



Rapport

BRAVENT – Veileder for brannteknisk prosjektering av ventilasjonsanlegg i skolebygg

Forfattere:

Anne-Marit Haukø^a, Brynhild Garberg Olsø^a, Mads Mysen^b, Sturla Ingebrigtsen^c, Per Henning Samuelsen^d, Tommy Byenstuen^d, Freddy Dovran^d, Peer Øyen Knutsen^d, Johanne Kværner Hestetun^d, Hugo Haug^d, Åge Kausland^e, Tor Tvilde^e, Janne Siren Fjærestad^f, Christoph Meraner^f

a) SINTEF, b) GK Norge, c) Trox Auranor, d) Oslobygg KF, e) Bergen kommune, f) RISE Fire Research

Rapportnummer:

2024:00588 - Åpen

Oppdragsgiver:

Oslobygg KF



BRAVENT

SINTEF Community
Postadresse:
Postboks 4760 Torgarden
7465 Trondheim
Sentralbord: 40005100
info@sintef.no

Foretaksregister:
NO 919 303 808 MVA

Rapport

BRAVENT – Veileder for brannteknisk prosjektering av ventilasjonsanlegg i skolebygg

EMNEORD

Veiledning
Brann
Undervisningsbygg
Ventilasjonsanlegg

VERSJON

1.0

DATO

2024-05-13

FORFATTERE

Anne-Marit Haukø^a, Brynhild Garberg Olsø^a, Mads Mysen^b, Sturla Ingebrigtsen^c, Per Henning Samuelsen^d, Tommy Byenstuen^d, Freddy Dovran^d, Peer Øyen Knutsen^d, Johanne Kværner Hestetun^d, Hugo Haug^d, Åge Kausland^e, Tor Tvilde^e, Janne Siren Fjærestad^f, Christoph Meraner^f

a) SINTEF, b) GK Norge, c) Trox Auranor, d) Oslobygg KF, e) Bergen kommune, f) RISE Fire Research

OPPDRAUGSGIVER

Oslobygg KF

OPPDRAUGSGIVERS REFERANSE

Per Henning Samuelsen

PROSJEKTNUMMER

102023523

ANTALL SIDER

30

SAMMENDRAG

Dette dokumentet er en veileder. Veilederen skal benyttes av rådgivende ingeniører i brannteknisk prosjektering av ventilasjonsanlegg i skolebygg. Det fokuseres på rømningssikkerhet og skadebegrensning ved små branner i en tidlig fase av brannforløpet. Veilederen beskriver forutsetninger for bruk, krav og preaksepterte ytelser i VTEK, samt ulike typer ventilasjonsanlegg med tilhørende komponenter. Dokumentet illustrerer typiske prinsipløsninger for ulike ventilasjonsstrategier i bygg, samt forskningsresultater fra brannforsøk og undersøkelser i tidligere faser av BRAVENT-prosjektet. Veilederen tar for seg nybygg, eksisterende bygg og verneverdige bygg hvor grensesnittet mellom rådgivende ingeniør brann (RIBr), ventilasjon (RIV), elektro (RIE) og automasjon (RIAut) defineres. En sjekklister oppsummerer viktige punkter å hensynta ved prosjektering av ventilasjonsanlegg. Rutiner for drift og vedlikehold beskrives til slutt.

UTARBEIDET AV

Anne-Marit Haukø og Brynhild Garberg Olsø

SIGNATUR

Anne-Marit Haukø

Brynhild Garberg Olsø

KONTROLLERT AV

Andreas Aamodt

SIGNATUR

A. Aamodt

GODKJENT AV

Ola Asphaug

SIGNATUR

Ola Asphaug

Ola Asphaug (Maj 28, 2024 13:32 GMT+2)

COMPANY WITH
MANAGEMENT SYSTEM
CERTIFIED BY DNV
ISO 9001 • ISO 14001
ISO 45001

RAPPORT NR.

2024:00588

ISBN

978-82-14-07202-0

GRADERING

Åpen

GRADERING DENNE SIDE

Åpen

Innholdsfortegnelse

Forord	4
1 Innledning	5
2 Forutsetninger	6
3 Krav	6
3.1 Krav i TEK17.....	6
3.2 Preaksepterte ytelser i VTEK.....	7
3.2.1 Kanaloppheng.....	7
3.2.2 Kanaler og tilhørende komponenter	7
3.2.3 Kanalgjennomføringer i brannskiller	7
3.2.4 Drift av ventilasjonsanlegg under brann	7
3.2.5 Sikring av strømforsyning	7
4 Ulike typer ventilasjonsanlegg og komponenter	7
4.1 Gamle anlegg	7
4.2 VAV og DCV	8
4.2.1 Systemløsning på romnivå.....	8
4.3 Spjeldoptimalisert anlegg	9
4.4 Trykkregulert og trykkoptimalisert anlegg.....	10
4.5 Komponenter	11
4.5.1 DCV-spjeld	11
4.5.2 Aktiv tilluftsventil.....	11
4.5.3 Transformator og kabler.....	12
4.5.4 Filter.....	12
4.5.5 Kammervifte med EC-motor.....	12
4.5.6 Asynkron viftemotor.....	12
5 Prinsipløsninger	13
5.1 Trekk ut	13
5.2 Steng inne	15
5.3 Kombinasjonsløsning	16
6 Funn fra BRAVENT branntester	16
6.1 Brannytelse for ikke-brannklassifiserte ventilasjonskomponenter	16
6.2 Effekt av ventilasjonsstrategi på røykspredning og trykkontroll	17
7 Prosjekteringsveiledning	18
7.1 Nivå av brannbeskyttelse.....	18

7.2	Nybygg	20
7.2.1	Steng inne	20
7.2.2	Trekk ut.....	20
7.2.3	Kombinasjonsløsning.....	21
7.3	Eksisterende bygg	21
7.3.1	Steng inne	22
7.3.2	Trekk ut.....	22
7.3.3	Kombinasjonsløsning.....	22
7.4	Verneverdige bygg	22
7.5	Grensesnitt RIBr, RIV og RIE	23
7.6	Sjekkliste	24
8	Drift, kontroll og vedlikehold	28
8.1	Prosedyre ved utløst brannalarm	29
9	Referanser	30

Forord

BRAVENT er et Innovasjonsprosjekt finansiert av Norges forskningsråd, program SAMRISK- 2-Samfunnssikkerhet og risiko, prosjektnummer 321099, samt av prosjektpartnerne. Prosjektet pågår i perioden 2021-2024. Prosjekteier er Oslobygg KF, prosjektleder er RISE Fire Research, forskningspartner er SINTEF Community og de andre partnerne i prosjektet er GK Norge, TROX Auranor Norge, Bergen Kommune og Trondheim Eiendom (2021-2022).

Vi vil takke referansegruppens medlemmer Trond S Andersen (DiBK), Stefan Andersson (Norconsult), Arne Pihl Bordi (Norconsult), Tomas Fagergren (Brandskyddslaget Sverige), Arnstein Fedøy (Igneus AS), Finn Volla Karlsen (Rambøll), Kjell Ivar Moe (Multiconsult), Vegard Ervik Olsen (Multiconsult), Lasse Kvalheim Stølen (Sweco), Tommy Ueland (DSB) og Barbro Westlund-Storm (HRP) for nyttige innspill og gode diskusjoner underveis i prosjektet.

Trondheim, mai 2024

Anne-Marit Haukø

Arbeidspakkeleder

1 Innledning

Veilederen er utarbeidet som en del av IPOS-prosjektet *BRAVENT – Effektiv ventilasjon av røyk fra små branner* støttet av Norges Forskningsråd (NFR nr. 321099). Veilederen omhandler brannteknisk prosjektering av ventilasjonsanlegg i skolebygg. Det fokuseres på rømningssikkerhet og skadebegrensning ved små branner i en tidlig fase av brannforløpet. Veilederen tar for seg nybygg, eksisterende bygg og verneverdige bygg. Veilederen skal primært brukes av rådgivende ingeniør brann (RIBr), ventilasjon (RIV), elektro (RIE) og automasjon (RIAut) ved prosjektering av ventilasjonsanlegg i skolebygg, men det åpnes også for bruk av verktøyet på andre formålsbygg.

I Norge er det årlig registrert mer enn 100 skolebranner, hvor mange er påtente [1]. Typiske områder for brann er toalett, garderober eller i korridorer. Fellestrekk for disse brannene er at de er ofte små i utbredelse, har relativt lav temperatur, men forårsaker store røykskader i bygget med påfølgende nedetid og er kostnadskrevene ifm. sanering. Røykspredning til og via andre brannceller skjer ofte via ventilasjonsanlegg. Dette medfører sanering av anlegget i etterkant. Et sprinkleranlegg har som funksjon å kontrollere og slukke brann, men i ulike tilfeller vil røykspredningen allerede ha skjedd før sprinkleranlegg har blitt utløst.

Ventilasjonsanlegg med tilhørende styring har endret seg mye de siste 20 årene, fra enkle anlegg med konstant luftstrøm og lite elektronikk, til dagens mer kompliserte behovsstyrte ventilasjonsanlegg med VAV (variable air volume)- eller DCV (demand controlled ventilation)-spjeld som regulerer luftmengden etter bruken av bygget. Funksjonskravene i TEK17 med tilhørende veiledning er imidlertid uendret i løpet av denne tidsperioden. Trekk ut-strategien har vært praktisert lenge i Norge, og det har vært en "etablert sannhet" om at den ivaretar krav i TEK om at ventilasjonsanlegg "*ikke vesentlig øker faren for at brann oppstår eller at brann og røyk sprer seg mellom ulike brannceller*". I dette prosjektet er det gjort branntester for å undersøke om trekk ut-strategien kan fungere fra brannstart og i hhv. 30 eller 60 minutter. Branntestene i BRAVENT prosjektet har avdekket mange fallgruver og sammenhenger som ofte overses – og dermed fører til svekket brannsikkerhet. Per dags dato finnes det ingen brannklassifiserte DCV-/VAV-spjeld, og trekk ut-prinsippet i bygninger med behovsstyrte ventilasjonsanlegg er ikke dokumentert å ha en sikker funksjon under brann. I tillegg tar det lang tid fra oppstart av aggregatet fra natt-modus til balansert drift oppnås. Derfor vil ikke trekk ut-prinsippet fungere i de første kritiske minuttene av en brann, røyken vil i praksis kunne spre seg uhindret i kanalnettet. Ubalanse i kananettet vil også påvirke dørmiljøet, noe som igjen påvirker rømningssituasjon.

Denne veilederen er en del av en serie som omhandler brann- og røykspredning i ventilasjonsanlegg som går under fellesnavnet BRAVENT (Brann- og røykspredning i ventilasjonskanaler). Følgende rapporter er publisert i denne serien til nå:

- 2019 BRAVENT – Rapport 1 - Teori- og kunnskapsammenstilling [2]
- 2019 BRAVENT – Rapport 2 Brannspredning i ventilasjonskanaler [3]
- 2021 BRAVENT – Tetting av ventilasjonsfilter med brannrøyk [4]
- 2022 BRAVENT – Brannforløp og ventilasjon i skoler [1]
- 2024 BRAVENT – Storskala branntester (del 1): Brannytelse for ikke-brannklassifiserte ventilasjonskomponenter [5]
- 2024 BRAVENT – Storskala branntester (del 2): Effekt av ventilasjonsstrategi på røykspredning og trykkontroll i en mock-up skolebygning [6]
- 2024 BRAVENT – Kontrollplan – Ventilasjonsanleggets funksjon under brann [7]
- 2024 BRAVENT – Veileder for brannteknisk prosjektering av ventilasjonsanlegg i skolebygg (denne rapporten)

Ventilasjonsanleggets funksjon under brann må sees på som en brikke i en større sammenheng, og det er flere faktorer som avgjør nivået for brannsikkerhet i bygget, slik som branncelleinndeling, rømningsforhold, hvorvidt det er installert heldekkende brannalarmanlegg og automatisk slokkeanlegg (for eksempel sprinkler), samt organisatoriske tiltak (vedlikehold og brannøvelser). Det er samspillet av alle løsningene i bygget som gir den totale brannsikkerheten.

2 Forutsetninger

Følgende forutsetninger legges til grunn for bruk av prosjekteringsveilederen:

- I tidlig fase av prosjektet er det akseptabelt at brannrådgiver setter opp de ulike alternativene trekk ut-, steng inne- eller blandingsløsning i brannkonseptet, men valg av strategi må tas tidlig, både mhp. prising av prosjektet, og for sikre at man f.eks. får satt av plass til brannspjeld over himling eller bypass i teknisk rom. Brannkonseptet må oppdateres når strategi er valgt. Valg av ventilasjonsstrategi under brann er en tverrfaglig avgjørelse som tas av prosjektgruppa, og løsningen må detaljprosjekteres tverrfaglig i samarbeid mellom rådgivende ingeniør brann (RIBr), ventilasjon (RIV) elektro (RIE) og automasjon (RIAut).
- Trekk ut-strategien er teknisk komplisert ved at mange komponenter skal fungere sammen, og hvor man under brann lar røyken fra startbranncellen trekkes inn i avtrekkskanalen og transporteres ut av bygningen. Ettersom bygningsdelens brannmotstand da ikke blir opprettholdt, kreves det at strategien må dokumenteres av brannrådgiver (RIBr) ved analytisk prosjektering i hvert enkelt prosjekt.
- Trykkløse (avslåtte) ventilasjonsanlegg kan medføre store brann- og røykskader, og ventilasjonsanlegg må derfor alltid være koblet opp mot brannalarmsentralen slik at det starter opp ved utløst brannalarm (ved trekk ut-strategi eller kombinasjonsløsning). Ved steng inne strategi kan anlegget forbli avslått på natt/ferier ved brann.
- Det er viktig å unngå trykkubalanse i ventilasjonsanlegget, da dette kan skape ubalanse i dørmiljøet og hindre rømning. Ubalanse kan oppstå dersom tilluft- og avtrekksvifte ikke starter samtidig ved trekk ut-løsning, eller at DCV-spjeld ikke åpner seg synkront eller åpner seg for sakte.
- Brannvesenets innsatstid kan ikke tillegges betydning ved valg av ventilasjonsprinsipp, selv om deres innsats vil kunne ha skadebegrensende effekt for øvrig. Røykspredning vil skje i de første minuttene av brannforløpet, før brannvesenet er på plass.
- For eksisterende bygg og verneverdige bygg legger veilederen fokus på at ventilasjonsanlegget kan oppgraderes brannteknisk til et tilfredsstillende nivå ut ifra forutsetningene som allerede ligger i bygget.
- Skoler skal deles opp i brannceller på en hensiktsmessig måte, og områder med ulik risiko eller ulik fare for at brann oppstår skal være egne brannceller. I utgangspunktet må hvert enkelt undervisningsrom med tilhørende birom være egne brannceller, jfr. VTEK § 11-8.

3 Krav

3.1 Krav i TEK17

TEK17 § 11-10 krever at tekniske installasjoner prosjekteres og utføres slik at de ikke vesentlig øker faren for at brann oppstår eller at brann og røyk sprer seg mellom ulike brannceller.

Installasjoner som er forutsatt å skulle fungere under brann, skal være prosjektert og utført slik at funksjonen opprettholdes i nødvendig tid for rømning og redning. I veiledningen til TEK17 er preaksepterte ytelser for nødvendig tid angitt som:

- 30 minutter i brannklasse 1
- 60 minutter i brannklasse 2 og 3

3.2 Preaksepterte ytelser i VTEK

3.2.1 Kanaloppheng

Innfesting og oppheng for kanaler og ventilasjonsutstyr må utføres slik at forutsatt funksjonstid og brannmotstand blir opprettholdt.

3.2.2 Kanaler og tilhørende komponenter

Ventilasjonskanal som føres gjennom en brannskillende bygningsdel, må utføres slik at bygningsdelens brannmotstand blir opprettholdt. Kanaler og tilhørende komponenter i ventilasjonsanlegget må være av materialer som tilfredsstillende klasse A2-s1,d0 (ubrennbare materialer). Unntak er små komponenter som ikke bidrar til spredning av brann.

3.2.3 Kanalgjennomføringer i brannskiller

Ventilasjonskanaler som føres gjennom branncellebegrensende konstruksjoner, må ikke svekke konstruksjonens brannmotstand. Brannmotstand for installasjoner som føres gjennom brannskillende bygningsdeler må dokumenteres ved prøving eller beregning.

3.2.4 Drift av ventilasjonsanlegg under brann

Ved brann skal ventilasjonsanlegget fungere på en slik måte at det ikke bidrar til brann og røykspredning i bygget i nødvendig tid for rømning og redning, minst 30 minutter i brannklasse 1 og minst 60 minutter i brannklasse 2 og 3.

3.2.5 Sikring av strømforsyning

Ventilasjonsanlegget må opprettholde sin funksjon og brannmotstandsevne i forutsatt tid, se kap. 3.2.4. Relevante installasjoner er strøm til aggregat, røykvifte, bypass etc. Sikring av strømforsyning gjelder også dersom det settes en spesiell styringsstrategi for brannspjeld under brann. Aktuell sikring av strømforsyningen er å bruke direkte strømforsyning fra hovedtavle i tillegg til å beskytte tilførselskabler ved å etablere ett av følgende tiltak:

- installere automatisk slokkeanlegg
- legge kabler i innstøpte rør med betongoverdekning med minst 30 mm tykkelse
- bruke kabler som beholder sin funksjon og driftsspennning minst 30 minutter for bygninger i brannklasse 1 og minst 60 minutter for bygninger i brannklasse 2 og 3

4 Ulike typer ventilasjonsanlegg og komponenter

I det etterfølgende beskrives ulike typer ventilasjonsanlegg med tilhørende komponenter. Typisk gamle anlegg i eksisterende bygg beskrives i. kap. 4.1. Uttrykkene VAV og DCV beskrives i kap. 4.2. Det finnes to hovedtyper vifteregulering av behovsstyrte ventilasjonsanlegg: Spjeldoptimaliserte anlegg og trykkregulerte anlegg, se kap. 0 og 0. Ulike komponenter som inngår i ventilasjonsanlegg er beskrevet i kap. 0. Mer informasjon om systemløsninger finnes i Byggforskserien 552.325 [8].

4.1 Gamle anlegg

Eldre ventilasjonsanlegg i gamle bygg er ofte systemer uten behovsstyring. Kanalnettet er bygget opp på lik måte som i dag, men systemene er innregulert til faste luftmengder uten bruk av VAV-spjeld. Dersom luftmengden varierer skjer dette kun på aggregatet, mens luftmengden til hvert rom blir jevnt distribuert.

Siden de gamle anleggene ikke har samme innhold av elektroniske komponenter som sensorer og DCV-spjeld, vil de bli mindre påvirket i tilfelle brann og trekk-ut prinsippet blir derfor enklere å benytte. Dessverre har ikke de eldre ventilasjonsanleggene bypass på aggregat, sikret strømtilførsel etc. så noen

tilpasninger er fortsatt nødvendig. Å utstyre gamle anlegg med steng-inne løsning vil gi likt sikkerhetsnivå som nye anlegg uten behov for tilpasninger på aggregatene.

Ulempen med de gamle anleggene er at de vil bruke mye mer energi enn nyere anlegg, slik at de vanskelig vil oppfylle dagens energikrav i TEK.

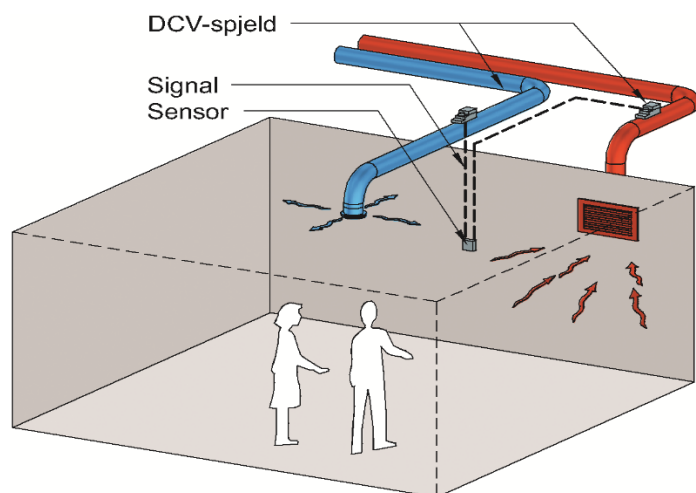
4.2 VAV og DCV

VAV står for "Variable Air Volume" og er en benevnelse som brukes for alle typer anlegg der luftmengden varierer. Det kan for eksempel være minimum/maksimum eller behovsstyrt ventilasjon.

DCV står for "Demand Controlled Ventilation", eller behovsstyrt ventilasjon. Et DCV-anlegg er VAV-anlegg som regulerer trinnløst i hver sone i forhold til tilbakemelding fra sensor i samme sone (for eksempel et klasserom). Dette er den mest presise form for behovsstyring som muliggjør å ivareta et godt inn klima med minimum energibruk. Et VAV-anlegg omfatter også anlegg som har en upresis behovsstyring som for eksempel regulering etter CO₂-nivå i avtrekkskanal som er felles for flere rom. Et DCV-anlegg er alltid et VAV-anlegg, men et VAV-anlegg er ikke alltid et DCV-anlegg.

4.2.1 Systemløsning på romnivå

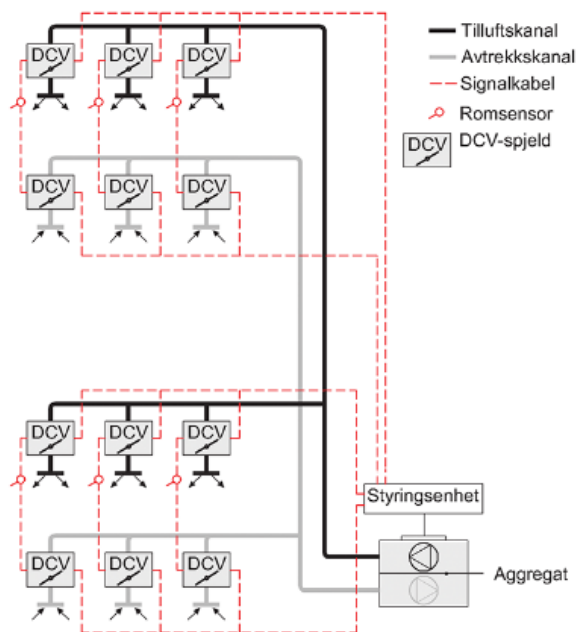
På romnivå har den vanlige løsningen vært balansert ventilasjon med DCV-spjeld på tilluft og avtrekk regulert i parallell basert på signal fra sensor. En bedre løsning er at alle klimatiseringsprodukter som DCV-spjeld, sensorer og annet kjøle- og varmeavgivende utstyr kobles inn på en romregulator for optimal regulering uten risiko for samtidig varme- og kjølepådrag. Se Figur 1.



Figur 1 Behovsstyrt ventilasjon i et rom. En sensor måler temperatur og CO₂ i rommet og gir signal til et DCV-spjeld som regulerer luftmengden etter den målte tilstanden. Figuren er hentet fra SINTEF Byggforskserien 552.323 [9].

4.3 Spjeldoptimalisert anlegg

Spjeldoptimalisert regulering betyr å regulere hovedluftmengdene i forhold til spjeldposisjonene slik at minst ett DCV-spjeld er i helt åpen posisjon. Se Figur 2 for prinsippskjema.



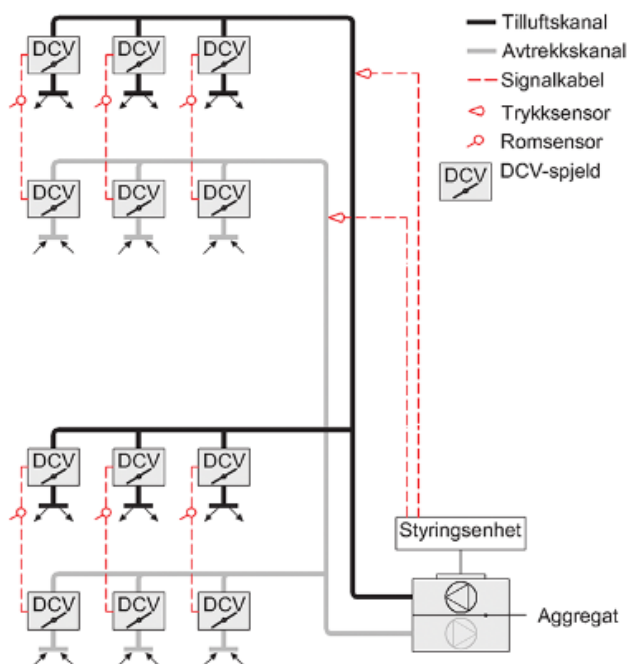
Figur 2 Prinsippskjema for ventilasjonssystem med spjeldoptimalisert regulering. Styringsenheten sørger for at viftene i aggregatet til enhver tid leverer den luftmengden som er nødvendig for at minst ett DCV-spjeld står i maks åpen posisjon. Figuren er hentet fra SINTEF Byggforskserien 552.325 [8].

Formålet med denne løsningen er å sikre minst mulig behov for vifteenergi gjennom minst mulig trykkoppbygging over vifta. Det oppnår man hvis én kanalvei fra vifte til rom alltid er åpen. Ved spjeldoptimalisert regulering registreres luftmengdebehov, levert luftmengde og spjeldvinkel for alle DCV-spjeldene. Informasjonen går til en styringsenhet som regulerer viftepådraget.

Styringsenheten kan bestå av en egen dedikert enhet til formålet eller inngå i SD-anlegget (sentralt driftsanlegg). Styringsenheten har et innebygd program som til enhver tid finner spjeldet med størst åpningsgrad. I praksis er det DCV-spjeldet med størst åpningsgrad som bestemmer viftepådraget. Viftepådraget reguleres slik at dette spjeldet har cirka 80 % åpningsgrad under normal drift.

4.4 Trykkregulert og trykkoptimalisert anlegg

Konstantrykkregulert ventilasjon er en mye brukt DCV-løsning. Prinsippskjema er vist i figur 3.



Figur 3 Prinsippskjema for ventilasjonssystem med konstantrykkregulering. Styringsenheten regulerer viftepådraget slik at trykket ved trykksensoren holdes konstant. Figuren er hentet fra SINTEF Byggforskserien 552.325 [8].

DCV-spjeldene regulerer ventilasjonsluftsmengden til rommene basert på verdiene fra CO₂- og temperatursensorene i hvert rom. Endret luftmengdebehov i rommet gir endret spjeldstilling, som påvirker statisk trykk i kanalen. En trykksensor i kanalen registrerer denne endringen i statisk trykk. Trykksensoren er vanligvis plassert i en hovedgren i kanalnettet.

Trykksensoren er koblet til en regulator i styringsenheten. Regulatoren er programmert til et bestemt trykk (referansetrykk) som ønskes opprettholdt ved trykksensoren. Regulatoren tar imot informasjon om trykket ved trykksensoren. Regulatoren styrer turtallet på vifta i aggregatet og sørger dermed for at trykket ved trykksensoren er konstant.

Tillufts- og avtrekksvifta bør trykkreguleres uavhengig av hverandre.

Trykkregulering kan brukes i et blandet system med både faste reguleringspjeld og DCV-spjeld. Da må trykksensorene plasseres slik at trykket er stabilt foran de faste reguleringspjeldene.

Trykkregulering kan også optimalisere trykk-settpunktet basert på et innebygd program som til enhver tid finner spjeldet med størst åpningsgrad. Trykk-settpunktet settes opp hvis DCV-spjeldet med størst åpningsgrad har større åpningsgrad enn ønsket. Trykk-settpunktet settes ned hvis DCV-spjeldet med størst åpningsgrad har mindre åpningsgrad enn ønsket. Dette er et trykkoptimalisert anlegg.

4.5 Komponenter

Eksempler på ulike komponenter som kan inngå i ventilasjonsanlegg er beskrevet i kap. 4.5.1 – 4.5.6.

4.5.1 DCV-spjeld

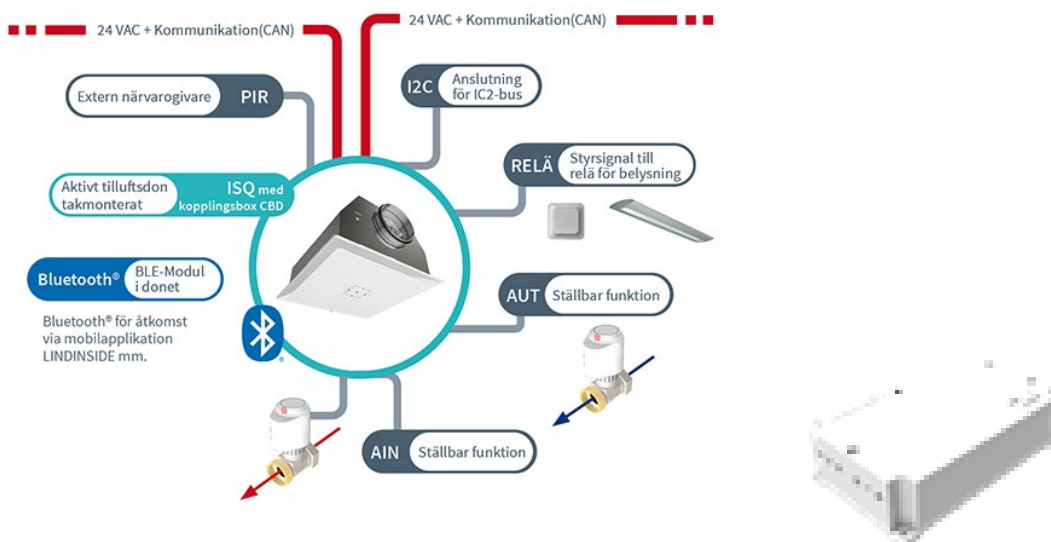
Et DCV-spjeld består av målekors (eller annet instrument for luftmengdemåling), reguleringspjeld og spjeldmotor. Spjeldmotoren består av aktuator og kan motta inngangssignal fra romsensor og målekors. Spjeldmotoren har også utgangssignal til et slavespjeld der hvor dette brukes. Et VAV-spjeld kan være et DCV-spjeld, men et VAV-spjeld uten luftmengdemåler kan ikke være et DCV-spjeld. Se figur 4 for eksempel på DCV-spjeld.



Figur 4 Leo DCV-spjeld fra Trox. Foto: Trox (www.trox.no).

4.5.2 Aktiv tilluftsventil

Et alternativ til balansert ventilasjon med DCV-spjeld er aktive tilluftsventiler med overstrømning til felles avtrekk som dekker flere rom, se figur 5. Den aktive tilluftsventilen er i praksis en tilluftsventil med innebygget DCV-funksjon, romregulator og romsensorer.

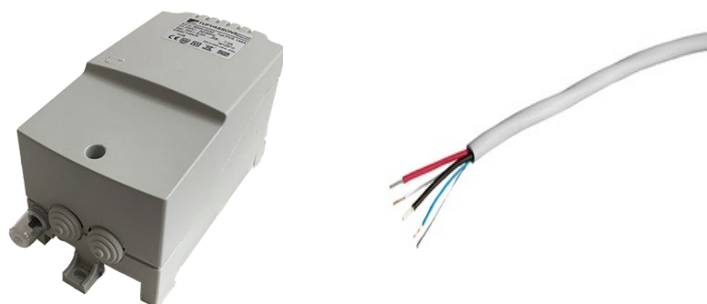


Figur 5 Aktiv tilluftsventil som tilkobles 24 V AC og kommunikasjonskabel via en CBD koblingsboks (til høyre). Den aktive tilluftsventilen har her integrert romregulator som regulerer all romklimatisering. Foto: Lindinvent (www.lindinvent.se).

4.5.3 Transformator og kabler

Alle komponenter i et VAV-anlegg bruker 24 V og er koblet sammen med kommunikasjonskabel.

Transformatoren endrer spenning fra byggstrøm til 24 V AC (vekselstrøm) som mates inn på VAV-komponentene. En transformator dekker et begrenset antall komponenter som igjen betegnes noder. Se figur 6 for eksempel på transformator og kommunikasjonskabel.



Figur 6 Transformator og 4-leder fra Lindinvent. Foto: Lindinvent (www.lindinvent.se).

4.5.4 Filter

Filter benyttes på både tillufts- og avtrekkssiden av viften. Filter på avtrekkssiden beskytter aggregatkomponenter fra støvbelastningen i avtrekksluften. Det vanlige er å benytte posefilter. Sotproduksjon fra en evt. brann vil kunne tette filteret på avtrekkssiden slik at avtrekksmengden reduseres og den ønskede ventilasjonsfunksjonen ved trekk ut-prinsippet forsvinner.

4.5.5 Kammervifte med EC-motor

Den normale løsningen i dag er ventilasjonsaggregat med kammervifte og EC-motor, se figur 7. Slike løsninger gir best plass- og energiutnyttelse. EC motorer har betydelig bedre virkningsgrad enn Asynkronmotorer som er alternativet. I tillegg er direktdrevne EC-motorer enkle å turtallsregulere. EC-motorer benytter magneter til å skape magnetfelt som igjen gir rotasjon. Ulempen er at EC-motorer avmagnetiser ved høy temperatur. Det er varierende kvalitet på magneter, og leverandøren må dokumentere temperaturen som EC-motoren tåler.

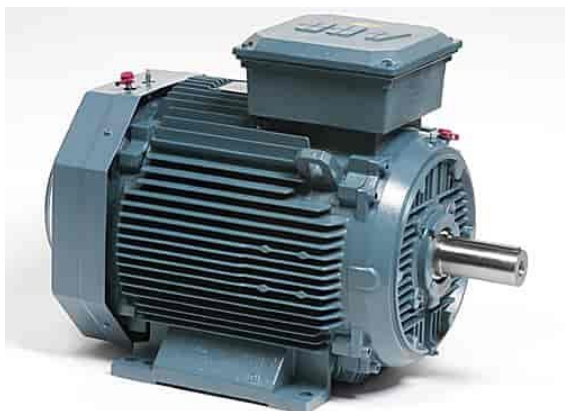


Figur 7 ATEX Kammervifter EC RadiPac Foto: Ebmpapst (www.ebmpapst.no).

4.5.6 Asynkron viftemotor

Asynkronmotor blir drevet rundt av et roterende magnetisk felt, se figur 8. Rotoren får en langsommere hastighet enn det roterende feltet (sakking) ved belastning. Derfor kalles motoren asynkron. Asynkronmotorer er mindre energieffektive og vanskeligere å turtallsregulere enn EC-motorer.

Asynkronmotoren risikerer ikke funksjonsforringelse på grunn av avmagnetisering ved høye temperaturer slik EC-motorer gjør.



Figur 8 Asynkronmotor. Foto: Store norske leksikon/ABB (www.snl.no).

5 Prinsipløsninger

Det finnes to hovedprinsipper for sikring av ventilasjonsanleggets funksjon under brann: Trekk ut-strategien (kap. 5.1) og steng inne-strategien (kap. 5.2). I tillegg er det i enkelte skolebygg valgt å bruke en kombinasjonsløsning av de to (kap. 5.3).

5.1 Trekk ut

Trekk ut-strategien er en løsning hvor man under brann lar røyken fra startbranncellen trekkes inn i avtrekkskanalen og transporteres ut av bygningen, se Figur 10. Etersom bygningsdelens brannmotstand da ikke blir opprettholdt, krever løsningen analytisk prosjektering av brannrådgiver (RIBr) i hvert enkelt tilfelle.

Løsningen kan utformes og styres på forskjellige måter. Det forutsettes at det blir benyttet separat ventilasjonsanlegg for hver brannseksjon dersom bygningen omfatter flere brannseksjoner.

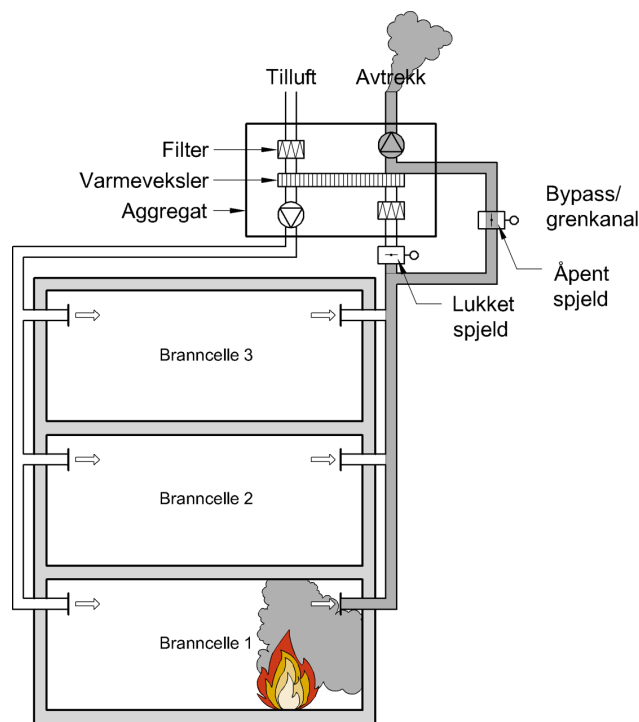
Det er viktig å unngå ubalanse i luftmengdene som kan føre til at rømningsdørene er vanskeligere å åpne og at røyk spres til andre brannceller via kanalnettet eller andre utettheter. Funksjonstesting av løsningen har vist at det kan være en utfordring å få startet pådraget for tilluft og avtrekk samtidig [1]. Trykkubalanser kan også oppstå hvis enkle komponenter i ventilasjonsanlegget feiler på grunn av brannen (se kapittel 6).

Det må benyttes en bypass-løsning ved aggregatet for å hindre at sot o.l. tetter igjen filtre og varmegjenvinner, se **Figur 9**, med mindre en annen løsning vises å fungere. For å redusere risiko for vann- og frostskaider ved bypass av varmegjenvinner må det etableres to-deteksjon (røyk detektert i både rom og avtrekkskanal) før iverksetting av bypass. Det må i analysen dokumenteres at vifte, motor og øvrige komponenter i bypassvifte tåler aktuelle temperaturer ved brann. Spjeld som stenger ut aggregatet, må være av typen røykkontrollspjeld klassifisert i henhold til NS-EN 13501-4. Avtrekksvifte i bypass-løsningen må tåle sot og høye temperaturer klassifisert i henhold til NS-EN 12101-3.

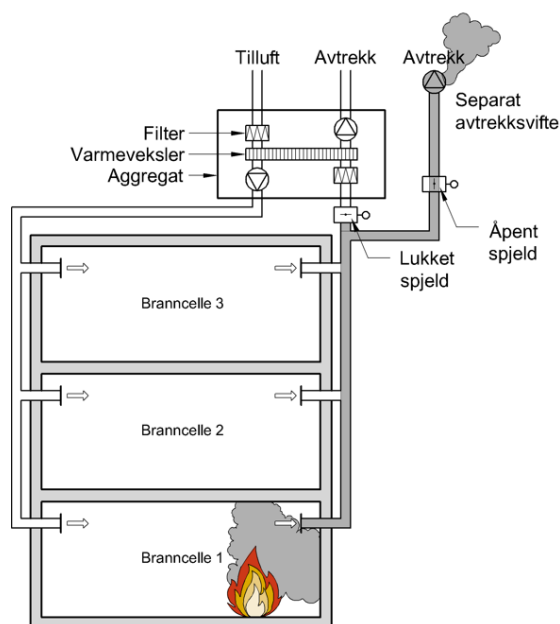
Hvis dette ikke er tilfelle må man ha en egen røykgassvifte, se Figur 10. Røykgassviften må kunne frekvensregulere etter samme signal som ordinær avtrekksvifte.

Branntestene utført i BRAVENT viser at filter kan gå tett på under 30 minutter, avhengig av hva slags type materiale som brenner og hvor stor kapasiteten til ventilasjonsanlegget er i forhold til brannstørrelsen [4], [5], [6]. Temperaturen i tidligfase vil imidlertid sjelden by på problemer for aggregatet, da forsøk viser at temperaturen synker vesentlig ved hvert innblandingspunkt fra andre rom [3]. I BRAVENT branntestene var temperaturen i aggregatet på avtrekksiden under 60°C [5], [6], selv om mye høyere temperaturer ble målt i avtrekket i brannrommet. De samme branntestene viste imidlertid at temperaturen kan ødelegge DCV-spjeld og føre til ubalanse i hele ventilasjonsanlegget (se kapittel 6). I dag finnes det ingen brannklassifiserte DCV-/VAV-spjeld, og trekk ut-prinsippet i bygninger med behovsstyrte ventilasjonsanlegg kan i praksis ikke dokumenteres å ha en sikker funksjonstid under brann i hhv. 30 eller 60 minutter. Derfor kreves det at det komplette systemet med DCV-spjeld/VAV-spjeld samt romregulatorer med sensorer og strømforsyning testes for den relevante temperatureksposeringen.

Alle kanaler som forventes å eksponeres for brann og varme, må være ubrennbare og formfaste i den tiden anlegget skal virke. Det kan også være nødvendig med brannisolering av tillufts- og avtrekkskanaler. Behovsanalysen for brannisolering bør ta hensyn til en realistisk blandingstemperatur i kanalnettet [3].



**Figur 9 Prinsippkisse av ventilasjonsanlegg med bypass for røyk- og branngasser (trekk ut-strategi).
Illustrasjon: SINTEF (basert på SINTEF Byggforskserien 520.352 [10])**



Figur 10 Prinsippskisse av ventilasjonsanlegg med separat avtrekksvifte for røyk- og branngasser (trekk ut-strategi). Illustrasjon: SINTEF (basert på SINTEF Byggforskserien 520.352 [10]).

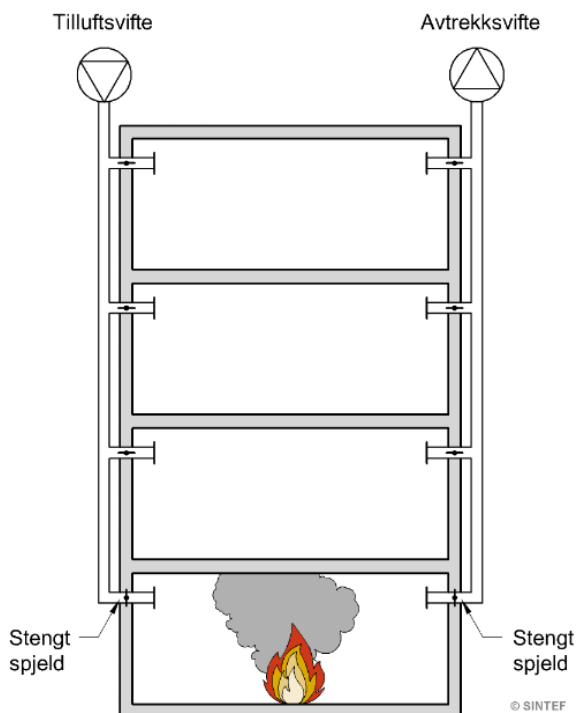
Det er viktig å huske på at energioptimaliserte ventilasjonsanlegg i moderne bygg ikke kan sammenlignes med eldre trykkstyrte anlegg med få komponenter og enklere oppbygning. Robustheten til den valgte strategien vil avhenge av kompleksiteten til anlegget. Se kap. 6 for resultater av branntestene som er gjort i dette prosjektet.

5.2 Steng inne

Steng inne-strategien innebærer at man stenger brannen ventilasjonsteknisk inne i den branncellen der det brenner, se Figur 11. I denne løsningen blir det montert spjeld i alle kanalgjennomføringer i seksjoneringsvegger og branncellebegrensende konstruksjoner. Ved utløst brannalarm skal samtlige ventilasjonsanlegg i bygningen få momentant stoppsignal, uavhengig av driftsmodus, og samtlige brannspjeld skal stenge på signal fra brannspjeldsentralen. Aktivert røykdetektor i tilluft skal også stoppe aggregatet. Løsningen kan brukes i alle bygninger.

For steng inne-strategien anbefales det å bruke røykdetektorstyrte, EI-klassifiserte brann- og røykspjeld som er motoriserte. Kanalene kan da være uisolerte. Det anbefales derimot ikke å bruke spjeld med kun termisk utløsermekanisme (smeltesikring) eller kjemiske brannspjeld, da en slik løsning ikke tillater hverken styring av spjeldet, automatisk tilbakestilling, testing eller mosjonering. Løsningen med termisk eller kjemisk utløsermekanisme må vurderes nøye før den tas i bruk da den kan medføre fare for ubalanse i anlegget og fare for spredning av mindre varme røykgasser mellom brannceller. Ved å stenge både tilluft og avtrekk samtidig vil uheldige trykkforhold kunne unngås.

Steng inne-strategien kan styres på forskjellige måter. Et styringssystem som SD-anlegg (Sentralt driftsanlegg) kombinert med motoriserte spjeld kan automatisk skru av ventilasjonsanlegget og deretter lukke alle nødvendige spjeld i bygningen ved en brann.



Figur 11 Prinsippkisse for ventilasjonsanlegg med steng inne-strategi. Figuren er hentet fra SINTEF Byggforskeren 520.352 [10].

Selv om steng inne-strategien i prinsippet skal stenge brannen inne i startbranncellen, vil det alltid være lekkasjer av røyk rundt dører, vinduer, overgang vegg/tak mv. Ifm. arbeidspakke WP1 i dette BRAVENT-prosjektet ble det gjort tetthetsmålinger ved en nyere og en eldre skole i Oslo i 2022 [11], [5]. Måleresultatene viste at brannskiller internt i bygning har store lekkasjer. Det var også liten forskjell på tettheten i rom som var egen branncelle og rom som ikke var egen branncelle. Måleresultatene viste også at eldre skoler har vesentlig større luftlekkasjer enn nyere skoler.

5.3 Kombinasjonsløsning

Kombinasjon av steng inne-strategi og trekk ut-strategi er basert på at man hindrer brannspredning ved å lukke brannen inne i den enkelte branncellen, samtidig som man holder ventilasjon i drift for øvrige arealer. Hensikten kan være å forbedre rømningsforholdene i bygget ved å ventilere ut røyk som smitter til omgivelser via utettheter. Denne løsningen kan være teknisk komplisert og må dokumenteres av brannrådgiver (RIBr) ved analytisk prosjektering i hvert enkelt prosjekt. Detaljprosjekteringen må blant annet definere funksjonskontroll av kombinasjonsløsningen med alle mulige brannscenarier.

6 Funn fra BRAVENT branntester

I et bygg bestående av flere rom og et fullverdig komfort-ventilasjonsanlegg har BRAVENT utført 14 branntester [5], [6]. Testserien ble gjennomført for å undersøke brannytelsen for ikke-brannklassifiserte ventilasjonskomponenter og for å undersøke hvilken effekt ventilasjonsstrategien har på røykspredning og trykkontroll i en skolebygning. Ventilasjonsanlegget som var installert hadde spjeldoptimalisert styring. Alle testene ble gjennomført uten bypass og ved å kjøre ventilasjonsanlegget til V_{max} (maksimal prosjektert luftmengde) etter utløst brannalarm.

6.1 Brannytelse for ikke-brannklassifiserte ventilasjonskomponenter

I flere av de utførte testene klarte ikke de ikke-brannklassifiserte DCV-spjeldene å opprettholde sin funksjonalitet i de påkrevde 30 eller 60 minutter. I branntestene feilet spjeldene når temperaturen var så

høy at plastkomponenter smeltet. To ulike typer DCV-spjeld ble testet. For spjeldtypen med målekryss smeltet plastslanger i de høye temperaturene som oppstod, noe som resulterte i at DCV-spjeldet ikke klarte å måle riktig luftmengde. I flere av testene medførte denne målefeilen at DCV-spjeldet åpnet helt opp for å prøve å få stor nok luftgjennomstrømning. I en av testene der tilluftsspjeldet var plassert inne i brannrommet var konsekvensen av at tilluftsspjeldet feilet at det lukket seg helt. I tillegg til skadene på spjeldene hadde 24 V strømforsyningen til spjeldene brent opp og sikringen på 24 V strømforsyningen i styreskapet gått. Dette resulterte i at systemet mistet kontakten med alle spjeldene. En lokal feil kan altså føre til at hele SD systemet feiler. For den andre spjeldtypen satt sensorene for luftmengdemålingene i selve spjeldbladet som her var laget av et plastmateriale. Varmepåkjeningen fra brannrøyken førte da til at hele spjeldbladet smeltet.

Feilrapportering av noen av SD-anleggets temperaturmålinger oppstod allerede før spjeldene ble ødelagte, uten at dette påvirket den leverte luftmengden signifikant.

Sot førte ikke i noen av testene til tetting av målekrysset eller andre feil på spjeldet, selv etter eksponeringen fra flere branner etter hverandre. Det ble heller ikke observert at elektroniske komponenter ble påvirket negativt av sot. De testede spjeldene var helt nye da de ble montert, det er derfor ikke studert hvordan støv som samler seg på målekryssene eller sensorer over tid gjennom vanlig drift vil påvirke deres toleranse for sot ved en brann.

Sotdekkeprøver ble tatt inne i kanalnettet for avtrekk før og etter at lufta gikk gjennom filteret. Prøvene viste sotsmitte i kanalnettet før filteret, mens det ikke var mulig å detektere noe sot avsatt i kanalnettet etter filteret. Det ble heller ikke detektert noe sotsmitte inn i tilluften via varmegjenvinneren. Sot fører imidlertid til at avtrekksfilteret tettes. Hvor raskt det skjer er blant annet veldig avhengig av hvilke materialer som brenner. Dette er også observert i tidligere utførte tester [4]. Lufttemperaturen i aggregatet var i alle gjennomførte tester under 60°C og dermed lavere enn filtrenes maksimale driftstemperatur på 70°C.

De utførte testene viste at trekk ut-strategien med ikke-brannklassifiserte komponenter ikke kan anses å ha en sikker funksjon under brann i hhv. 30 eller 60 minutter. For å dokumentere dette må man brannteste det komplette systemet med DCV-/VAV-spjeld samt romregulatorer med sensorer og strømforsyning for den relevante temperatureksponeringen. Slik dokumentasjon foreligger ikke p.t.

Mer detaljerte beskrivelser av testene og resultatene for de ikke-brannklassifiserte komponentene finnes i BRAVENT – Storskala branntester (del 1): Brannytelse for ikke-brannklassifiserte ventilasjonskomponenter [5].

6.2 Effekt av ventilasjonsstrategi på røykspredning og trykkontroll

Feilmekanismene som oppstod førte til at systemet mistet statusen og kontrollen over spjeldene, og dermed også mistet oversikten over hvilke luftmengder som gikk gjennom spjeldene. Feilen på spjeldene førte deretter til ubalanse i ventilasjonsanlegget også i andre rom enn brannrommet. I ytterste konsekvens kan dette føre til utfordringer i forbindelse ved rømning ved at det blir vanskelig eller umulig å åpne dører.

Røykspredning via tilluftskanalene kan skje ved tilbakeslag av røyk dersom trykket i brannrommet overstiger trykket i tilluftskanalen. I de utførte forsøkene giret ventilasjonsanlegget opp til maksimalt prosjektert luftmengde (V_{max}) ved deteksjon av brann, og det ble ikke observert røykspredning i tilluftskanalene som følge av tilbakeslag av brannrøyk. Det ble ikke testet om tilbakeslag av røyk kunne vært forhindre også ved lavere luftmengder enn V_{max} . Om ventilasjonsanlegget klarer å opprettholde

tilstrekkelig høyt trykk i tilluftskanalen for å forhindre tilbakeslag er avhengig av blant annet kapasiteten til tilluftsvifter, tettheten av brannrommet og hvor raskt brannen utvikler seg.

Røyken fra brannen førte til at filteret i aggregatet tettet seg gradvis. I tre tester ble filteret tettet så mye at aggregatet ikke klarte å levere tilstrekkelig mengde luft, noe som skapte ubalanse i ventilasjonsanlegget. De nye BRAVENT-testene viser at brannstørrelsen i forhold til aggregatets kapasitet spiller en viktig rolle for hvor lenge avtrekksluftmengden kan opprettholdes. Et aggregat som betjener flere små brannceller med begrenset tilgjengelig brensel, vil klare å opprettholde den nødvendige avtrekksluftmengden lenger enn et aggregat som betjener få store brannceller, ettersom forholdet mellom røykmengde og total luftmengde endres. Andre faktorer som påvirker hvor lenge aggregatet kan kompensere for at filter tettes er:

- om aggregatet er prosjektert for 100 % eller mindre samtidighet, dvs. andelen rom som kan ha maksimal luftmengde samtidig.
- filterets tilstand ved brannstart. I disse branntestene ble det brukt helt nye filter i hver test.
- om ventilasjonsanlegget opererer med V_{max} eller mindre luftmengde ved utløst brannalarm.

Det ble ikke observert røykspredning mellom rommene via avtrekkskanalen, men siden avtrekksluftmengden i en av testene ble kraftig redusert til rundt 50 % av den maksimale prosjekterte luftmengden, konkluderes det med at gradvis tetting av avtrekksfilteret vil øke risikoen for røykspredning via avtrekkskanalen. Tetting av filtrene kan unngås ved etablering av et bypass. Likevel må det da fortsatt dokumenteres at alle andre funksjoner av anlegget er ivaretatt ved brann.

De utførte testene viste at enkelte komponenters feilmekanisme (målefeil i enkle spjeld, kortslutninger og tetting av avtrekksfiltrene) kan føre til at hele systemet ikke lenger klarer å opprettholde sin funksjon.

Mer detaljert beskrivelse av hvordan ventilasjonsanlegget reagerte i de utførte branntestene finnes i BRAVENT – Storskala branntester (del 2): Effekt av ventilasjonsstrategi på røykspredning og trykkontroll i en mock-up skolebygning [6].

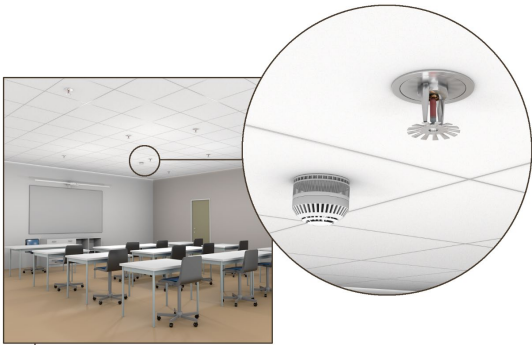



7 Prosjekteringsveiledning


Viktige punkter å ta hensyn til ved sikring av ventilasjonsanleggets funksjon under brann i skolebygg er samlet i denne prosjekteringsveiledningen. Kap. 7.1 beskriver hvordan skoler kan deles inn i ulike kategorier/nivåer etter hvilken grad av brannbeskyttelse de har. Kap. 7.2, 7.3 og 7.4 omhandler hhv. nybygg, eksisterende bygg og verneverdige bygg, imens grensesnittet mellom rådgivende ingeniør brann (RIBr), ventilasjon (RIV) elektro (RIE) og automasjon (RIAut) er behandlet i kap. 7.5. Veiledning med sjekkpunkter er samlet i kap. 0.

7.1 Nivå av brannbeskyttelse

Behovet for sikring av ventilasjonsanleggets funksjon under brann henger sammen med type ventilasjonsanlegg, samt de øvrige brannsikkerhetstiltakene i bygget slik som automatisk sprinkleranlegg, brannalarmanlegg, branncelleinndeling, rømningsforhold og behov for verdisikring. Det er samspillet av alle løsningene som gir den totale brannsikkerheten. Det må imidlertid tas hensyn til konsekvensene av svikt i dette samspillet, eller i det enkelte ledd. For å synliggjøre forskjellen er det i denne veilederen valgt å skille mellom tre ulike kategorier/nivåer av brannbeskyttelse, men hvor samtlige nivåer er i henhold til preaksepterte ytelser i VTEK, se Tabell 1.

Tabell 1 Nivå av brannbeskyttelse

Nivå 1 – Høy grad av brannbeskyttelse	
  <p>Illustrasjon: SINTEF</p> <p>Risikoklasse 3 Brannklasse 1-3</p>	<p>Brannsikkerhets-tiltak:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Heldekkende* automatisk sprinkleranlegg iht. NS-EN 12845 [12], og - Heldekkende* brannalarmanlegg iht. NS 3960 [13] og NS-EN 54-serien. <p>*Inkluderer også baderom og toalettrom.</p>
Nivå 2 – Medium grad av brannbeskyttelse	
  <p>Illustrasjon: SINTEF</p> <p>Risikoklasse 3 Brannklasse 1-3</p>	<p>Brannsikkerhets-tiltak:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Heldekkende* brannalarmanlegg iht. NS 3960 [13] og NS-EN 54-serien. <p>*Inkluderer også baderom og toalettrom.</p>

Nivå 3 – Liten grad av brannbeskyttelse	
 <p>Illustrasjon: SINTEF</p> <p>Risikoklasse 3 Brannklasse 1 i én etasje</p>	<p>Brannsikkerhets-tiltak:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kategori 1 brannalarmanlegg iht. NS 3960 [13] og NS-EN 54-serien. Rømningsveier og fellesarealer må detekteres. Det velges detektorteknologi ut ifra hva som er dokumentert best egnet i driftsmiljøet den plasseres.

7.2 Nybygg

7.2.1 Steng inne

Steng inne-strategien kan benyttes i alle skolebygg så lenge det er installert heldekkende brannalarmanlegg som kan gi signal til brannspjeldene, det vil si for bygg med nivå 1 eller 2 for brannbeskyttelse iht. Tabell 1. Skolebygg med nivå 3 for brannbeskyttelse bør bringes opp på nivå 2 ved å installere heldekkende brannalarmanlegg. Brannspjeld og overstrømningsventiler må lukke automatisk på brannalarm. Brannspjeld med kun termisk eller kjemisk utløsermekanisme anbefales ikke da de vil slippe gjennom kald røyk.

Resultatene i de utførte branntestene viser at steng inne-strategi for komfort-ventilasjonsanlegg er den eneste løsningen for nybygg som per i dag kan dokumenteres å fungere fra brannstart og i hhv. 30 eller 60 minutter. Derfor skal denne strategien benyttes i alle nybygg så langt det lar seg gjøre. Der det av tekniske årsaker ikke kan benyttes steng-inne løsning med brannspjeld, skal det ikke prosjekteres kombinasjoner med aktive VAV/DCV systemer. Dvs. at disse anleggene utføres med faste innreguleringsspjeld for luftfordelingen.

Se kap. 0 for sjekklister for prosjektering.

7.2.2 Trekk ut

Ved prosjektering av nye anlegg, endringer av eksisterende, rehabilitering o.a. skal det benyttes «steng-inne» strategi for komfort-ventilasjonsanlegg i brannmodus. Der det av tekniske årsaker ikke kan benyttes steng-inne løsning kan det i prinsippet benyttes trekk- ut strategi. Ved valg av trekk-ut strategi, skal det ikke prosjekteres i kombinasjoner med bruk av aktive VAV/DCV systemer. Dvs. Anlegg med trekk-ut strategi må utføres med faste innreguleringsspjeld for luftfordelingen uten VAV/DCV. Løsningen innebærer et fravik fra VTEK som må dokumenteres av rådgivende ingeniør brann (RIBr), i samarbeid med

ventilasjon (RIV), elektro (RIE) og automasjon (RIAut), ved analytisk prosjektering iht. TEK17 kapittel 2 i hvert enkelt prosjekt. Analysen skal gjennomføres i samsvar med NS 3901 [14] eller SN-INSTA/TS 950 [15].

Resultatene fra branntestene i BRAVENT-prosjektet har vist at DCV-spjeld samt romregulatorer med sensorer og strømforsyning til eller i rommet i moderne spjeldoptimaliserte ventilasjonsanlegg ikke tåler røyken og temperaturene som vil oppstå ved brann i bygget fra brannstart og i hhv. 30 eller 60 minutter. For å dokumentere dette må man brannteste det komplette systemet med DCV-/VAV-spjeld samt romregulatorer med sensorer og strømforsyning for den relevante temperatureksponeringen. Slik dokumentasjon foreligger ikke p.t. Derfor skal det ikke prosjekteres kombinasjoner med aktive VAV/DCV systemer. Dvs. at komfortventilasjons-anlegg med trekk ut-strategi utføres med faste innreguleringsspjeld for luftfordelingen.

I tillegg tar det lang tid fra oppstart av aggregatet fra natt-modus til balansert drift oppnås. Derfor vil ikke trekk ut-prinsippet fungere i de første kritiske minuttene av en brann, røyken vil i praksis kunne spre seg uhindret i kanalnettet.

Ved analytisk prosjektering må tilgjengelig tid for rømning og redning beregnes for alle bruksscenarioer (inkludert skole, flerbruk og annen bruk som overnatting). Analysen må ta hensyn til alle forhold som kan gi forlenget rømningstid, for eksempel personer med funksjonsnedsettelse. Videre må det ved oppstart fra natt-modus/AV-modus tas hensyn til tiden det tar før anlegget er i balansert drift. Disse tidene må beregnes og dokumenteres tverrfaglig. Det må gjøres en konsekvensanalyse av svikt i de enkelte komponentene i ventilasjonsanlegget ved høy temperatur og eksponering for sot (tilstopping av målekors). Analysen må dokumentere både person- og verdisikkerheten, inkludert bruksmulighet av bygget i etterkant av brann. Den analytiske prosjekteringen kan ikke uten videre ta hensyn til sprinkleranlegg så lenge det ikke er dokumentert at komponentene tåler temperaturer over utløsningstemperatur for sprinkler. Utløsningstemperaturen for sprinkler er vanligvis 68 °C, mens maksimal driftstemperatur for VAV- og DCV-spjeld vanligvis 50 °C i henhold til produsentens anvisning og merking på komponentene. Noen av testene viste at spjeldene i BRAVENT-prosjektet fungerte ved høyere temperaturer over utløsningstemperaturen for sprinkler i en periode, men de er ikke brannklassifiserte. Komponentene er heller ikke klassifiserte fra produsent mhp. ansamling av sot for eksempel på målekors. BRAVENT branntester tyder imidlertid på at de fleste komponentene, med unntak av avtrekksfilter, er sårbare for høye temperaturer og ikke røykpartikler. Se kap. 7.6 for sjekklister for prosjektering.

7.2.3 Kombinasjonsløsning

Det er mulig å benytte kombinasjonsløsninger, for eksempel at deler av systemet er utstyrt med brannspjeld for steng inne-strategi, mens andre deler av anlegget benytter trekk ut-strategi. Denne løsningen kan være teknisk komplisert og må dokumenteres av brannrådgiver (RIBr) ved analytisk prosjektering i hvert enkelt prosjekt. Detaljprosjekteringen må blant annet definere funksjonskontroll av kombinasjonsløsningen med alle mulige brannscenarioer. Det skal ikke prosjekteres kombinasjoner med aktive VAV/DCV systemer. Dvs. at den delen av anlegget som har trekk ut-strategi utføres med faste innreguleringsspjeld for luftfordelingen.

7.3 Eksisterende bygg

For eksisterende bygg må eksisterende ventilasjonsanlegg oppgraderes brannteknisk til et tilfredsstillende nivå, ut ifra de forutsetningene som allerede ligger til grunn for bygget.

7.3.1 Steng inne

Ved oppgradering kan steng inne-strategien benyttes i alle skolebygg så lenge det er installert heldekkende brannalarmanlegg som kan gi signal til spjeldene. Oppgradering krever at det er fysisk nok plass (over himling) til brannspjeld, og dette er ofte utfordringen i eksisterende bygg. Strategien kan velges for bygg med nivå 1 eller 2 for brannbeskyttelse iht. Tabell 1. Skolebygg med nivå 3 for brannbeskyttelse bør bringes opp på nivå 2 ved å installere heldekkende brannalarmanlegg. Brannspjeld og overstrømningsventiler må lukke automatisk på brannalarm. Brannspjeld med kun termisk eller kjemisk utløsermekanisme anbefales ikke da de vil slippe gjennom kald røyk.

Med bakgrunn i utførte branntester er steng inne-strategi for komfort-ventilasjonsanlegg den eneste løsningen som per i dag kan dokumenteres å fungere fra brannstart og i hhv. 30 eller 60 minutter. Derfor skal denne strategien benyttes for alle oppgraderte/ombygde anlegg i eksisterende bygg så langt det lar seg gjøre. Der det av tekniske årsaker ikke kan benyttes steng-inne løsning med brannspjeld, skal det ikke prosjekteres kombinasjoner med aktive VAV/DCV systemer. Dvs. at disse anleggene utføres med faste innreguleringspjeld for luftfordelingen.

Se kap. 7.6 for sjekklister for prosjektering.

7.3.2 Trekk ut

Ved oppgradering kan trekk ut-strategien benyttes i alle skolebygg hvor trekk ut-strategien allerede er i bruk i bygget og det er ønskelig å beholde den, og dersom det ikke er fysisk mulig å oppgradere til steng inne-strategi. Trekk ut-strategien innebærer et fravik fra VTEK som må dokumenteres av brannrådgiver (RIBr) ved analytisk prosjektering i hvert enkelt prosjekt. Beregning av nødvendig tid til rømning og redning og CFD-analyser av brann- og røykspredning i ventilasjonsanlegget kan danne grunnlag for analysen. Strategien kan velges for bygg med nivå 1, 2 eller 3 for brannbeskyttelse iht. Tabell 1. Også her er det viktig å være klar over resultatene av branntestene i BRAVENT-prosjektet, se kap.6.1. En mulig utfordring kan være å få fysisk plass til bypass i teknisk rom dersom det ikke er installert fra før. Dersom det ikke er mulig å etablere bypass må analysen dokumentere at brannsikkerheten i bygget er tilstrekkelig ivaretatt uten. Analysen må vise at størrelsen på designbrannen i forhold til aggregatets kapasitet er liten nok for at man kan opprettholde luftmengden, selv om filteret begynner å tettes. Kompenserende tiltak for manglende bypass kan for eksempel være sprinkleranlegg som kontrollerer brannutviklingen. Se kap. 7.6 for sjekklister for prosjektering.

7.3.3 Kombinasjonsløsning

Ved oppgradering kan kombinasjonsløsningen benyttes, men løsningen kan være teknisk komplisert og må dokumenteres av brannrådgiver (RIBr) ved analytisk prosjektering i hvert enkelt prosjekt. Detaljprosjekteringen må blant annet definere funksjonskontroll av kombinasjonsløsningen med alle mulige brannscenarier. Det skal ikke prosjekteres kombinasjoner med aktive VAV/DCV systemer. Dvs. at den delen av anlegget som har trekk ut-strategi utføres med faste innreguleringspjeld for luftfordelingen.

7.4 Verneverdige bygg

Bygninger kan være formelt fredet etter kulturminneloven eller formelt vernet etter plan- og bygningsloven. De kan også være registrert som verneverdige av kommunen. Felles for alle fredede eller vernede bygninger er at det stilles strenge krav til hvilke tiltak og inngrep som kan gjennomføres i bygningsmassen. Endringer og ombygging gjennom bygningens levetid kan ha svekket brannsikkerheten og i mange tilfeller er det vanskelig å fremskaffe dokumentasjon i form av brannkonsept eller strategi for eksisterende løsning. Inngrep i bygningen, som for eksempel oppgradering av ventilasjonsanlegg, krever tillatelse fra Riksantikvar og medfører ofte også plikter med hensyn til vedlikehold i etterkant. Det

anbefales å holde en god og tett dialog med antikvariske myndigheter som riksantikvar eller byantikvar i forkant og underveis i arbeidet for å unngå unødig stans i arbeidet eller andre uforutsette konsekvenser. Brannsikkerheten skal være ivaretatt også i verneverdige bygg, og tiltak som utføres skal ikke bidra til å øke brannfaren. Gamle bygg gir mange utfordringer som kan medføre flere fravik og det er viktig å være klar over at fravik fra veiledning til TEK gir konsekvenser som må vurderes opp imot totaliteten av fravikene.

Eksisterende og eldre bygningsmasse er ofte bygd etter andre mål enn dagens bygninger, noe som kan medføre utfordringer med tilpasning av ventilasjonsanlegg og valg av ventilasjonsstrategi. Dette kan for eksempel være utfordringer med lav himlingshøyde som gir lite plass til spjeld eller brannisolasjon. Ved valg av ventilasjonsløsning må det gjøres en vurdering av hvor stor plass det nye anlegget krever og areal som er tilgjengelig, samt hvor nye kanalføringer kan legges. I verneverdige bygg er det ofte et ønske om at tekniske installasjoner skjules mest mulig, men dette kan være vanskelig å gjennomføre i praksis. I mange tilfeller kan det være hensiktsmessig å benytte eksisterende sjakter for å unngå å etablere nye føringsveier og hulltaking. Eldre bygninger har ofte flere utettheter i konstruksjonen enn bygg oppført etter dagens standard, og dette kan også påvirke funksjonen til ventilasjonsløsningen som er valgt.

7.5 Grensesnitt RIBr, RIV og RIE

Kommunikasjon mellom de ulike aktørene i et byggeprosjekt er viktig for å sikre at prosjekteringsforutsetningene videreføres i øvrige faser, og at eventuelle endrede forutsetninger underveis i utførelsen blir vurdert av den ansvarlige for prosjektering av de respektive fag i samråd med brannrådgiver. Valg av løsning må besluttes tverrfaglig, og det kan i tidlig fase av prosjektet settes opp ulike alternativer til løsning slik at prosjekteringsgruppen, tiltakshaver eller entreprenør kan velge hvilken løsning som passer prosjektet best. Det er viktig at den valgte løsningen angis i det endelige brannkonseptet. En god dialog og erfaringsoverføring mellom aktørene bidrar til en sikker og helhetlig løsning for bygget. Brannkonseptet som utarbeides i prosjekteringsfasen må samkjøres med funksjonsbeskrivelse brann og ventilasjon, slik at løsningen som prosjekteres er den samme som faktisk etableres.

Det bør etableres gode rutiner for dokumentasjon slik at det er enkelt for de ulike fagansvarlige å se hvilke valg som er gjort underveis i prosjekteringen og hva dette vil innebære for løsninger som velges. Funksjonsbeskrivelsen til anlegget må gi en oversikt over hvilke anlegg som dekker hvilke områder, samt type ventilasjonsstrategi som er valgt. Videre må det beskrives hvordan alarmorganiseringen til brannalarmanlegget er tenkt å fungere i tilfeller hvor det er av betydning for ventilasjonsstrategien, for eksempel at anlegget skal stanse ved deteksjon av røyk i tilluftskanal.

7.6 Sjekkliste

Sjekkliste med viktige punkter som må ivaretas ved brannteknisk prosjektering av ventilasjonsanlegg i skolebygg er vist i Tabell 2. Sjekklisen gjelder også for andre formålsbygg.

Tabell 2 Sjekkliste

Tiltak #	Tiltak	Effekt av tiltak	Ivaretatt i prosjekteringen
1	<p>Nybygg: Det må etableres et brannkonsept for bygget som beskriver ventilasjonsanleggets funksjon under brann. I tidlig fase av prosjektet er det akseptabelt at brannrådgiver setter opp de ulike alternativene trekk ut-, steng inne- eller blandingsløsning i brannkonseptet, men valg av strategi må tas tidlig, både mhp. prising av prosjektet, og for sikre at man f.eks. får satt av plass til brannspjeld over himling eller bypass i teknisk rom. Brannkonseptet må oppdateres når strategi er valgt. Valg av ventilasjonsstrategi under brann er en tverrfaglig avgjørelse som tas av prosjektgruppa, og løsningen må detaljprosjekteres tverrfaglig. RIBr må engasjeres i detaljprosjekteringen. Trekk ut-strategien krever prosjektering ved bruk av analyse(Se kapittel 7.2.2). Analysen må klargjøre forutsetningene. Tiltaket med ansvarsrett må sikre at det prosjekteres en byggbar løsning, hvor de enkelte komponentenes funksjon under brann kan dokumenteres. Det henvises til TEK 17 kapitel 2.</p> <p>Eksisterende bygg: Dersom det ikke finnes fra før, må det etableres et brannkonsept for bygget som beskriver ventilasjonsanleggets funksjon under brann. En brannrådgiver må engasjeres til dette. Se for øvrig tekst for "Nybygg" over.</p>	Brannkonseptet er underlag for detaljprosjekterende på ventilasjon, brannalarm og automasjon.	OK <input type="checkbox"/>
2	Resultatene fra de utførte branntester viser at steng inne-strategi for komfort-ventilasjonsanlegg er den eneste løsningen som per i dag kan	Dokumentasjon for oppfyllelse av funksjonskravet i TEK17 § 11-10.	OK <input type="checkbox"/>

Tiltak #	Tiltak	Effekt av tiltak	Ivaretatt i prosjekteringen
	dokumenteres å fungere fra brannstart og i hhv. 30 eller 60 minutter. Derfor skal denne strategien benyttes for alle komfortventilasjonsanlegg i nybygg og ved ombygging/rehabilitering i eksisterende bygg så langt det lar seg gjøre. Der det av tekniske årsaker ikke kan benyttes steng-inne løsning med brannspjeld, skal det ikke prosjekteres kombinasjoner med aktive VAV/DCV systemer. Dvs. at disse anleggene utføres med faste innreguleringsspjeld for luftfordelingen.		
3	Ventilasjonsanlegget må alltid være koblet opp mot brannalarmsystemet og stå i driftsmodus Auto, slik at det starter opp ved utløst brannalarm (ved trekk ut-strategi eller kombinasjonsløsning). Ved steng inne-strategi kan anlegget forbli avslått på natt/ferier ved brann. Det anbefales at brannsentralen får signal dersom ventilasjonsanlegget fysisk settes i AV.	Begrensning av brann- og røykskader.	OK <input type="checkbox"/>
4	Skoler skal deles opp i brannceller på en hensiktsmessig måte, og områder med ulik risiko eller ulik fare for at brann oppstår skal være egne brannceller. I utgangspunktet må hvert enkelt undervisningsrom med tilhørende birom må være egne brannceller, jfr. VTEK § 11-8.	Økt verdisikkerhet. Dagens moderne utforming av skoler medfører ofte store, åpne baseløsninger, og at trapperom utføres som Tr1 istedenfor Tr2 (uten mellomliggende rom mellom branncellen og rømningsveien), noe som er uheldig mhp. brann- og røykspredning. Å etablere store brannceller for å få ned antall brannspjeld/branncelleskiller med tilhørende kostnader er svært uheldig.	OK <input type="checkbox"/>
5	Bygget må ha heldekkende brannalarmanlegg iht. NS 3960 og NS-EN 54-serien, med mindre bygget er på nivå 3 for brannbeskyttelse.	Brannalarmanlegget gir tidlig varslings, og signal til eventuelle brannspjeld om at de skal lukkes.	OK <input type="checkbox"/> Ikke relevant <input type="checkbox"/>
6	Brannalarmsystemet må også dekke bad, toaletter og garderober.	Bad, toaletter og garderober på skoler er svært ofte utsatt for påtent brann, det er derfor viktig at disse rommene også blir detektert.	Ok <input type="checkbox"/>
7	Dersom bygget har heldekkende automatisk sprinkleranlegg iht. NS-EN	Bad, toaletter og garderober på skoler er svært ofte utsatt for	OK <input type="checkbox"/>

Tiltak #	Tiltak	Effekt av tiltak	Ivaretatt i prosjekteringen
	12845 må også bad og toaletter dekkes. Det samme gjelder lukkede trapperom.	påtent brann, og noen ganger også lukkede trapperom. Det er derfor viktig at disse rommene også blir sprinklet, selv om NS-EN 12845 åpner opp for unntak i bad, toaletter og lukkede trapperom.	Ikke relevant <input type="checkbox"/>
8	Ventilasjonsanleggets strømforsyning må sikres i nødvendig tid for rømning og redning ved en brann (30 minutter i BKL1 og 60 minutter i BKL 2 og 3), se kap. 3.2.5. Dersom brannsikring av kabler ivaretas av automatisk sprinkleranlegg iht. NS-EN 12845 må det også være sprinklerdekning til kabler over himling med lavere takhøyde enn 80 cm.	Ventilasjonsanlegget opprettholder sin funksjon iht. valgt strategi under brann.	OK <input type="checkbox"/>
9	Ved steng inne-strategi: Brannspjeld og overstrømmingsventiler må lukke automatisk på brannalarm. Brannspjeld med kun termisk eller kjemisk utløsermekanisme kan ikke benyttes da de vil slippe gjennom kald røyk og ikke ivareta rømningssikkerheten, og de vil heller ikke kunne funksjonstestes. Det må tilrettelegges for automatisk funksjonskontroll av brannspjeld (minimum månedlig).	Med automatisk lukking reduserer man røykspredning i bygget og holder rømningsveiene og fluktveiene åpne.	OK <input type="checkbox"/> Ikke relevant <input type="checkbox"/>
10	Ved trekk ut-strategi: Det må dokumenteres ved hjelp av analytisk prosjektering hvorvidt ventilasjonsanlegget vil kunne opprettholde sin funksjon i nødvendig tid for rømning og redning ved en brann (preakseptert ytelse i VTEK er 30 minutter i BKL1 og 60 minutter i BKL 2 og 3). Analysen skal gjennomføres i samsvar med NS 3901 [14] eller SN-INSTA/TS 950 [15].	Dokumentasjon for oppfyllelse av funksjonskravet i TEK17 § 11-10. Ved analytisk prosjektering må tilgjengelig tid for rømning og redning beregnes for alle bruksscenarioer (inkludert skole, flerbruk og annen bruk som overnatting). Analysen må ta hensyn til alle forhold som kan gi forlenget rømningstid, for eksempel personer med funksjonsnedsettelse. Videre må det ved oppstart fra natt-modus/AV-modus tas hensyn til tiden det tar før anlegget er i balansert drift. Disse tidene må	OK <input type="checkbox"/> Ikke relevant <input type="checkbox"/>

Tiltak #	Tiltak	Effekt av tiltak	Ivaretatt i prosjekteringen
		beregnes og dokumenteres tverrfaglig. Det må gjøres en konsekvensanalyse av svikt i de enkelte komponentene i ventilasjonsanlegget ved høy temperatur og eksponering for sot (tilstopping av målekors). Analysen må dokumentere både person- og verdisikkerheten, inkludert driftssikkerhet av bygget i etterkant av brann.	
11	Ved trekk ut-strategi: Ved brannalarm skal minimumstrykket i kanalnettet opprettholdes for balansert drift på tilluft og avtrekk i nødvendig tid for rømning og redning ved en brann (30 minutter i BKL1 og 60 minutter i BKL 2 og 3).	Røyken trekkes ut av branncellen, og balanse i dørmiljøet opprettholdes, slik at rømning kan utføres uten at dører blir vanskelige å åpne pga. store trykkforskjeller.	OK <input type="checkbox"/> Ikke relevant <input type="checkbox"/>
12	Ved trekk ut-strategi: I bygninger med automatisk slokkeanlegg kan behovet for bypass dokumenteres særskilt, se byggforsk 520.352. Faktorer som påvirker behovet kan være størrelse på brannceller, kapasiteten til aggregatet i forhold til nødvendig luftmengde ved brann, type brennbare materialer og hvorvidt bygget er sprinklet eller ikke. Tidligere utførte brannforsøk i BRAVENT viser at bypass er nødvendig for å hindre at filteret går tett [4]. For å redusere risiko for vann- og frostskafer ved bypass av varmegjenvinner må det etableres to-deteksjon (røyk detektert i både rom og avtrekkskanal) før iverksetting av bypass. Det må i analysen dokumenteres at vifte, motor og øvrige komponenter i bypassvifte tåler aktuelle temperaturer ved brann. Spjeld som stenger ut aggregatet, må være av typen røykkontrollspjeld klassifisert i henhold til NS-EN 13501-4. Avtrekksvifte i bypass-løsningen må tåle sot og høye temperaturer klassifisert i henhold til NS-EN 12101-3.	Bypass sikrer at filteret i vifte ikke tettes igjen av sot og røyk og at luftstrømmen gjennom ventilasjonskanalene kan opprettholdes under brann.	OK <input type="checkbox"/> Ikke relevant <input type="checkbox"/>

Tiltak #	Tiltak	Effekt av tiltak	Ivaretatt i prosjekteringen
13	Avtrekk fra spesialrom som sløyd, keramikkrom mv. utføres ofte uten brannspjeld og med avkast over tak. Dersom avtrekkskanal føres via andre brannceller, må kanalen brannisoleres iht. gitt brannmotstand.	Løsningen sikrer at ikke varme røykgasser i kanalen antenner brennbart materiale i andre brannceller.	OK <input type="checkbox"/> Ikke relevant <input type="checkbox"/>
14	Det må utarbeides en integrert funksjonsbeskrivelse som beskriver ventilasjonsanleggets funksjon under brann, og det må komme tydelig frem hvilke deler av bygget som har hhv. trekk ut- eller steng inne-strategi. Integrert funksjonsbeskrivelsen må inkludere både ventilasjon, brannalarmanlegg og automasjon, og være lett tilgjengelig i byggets FDVU-dokumentasjon.	Driftspersonell skal enkelt kunne finne dokumentasjon på hvordan ventilasjonsanlegget skal fungere under brann, og hvordan det skal driftes og vedlikeholdes.	OK <input type="checkbox"/>
15	Den integrerte funksjonsbeskrivelsen må testes i en fullskala funksjonstest, hvor alle involverte fagfelt er med. Se kap. 8.	Man får bekreftet om løsningen fungerer, at brannspjeld lukkes (ved steng inne-strategi), og at det oppstår stabile trykkforhold og at rømningsdører enkelt lar seg åpne (ved trekk ut-strategi). Kravet til åpningskraft er maks 30 N i rømningsvei og 67 N ellers. Åpningskraft kan måles med et dynamometer/kraftmeter.	OK <input type="checkbox"/>

8 Drift, kontroll og vedlikehold

Forutsetninger for løsningene som er prosjektert og valgt må være tydelig dokumentert og lett tilgjengelig for å sikre at de som drifter byggene har grunnlag nok til å vite hvordan anlegget fungerer. FDVU-dokumentasjon og internopplæring må ha fokus på hvordan ventilasjonsanlegget er utført og hvordan det skal fungere under brann, samt hvilke krav som er satt for oppfølging i internkontroll og årskontroll. Det anbefales å gjennomføre en stor funksjonstest som involverer alle relevante fag hvert 5. år.

Smuss, støv og fett samler seg ofte innvendig i kanalnettet under drift og det vil derfor være behov for jevnlig rengjøring av kanalnettet for å sikre at slike forhold ikke har ugunstig innvirkning på brannforløpet under en eventuell brannhendelse. Det anbefales å fastsette et tidsintervall for inspeksjon av kanalnettet innvendig som synliggjøres i FDVU-dokumentasjonen. Kartlegging av behov for rengjøring og fastsettelse av rengjøringsfrekvenser og tidsintervall anbefales utført i henhold til anbefalinger gitt i Byggforskserien 752.250 [16].

Ved overtakelse av nybygg og ved rehabilitering av eksisterende skoler må det overleveres en kontrollplan som beskriver hvordan ekstern årskontroll og internkontroll av ventilasjonsanleggets funksjon under brann i bygget skal utføres. Det anbefales å utføre funksjonskontroll av automatikk på minimum månedlig basis. I tillegg anbefales det å legge til grunn kontrollplanen som er utarbeidet som del av arbeidspakke WP3 i dette BRAVENT-prosjektet, som kan finnes på SINTEF Open med DOI /11250/3130024.

8.1 Prosedyre ved utløst brannalarm

Det skal utarbeides en prosedyre for brannalarmorganisering og evakuering ved skolen for å sikre at alle ansatte og elever vet hva de skal gjøre ved utløst brannalarm. Ved utarbeidelsen må det defineres hvem som har ansvar for revisjon av prosedyren i driftsfasen, samt hvor ofte den skal revideres. En etablert prosedyre vil kunne bidra til å sikre at et eventuelt branntilløp blir begrenset eller stoppet så tidlig som mulig, og i tillegg sørge for at brannsentral og ventilasjonsanlegg kontrolleres og tilbakestilles til normal drift i etterkant av en hendelse.

Som eksempel:

Etter utløst brannalarm må følgende skje:

1. Identifisere brannårsak
Kontroller oversiktspanel som viser hvilket rom som har utløst detektor. Oppsøk området og avdekk hvorvidt det er en reell brann eller andre årsaker til utløst alarm.
2. Avstille og resette brannsentral
Logg inn på brukerpanelet for å avstille og tilbakestille sentralen til normal tilstand. Dersom utløst manuell melder er årsak til alarmeren må denne resettes eller eventuelt knust glass byttes. Dersom det har vært en reell brann må røyk luftes ut før brannsentralen kan resettes. Kontroller at brannalarm står i riktig modus og at ingen feilmeldinger eller varselamper er indikert.
3. Resette ventilasjonsanlegg
Logg inn på brukerpanel og aktiver resett. Kontroller at anlegget står i riktig modus etter resett og at ingen feilmeldinger eller varselamper er indikert.

9 Referanser

- [1] A.-M. Haukø, A. Yang, B. G. Olsø, and A. Aamodt, 'BRAVENT - Rapport. Brannforløp og ventilasjon i skoler', SINTEF, 2022:00394, 2022.
- [2] A. S. Bøe, C. Sesseng, and J. P. Stensaas, 'BRAVENT – Delrapport 1 Teori- og kunnskapssammenstilling', RISE Fire Research, RISE-rapport 2019:11, 2019.
- [3] A. S. Bøe, C. Sesseng, and K. Hox, 'BRAVENT – Delrapport 2 Brannspredning i ventilasjonskanaler', RISE Fire Research, RISE-rapport 2019:12, 2019.
- [4] R. Stølen and A. S. Bøe, 'BRAVENT – Tetting av ventilasjonsfilter med brannrøyk', RISE Fire Research, RISE-rapport 2021:32, 2021.
- [5] J. S. Fjærestad, A. Yang, C. Meraner, F. Dovran, and J. Olsen, 'BRAVENT – Storskala branntester (del 1): Brannytelse for ikke-brannklassifiserte ventilasjonskomponenter', RISE Fire Research, RISE-rapport 2024:37, 2024.
- [6] C. Meraner and J. S. Fjærestad, 'BRAVENT – Storskala branntester (del 2): Effekt av ventilasjonsstrategi på røykspredning og trykkontroll i en mock-up skolebygning', RISE Fire Research, RISE-rapport 2024:38, 2024.
- [7] A.-M. Haukø *et al.*, 'BRAVENT – Kontrollplan - Ventilasjonsanleggets funksjon under brann', SINTEF, 2024:00062, 2024.
- [8] SINTEF, 'SINTEF Byggforskserien 552.325 Behovsstyrt ventilasjon (DCV). Systemløsninger og regulering'. 2016.
- [9] SINTEF, 'SINTEF Byggforskserien 552.323 Behovsstyrt ventilasjon (DCV). Prinsipper'. 2016.
- [10] SINTEF, '520.352 Brann- og røyksikring av ventilasjonsanlegg - Byggforskserien'. 2023. Accessed: Aug. 08, 2023. [Online]. Available: https://www.byggforsk.no/dokument/5184/brann_og_roeyksikring_av_ventilasjonsanlegg
- [11] H. Steinar, 'Rapport tetthetsmålinger skoler i Oslo av HH Fire Eater Norge AS', HH Fire Eater Norge AS, 20220316, Mar. 2022.
- [12] Standard Norge, 'NS-EN 12845:2015+A1:2019 Faste brannslukkesystemer — Automatiske sprinklersystemer — Dimensjonering, installering og vedlikehold'. 2019.
- [13] Standard Norge, 'NS 3960:2019 Brannalarmanlegg - Prosjektering, installasjon, drift og vedlikehold'. 2019.
- [14] Standard Norge, 'NS 3901:2012 Krav til risikovurdering av brann i byggverk'. Jun. 01, 2012.
- [15] Standard Norge, 'SN-INSTA/TS 950:2014 Fire Safety Engineering — Comparative method to verify fire safety design in buildings'. Apr. 30, 2014.
- [16] SINTEF, 'SINTEF Byggforskserien 752.250 Rengjøring av ventilasjonsanlegg. Tilsussing og rengjøringsbehov'. 2004.