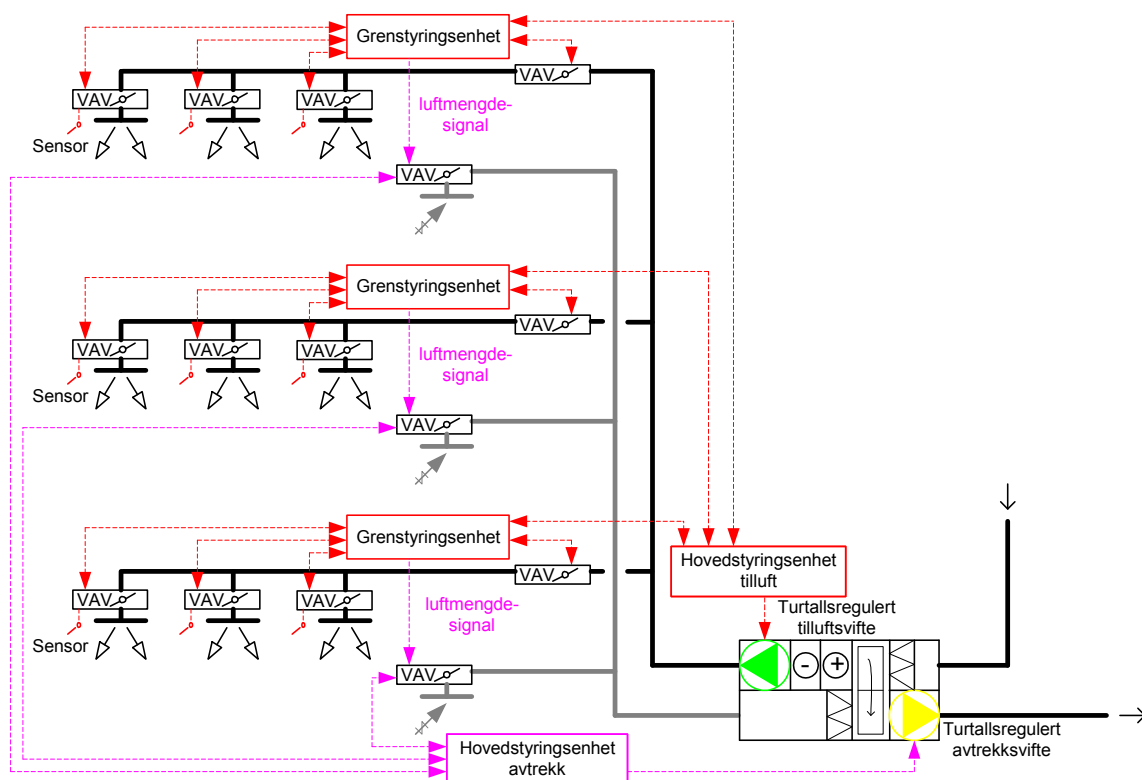


Figur 9. Spjeldposisjonsregulering – prinsippskisse uten grenspjeld. Tegning: Catherine Grini / SINTEF Byggforsk

Reguleringsprinsippet bygger på forutsetningen om at energibruken til viftemotoren er minst når alle spjeldene langs den kritiske veien gir minst mulig motstand for luft i bevegelse. Det betyr at

systemet tar hensyn til at den kritiske veien kan flytte på seg hver gang et VAV-spjeld endrer posisjon.

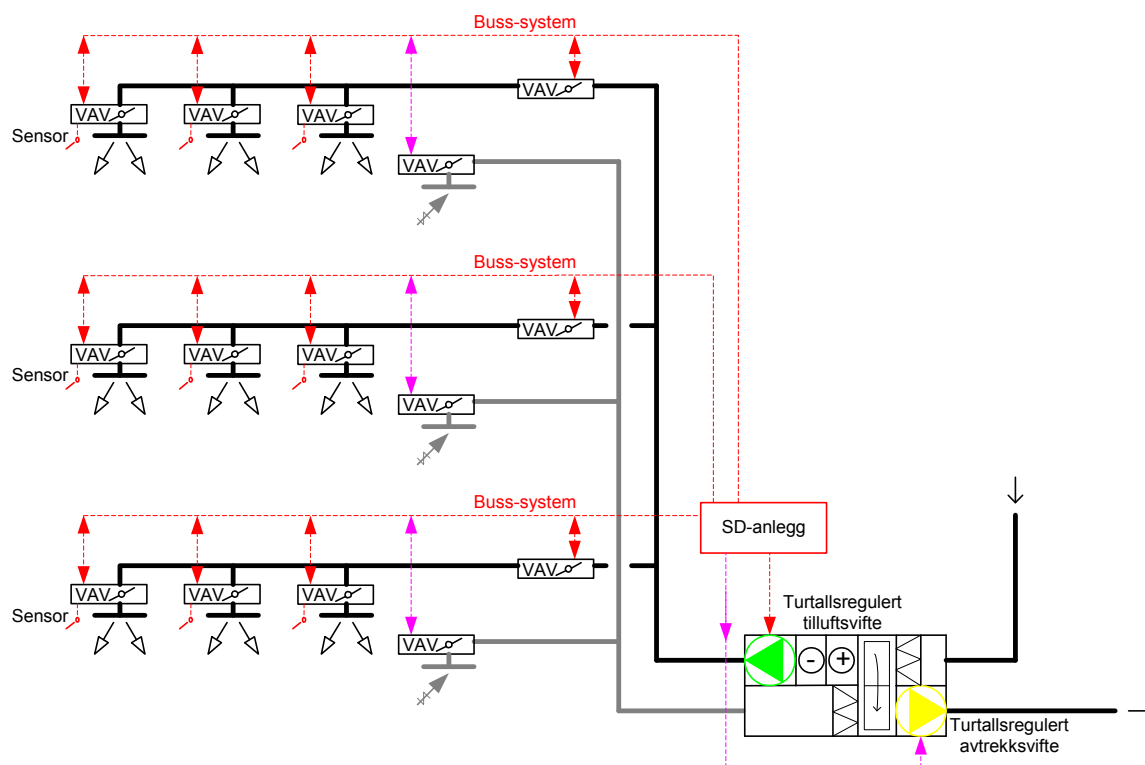
Romspjeld/ventilspjeld er VAV-spjeld med *et arbeidsområde fra valgt minimums luftmengde til valgt maksimal luftmengde*. Ventilspjeld regulerer luftmengde til/fra rom avhengig av beskjedene som kommer fra sensoren i rommet. Alle romspjeldene (VAV-enheter) er forsynt med en elektronisk styrings- og kommunikasjonsenhet. Spjeldene sender kontinuerlig signal om ønsket luftmengde og spjeldposisjon til hovedstyringsenheten som summerer de enkelte luftmengder og melder videre til frekvensomformer ved viften. Dersom ønsket totalluftmengden endres, justeres viftepådraget deretter. Hovedstyringsenheten kan bestå av en egen dedikert enhet til formålet (eksempelvis Optimiser) eller inngå i SD-anlegget i form av en CPU/undersentral. Hovedstyringsenheten har et innebygd beregningsprogram som til enhver tid finner den kritiske veien. Det foretas ikke beregning av trykkfall over hele kanalnettet ut fra kanaldimensjoner men det letes etter romspjeldet som har det største luftbehovet i form av avlest spjeldvinkel. Siden luftmengde måles kontinuerlig ved hvert spjeld er det til enhver tid mulig å beregne forholdet mellom målt luftmengde og ønsket luftmengde. Romspjeldet som har lavest forholdstall mellom målt og ønsket luftmengde, samt størst spjeldvinkel (så stor åpningsgrad som mulig for å sikre gode driftsforhold, som regel ca. 80% åpning) ligger langs den kritiske veien. Dette spjeldet beholder størst spjeldvinkel. Videre justeres de andre spjeldene i forhold til den kritiske veien. Spjeldposisjonsregulering består med andre ord av en kontinuerlig innregulering av ventilasjonsanlegget.



Figur 10. Spjeldposisjonsregulering – prinsippskisse med grenspjeld og hierarkisk oppbygging. Tegning: Catherine Grini / SINTEF Byggforsk

Når hovedstyringsenheten består av en egen komponent utenom SD-anlegg vil det som regel være en begrensning på antall spjeld som kan kobles til komponenten. I små anlegg vil det være mulig å regulere ved hjelp av en hovedstyringsenhet, uten regulering på grenspjeld. Se Figur 9. For større anlegg må systemet bygges hierarkisk. I noen tilfeller vil det være behov for grenspjeld. Hvert grenspjeld vil reguleres ved hjelp av en grenstyringsenhet. Se Figur 10. Grenstyringsenheten regulerer ut fra informasjon fra sensoren i rommet om ønsket luftmengde i hvert rom/soner og fra informasjon gitt av hovedstyringsenheten ved aggregatet om ønsket luftmengde til de øvrige gren. Grenstyringsenheten som er koblet mot romspjeldene regulerer sonespjeldet ettersom behovet endrer seg. Hovedstyringsenheten mellom sonespjeldene og aggregatet overvåker vinkelen på

sonespjeldene og justerer tilluftviften slik at minst et av sonespjeldene er så åpent som mulig. Om sonespjeldene på tilluft- og avtrekksside styres til samme vinkel, blir sannsynligvis anlegget ubalansert fordi det er ulikt trykkfall på tilluft- og avtrekkssiden. Luftmengden som måles på sonespjeldet i tilluftskanalen kan derimot brukes som settpunkt for sonespjeldet i avtrekksskanalen. Sonespjeldene på avtrekkssiden kobles videre mot en hovedstyringsenhet som styrer pådraget for avtrekksviften. Viftene reguleres da uavhengig av hverandre og sikrer at ventilasjonsanlegget er balansert. Systemet kan være komplisert å programmere og kan kreve store mengder signalkabler.



Figur 11. Spjeldposisjonsregulering – prinsippskisse der hovedstyringsenheten tilhører SD-anlegg. Tegning: Catherine Grini / SINTEF Byggeforsk

Når hovedstyringsenheten inngår i moderne SD-anlegg, er det ikke begrensning i antall VAV-spjeld som kan kobles til hovedstyringsenheten. Se Figur 11. Men buss-systemet må ha tilstrekkelig kommunikasjonskapasitet. Prosjektering av buss-systemet må utføres av automasjonsingeniører i tett samarbeid med prosjekterende for ventilasjonssystemet. Valg av hvilken protokoll og kommunikasjonsløsning som skal benyttes har betydning for kommunikasjons hastigheten og følgelig sende-/svartid og driften av anlegget. Jo flere VAV-spjeld/sensorer som sender beskjed til hovedstyringsenheten, jo vanskeligere blir det for hovedstyringsenheten å stille alle spjeldene til riktig posisjon innen en kort svartid. Når veldig mange VAV-spjeld/sensorer kobles til kun en hovedstyringsenhet, er det en risiko for en kontinuerlig endring av luftmengdebehovet. Hovedstyringsenheten kan beregne/lete etter ønsket spjeldposisjon uten å ha tid til å justere åpningsgraden før luftmengdebehovet endres på nytt. For å unngå problemer med pendling av anlegget og unødvendig slitasje for komponenter, må systemet ha raske inputsignaler og reguleringen må programmeres med tregere svarsignal.

Spjeldposisjonsregulering med hovedstyringsenheten innebygd i SD-anlegg er tatt i bruk i nyere kontorbygg, blant annet Miljøbygget i Trondheim (Professor Brochs gate 2).

2.4. Reguleringsparameter

Tabell 3 og Tabell 4 viser hvilken reguleringsparameter som er aktuell for å oppnå behovstilpasset ventilasjon, både ut fra ønsket funksjon for ventilasjon og ut fra hvilket rom som skal ventileres.

Temperatur er en reguleringsparameter som skyldes ønsket om romklimatisering ved hjelp av ventilasjonsanlegget, i tillegg til frisklufttilførsel. Den vil alltid komme i tillegg til en annen reguleringsparameter og kan ikke alene sørge for behovstilpasset ventilasjon.

Forklaring til Tabell 3 og Tabell 4:

Er følgende reguleringsparameteren godt egnet til å oppnå behovstilpasset ventilasjon?

😊 Ja, reguleringsparameter er godt egnet

😐 Nøytral

☹️ Nei, reguleringsparameter er ikke godt egnet med tanke på robusthet, energieffektivitet eller kostnader

Tabell 3. Aktuell reguleringsparameter avhengig av ventilasjonens funksjon

Reguleringsparameter	Ventilasjonens funksjon			
	Kun frisklufttilførsel	Frisklufttilførsel + romklimatisering ved kjølebehov	Frisklufttilførsel + romklimatisering ved varmebehov	Frisklufttilførsel + romklimatisering ved kjølebehov + romklimatisering ved varmebehov
Minst antall styringsparameter	1	2	2	2
Aktuell parameter				
Ur	😊	☹️	☹️	☹️
Tilstedeværelse	😊	😊	😊	😊
CO ₂ -konsentrasjon	😊	😊	😊	😊
Temperatur (i kombinasjon med en av overnevnte parameter)	☹️	😊	😊	😊
Aktuell system				
CAV-system (ur)	😊	☹️	☹️	☹️
VAV-system	😊	😊	😊	😊

Tabell 4. Aktuell reguleringsparameter avhengig av romtype i et kontorbygg

Reguleringsparameter	Romtype			
	Cellekontor	Kontorlandskap	Møterom/ pauserom/ auditorium/ kantine	Kjøkken
Ur	😊	😊	😐 ¹⁾	😊
Tilstedeværelse	😊	😊	😐 ¹⁾	😊
CO ₂ -konsentrasjon	☹️	😐 ²⁾	😐 ²⁾	☹️
Temperatur (i kombinasjon med en av overnevnte parameter)	😊	😊	😊	☹️

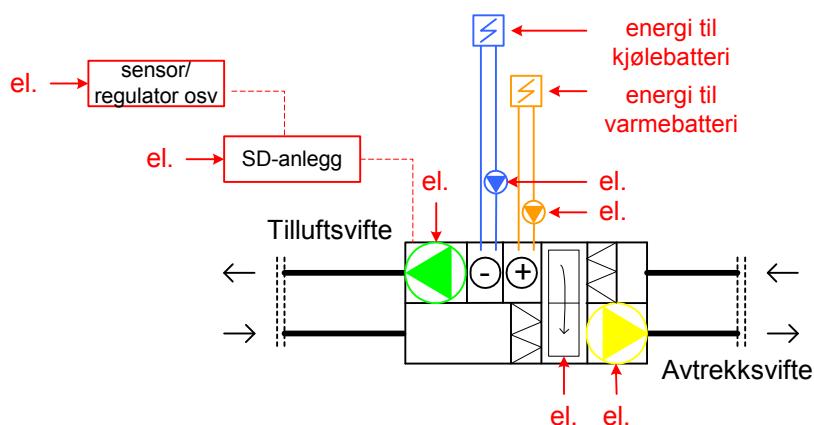
1) Denne styringsparameter er vurdert som nøytral fordi den vil sannsynligvis ikke utløse hele sparepotensialet som ligger i behovstilpasset ventilasjon.

2) CO₂-konsentrasjon er ikke nødvendigvis en driftsikker styringsparameter og bedømmes følgelig som nøytral.

3. Betydning av ventilasjon for energiregnskap

Energien som behøves til å drifte et balansert ventilasjonsanlegg er illustrert på Figur 12 og består av tre funksjoner:

1. klimatisering av ventilasjonsluften (oppvarming og evt. kjøling, med sirkulasjonspumper til varme- og kjølebatterier)
2. drift av ventilasjonsvifter (drift av viftemotor)
3. drift av luftbehandlingsanlegget (drift av varmegjenvinner og drift av automatisering)



Figur 12. Energibruk i et ventilasjonsanlegg. Energi- og elektrisitetstilførsel vises i rød. Tegning: Catherine Grini / SINTEF Byggforsk

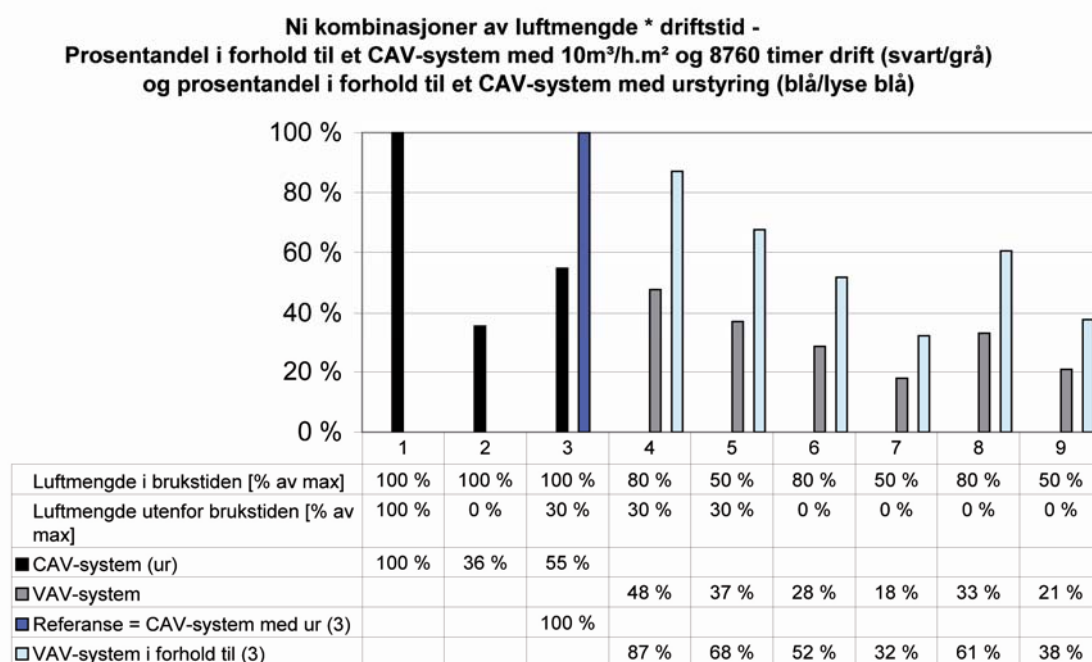
Tabell 5 viser hvordan energibruk til drift av et ventilasjonsanlegg kan fordeles per energipost, hvilken parameter som påvirker hver post og kriterium for måling av de enkelte postene.

Tabell 5. Energibruk til drift av et ventilasjonsanlegg fordelt per energipost, med informasjon om parameter som påvirker hver post og kriterium for måling av de enkelte postene

Energipost	Parameter som påvirker energiposten	Hvilket kriterium brukes vanligvis for å uttrykke energiposten?
Oppvarming av ventilasjonsluft	<ul style="list-style-type: none"> • settpunkt for tilluftstemperatur om vinteren • temperaturvirkningsgraden til varmegjenvinner • driftstid og luftmengde 	Varmetapstall / Oppvarmingsbehov / Systemvirkningsgrad for varmesystemet (energiforsyning)
Kjøling av ventilasjonsluft	<ul style="list-style-type: none"> • settpunkt for tilluftstemperatur om sommeren • driftstid og luftmengde 	Kjølebehov / Systemvirkningsgrad for kjølesystemet (energiforsyning)
Pumpedrift	<ul style="list-style-type: none"> • pumpemotortype • reguleringsmetode • driftstid og vannmengde (kan uttrykkes via luftmengde) 	SPP
Drift av ventilasjonsvifter	<ul style="list-style-type: none"> • viftemotor og viftetype • trykkfallet i kanalnettet • trykkfallet over aggregatet • reguleringsmetode • driftstid og luftmengde 	SFP
Drift av varmegjenvinner	<ul style="list-style-type: none"> • driftstid og luftmengde • motortype 	Måles sjeldent per i dag, omtales ikke eksplisitt i NS 3031 [23]
Drift av automatisering	<ul style="list-style-type: none"> • ingen? • automatisering slås aldri av 	Måles sjeldent per i dag, omtales ikke eksplisitt i NS 3031 [23]

3.1. Driftstid for anlegget og luftmengde

Driftstiden for ventilasjonsanlegget og luftmengden påvirker nesten alle energipostene relatert til ventilasjon. Før vi studerer nærmere hver av postene kan det være nyttig å se på forskjellige kombinasjoner av disse to parametrene.



Figur 13. Ni kombinasjoner av luftmengde og driftstid for et ventilasjonsanlegg. Hver kombinasjon vises som en prosentandel av kombinasjon 1 på svarte/grå søyler (CAV-system med 10m³/h-m² og døgnet kontinuerlig drift året rundt). Alle VAV-systemer vises som en prosent av kombinasjon 3 på blå/lyse blå søyler (CAV-system med urstyring, 10m³/h-m² i brukstid, 3m³/h-m² utenom brukstid)

Figur 13 viser ni kombinasjoner av luftmengde og driftstid i forhold til kombinasjon 1. Figuren kan brukes til å gjøre et anslag om energibesparelsen som ligger i behovstilpasset ventilasjon. De ni kombinasjoner er beskrevet i Tabell 6.

Tabell 6. Ni kombinasjoner av luftmengde og driftstid for et ventilasjonsanlegg.

	Luftmengde i brukstiden [% av max]	Luftmengde utenom brukstiden [% av max]	Brukstid timer pr. dag / dager pr. uke / uker pr. år
Kombinasjon 1	100%	100%	12 / 5 / 52
Kombinasjon 2	100%	0%	12 / 5 / 52
Kombinasjon 3	100%	30%	12 / 5 / 52
Kombinasjon 4	80%	30%	12 / 5 / 52
Kombinasjon 5	50%	30%	12 / 5 / 52
Kombinasjon 6	80%	0%	12 / 5 / 52
Kombinasjon 7	50%	0%	12 / 5 / 52
Kombinasjon 8	80%	0%	14 / 5 / 52
Kombinasjon 9	50%	0%	14 / 5 / 52

Kombinasjon 1 er utdatert og praktiseres ikke i dagens kontorbygg med fokus på energibruk. Kombinasjon 2 er en vanlig løsning i eksisterende bygninger, selv om driftsmønster er i strid med TEK10.

Kombinasjon 3 er mulig å få til med enkel urstyring og må sees på som referansen for CAV-systemer.

Kombinasjon 4 anses som et vanlig anlegg med behovsregulering, der ventilasjonsbehovet ligger rundt 80% av maksimum luftmengde i hele brukstiden.

Kombinasjon 5 gjenspeiler et anlegg i et bygg med lav tilstedeværelse og med optimal drift av behovsregulering.

Kombinasjon 6 og 7 tilsvarer kombinasjon 4 og 5 uten natt- og helgedrift.

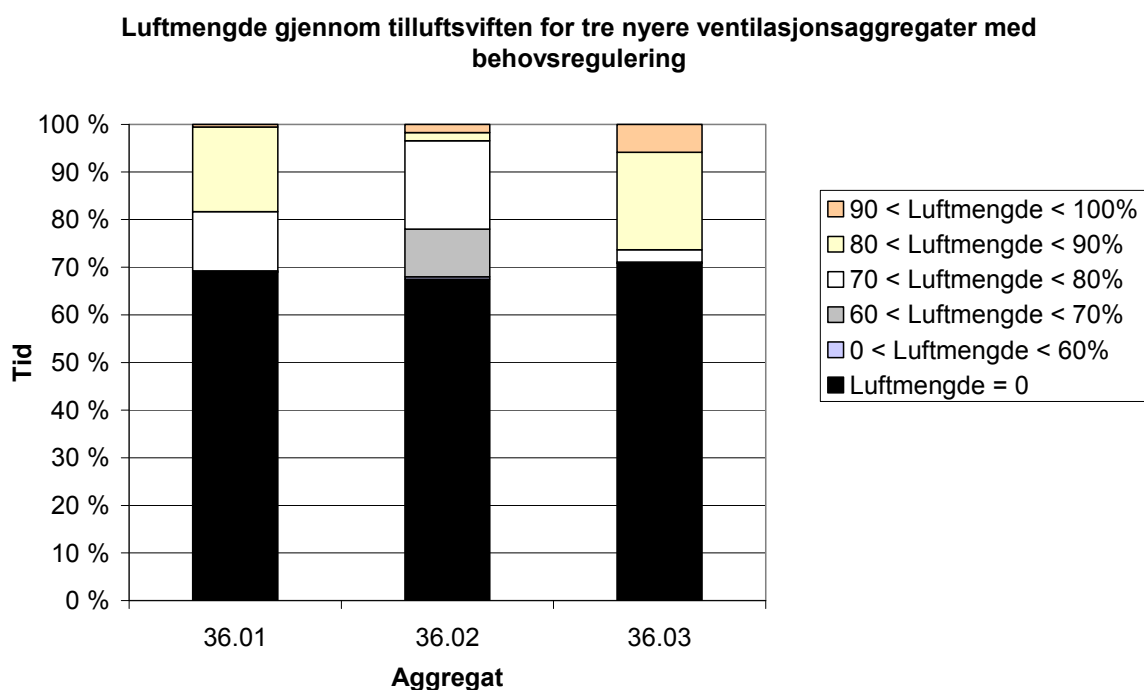
Kombinasjon 8 og 9 er like som hhv. kombinasjon 6 og 7 men med 14 timer brukstid istedenfor 12. Driftstiden for kombinasjon 2, 6, 7, 8 og 9 er i strid med TEK10.

Hvis man sammenligner alle kombinasjoner i forhold til kombinasjon 1, viser figuren at den enkleste grep (slå av ventilasjon om natten) er trolig den aller mest effektiv, siden kombinasjon 2, 6, 7, 8 og 9 ligger lavest, med hhv. 36, 28, 18, 33 og 21% av kombinasjon 1. Hvis man bruker kombinasjon 3, dvs. enkel urstyring av ventilasjonsanlegget som referanse ved sammenligning mot VAV-systemer, blir besparelspotensial mindre. Kombinasjon 4 og 5, som er i drift døgnet rundt iht. TEK10, utgjør hhv. 87 og 78% av kombinasjon 3.

Ved et grovt anslag kan energibesparelse ved bruk av behovstilpasset ventilasjon spenne fra 82% (forhold mellom kombinasjon 1 og 7) til 13% (forhold mellom kombinasjon 3 og 4), avhengig av referansen for sammenligning og antatt luftmengde i brukstiden. Denne fremgangsmåten for å beregne energibesparelser er veldig grov og anbefales ikke. Men den kan delvis forklare hvorfor man antar at potensialet ved behovstilpasset ventilasjon er enorme.

Prosjektrapporten 42 fra SINTEF Byggforsk [3] definerer kriterier for passivhus- og lavenergibygg for yrkesbygg. For kontorbygg er energibehovet som skyldes ventilasjon og tilhørende energiposter beregnet til å stå for ca. 25% av den totale netto energibehov. Dette tilsvarer en energibesparelse over 50% i forhold til et kontorbygg utført etter TEK07. SAAS Prosjekt AS opplyser at dette er betydelig større besparelser enn det de opererer med og har målt.

Figur 14 viser en registrering av luftmengde gjennom tilluftsviften for tre ventilasjonsaggregater med behovsregulering i et nyere kontorbygg. Registrering foregikk i to måneder i løpet av 2010. Figuren viser driftsregime for aggregatene, dvs. andel av tiden der aggregatene er slått av og andel av tider der de er i drift med redusert luftmengde.



Figur 14. Registrering av luftmengde gjennom tilluftsviften for tre nyere ventilasjonsaggregater med behovsregulering.

Driftstiden for aggregatene er fra kl.06.30 til kl.17.00 hver ukedag, ellers er aggregatene slått av. Registrering viser at tiden der aggregatene er slått av utgjør ca. 70% for alle aggregatene. Ingen av aggregatene har noe merkbar brukstid der luftmengde ligger på mellom 0 og 60% av maks. luftmengde. Luftmengden gjennom tilluftsviften for aggregatet 36.01 ligger på mellom 70 og 80% av maks. luftmengde i ca. en tredjedel av driftstiden og på mellom 80 og 90% i ca. to tredjedeler av driftstiden. For aggregatet 36.02 ligger luftmengde noe lavere, ca. en tredjedel av driftstiden

mellom 60 og 70% av maks. luftmengde og to tredjedeler av driftstiden mellom 70 og 80%. Aggregatet 36.03 fører de største luftmengdevolumene blant de tre aggregatene. Det er kun en liten andel av driftstiden der ventilasjonsluftmengde er lavere enn 80% av maks. luftmengde.

Figur 14 er ment som en illustrasjon av reelle driftsforhold. Disse aggregatene ligger i nærheten av kombinasjon 6 på Figur 13.

NS 3031 [23] anbefaler følgende for fastsettelse av luftmengde for ventilasjonsaggregater med behovstilpasset regulering: *Hvis ikke nærmere beregninger eller simuleringer gjøres, kan gjennomsnittlig luftmengde i driftstiden i VAV-anlegg, behovsstyrt etter CO₂-nivå eller tilstedeværelse, reduseres med 20% i forhold til dimensjonerende luftmengde. Med dimensjonerende luftmengde menes den luftmengden i driftstiden et ventilasjonsanlegg med konstante luftmengder (CAV) ville hatt for den samme bygningen.*

Det hevdes at NS 3031 opererer med et konservativt anslag relatert til luftmengde. Registrering som vises på Figur 14 stemmer godt overens med NS3031. Gjennomsnitt luftmengde i driftstiden for alle tre aggregatene ligger på ca. 80%. Aggregatet 36.01 ligger ”midt på treet” mens det er større forskjeller mellom aggregat 36.02 og 36.03. Luftmengde som går gjennom tillufts- og avtrekksvifte må registreres over tid for et stort antall ventilasjonsanlegg der det er benyttet behovstilpasset ventilasjon. Når en slik registrering har vært utført, blir det lettere å kunne bedømme hvorvidt luftmengdereduksjonen som er angitt i NS 3031 for VAV-systemer er konservativ.

3.2. Oppvarming av ventilasjonsluft

3.2.1 Ventilasjonspost i varmetapstallet

Ventilasjonsposten i varmetapstallet skal iht. NS 3031:2007 [23] beregnes på følgende måte:

$$H_V'' = \dot{V}'' \times C_p \times (1 - \eta_T) \quad [\text{W/K} \cdot \text{m}^2]$$

der

\dot{V}'' er gjennomsnittlig ventilasjonsluftmengde over året [$\text{m}^3 / \text{h} \cdot \text{m}^2$].

C_p er luftens varmekapasitet. Settes lik $0,33 \text{ Wh/m}^3 \cdot \text{K}$.

η_T er varmegjenvinnerens temperaturvirkningsgrad [dimensjonløs].

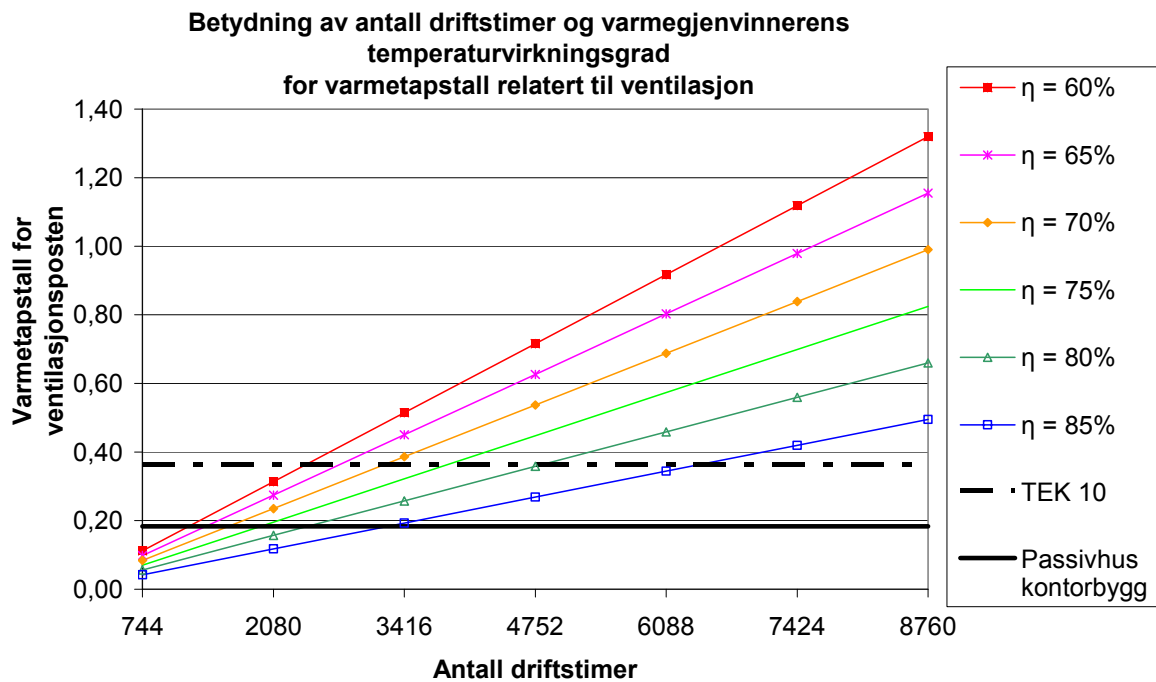
Ventilasjonsposten i varmetapstallet beregnes ut fra en gjennomsnittlig ventilasjonsluftmengde. Ved gjennomsnittlig menes gjennomsnittlig vektet luftmengde over hele året, i og utenfor driftstiden. Jo lavere luftmengder og færre driftstimer, jo lavere blir ventilasjonsposten i varmetapstallet.

Figur 15 viser varmetapstallet for ventilasjonsposten for forskjellige temperaturvirkningsgrader ved varmegjenvinner og varierende antall driftstimer. De fargede strekene viser varmetapstallet når ventilasjonsluftmengde holdes konstant lik $10 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ i hele driftstiden. Antall driftstimer varierer fra 744 timer til 8760 timer (døgnekontinuerlig drift året rundt). Den stripete svarte streken viser varmetapstallet for ventilasjonsposten brukt ved fastsettelse av kravnivået i TEK10 ($10 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ i 3120 timer og $3 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ i 5616 timer). Den tykke svarte streken viser varmetapstallet for ventilasjonsposten brukt for å fastsette kravnivået for passivhus i Prosjektrapport 42 fra SINTEF Byggforsk [3] ($6 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ i 3120 timer og $1 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ i 5616 timer). **En bør være oppmerksom på at behovstilpasset ventilasjon er en av forutsetningene som ble gjort ved fastsettelse av energikravene.**

Når en farget strek krysser den stripete svarte streken kan man lese på x-aksen hvor mange driftstimer ventilasjonsanlegget med den gitte virkningsgraden kan ha for å nå lik varmetapstall relatert til ventilasjon som forutsatt i TEK10. Ved en virkningsgrad lik 85% er det mulig å ha omtrent 6.088 driftstimer uten at varmetapstallet for ventilasjonsposten øker i forhold til TEK10.

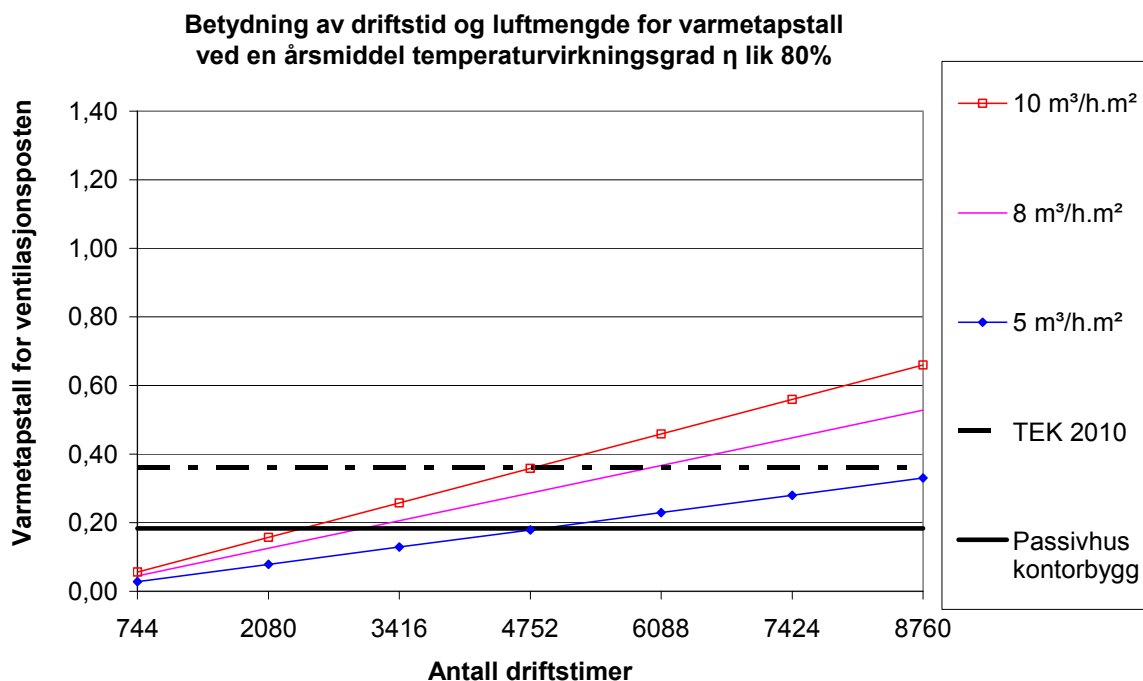
En driftstid på 6.088 timer tilsvarer ca. døgkontinuerlig drift 5 dager i uken året rundt. Når virkningsgraden synker til 60% blir det kun mulig med ca. 2.300 driftstimer, dvs. ca. 9 timer drift om dagen, 5 dager i uken, 52 uker i året. Figur 15 viser at det ikke er mulig å benytte en luftmengde lik $10 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2$ døgkontinuerlig uten å øke varmetapstallet relatert til ventilasjon forutsatt ved fastsettelse av TEK10, selv med 85% virkningsgrad for varmegjenvinner.

Figur 15 illustrerer hvordan behovsstyring av ventilasjonsanlegget er forutsatt i regelverket og hvilken driftstid dette innebærer for et ventilasjonsanlegg med konstant luftmengde.



Figur 15. Beregning av varmetapstallet for ventilasjonsposten for forskjellige virkningsgrader ved varmegjenvinner og varierende antall driftstimer. Sammenligning av en konstant ventilasjons-luftmengde lik $10 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ (fargede streker) med kravnivået i TEK10 ($10 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ i 3120 timer og $3 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ i 5616 timer) og kravnivået i passivhus iht. Prosjektrapport 42 ($6 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ i 3120 timer og $1 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ i 5616 timer).

Figur 16 er en liknende illustrasjon der årsmiddel temperaturvirkningsgrad holdes konstant på 80% (kravnivået for kontorbygg i TEK10) men der gjennomsnittlig luftmengde er enten 10, 8 eller 5 m³/h·m².



Figur 16. Beregning av varmetapstallet for ventilasjonsposten for tre luftmengder og varierende antall driftstimer og en årsmiddel temperaturvirkningsgrad ved varmegjenvinner lik 80% (fargede linjer). Sammenligning med kravnivået i TEK 10 (10 m³/h·m² i 3120 timer og 3 m³/h·m² i 5616 timer) og kravnivået i passivhus iht. Prosjektrapport 42 (6 m³/h·m² i 3120 timer og 1 m³/h·m² i 5616 timer).

Ved en luftmengde lik 10 m³/h·m² er det mulig å ha omtrent 4.752 driftstimer uten at varmetapstallet for ventilasjonsposten øker i forhold til TEK10. 4.752 driftstimer tilsvarer ca. 13 driftstimer hver dag året rundt. Når luftmengde reduseres til 5 m³/h·m² er det mulig å ha døgnkontinuerlig drift året rundt og å holde varmetapstallet for ventilasjonsposten under nivået fastsatt i TEK10. Ved halvering av luftmengde halveres også varmetapstallet. Den lave luftmengden ligger akkurat på nivået med kravet til minste tillatte luftmengde i TEK10.

3.2.2 Oppvarmingsbehov

Temperaturvirkningsgraden ved varmegjenvinner har stor betydning for oppvarmingsbehovet.

I TEK07 og i TEK10 skal energikravene tilfredsstilles ved oppfyllelse av enten tiltakspakken eller energirammen. Et av tiltakene i tiltakspakken for TEK07 lyder at *”Årsmidlere temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner i ventilasjonsanlegg skal være lik 70 %.”* Samme årsmidlere temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner i ventilasjonsanlegg er benyttet ved fastsettelse av energirammene. I TEK10 er kravet til årsmidlere temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner i ventilasjonsanlegg blitt *” $\geq 80\%$ for yrkesbygg der bruk av høyeffektiv varmegjenvinner ikke vil medføre problemer med spredning av forurensning/smitte”*.

For kontorbygg er kravet til temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner satt til 80% i TEK10. Kun roterende varmegjenvinner er i stand til å oppnå så høy virkningsgrad. Lekkasjer mellom tilluft- og avtrekksside kan oppstå i roterende varmegjenvinner. Ved fastsettelse av kravet har man forutsatt bruk av roterende varmegjenvinner i kontorbygg og antatt at risiko for tilbakeføring av forurensninger ikke er høyere enn *”normal samfunnsmessig eksponering”*. [24]

Når luftmengden som strømmer gjennom en roterende varmegjenvinner blir mindre, øker virkningsgraden til varmegjenvinner, så lenge rotorhastighet til varmegjenvinneren er uendret. Dersom rotorhastigheten reduseres i takt med tilført luftmengde, vil virkningsgraden til varmegjenvinner holde seg tilnærmet konstant. Vanlig praksis er å operere med fast rotorhastighet om vinteren slik at varmegjenvinning blir så høy som mulig når bygget har et varmebehov. I overgangsperioder, dvs. om våren og på høsten, kan varmebehovet variere over døgnet. I slike perioder vil rotorhastigheten styres av lufttemperaturen etter varmegjenvinneren. Rotorhastigheten vil reguleres ned ved redusert luftmengde. Hensikten er da å unngå for høye tilluftstemperaturer og overoppheting.

Energibruk til drift av rotor anses å være ganske stabil uavhengig av reguleringsprinsippet for ventilasjonsanlegget. Det hadde vært interessant å undersøke økningen i virkningsgraden som oppnås når rotorhastighet holdes fast ved redusert luftmengde. Den reelle virkningsgraden til varmegjenvinner vil i praksis alltid være lavere enn virkningsgraden som måles av leverandøren under ideelle driftsforhold i laboratoriet og som oppgis i tekniske datablader. Det er ukjent om man kan, ved bruk av redusert luftmengde gjennom varmegjenvinneren, kompensere for den reduksjon som skyldes reelle driftsforhold, eller om det er mulig å oppnå enda høyere virkningsgrad enn det som er oppgitt av leverandøren for en nominell luftmengde. Måling av virkningsgrad over tid i ventilasjonsaggregater med variabel luftmengde hadde vært nyttig å dokumentere. Slik dokumentasjon ville sikre bedre kvalitet i energibudsjettberegninger.

Varmebehov til ventilasjonsluften og til romoppvarming for et 75 m² kontorlandskap har vært beregnet med forskjellige forutsetninger for luftmengder, driftstider og reguleringsprosedyrer. Resultatene vises i Tabell 7. Tilluftstemperatur er fastsatt til 20°C om vinteren (f.o.m. 01. september t.o.m. 30. april). Settpunkttemperatur for romoppvarming er 20°C i alle kombinasjoner med romoppvarming (kombinasjon 1 t.o.m. 9). Detaljerte inndata for beregningene er gitt i Appendix 1.

Variasjon i virkningsgraden til varmegjenvinner er ikke medregnet i resultatene som vises i kolonne 4 i Tabell 7. Resultatene i kolonne 5 er basert på at virkningsgraden til varmegjenvinneren varierer med luftmengde. Det er forutsatt en virkningsgrad lik 75, 78, 80 og 82% når luftmengde er hhv. 100, 80, 50 og 30% av maks luftmengde.

Tabell 7. Varmebehov til ventilasjonsluften og romoppvarming ved forskjellige luftmengder, driftstider og reguleringsprosedyrer, ved en fast årsvirkningsgrad for varmegjenvinner lik 80% i kolonne 4 og ved varierende årsvirkningsgrad for varmegjenvinner i kolonne 5.

		Luftmengde og driftstid ¹⁾	Varmebehov ²⁾ Fast virkningsgrad $\eta_T = 80\%$	Varmebehov ²⁾ Varierende virkningsgrad
Kombinasjon 1	Ingen behovsregulering	10-10-12 / 5 / 52	100%	100%
Kombinasjon 2	Regulering med ur (AV/PA)	10-0-12 / 5 / 52	48% (73%)	45% (73%)
Kombinasjon 3	Regulering med ur (flerhastighetsmotor)	10-3-12 / 5 / 52	66% (100%)	56% (100%)
Kombinasjon 4	Optimal regulering mht. tilstedeværelse 80% samtidighet	8-3-12 / 5 / 52	60% (92%)	48% (85%)
Kombinasjon 5	Optimal regulering mht. tilstedeværelse 50% samtidighet	5-3-12 / 5 / 52	52% (80%)	40% (71%)
Kombinasjon 6	Optimal regulering 80% samtidighet AV om natten	8-0-12 / 5 / 52	43% (66%)	37% (66%)
Kombinasjon 7	Optimal regulering 50% samtidighet AV om natten	5-0-12 / 5 / 52	36% (55%)	29% (52%)
Kombinasjon 8	Optimal regulering 80% samtidighet AV om natten	8-0-14 / 5 / 52	47% (71%)	40% (71%)
Kombinasjon 9	Optimal regulering 50% samtidighet AV om natten	5-0-14 / 5 / 52	38% (58%)	31% (55%)
Kombinasjon 10	Ventilasjon dekker varmebehovet	8-3-12 / 5 / 52	55% (84%)	45% (81%)

¹⁾ De fem tallene i kolonne 3 henviser i følgende rekkefølge: luftmengde i driftstid [$m^3 / h \cdot m^2$] – luftmengde utenom driftstid [$m^3 / h \cdot m^2$] – antall timer drift per dag / antall driftdager per uke/ antall driftturer per år.

²⁾ Varmebehov i prosent er beregnet ut fra summen av varmebehov til ventilasjon og romoppvarming. Tallene i svart er beregnet i forhold til referansen "Ingen behovsregulering", også kalt kombinasjon 1 tidligere i rapporten. Tallene i blått i parentes er beregnet i forhold til referansen "Regulering med ur (flerhastighetsmotor)", tidligere kalt kombinasjon 3.

Tabell 7 viser at varmebehovet blir halvert når ventilasjonsanlegget slås av om natten ved enkelt regulering med ur (fra kombinasjon 1 til kombinasjon 2). Når ventilasjonsanlegget kjøres til en tredjedel av maks. luftmengde om natten blir varmebehovet redusert med ca. en tredje del (fra kombinasjon 1 til kombinasjon 3). Ved optimal regulering i forhold til tilstedeværelse og lav tilstedeværelse, reduseres varmebehovet ytterligere. Sammenligning av kolonne 4 og 5 viser at endringene av virkningsgraden ved varmegjenvinner gjør VAV-regulering mer energibesparende enn når denne parameteren ikke tas hensyn til. Den reelle effekten av redusert luftmengde for virkningsgraden ved varmegjenvinneren bør studeres nærmere.

Når ventilasjonen brukes til å dekke varmebehovet vil styringsstrategien i forhold til temperatursettpunkt avgjøre besparelespotensialet. Kombinasjon 10 viser en besparelse som ligger mellom kombinasjon 4 og 5. Alle disse kombinasjoner opererer med natt- og helgedrift. Når kombinasjon 10 sammenlignes med kombinasjoner der ventilasjonsanlegget er slått av utenom brukstid (kombinasjon 6, 7, 8 og 9) blir besparelespotensialet mindre enn ved bruk av VAV-regulering etter kun tilstedeværelse. I simuleringen som er gjort her brukes kun ventilasjon til å dekke hele varmebehovet. Følgelig *må* ventilasjonsanlegget være i drift utenom brukstid for å holde romtemperatur utenom brukstid til et akseptabelt nivå. Settpunktet for lavest avtrekks-temperatur utenom brukstid er 18°C. I brukstiden er settpunktet for lavest avtrekkstemperatur lik 20°C.

3.3. Kjøling av ventilasjonsluft

Resultatene fra Tabell 8 er beregnet for et 75m² kontorlandskap med tilluftstemperatur lik 18°C om sommeren. Det er ikke installert romkjøling i kontorlandskapet i henhold til TEK07/TEK10 der behov for lokal kjøling søkes fjernet. Detaljerte inndata for beregningene er gitt i Appendix 1.

Tabell 8. Kjølebehov til ventilasjonsluften ved forskjellige luftmengder, driftstider og reguleringsprosedyrer.

		Luftmengde og driftstid ¹⁾	Kjølebehov ventilasjon [kWh / m ² -år]	Maks. Operativ temp. i brukstiden [°C]
Kombinasjon 1	Ingen behovsregulering	10-10-12 / 5 / 52	13,3	24,4
Kombinasjon 2	Regulering med ur (AV/PA)	10-0-12 / 5 / 52	8,0	26,2
Kombinasjon 3	Regulering med ur (flerhastighetsmotor)	10-3-12 / 5 / 52	9,5	25,4
Kombinasjon 4	Optimal regulering mht. tilstedeværelse 80% samtidighet	8-3-12 / 5 / 52	8,2	25,9
Kombinasjon 5	Optimal regulering mht. tilstedeværelse 50% samtidighet	5-3-12 / 5 / 52	5,9	27,7
Kombinasjon 6	Optimal regulering 80% samtidighet AV om natten	8-0-12 / 5 / 52	6,7	27,0
Kombinasjon 7	Optimal regulering 50% samtidighet AV om natten	5-0-12 / 5 / 52	4,3	29,2
Kombinasjon 8	Optimal regulering 80% samtidighet AV om natten	8-0-14 / 5 / 52	7,6	26,5
Kombinasjon 9	Optimal regulering 50% samtidighet AV om natten	5-0-14 / 5 / 52	4,9	29,1
Kombinasjon 10	Ventilasjon reguleres av kjølebehovet	10-3-12 / 5 / 52	8,0	25,5

¹⁾ De fem tallene i kolonne 3 henviser i følgende rekkefølge: luftmengde i driftstid [m³ / h-m²] – luftmengde utenom driftstid [m³ / h-m²] – antall timer drift per dag / antall driftdager per uke/ antall driftturer per år.

Tabell 8 viser at kjølebehovet blir redusert med ca. 40% når ventilasjonsanlegget slås av om natten ved enkelt regulering med ur (fra kombinasjon 1 til kombinasjon 2). Når ventilasjonsanlegget kjøres til en tredjedel av maks. luftmengde om natten blir varmebehovet redusert med ca. 30% (fra kombinasjon 1 til kombinasjon 3). Ved optimal regulering i forhold til tilstedeværelse og lav tilstedeværelse, reduseres kjølebehovet ytterligere. Men maksimum operativ temperatur i brukstiden øker i takt med reduksjon av tilført luftmengde. Med andre ord blir det ikke mulig å holde et temperaturkrav på 26°C ved bruk av behovsregulering basert på kun tilstedeværelse. Om en ønsker å holde temperaturkrav og å bruke behovsregulering basert på kun tilstedeværelse, må det installeres romkjøling, et tiltak som ikke er nødvendig når ventilasjonsanlegget reguleres etter ur (kombinasjon 3) eller etter kjølebehovet (kombinasjon 10).

Når ventilasjonen brukes til å dekke kjølebehovet, blir besparelser ved bruk av VAV-regulering mindre enn ved regulering etter kun tilstedeværelse. Det er viktig å være oppmerksom på at temperaturkravet opprettholdes. Økt ventilasjonsluftmengde til kjøleformål føres fram når romtemperatur overskrider 23°C i brukstiden. Utenom brukstid er settpunktet for høyest avtrekkstemperatur fastsatt til 24°C.

Tabell 7 og Tabell 8 viser at varme- og kjølebehov blir kraftig redusert ved bruk av enkel behovsregulering ved ur når ventilasjonsanlegget slås av om natten. Slike reguleringsprosedyrer er svært vanlige per i dag men er i strid med kravet til minste luftmengde utenfor driftstid fastsatt i § 13-3. (2) i TEK10. Det er også vanlig å kombinere regulering via VAV-systemer med natt- og

helgestans av ventilasjonsanlegget. Slike kombinasjoner viser de aller største energibesparelser, selv om heller ikke de oppfyller kravet til minst luftmengde utenom brukstid.

Når ventilasjonsluften brukes til romklimatisering, enten til oppvarming eller kjøling, blir sparepotensialet avhengig av settpunktene som fastsettes for tilluftstemperatur, maks./min. romtemperatur og luftpådrag.

Når kun luften brukes til romklimatisering rommet, vil det i de fleste tilfeller være behov for lufttilførsel også når ingen er tilstede (for å holde romtemperatur over/under en gitt grenseverdi). Man ønsker å la romtemperaturen ”gli” om natten, eller når ingen er tilstede. Men ikke ukontrollert. For eksempel kan man tillate at romtemperatur om natten faller ned til 18°C om vinteren (men ikke lavere) eller at romtemperatur på kvelden øker til 28°C om sommeren (men ikke høyere). Ventilasjonsanlegget og installert effekt ved kjøle- og varmebatteri må være i stand til å føre romtemperatur tilbake til temperaturkravet som gjelder i brukstiden. Dersom grenseverdiene utenfor brukstid er for langt unna temperaturkrav i brukstid, vil det være et stort effektbehov når rommet igjen tas i bruk. Det er da en risiko for at vinningen (bruk av redusert ventilasjonsluftmengde) går opp i spinningen (bruk av økte effektbehov).

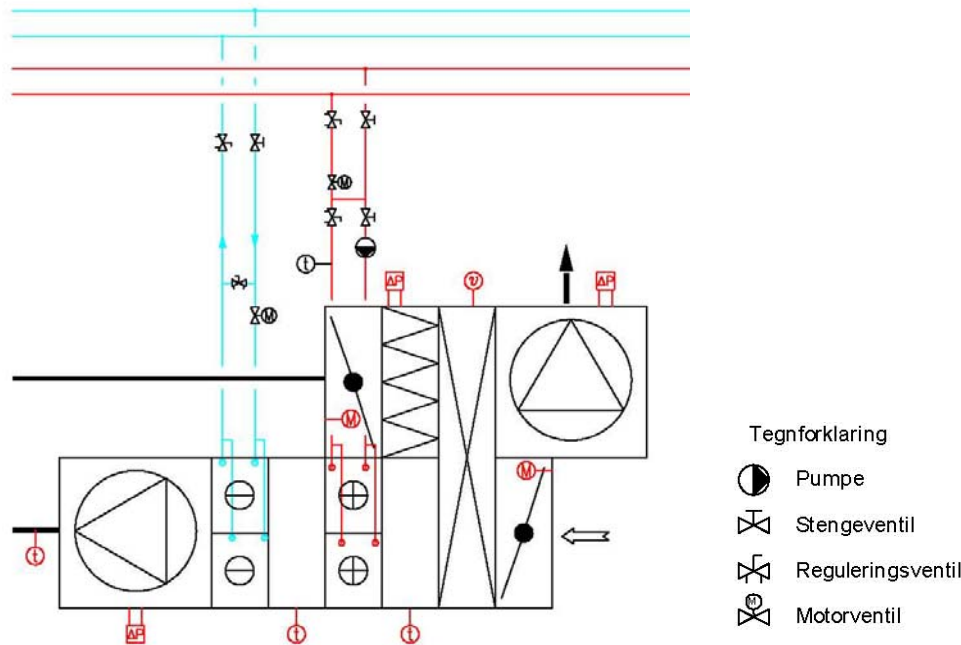
I simuleringene er regulering driftsoptimal iht. forutsetningene som legges i modellen. Reelle driftsforhold kan føre til andre besparelser enn det som vises her.

Den teoretiske reduksjonen i varme- og kjølebehov ved redusert luftmengde vil gjenspeile seg i redusert varme- og kjølepådrag ved hhv. varme- og kjølebatteriet. Reduksjonen i levert energi (kjøpt energi) er avhengig av energiforsyningssystem og dets drift og er ikke omtalt i denne rapporten. Jo dårligere virkningsgrad og ikke-optimal drift energiforsyningssystemet har, jo større blir den absolutte reduksjonen i levert energi til termisk formål.

3.4. Drift av sirkulasjonspumper

Ved behovstilpasset ventilasjon vil varme- og kjølepådrag ved hhv. varme- og kjølebatteriet gå ned når luftmengden reduseres. Energibruk til drift av sirkulasjonspumper vil derimot være avhengig av reguleringsprinsippet for varme- og kjølekretsen.

Figur 17 viser en mulig regulering av varme- og kjølepådrag for et ventilasjonsaggregat med vannbårne varme- og kjølebatteri. Vanntilførsel til varmebatteri er temperaturregulert (konstant vannmengde gjennom pumpen på sekundær siden) ved hjelp av en motorventil etter by-pass på returledningen. Vanntilførsel til kjølebatteri er mengderegulert ved hjelp av en motorventil rett før batteriet på turledningen.



Figur 17. Flytskjema med reguleringskomponenter for et ventilasjonsaggregat med vannbårne varme- og kjølebatteri. Varmekurset vises i rødt. Kjølekurset vises i blått. Tegning: Erichsen & Horgen A/S

3.4.1 Varmebatteri

Når ventilasjonsaggregatet er slått av kan det oppstå uteluftlekkasjer gjennom aggregatet, selv om aggregatet kan lukkes ved inntak- og avkastspjeldet. Av den grunn er vannbårne ventilasjonsbatterier veldig sårbare for frost. Det anbefales derfor å bruke sirkulasjonspumper med konstant vannmengde (temperaturregulering) for vannbårne varmebatterier, og å unngå mengderegulering med tidlig start av sirkulasjonspumpen. Når vanntilførsel til batteriet temperaturreguleres føres bestandig den samme vannmengden gjennom batteriet. Energibruk til drift av sirkulasjonspumpene forblir følgelig lik uavhengig av luftmengden som går gjennom tilluftsviften.

3.4.2 Kjølebatteri

Frostsikring av kjølebatteri kan gjøres ved bruk av vann-glycol, ved at batteriet tømmes for vann om vinteren hvis det ikke skal være i drift eller ved bruk av sirkulasjonspumper med konstant vannmengde. Sirkulasjonspumper til kjølebatterier kan være enten temperatur- eller mengderegulert. Det er, så langt vi vet, i Norge ikke utført noe systematisk registrering av energien som går til sirkulasjonspumper, der man samtidig har studert betydning av forskjellige reguleringsprinsipper for pumpedrift og betydning av endringer i luftmengden. Hvor mye energi til pumpedrift kan spares ved bruk av behovstilpasset ventilasjon er avhengig av pumpemotortypen og reguleringsprinsipp som velges. Det finnes ikke nok måledata for å kunne fastsette dette besparelspotensialet.

3.4.3 Tillegg I i NS3031

Regulering av en pumpe har likhetstegn med regulering av en vifte. Pumpemotor kan være av enkel type med av/på-innstilling, ha flere hastigheter eller ha turtallsregulering med frekvensomformer. Regulering kan skje via et signal om temperaturforhold, om trykkforhold eller om spjeldposisjon i rørrettet. Formelverk fra tillegg I i NS 3031:2007 forklarer hvordan beregning av årlig energibehov for pumper i vannbaserte varme- og kjøleanlegg skal foretas. Der er effektuttak til pumper proporsjonal med varme- eller kjølebehovet. Hvilken luftmengde må benyttes til beregning av varme- eller kjølebehovet (nominell eller redusert luftmengde) er ikke beskrevet. Standarden kan tolkes som om energibruk til pumpen skal beregnes direkte proporsjonal med luftmengden gjennom ventilasjonsaggregatet, noe som ikke er riktig for alle sirkulasjonspumper som er

temperaturregulert. Videre vil tilnærmingen med faste verdier til SPP (Specific Pump Power) føre til unøyaktige resultatverdier. SPP er, på lik linje med SFP, avhengig av rønettets utforming og driftsforhold. Riktig beregning må enten baseres på pumpeeffekten og sirkulert vannmengde eller foretas ut i fra trykkfallet som må overvinnes i rønettet og virkningsgraden på pumpemotoren. Alternativt må tillegg I i NS3031:2007 revideres til å omfatte flere verdier.

For bygg utført etter TEK07 eller TEK10 er energibruk til pumpedrift en forholdsvis liten post i energibudsjettet. Når de største postene i energibudsjettet (oppvarming, ventilasjon, lys og utstyr) krymper ned i fremtiden, vil de små postene (pumper, men også automatikk) %-vis ta mer plass.

3.5. Drift av ventilasjonsvifter

Energi til drift av viften skal iht. NS 3031:2007 beregnes på følgende måte:

$$E_{fan,i} = \frac{\dot{V}_{on} SFP_{on} t_{on} + \dot{V}_{red} SFP_{red} t_{red}}{3600} \quad [kWh/\text{år}]$$

der

\dot{V}_{on} er den gjennomsnittlige ventilasjonsluftmengden ved normal drift [m^3/h].

SFP_{on} er den spesifikke vifteeffekten ved normal drift [$kW/(m^3/s)$].

t_{on} er antall timer i år ved normal drift [h].

\dot{V}_{red} er den redusert ventilasjonsluftmengden [m^3/h].

SFP_{red} er den spesifikke vifteeffekten ved redusert luftmengde [$kW/(m^3/s)$].

t_{red} er antall timer i år ved redusert luftmengde [h].

Beregning av den spesifikke vifteeffekten ved normal drift er gitt under:

$$SFP_{on} = \frac{3600 \sum P_{v,on}}{\dot{V}_{on}} = \frac{3600 \dot{V}_{on} \Delta p_{tot,on}}{\dot{V}_{on} \eta_{tot,on}} = \frac{3600 \Delta p_{tot,on}}{\eta_{tot,on}} \quad [kW/(m^3/s)]$$

der

$\sum P_{v,on}$ er effekten til viften ved normal drift [kW].

\dot{V}_{on} er den gjennomsnittlige ventilasjonsluftmengden ved normal drift [m^3/h].

$\Delta p_{tot,on}$ er trykkfallet ved normal drift [Pa].

$\eta_{tot,on}$ er den totale virkningsgraden til viftemotor [dimensjonsløs].

SFP er avhengig av det totale trykkfallet i ventilasjonsanlegget og av virkningsgraden til viftemotoren. For kontorbygg setter TEK 07 og TEK10 krav til SFP lik 2,0 kW/(m^3/s) i brukstiden og 1,0 kW/(m^3/s) utenom brukstiden. SFP-kravet omfatter både tilluft- og avtrekksviften.

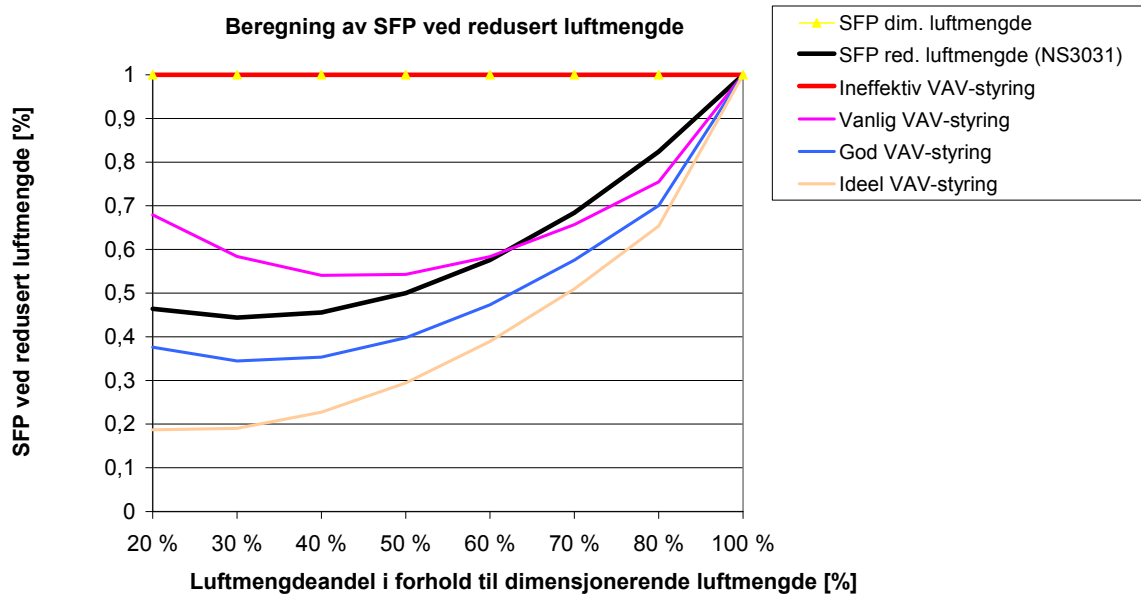
SFP ved redusert luftmengde skal iht. NS 3031:2007 beregnes på følgende måte:

$$SFP_{red} = SFP_{on} (1,6 * r^2 - r + 0,6) \quad [kW/(m^3/s)]$$

der

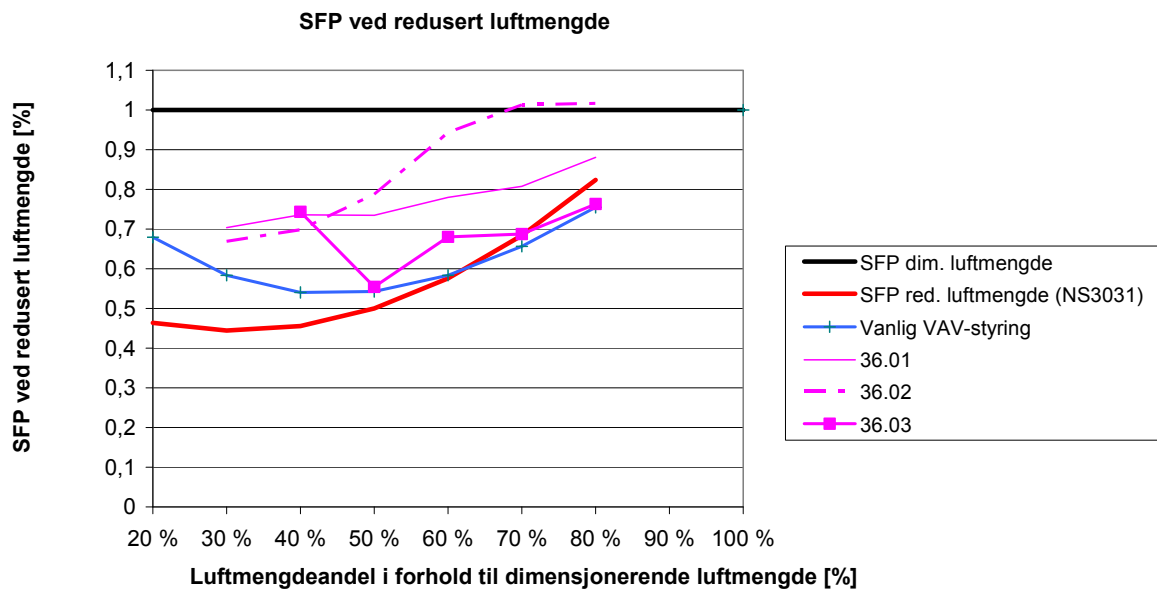
$$r = \frac{\dot{V}_{red}}{\dot{V}_{on}}$$

Figur 18 viser hvordan SFP ved redusert luftmengde varierer i VAV-systemer, avhengig av effektiviteten til VAV-reguleringen. Kurvene er basert på målinger og simuleringer fra Public Interest Energy Research (PIER) Program of the California Energy Commission [26][27]. En ineffektiv VAV-regulering vil ikke medføre noen reduksjon i SFP, mens en vanlig, en god og en ideell regulering vil hver gi en forbedret ytelse. Formelverket oppgitt i NS3031 ligger i nærheten av "vanlig VAV-styring" for luftmengder mellom 60 og 100% av maks.luftmengde. For luftmengder som ligger mellom 20 og 60% av maks.luftmengde ligger tallene fra NS3031 mellom "vanlig VAV-styring" og "god VAV-styring".



Figur 18. SFP ved redusert luftmengde i VAV-systemer ved forskjellige VAV-reguleringer. [26]

Figur 19 bygger videre på Figur 18. Kurvene for SFP ved dimensjonerende luftmengde, SFP for redusert luftmengde iht. NS3031 og SFP ved vanlig VAV-styring er beholdt. I tillegg er det ført måledata for tre tilluftsvifter i et ventilasjonsanlegg med trykkregulering. Kurvene som vises gjenspeiler målinger tatt over en periode på 2 måneder for et nyere kontorbygg i Stavanger området.



Figur 19. SFP - Registrering av vifteeffekt og luftmengde ved tilluftsviften for tre nyere ventilasjonsaggregater med behovsregulering.

Måledata viser at SFP ved redusert luftmengde ikke nødvendigvis er like lavt som NS3031 sier. I masteroppgave til Trond Fossen [27] er det SFP målt ved tre forskjellige luftmengder for aggregatet 36.09 i PWC-bygget i Oslo. Aggregatet i PWC-bygget har ikke VAV-regulering og måling er ikke tatt over tid. Men målingene viser også der at målt SFP ved redusert luftmengde ligger høyere enn verdien som var forhåndberegnet ved hjelp av NS3031. Se Tabell 9.

Tabell 9. Måling av luftmengde og vifteeffekt for aggregatet 36.09 i PWC-bygget [27]

	% av maksimal luftmengde		
	95%	60%	20%
Luftmengde [m ³ /s]	1,75	1,11	0,36
Effekt [kW]	3,63	1,65	0,47
SFP [kW/(m ³ /s)]	2,00	1,48	1,30
SFP iht. NS3031 [kW/(m ³ /s)]	n.a.	1,22	0,92

Masteroppgaven til Eide [29] omfatter en studie av trykkregulering for ventilasjonsanlegget i Kaffehuset Friele i Bergen. I studien er energibruken til viftedrift ikke målt som en egen post. Målingene utført av Maripuu [30] i Sverige viser derimot til lik eller lavere SFP ved redusert luftmengde enn formelverk fra NS3031 oppgir.

Formelverk fastsatt i NS3031 virker for lite nyansert i forhold til de forskjellige reguleringsprinsipper som kan anvendes og muligens ikke konservativt nok i forhold til de reelle driftsforholdene. Man må vurdere om formelverket bør trekkes ut fra standarden. Måling av SFP som funksjon av tilført luftmengde må foretas for et større antall ventilasjonsaggregater, både for tillufts- og avtrekksviften. Videre bør resultatene differensieres ut fra det valgte reguleringsprinsippet som er valgt (trykkstyring, innlesing av spjeldposisjon eller kontinuerlig innregulering). Så må man ut fra erfaringstallene bestemme hvordan SFP for et standardanlegg kan beregnes, avhengig av reguleringsprinsippet som velges. Samtidig vil man kunne si på bedre statistisk grunnlag enn i dag hva som er den største energibesparelse som kan oppnås.

NS-EN 15241:2007 [25] opererer med følgende tilnærming for enkel beregning av energibruk til drift av ventilasjonsvifter: *“For VAV-systemer uten omluft (100% uteluft), kan man forutsette at den gjennomsnittlig energibruk til viftedrift er lik energibruk til viftedrift ved gjennomsnittlig luftmengde”*. Spørsmålet blir da å definere ”gjennomsnittlig luftmengde”. Den gjennomsnittlige luftmengden kan defineres som halvparten av maks.luftmengde (maks/2), gjennomsnittet av min. og maks. luftmengde ((min+maks)/2) eller referere til gjennomsnittet av registrerte luftmengde over tid. Denne tilnærmingen er uavhengig av reguleringsprinsippet som er valgt og anbefales ikke brukt.

3.6. Drift av varmegjenvinner

Som regel foretas ikke energioppfølging av det elektriske forbruket som er nødvendig for å drifte en roterende varmegjenvinner. Dette anses ikke nødvendig siden varmen som avgis fra rotoren overføres til tilluften og på denne måten nyttiggjøres. Energibesparelse til drift av varmegjenvinner ved bruk av behovstilpasset ventilasjon anses derfor om marginale, men burde også være gjenstand for analyse.

3.7. Drift av automatisering

Energibruk til automatisering er per i dag et lite omtalt tema i forbindelse med beregning av energibruk i bygninger. Et VAV-system, i motsetning til et CAV-system, og uavhengig av

reguleringsprinsippet som velges, krever mange små elektriske komponenter (VAV-spjeld med el.drevet motorspjeld, styrings- og kommunikasjonsenheter, sensorer...). Det elektriske forbruket til disse komponenter er uavhengig av ventilasjonsluftmengde som føres frem. Noen er slått på så lenge ventilasjonsanlegget er i drift, andre er i drift døgntinuerlig uavhengig av ventilasjonsanleggets driftstid.

Den ekstra energibruken som kreves av et VAV-system ble ikke kartlagt i løpet av denne begrensede studien.

SAAS Prosjekt AS opplyser at et styrings- og kommunikasjonsenhet av type CVaV bruker 3W og er alltid slått på.

Den lille effekten på 3W gir en årlig energibruk lik ca. 26 kWh/år ($3W \cdot 24 \cdot 365 = 26.280 \text{ Wh/år}$). Dersom man plasserer en enhet i hvert cellekontor à 10m² vil dette utgjøre 2,6 kWh/m²·år, noe som tilsvarer ca 1% av energibruken i et typisk kontorbygg av i dag (forutsatt 300 kWh/m²·år årlig netto energibehov). Plasserer man den sammen enheten i ett faktor 4-bygg (75 kWh/m²·år årlig netto energibehov) blir energibruken til styrings- og kommunikasjonsenhet ca. 3%. Tallet er fortsatt beskjedent sammenlignet med totalen.

Energibruk som går til automatisering er likevel viktig å ha i bakhodet. I grønn IT-boken [31] viser man til ”stand-by problemet”: en stabilt elektrisk effekt trekkes døgntinuerlig av elektriske apparater som ikke er i bruk, men som står i stand-by istedenfor å være avslått. Denne energibruken er ubetydelig for hver innretning men antas til å være kolossalt på nasjonal basis. Elektriske komponenter til drift av VAV-system kan føre til lignende tinuerlig og unyttiggjort forbruk.

3.8. Hva er energibesparelsen ved bruk av behovstilpasset ventilasjon?

Seks energiposter er relatert til ventilasjon:

- Oppvarming av ventilasjonsluften
- Kjøling av ventilasjonsluften
- Pumpedrift til varme- og kjølebatteri
- Drift av ventilasjonsvifter
- Drift av varmegjenvinner
- Drift av automatisering.

For de fire første postene kan beregningsregler fra NS 3031 brukes til å beregne den teoretiske energibesparelsen knyttet til bruk av behovstilpasset ventilasjon. Det finnes ikke beregningsregler i standarden for de to siste postene.

En teoretisk beregning iht. retningslinjer fra NS 3031 viser at den største energibesparelsen ligger i drift av ventilasjonsvifter. Deretter kommer oppvarming av ventilasjonsluften og kjøling av ventilasjonsluften. Beregningsregler fra NS 3031 er uavhengig av hvilke reguleringsprinsippet som velges for klimatiseringsanlegget. Dette fører til unøyaktige beregninger, og trolig for optimistiske (gode) resultater.

Det finnes ingen systematisk registrering av ventilasjonsluftmengder sammen med energibruken som går til hver av de seks ventilasjonspostene. Måledata for kun tre ventilasjonsaggregater har vært mulig å fremskaffe i løpet av denne studien. Disse danner ikke et statistisk grunnlag og kan ikke brukes til noe konklusjon. De omhandler dessuten kun registrering av luftmengder og elektrisk forbruk til drift av ventilasjonsvifter. For denne posten underbygger måledataene en mistanke om at beregningsregler for SFP ved redusert luftmengde oppgitt i NS 3031 gir for gode verdier. Manglende funn av data gjennom arbeidet med denne rapporten, tilsier at det er behov for å undersøke dette tema videre. Det anbefales å foretas en omfattende registrering over tid av ventilasjonsluftmengder, og av energibruken som går til hver av de seks ventilasjonspostene, i nyere bygg der behovstilpasset ventilasjon er tatt i bruk. Deretter må registrering analyseres med tanke på å etterprøve beregningsregler fra NS 3031, og å komme med forslag til hvordan disse kan forbedres.

Tabell 10. Energibesparelse til drift av et ventilasjonsanlegg ved bruk av behovstilpasset ventilasjon, fordelt per energipost

Energipost	Teoretisk besparelse	Kommentar
Oppvarming av ventilasjonsluft	Netto varmebehov synker proporsjonalt med luftmengde.	Jo mer energieffektiv forsynings-system, jo mindre besparelse.
Kjøling av ventilasjonsluft	Netto kjølebehov synker proporsjonalt med luftmengde.	Jo mer energieffektiv forsynings-system, jo mindre besparelse.
Pumpedrift	SPP synker proporsjonalt med luftmengde iht. NS 3031.	Avhengig av reguleringsprinsipp for pumpekrets. Formerverk fra NS 3031 må verifiseres.
Drift av ventilasjonsvifter	SFP synker proporsjonalt med luftmengde. De mest optimistiske anslag vil påstå at besparelse kan være opptil 50%	Sterkt avhengig av driftstid (døgnkontinuerlig kontra natt- og helgestans) og av reguleringsprinsipp. Formerverk fra NS 3031 må verifiseres.
Drift av varmegjenvinner	Energibruk til drift av rotor vil reduseres noe i overgangsperioder (vår og høst)	
Drift av automatisering	Ingen besparelse, mer forbruk	

Energibesparelser som kan oppnås ved bruk av behovstilpasset ventilasjon er avhengig av mange driftsparametre. Den som har mest betydning for resultatet er natt- og helgestans av anlegget. Denne fakta viser at spørsmålene relatert til døgnkontinuerlig drift (se kapittel 1) er viktig å avklare. Når ventilasjonens funksjon omfatter romklimatisering har settpunktene som velges for styring av ventilasjonsanlegget mest betydning for energibruken, men også temperaturforhold og termisk komfort i bygget.

Eventuelle energibesparelse til romoppvarming ved redusert ventilasjonsluftmengde omtales ikke separat i dette kapitlet. Dersom settpunkt for tilluftstemperatur er lavere enn settpunktet for romoppvarming, blir energibehovet til romoppvarming avhengig av ventilasjon. Slik regulering av tilluftstemperatur kan generere trekk og er derfor ikke vurdert i denne rapporten.

4. Viktige momenter for bruk av behovstilpasset ventilasjon

Dette kapittelet oppsummerer spørsmål som bør besvares når man ønsker å benytte behovstilpasset ventilasjon.

4.1. Prosjektering

4.1.1 Tilstedeværelse i kontorbygg og dimensjoneringskriteriet

Ved prosjektering av et ventilasjonsanlegg der man ønsker å bruke behovstilpasset regulering, må byggherren velge dimensjoneringskriteriet. Ønsker man å dimensjonere iht. persontettheten og bruksmønsteret oppgitt av den første leietaker eller ønsker man å dimensjonere slik at ventilasjonsanlegget tåler store bruksendringer? Parametere maksimal antatt samtidighet og antatt gjennomsnittlig samtidighet er viktig å avklare. Maksimal antatt samtidighet brukes ved anleggsdimensjonering og antatt gjennomsnittlig samtidighet brukes ved energiberegninger. Disse parameterne avhenger av type lokaler, type bruker og antall reguleringsenheter som er koblet til samme ventilasjonssystem.

Nyere studier relatert til tilstedeværelse i kontorbygg [32] viser store sprik i den faktiske tilstedeværelsen i kontorbygg: fra ca. 30% samtidighet og opptil 80%. Mange forskjellige organisasjoner har sin virksomhet i kontorbygg. Arbeidsoppgavene som skal løses er mangfoldig og vil gjenspeile seg i svært forskjellige bruksmønstre for kontorplassen. En telefonselger vil forlate sin arbeidsplass kun ved nødvendige pauser, en saksbehandler vil være ved sin arbeidsplass den største delen av dagen, mens en bibliotekar vil være blant publikum mest parten av tiden og vil bruke sin arbeidsplass i begrenset omfang. Tilstedeværelse ved arbeidsplassen kan også variere over tid: en revisor vil ha intense og lange arbeidsdager i januar og en mindre presset arbeidsdag resten av året.

Ved prosjektering av ventilasjonsanlegget må disse faktorene tas i betraktning. Dersom et bygg skal tåle forskjellige organisasjoner må dimensjonering av ventilasjonsanlegg ta hensyn til det.

4.1.2 Dimensjonering av kanaler

Av hensyn til fleksibilitet og bruksendring bør ventilasjonskanaler dimensjoneres som det gjøres i CAV-anlegg. Spesielt gren ut fra sjakt og gren til ventil må ha like store dimensjoner som i et CAV-anlegg for å ikke forårsake støy eller unødvendig høy trykkfall i kanalnettet ved høy tilstedeværelse.

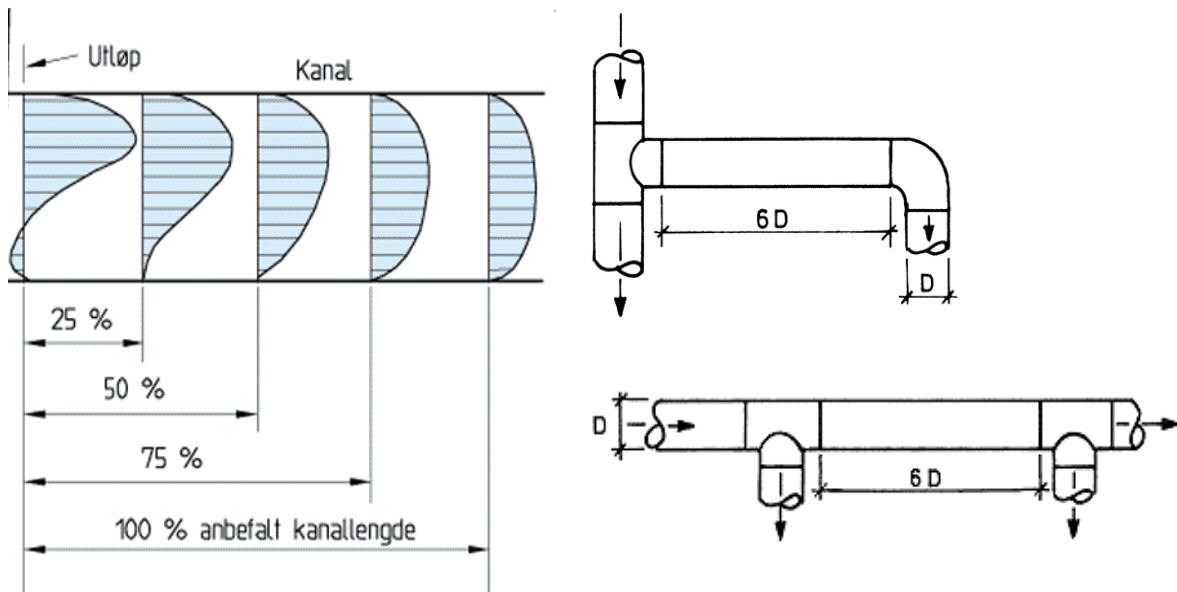
4.1.3 Plassering av spjeld

I et VAV-system må alle VAV-spjeld med innebygd luftmengdemåling plasseres slik at de måler den gjennomsnittlige lufthastigheten i kanalen. Etter bend og avgreninger blir luftstrømmen forstyrret og lufthastighetsprofil bruker litt tid (avstand) for å jevne seg igjen. Se Figur 20.

Anbefalte minsteavstander for måling av lufthastighet er som følge:

- 1) For sirkulære kanaler
Minste avstand før bend/avgrening må være lik eller større enn $5 \cdot$ kanaldiameter
Minste avstand etter bend/avgrening må være lik eller større enn $2 \cdot$ kanaldiameter
- 2) For rektangulære kanaler
Minste avstand før bend/avgrening må være lik eller større enn $6 \cdot$ hydraulisk diameter
Minste avstand etter bend/avgrening må være lik eller større enn $2 \cdot$ hydraulisk diameter
Den hydrauliske diameteren til en rektangulær kanal beregnes iht. følgende ligning:

$$D_h = 1,3 * (\text{bredde} * \text{høyde})^{5/8} / (\text{bredde} + \text{høyde})^{1/4}$$



Figur 20. Hastighetsprofil etter et bend eller avgreining (til venstre) - Anbefalte minste avstand for plassering av bend etter en avgreining (øverst til høyre) og anbefalte minste avstand mellom to avgreininger.

4.1.4 Dimensjonering av ventilasjonsaggregat og valg av viftetype

Dimensjoneringskriteriet for valg av ventilasjonsaggregatet er avgjørende for aggregatets driftsforhold. Ved dimensjonering av aggregatet, ønsker man i noen tilfeller å velge et aggregat som kan levere en maksimal luftmengde som tilsvarer 100% samtidighet. I andre tilfeller velger man gjerne aggregater med ekstra reservekapasitet for å ta hensyn til evt. endringer i fremtiden / mulighet for fleksibilitet eller ombygging. Hvis man velger et aggregat som har 20 eller 30% reservekapasitet, vil driftsforhold for aggregatet/viften ikke være optimale under reell drift. Det er viktig å avklare hvordan man skal ta vare på reservekapasitet. En mulig løsning er å sette av plass i teknisk rom til et eget tilleggsaggregat, dersom behovet skulle melde seg. Denne praksisen er ikke vanlig per i dag men kan løse konflikten som kan oppstå mellom ønske om å ivareta optimale driftsforhold i det ventilasjonsanlegget tas i bruk, og ønske om fremtidig fleksibilitet.

Det argumenteres ofte for behovstilpasset ventilasjon med muligheten om å velge ventilasjonsanlegg med mindre dimensjoner, både vifter og kanaler. Argumentet må tas med en klyppe salt på grunn av momentene nevnt over. Bestilleren av ventilasjonsanlegget må velge eget dimensjoneringskriteriet ut fra eget behov.

Det rapporteres om store ventilasjonsanlegg, for eksempel i BI-bygget i Nydalen i Oslo (aggregater til kontorarealer med nominell luftmengde lik 95.000m³/h), der endringer i ventilasjonsbehovet ikke blir registrert ved aggregatet. Endringene er så små i forhold til den totale luftmengden at behovsregulering ikke har noen effekt for driften av aggregatet. Luftmengden til rommene som ikke er i bruk reduseres men totalluftmengden deles på en annen måte istedenfor å bli redusert. Bruk av desentraliserte anlegg og krav til frekvensomformer er momenter som må vurderes ved planlegging av ventilasjonsanlegg med behovsregulering.

4.2. Sensorer

Sensorer er et sentralt element i VAV-systemer siden de vil utløse signalet som regulerer ventilasjonsluftmengde. Sensorer og målenøyaktighet er avhengig av hvor vidt sensorene tilsmusses. Feil ved sensorer antas til å være hovedårsak til problemer i ventilasjonsanlegg med behovsregulering. Deler av dette avsnittet er hentet fra [32] og [34].

Behovsregulering kan skje ved hjelp av sensorer som måler én eller flere parametere, som tilstedeværelse, temperatur, fukt, partikler og ulike gasser eller gassblandinger. Tabell 11 viser de meste vanlige sensorer brukt til behovstilpasset ventilasjon, samt fordeler og ulemper knyttet til hver sensortype.

Tabell 11. Sensortyper for ulike formål, samt fordeler og ulemper

Reguleringsparameter	Sensortype	Fordeler	Ulemper
Ur	Behøver ingen sensor men mulighet for tidsstyring ved aggregatet eller i SD-anlegg	Rimelig	Ingen mulighet for å behovsstyre etter personbelastning
Tilstedeværelse	Bevegelsessensor (IR-sensor)	Lav kostnad Lang levetid	Begrenset mulighet for gradert behovsregulering etter reell personbelastning i møterom, landskap osv.
CO ₂ -konsentrasjon	CO ₂ -sensor	Bør gi mulighet for gradert behovsregulering etter reell personbelastning i møterom, landskap osv.	Kostbar. Behøver regelmessig kalibrering for å sikre nøyaktige målinger. Usikkerhet i målingen.
Temperatur (i kombinasjon med en av overnevnte parameter)	Temperatursensor	Lav kostnad Lang levetid	Kan tilsmusses og føre til målefeil. Kun behovsregulering i forhold til termisk belastning

4.2.1 Krav

En sensor i et behovsstyrt ventilasjonssystem må tilfredsstillende følgende krav:

- Sensoren må ha tilfredsstillende nøyaktighet, respons og langtidsstabilitet.
- Det må eksistere pålitelige og tilgjengelige prosedyrer for kalibrering.
- Sensoren må være selektiv (ikke reagere på for eksempel uvedkommende gasser eller damper).
- Sensoren må være holdbar overfor de kjemiske, mekaniske og termiske påvirkningene den blir utsatt for.

Leverandør av sensoren må kunne besvare følgende spørsmål:

- Hvordan skal man overvåke/kontrollere sensoren i drift?
- Hva er kalibreringsbehovet for sensoren?
- Hvordan reagerer sensoren i forhold til støv og tilsmussing?
- Hvor nøyaktig er målingen som sensoren foretar? Hva er målefeil for temperaturføler og CO₂-sensorer? I hvilken situasjon gjelder oppgitt målefeil? Hva blir målefeil ved reelle driftsforhold?

4.2.2 Plassering

Korrekt plassering av sensorer er avhengig av forhold som:

- prinsipp for fordeling av tilluft
- ventilplassering
- forurensningenes/varmekildenes plassering og egenskaper

- temperaturforhold
- romutforming
- sensortype

Omrøringsventilasjon skal i prinsippet gi rommet en jevn forurensningskonsentrasjon. Dette innebærer at sensoren kan plasseres vilkårlig i rommet eller i avtrekket, så lenge sensoren ikke kommer direkte i kontakt med forurensningskilder eller for nær tilluftsventiler. Men selv om man tilstreber omrøringsventilasjon, vil det i praksis ofte oppstå konsentrasjonsgradienter og dødsoner. Sensor plassert i rommet bør stå mest mulig sentralt i oppholdssonen. Plasseres sensoren i avtrekket, må man være oppmerksom på at lekkasjer i kanalsystem og komponenter kan tynne ut forurensningene slik at den målte konsentrasjonen ikke er representativ for forurensningsnivået i rommet. En forutsetning for å plassere sensorer i avtrekkskanalen, er at en grunnventilasjon sørger for å føre romtilstanden fram til sensoren.

Ved fortreningsventilasjon tilføres sval luft med lav hastighet direkte til oppholdssonen, ofte nær gulvet. Fortreningsventilasjon virker ved at den nye luften har sterk tendens til å fortrenge den varmere bruktlufta og ikke blande seg med den. Ved fortreningsventilasjon styrt av en CO₂-sensor bør sensoren plasseres i pustesonen, slik at man får god ventilasjonseffektivitet opp til og med pustesonen.

Bevegelsessensorer som skal måle tilstedeværelse må plasseres slik at det ikke er noen visuell hindring mellom sensoren og arbeidsplassen.

4.2.3 Om CO₂-sensorer

Ved behovsstyring registrerer CO₂-sensoren belastningen i form av CO₂-konsentrasjonen, og sender signal til spjeldregulator eller SD-anlegg som igjen sørger for riktig tilførsel av friskluft til rommet. Den vanligste løsningen er at en sensor styrer friskluftmengden til et rom. Det sier seg selv at slik behovsstyring er sårbart i forhold til sensorens nøyaktighet, driftssikkerhet og plassering. Fisk [35] har studert 208 sensorer i 34 bygninger i California/USA med hensyn på nøyaktighet. Alle sensorene var av typen NDIR (Ikke-Dispersive Infrarøde) sensorer. Gjennomsnittlig målefeil (absoluttnivå) var 138 ppm ved konsentrasjoner rundt 1010 ppm.

Gjeldende kvalitetsstandard i California (2008 Building energy efficiency standard) krever et maksimalt avvik på ± 75 ppm i løpet av de første 5 årene etter installasjon. 40 % av sensorene hadde større avvik enn kravet og 31 % hadde større avvik enn ± 100 ppm. 13 % hadde feil større enn ± 300 ppm. Noen få sensorer hadde tilsynelatende ingen samvariasjon med virkelig CO₂-nivå i det hele tatt!

I en annen test, utført av Iowa Energy Center (National Buildings Controls Information Program 2009), ble ytelsen til 15 forskjellige nye sensorer sammenlignet med hva leverandøren selv oppga. Tre sensorer av hver type fikk testet målenøyaktighet og sensitivitet i forhold til temperatur, fuktighet og lufttrykk. Ingen av sensormodellene fikk full score som innebærer at alle tre tilfredsstilte leverandørens egne krav i forhold til nøyaktighet. For to av sensormodellene tilfredsstilte to av tre sensorer leverandørens egne krav. For ni av sensormodellene tilfredsstilte ingen av de tre sensorene leverandørens egne krav.

4.3. Kravspesifikasjon

Kravspesifikasjon for behovstilpasset ventilasjon skal omfatte følgende momenter:

- Velfungerende behovsregulering med minimal energibruk til vifter
- Reguleringsprinsippet som er tenkt benyttet (trykkregulering, regulering ved innlesing av spjeldposisjon, spjeldposisjonsregulering ved hjelp av autonome hovedstyringsenheter, spjeldposisjonsregulering som undersentral i SD-anlegget)
- Maks. og min. luftmengde per ventil skal oppgis
- Maks. og min. luftmengde for hele bygget skal oppgis, sammen med krav til SFP for de to ytterpunktene
- Kommunikasjonstype og -kapasitet for buss-systemet
- Verdier som skal kunne overvåkes fra SD-anlegg: eksempelvis vifteeffekt, luftmengde ved aggregatet og ved spjeld, spjeldposisjon, signal fra sensor og alarm ved feil.
- Krav til sensorer. Se punkt 4.2.1.

Kravspesifikasjon skal også angi hvilken entreprenør er ansvarlig for de forskjellige leveranser. Erfaringer fra nyere bygg med behovstilpasset ventilasjon (SkattØst i Oslo, St. Olav Hospital i Trondheim) har vist at ferdigstillelse av ventilasjonsanlegget med innregulering og igangsetting av driften kan være komplisert. I disse bygg er flere entreprenører involvert og ansvaret for det endelige resultatet er malplassert.

Ved montering av behovstilpasset ventilasjon vil alltid flere fag være involvert: ventilasjon, elektro og automatikk. Dersom den samme entreprenøren sørger for hele leveransen må montering og igangsetting av anlegget kunne løses på en elegant måte. Dersom flere entreprenører er involvert, må man ved utforming av kravspesifikasjon sørge for å avklare leveransen til hver entreprenør, alternativt kan en entreprenør utpekes som funksjonsleverandør. Funksjonsleverandøren har ansvaret for at ventilasjonsanlegget leveres med fungerende behovsregulering iht. beskrivelse / kravspesifikasjon.

4.4. Innregulering

Uavhengig av reguleringsprinsippet som velges, må alle VAV-spjeldene innreguleres slik at motorspjeldet er noe lukket ved maks. luftmengde.

For trykkregulering, hvis man oppdager at innregulering/regulering er vanskelig fordi trykkføleren er malplassert, må trykkføleren flyttes ved innregulering.

Kontrollmåling må bestå av å kontrollere at min. og maks. luftmengde kan leveres ved hvert spjeld. Kontrollmåling må også inneholde en funksjonsprøve av hele anlegg, m.a.o. en test av funksjonene ved reelle driftsforhold, dog muligens med frakoblede eller overstyrte sensorer gitt at bygget ikke er tatt i bruk. Funksjonsprøven av anlegget kan være svært tidskrevende hvis SD-anlegget ikke er i stand til å oppgi parametrene som skal kontrolleres (vifteeffekt, luftmengde ved aggregatet, luftmengde ved spjeld og spjeldposisjon, signal fra sensor). I slike tilfeller må man vurdere om stikkprøver er et akseptabelt alternativt.

4.5. Energioppfølging av ventilasjonsanlegget

Energibruk i bygninger er et tema med økende fokus i samfunnet. Interessen for å bygge energieffektive bygninger er økende. Behovstilpasset ventilasjon er et nødvendig tiltak for å oppnå energieffektive bygninger og tas i bruk i økende grad. Det er nå behov for å etterevaluere dette tiltaket. SD-anlegg må leveres med mulighet for kontinuerlig kontroll av ventilasjonsluftmengder og energipostene relatert til ventilasjon. Dersom besparelsene ikke er like store som forhåndsberegnet må man analysere hvilke parametre som avviker mellom beregningen og driften. Så vil man litt etter litt optimere driften av anlegget, eller ta med seg erfaringen til neste byggeprosjekt.

Intensjonen med behovstilpasset ventilasjon er prisverdig. Man må imidlertid ikke glemme at byggene er til for å tilfredsstille brukerne deres. Ved utstrakt bruk av behovstilpasset ventilasjon vil det også være behov for oppfølging av opplevd innemiljø blant brukere, for å sikre seg at inneluft kvaliteten opprettholdes samtidig som energibesparelser utløses.

5. Referanser

- [1] Lavenergiutvalget: *Energieffektivisering*, juni 2009
- [2] Statens bygningstekniske etat: *Temaveiledning Energi*, HO-1/2007 (<http://www.be.no/>)
- [3] Dokka, T. H., Klinski, M., Haase, M., Mysen, M.: *Kriterier for passivhus- og lavenergibygg – Yrkesbygg*, SINTEF Byggforsk Prosjektrapport 42, 2009
- [4] Standard Norge: *Norsk Standard NS-EN 15251:2007 Inneklimaparametere for dimensjonering og vurdering av bygningers energiytelse inkludert inneluftkvalitet, termisk miljø, belysning og akustikk*
- [5] Direktoratet for arbeidstilsynet: *Veiledning om Klima og luftkvalitet på arbeidsplassen*, bestillingsnummer 444, mai 2006 (<http://www.arbeidstilsynet.no>)
- [6] Kommunal- og regionaldepartementet: *Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift)*, Kunngjort 9. april 2010 (<http://www.lovdata.no/ltavd1/filer/sf-20100326-0489.html#14-5>)
- [7] Blom P.: *Krav til luftmengder i ventilasjonsanlegg*, SINTEF Byggforsk Byggdetaljblad 421.503, 1999
- [8] Tuomainen, M., Tuomainen, A., Liesivuori, J., Pasanen, A.-L.: *The 3-year follow-up study in a block of flats - Experiences in the use of the Finnish indoor climate classification*, Indoor Air 13 (2), p. 136-147, 2003
- [9] Tuomainen, M., Pasanen, A.-L., Tuomainen, A., Liesivuori, J., Juvonen, P.: *Usefulness of the Finnish classification of indoor climate, construction and finishing materials Comparison of indoor climate between two new blocks of flats in Finland*, Atmospheric Environment 35 (2), p. 305-313, 2001
- [10] Järnström, H., Saarela, K., Pasanen, A.L., Kalliokoski, P.: *Reference values for indoor air pollutant concentrations in new, residential buildings in Finland*, Atmospheric Environment 40, p. 7178-7191, 2006
- [11] Myhrvold A.N., Olsen E. og Lauridsen Ø.: *Innemiljø i skolebygg, samlerapport RF-97/036*, Rogalandforskning, 1997
- [12] Koivisto A.J., Hussein T., Niemelä R., Tuomi T., Hämeri K.: *Impact of particle emissions of new laser printers on modeled office room*, Atmospheric Environment 44 (17), p.2140-2146, 2010
- [13] Bryn I., Frydenlund F., Haugen E.N., Struknes O.: *HYGMIK - Metode for evaluering av hygiene og mikrobiologi i ventilasjonsanlegg*, SINTEF Energiforskning, Rapport TRA6170, 2005
- [14] Bluysen P.M., Cox C., Seppänen O., de Oliveira Fernandes E., Clausen G., Müller B., Roulet C.-A.: *Why, when and how do HVAC-systems pollute the indoor environment and what to do about it? The European AILESS project*, Building and Environment 38, p.209-225, 2003
- [15] Bluysen P.M., Cox C., Souto J., Müller B., Clausen G., Bjørkroth M.: *Pollution from filters: what is the reason, how to measure it and how to prevent it?*, Healthy Buildings 2000, vol. 2, Helsinki, p.251-256, 2000
- [16] Mysen M., Clausen G., Bekö G., Halás O.: *The influence of typical ways of operating an air-handling unit on the sensory pollution load from used bag filters*, Healthy Buildings 2003, Vol. 3, p. 267-272, 2003
- [17] Bryn I., Nagelhus Lysne H., Johansen B., Ahlen C., Stang J., Malvik B., Hilt B., Hanssen S.: *Roterende varmegjenninnere og inneklima, Håndbok om regenerative varmegjenninnere*, Skarland Press AS, 1997
- [18] Thunshelle, K.: *Boligventilasjon*, Norges byggforskningsinstitutt, Rapport 113, 2002
- [19] Passivhaus Institut (<http://www.passiv.de>)
- [20] Standard Norge, *Norsk Standard NS 3700:2010 Kriterier for passivhus og lavenergihus – Boligbygninger*

- [21] Grini, C., Mathisen, H.M., Sartori, I., Haase, M., Wøhlk Jæger Sørensen, H., Petersen A., Bryn, I., Wigenstad, T.: *LECO- Energibruk i fem kontorbygg i Norge*, SINTEF Byggforsk Prosjektrapport 48, 2009
- [22] KRO Produksjon as, Vekst Teknologi AS, SAAS Prosjekt a/s *KRO DBV - Digital Behovstilpasset Ventilasjon Et enklere alternativ!* <http://www.kroproduksjon.no>
- [23] Standard Norge: *Norsk Standard NS 3031:2007 Beregning av bygningers energiytelse. Metode og data*
- [24] Thyholt, M., Dokka, T.H, Schild, P., Grini, C., Mysen, M., Sartori, I.: *Justering av energikrav i TEK*, SINTEF Byggforsk Prosjektrapport 27, 2008
- [25] Standard Norge: *Norsk Standard NS-EN 15241:2007 Ventilasjon i bygninger - Beregningsmetoder for energitap ved ventilasjon og infiltrasjon i yrkesbygg*
- [26] Schild, P. G., Mysen, M.: *Technical Note AIVC 65, Recommendations on Specific Fan Power and Fan System Efficiency*, AIVC Brussels (www.aivc.org), 2009
- [27] Hydeman, Taylor, Stein, Kolderup, Tong: *Advanced Variable Air Volume System Design Guide*, CEC Report P500-03-082-A-11, 2003
- [28] Fossen T.: *SFP – målinger og vurderinger for mekanisk ventilerte kontorbygg*, NTNU, Master ved institutt for energi- og prosesseteknikk, Juni 2008
- [29] Eide A.: *Behovsstyring av energi- og innelima ytelse – oppfølging i praksis*, NTNU, Master ved institutt for energi- og prosesseteknikk, Juni 2009
- [30] Maripuu, M.-L. *Adapting Variable Air Volume (VAV) Systems for Office Buildings without Active Control Dampers*. Chalmers University of Technology - Institutionen för energi och miljö, Installationsteknik , 2006
- [31] Grønn IT boken, <http://www.gronnit.no>
- [32] Mathisen, H.M., Halvarsson, J.: *Samtidighet som en del av grunnlag for dimensjonering av ventilasjon*, SINTEF Energiforskning AS TR A6531, 2007
- [33] Mysen M.: *Behovsstyrt ventilasjon*, SINTEF Byggforsk Byggdetaljblad 552.323, 2005
- [34] Mysen M., Polak K.J., *Behovsstyrt ventilasjon - Kan vi stole på CO₂- sensoren?*, Norsk VVS utgave 10, 2010
- [35] Fisk W.J., Sullivan D.P., Faulkner D., Eliseeva E.: *CO₂ monitoring for demand controlled ventilation in commercial buildings*, Lawrence Berkeley Lab, 2010

Appendix 1

Detaljerte inndata for beregningene som vises i Tabell 7 og Tabell 8

Beskrivelse	Verdi
Areal yttervegger, ekskludert vinduer [m ²]:	7
Areal tak [m ²]:	75
Areal gulv [m ²]:	75
Areal vinduer og ytterdører [m ²]:	20
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m ²]:	75
Oppvarmet luftvolum [m ³]:	180
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,18
U-verdi tak [W/m ² K]	0,13
U-verdi gulv [W/m ² K]	ikke relevant, toppetasje
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m ² K]	1,2
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	26,7
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]:	0,06
Normalisert varmekapasitet [Wh/m ² K]	79
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	1,5
Driftstid belysning (timer/dag/uker)	12 / 5 / 52
Driftstid utstyr (timer/dag/uker)	12 / 5 / 52
Oppholdstid personer (timer/dag/uker)	12 / 5 / 52
Effektbehov belysning i driftstiden [W/m ²]	8,0
Varmetilskudd belysning i driftstiden [W/m ²]	8,0
Effektbehov utstyr i driftstiden [W/m ²]	11,0
Varmetilskudd utstyr i driftstiden [W/m ²]	11,0
Varmetilskudd personer i oppholdstiden [W/m ²]	4,0
Installert effekt romkjøling [W/m ²]	0,0
Luftmengde i driftstiden [m ³ /hm ²]	Variabel
Luftmengde utenfor driftstiden [m ³ /hm ²]	Variabel
Driftstid ventilasjonsanlegg (timer/dag/uker)	Variabel
Settpunkttemperatur for romoppvarming [°C]	20 (kombinasjon 1 t.o.m. 9)
Settpunkttemperatur for tilluftstemperatur om vinter [°C]	20 (kombinasjon 1 t.o.m. 9)
Settpunkttemperatur for tilluftstemperatur om sommer [°C]	18 (kombinasjon 1 t.o.m. 9)
Klimadata	Oslo

SINTEF er Skandinavias største forskningskonsern. Vår visjon er «Teknologi for et bedre samfunn». Vi skal bidra til økt verdiskapning, økt livskvalitet og en bærekraftig utvikling. SINTEF selger forskningsbasert kunnskap og tilhørende tjenester basert på dyp innsikt i teknologi, naturvitenskap, medisin og samfunnsvitenskap.

SINTEF Byggforsk er et internasjonalt ledende forskningsinstitutt og Norges viktigste formidler av forskningsbasert kunnskap til bygge- og anleggsnæringen. Vi skaper verdier for våre kunder og for samfunnet gjennom forskning og utvikling, spesialrådgivning, sertifisering og kunnskapsformidling. Våre publikasjoner omfatter Byggforskserien, Byggebransjens våtromsnorm, håndbøker, rapporter, faktabøker og beregnings- og planleggingsverktøy.

