

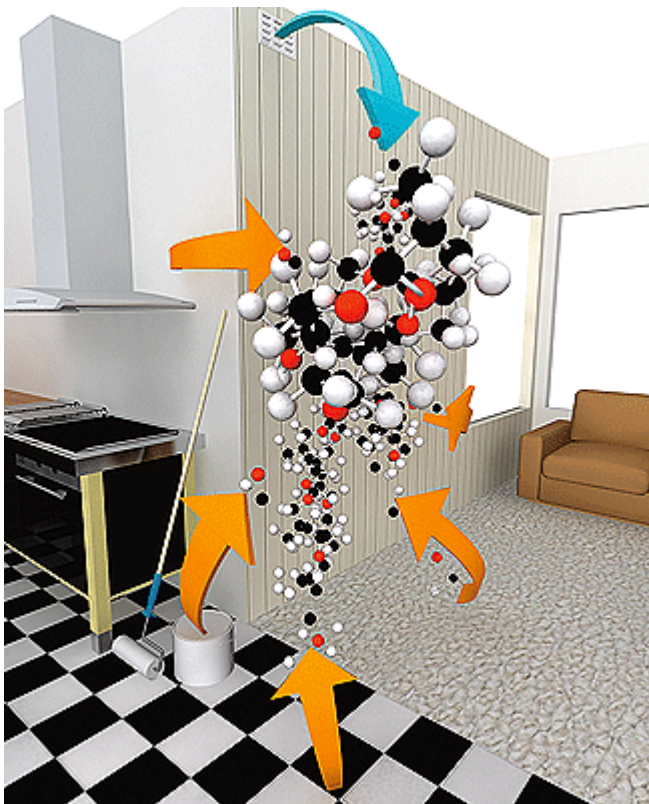
Rapport

Ventilasjonsbehov i tidlig avgassingsfase

Bakgrunn og faglig begrunnelse.

Forfattere

Sverre Bjørn Holøs, Merethe Lind, Aileen Yang, Mads Mysen



Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
0.9	2016-10-26	Utkast til kommentarer blant partnere
1	2017-03-30	Korrigert utgave, sendt til partnere. Fortrolig til styremøte 2017-04-03
1.1	2017-05-31	Nummerert og signert utgave

SINTEF Byggforsk

Postadresse:
Postboks 124 Blindern
0314 OsloSentralbord: 22965555
Telefaks: 22699438Foretaksregister:
NO 948007029 MVA

Rapport

Ventilasjonsbehov i tidlig avgassingsfase

Bakgrunn og faglig begrunnelse.

EMNEORD:Ventilasjon;
Forskriftskrav;
Behovsstyring;
Emisjoner**VERSJON**

1

DATO

2017-05-31

FORFATTER(E)

Sverre Bjørn Holøs, Merethe Lind, Aileen Yang, Mads Mysen

PROSJEKTNR

102012820

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:

34+vedlegg

SAMMENDRAG

I prosjektet BEST VENT er det sett nærmere på dagens formulering i Klimaveiledning 444 om full døgnkontinuerlig ventilasjon i ett år for nybygg og rehabiliterte bygg. Det har skjedd to viktig endringer siden anbefalingen kom for rundt 30 år siden: i) strengere krav til bruk av lavemitterende materialer og ii) behovsstyring av luftmengdene. Denne litteraturstudien har hatt som mål å foreslå en revidert formulering basert på en gjennomgang av studier som belyser emisjoner i tidlig avgassingsfase, hvilken effekt økt ventilasjon har på avgassingshastighet og hvor lang tid det tar før nivåene er på et akseptabelt nivå. I skoler og kontorbygg er det stor variasjon i ventilasjonsbehovet, og man kan oppnå store besparelser ved å senke luftmengdene i rom som ikke er i bruk. De gjennomgåtte publikasjonene gir ikke grunnlag for å anta at minimumsventilasjon utenom bygningens driftstid større enn $2,5 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ er nødvendig for at primæremisjoner fra materialer skal avta raskt. Dette bør opprettholdes i 6 måneder etter ferdig overflatebehandling.

Det er behov for videre arbeid for å avklare hvilke luftmengder som er optimale for å øke emisjonsraten samtidig som konsentrasjonene tynnes ut i tilstrekkelig grad, og hvordan dette kan løses på best mulig måte med behovstyrt ventilasjon.

UTARBEIDET AV

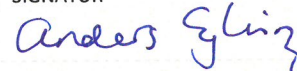
Sverre B. Holøs

SIGNATUR**KONTROLLERT AV**

Mads Mysen

SIGNATUR**GODKJENT AV**

Anders Fylling

SIGNATUR**RAPPORTNR**

2017:00034

ISBN

978-82-14-06710-1

GRADERING

Åpen

GRADERING DENNE SIDE

Åpen

Innholdsfortegnelse

1	Introduksjon.....	4
1.1	BEST VENT	4
1.2	Dagens anbefalinger	4
1.3	Endringer siden dagens anbefaling ble innført.....	5
1.4	Luftmengder i behovsstyrte ventilasjonsanlegg i yrkesbygninger.....	5
1.5	Hva er full ventilasjon?.....	6
1.6	Hva er emisjoner og hvilke krav stilles?	6
1.7	Forskerspørsmål og avgrensninger	7
2	Metodikk	7
2.1	Litteratursøk.....	7
2.2	Spesielt viktige kilder med litteraturreferanser	7
2.3	Begrensninger	8
3	Resultater	8
3.1	Utvalgte kilder.....	8
3.2	Resymé av utvalgte studier	10
4	Diskusjon	21
4.1	Hvordan påvirker ventilasjonen emisjonsrate og forurensingsnivå?	22
4.2	Hvordan samsvarer beregnede og virkelig konsentrasjonsnivåer?	23
4.3	Hvordan avtar konsentrasjonsnivå over tid?	24
4.4	Er det vitenskapelig grunnlag for ekstra krav til ventilasjon i tidlig avgassingsfase og hva er i så fall ventilasjonsbehovet?	27
4.5	Hva mangler av kunnskap for å bedre fastsette ventilasjonsbehov og tidperiode?	28
5	Foreløpig anbefaling	29
6	Litteraturliste	30

BILAG/VEDLEGG

1 Introduksjon

Flere tusen forskjellige kjemiske forbindelser kan finnes i større konsentrasjoner i inneluften enn i friskluften som tilføres. Forbindelsene kommer fra byggematerialer, møbler og annet inventar samt mennesker og prosesser (Salthammer and Uhde, 2009). I store nok konsentrasjoner kan disse forbindelsene medføre alt fra lett irritasjon og ubehagelig lukt til alvorlige helseproblemer (SINTEF Byggforsk, 2012b). Flere studier konkluderer med at ventilasjon bedrer helse, trivsel og produktivitet (Sundell et al., 2011). Inneklimaforhold påvirker prestasjonsnivået og trivsel på skoler (Mysen et al., 2012). Det er derfor viktig å forebygge og utbedre risikoforhold (Folkehelseinstitutt, 2015). Klimaveiledning 444 (Arbeidstilsynet, 2006) anbefaler full døgkontinuerlig ventilasjon et helt år etter bygging eller større rehabiliteringer, for å ventilere bort emisjoner fra byggematerialene. Det er uklart om dette kravet etterleves i særlig grad, og det kan anføres noen argumenter mot en slik praksis. For behovsstyrte ventilasjonsanlegg er det særlig behov for en innkjøringsfase under normale driftsbetingelser for å kontrollere funksjonen med samtidig drift av samvirkende anlegg (kjøle- og varmeanlegg) og finne og rette feil så tidlig som mulig (NS-EN 12599:2012, N.A.). Videre utføres rehabiliteringer i mange yrkesbygninger relativt hyppig, slik at energibehovet gjennom livsløpet vil øke merkbart ved full døgkontinuerlig ventilasjon et år etter hver rehabilitering. Realismen i at ventilasjonen reguleres ned etter ett års drift kan nok også diskuteres.

Det er derfor ønskelig å undersøke om anbefalingen om full døgkontinuerlig ventilasjon i et år er hensiktsmessig for å beskytte luftkvalitet og helse (SINTEF Byggforsk, 2012a). Med behovsstyrte anlegg finnes det flere alternative tiltak som kan redusere påvirkningen fra materialer uten de ulempene som dagens anbefaling medfører, og disse mulighetene diskuteres i lys av studier som fokuserer på emisjon fra byggematerialer, møbler og utstyr i tidlig avgassingsfase. Enkelte av disse studiene har også sett på hvor lang tid det tar før emisjonene avtar og eventuelt stabiliseres. Disse arbeidene sees det nærmere på i denne litteraturstudien. Målet er å kartlegge om det er nødvendig å anbefale full døgkontinuerlig ventilasjon i ett år, eller om det er mulig med en annen behovsstyrt ventilasjonsstrategi.

1.1 BEST VENT

Prosjektet Best Vent tar sikte på å få best mulig utnyttelse av ventilasjonsluft ved hjelp av behovsstyring av ventilasjonen. Prosjektet omfatter litteraturstudier, feltforsøk og feltstudier for å besvare de aktuelle spørsmålene, og har som målsetning å gi anbefalinger til relevante myndigheter om hvilke krav og anbefalinger som stilles.

1.2 Dagens anbefalinger

I følge *Veiledning om Klima og luftkvalitet på arbeidsplassen* (Arbeidstilsynet, 2006) vil nye materialer og nymalte flater gi sterkest avdamping. Derfor anbefales det at bygningen har full ventilasjon hele døgnet det første året. Videre anbefales det at det gjennomføres utlufting i to til tre uker før bygningen tas i bruk, gjerne med høy lufttemperatur. Dersom man ser tilbake på tidligere byggeforskrifter oppdager man at denne anbefalingen kom allerede i 1987. Annen utgave av *Veiledning til Byggeforskrift 1987* anbefalte at "det første bruksåret bør ventilasjonsanlegget (...) gå døgkontinuerlig med full kapasitet" (Statens Bygningstekniske etat 1990). Ordlyden i veiledningen er altså nokså lik dagens anbefaling fra Arbeidstilsynet, til tross for at det har skjedd endringer i byggematerialer, lufttetthet og ventilasjonsløsninger siden 1987. Dagens veiledning til TEK (Direktoratet for Byggkvalitet, 2016) er mer knapp i sin anbefaling (§13-1 bokstav g): "Materialer som kan gi avgassing over lengre tid, bør unngås. For slike produkter bør en etterspørre dokumentasjon for så å velge det mest lavemitterende produktet. Det er nødvendig at materialene gis tilstrekkelig tid til avgassing før bygningen

tas i bruk." Og forskriftsteksten (§13-1 g) stiller et tydelig krav til byggematerialer: "Materialer og produkter skal ha egenskaper som gir lav eller ingen forurensning til inneluften."

Folkehelseinstituttets *Anbefalte faglige normer for inneklima* (Folkehelseinstituttet 2015) anbefaler at lokalene rengjøres og står ubenyttet i en periode før bruk ved oppføring av nybygg eller oppussingsarbeid. Videre anbefales at man i hvert fall lar det tørke en til to uker etter oppussing og maling av lokaler i skoler og barnehager.

1.3 Endringer siden dagens anbefaling ble innført

Det har skjedd en rekke endringer de siste tiårene som gjør at man bør vurdere anbefalingen om full døgkontinuerlig ventilasjon i ett år på nytt. Det har skjedd betydelige forbedringer av produkter, og det stilles også krav til bruk av dokumentert lav-emitterende produkter. Moderne malinger, lakker og annen overflatebehandling gir lavere emisjoner enn tidligere, og dagens materialer antas å ha et kortere emisjonsforløp. Disse argumentene kan tale for at det er behov for en ventilasjonsstrategi med mindre luftmengder og/eller kortere tidsrom i nybygg eller rehabiliterte bygg.

Det stilles stadig strengere krav til bygningers energibruk, noe som blant annet har ført til bedre tetthet av bygningskonstruksjonen. Dette bidrar til mindre naturlig ventilasjon gjennom infiltrasjon, og øker avhengigheten av tilsiktet ventilasjon – som regel i form av balansert, mekanisk ventilasjon for å sikre luftkvalitet. Samtidig vil innelufta kunne tilføres mindre avgasser fra materialer som er bygget inn i ytterkonstruksjonen når innemiljøet tilføres mindre luft gjennom ytterkonstruksjonene.

I følge Fanger (2006) er innføring av nye materialer, spesielt polymerer, en faktor som kan bidra til dårligere luftkvalitet. I tillegg er det stadig mer bruk av elektronisk utstyr som også kan bidra med avgassing. Til tross for stadig større fokus på valg av lav-emitterende materialer, må det med andre ord sørges for at ikke dagens krav til bygningers energibruk ikke forårsaker et dårligere inneklima.

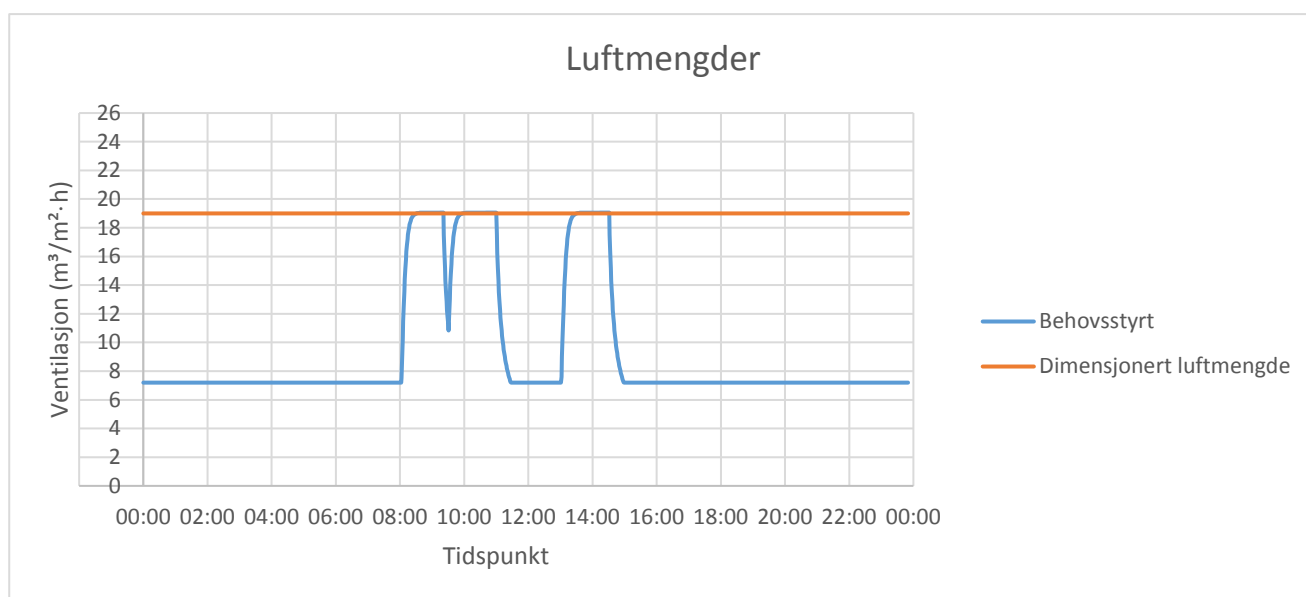
Full døgkontinuerlig ventilasjon i ett år ble anbefalt i en tid da det var vanlig med anlegg som hadde konstante luftmengder (CAV). For å nå dagens krav til bygningers energibruk er det nærmest en forutsetning å ha anlegg med behovsstyrt ventilasjon (DCV), noe som gjør det mulig å variere luftmengdene etter behov. Dette åpner for andre løsninger enn full døgkontinuerlig ventilasjon i ett år for nybygg eller rehabiliterte bygg.

1.4 Luftmengder i behovsstyrte ventilasjonsanlegg i yrkesbygninger

Et behovsstyrt ventilasjonsanlegg er utformet slik at luftmengdene kan styres etter behov. Dette muliggjør både energisparing og økt sikkerhet for et forsvarlig inneklima. Energisparing ved å senke luftmengdene når det er færre personer tilstede, og økt sikkerhet for forsvarlig inneklima ved å dimensjonere for intensiv bruk. Dersom et slikt ventilasjonsprinsipp skal være hensiktsmessig, forutsettes det at behovet varierer betydelig over tid og at grunnventilasjonen settes relativt lavt i forhold til ventilasjonsbehovet ved normal bruk. Det er tilfellet i skoler og mange andre yrkesbygninger, som har varierende personbelastning.

Felles kravspesifikasjon for skoleanlegg i Oslo kommune (Utdanningsetaten, 2012) angir at alle rom skal ha en grunnventilasjon på minimum $7,2 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$. Ventilasjonsanlegg må dimensjoneres til å kunne gi

tilstrekkelig friskluft i forhold til maksimalt samtidig behov. Figur 1 under viser et eksempel på ventilasjonsstrategi over ett døgn i et klasserom med behovsstyring. Rommet har et areal på 60 m² og romhøyde på 3 meter. Rommet er dimensjonert for 30 personer og luftmengdene styres etter CO₂-nivå. Settpunkt for maksimal CO₂-konsentrasjon er satt til 800 ppm. I perioden mellom klokken 08:00 og 15:00 vil luftmengdene økes for å dekke behovet til personene i klasserommet. Ved maksimal samtidig bruk gir dette en luftmengde på 19 m³/(h*m²), noe som tilsvarer en luftveksling på 7 h⁻¹. Når rommet ikke er i bruk, senkes luftmengdene til 7,2 m³/(h*m²), og dermed reduseres energibruken til ventilasjon når klasserommet er tomt. Denne grunnventilasjonen alene gir en luftveksling på 2,7 h⁻¹.



Figur 1 - Luftmengder ved behovsstyring

1.5 Hva er full ventilasjon?

Begrepet "full ventilasjon" er nokså uproblematisk ved mekaniske ventilasjonsanlegg for konstant luftstrøm (CAV): anleggene kjøres ved dimensjonerende luftmengde (men det kan antas at "forsert ventilasjon" fra kjøkkenavtrekk, sanitærrom, etc. ikke inngår). Behovsstyrte anlegg kan derimot dimensjoneres for redusert samtidighet. Hvis alle rom skal få "full luftmengde" også når de ikke er i bruk, vil det i praksis redusere "full luftmengde" til typisk 70 % av luftbehovet ved maksimal brukerbelastning. I eksempelet over, der man har valgt å dimensjonere for full samtidig bruk, vil dette gi kontinuerlig luftveksling på 7 h⁻¹, mens et tilsvarende bygg dimensjonert for lavere samtidighet ville fått lavere luftveksling. I andre bygninger er luftmengdene i ventilasjonsanlegg dimensjonert med tanke på kjølebehov. Kontinuerlig bruk av slike luftmengder kan gi utfordringer med tørr luft m.m. i vintersituasjon, og et høyt energibehov.

1.6 Hva er emisjoner og hvilke krav stilles?

Emisjon er avgivelse av stoffer fra en materialoverflate til lufta. Mange stoffer som kan avgis fra byggematerialer er påvist eller mistenkt for å kunne være helseskadelige eller plagsomme, alene og i kombinasjon med andre stoffer, men det har vist seg vanskelig å komme fram til enighet om hvilke nivåer som kan anses som trygge, og for mange stoffer er usikkerheten om helseeffekter svært stor.

1.7 Forskerspørsmål og avgrensninger

Følgende spørsmål blir forsøkt belyst i denne rapporten:

- Hva vet vi om emisjoner i tidlig avgassingsfase?
- Hvordan avtar emisjonshastighet emisjonsraten over tid?
- Hvordan påvirker ventilasjonen emisjonshastighet emisjonsraten og forurensingsnivå?
- Klarer vi å beregne riktig konsentrasjonsnivå basert på målte emisjonsverdier fra materialer og ventilasjonsluftmengder?
- Er det vitenskapelig grunnlag for ekstra krav til ventilasjon i tidlig avgassingsfase?
- Hvor mye ventilasjon er det i så fall behov for, og i hvor lang tid?
- Hvis det ikke er grunnlag å avklare behovet for ventilasjon i tidlig avgassingsfase, hva mangler av kunnskap for å fastsette dette ventilasjonsbehovet?

2 Metodikk

Grunnlaget for denne rapporten er litteraturstudier, og dette vil bli fulgt opp med egne målinger gjennom BEST VENT prosjektet. Det er sett på forurensninger i gassfase, i de fleste tilfeller avgrenset til flyktige organiske forbindelser (VOC), med spesiell fokus på endringer av den samlede konsentrasjonen av flyktige organiske forbindelser (TVOC). I noen studier er også formaldehyd og ammoniakk omtalt. Det er ikke søkt etter studier av forurensning i form av partikler.

Ventilasjonsbehov som oppstår på grunn av industrielle eller lignende prosesser som gir sterk lokal forurensning er ikke omfattet, disse forutsettes løst gjennom kildekontroll, punktavsug eller innkapsling

2.1 Litteratursøk

Det er utført litteratursøk i databasene SCOPUS (Elsevier B.V.) og Web of Science (Thompson Scientific Ltd) for vitenskapelig litteratur, samt Airbase (Air Infiltration and Ventilation Center) som også dekker en rekke relevante "grå" publikasjoner (Technical papers, position papers, kunnskapssammenstillinger, etc.).

Det har vært søkt etter undersøkelser fra reelle bygninger som har målt utvikling av forurensninger i innelufta over tid, der man også har gjort målinger eller estimerer av luftskifte i bygningene. Dette har vært prioritert for å avklare om undersøkelser i reelle bygg er tilstrekkelig til å svare på problemstillingen. Laboratorie- og kammerundersøkelser og artikler om modellering av flyktig forbindelser i lufta er i noen grad tatt med for å belyse resultatene, men det er ikke utført systematisk søk i denne litteraturen. I tillegg er det tatt med resultater fra enkelte større tverrsnittsundersøkelser der et større antall bygninger av ulik alder er målt.

2.2 Spesielt viktige kilder med litteraturreferanser

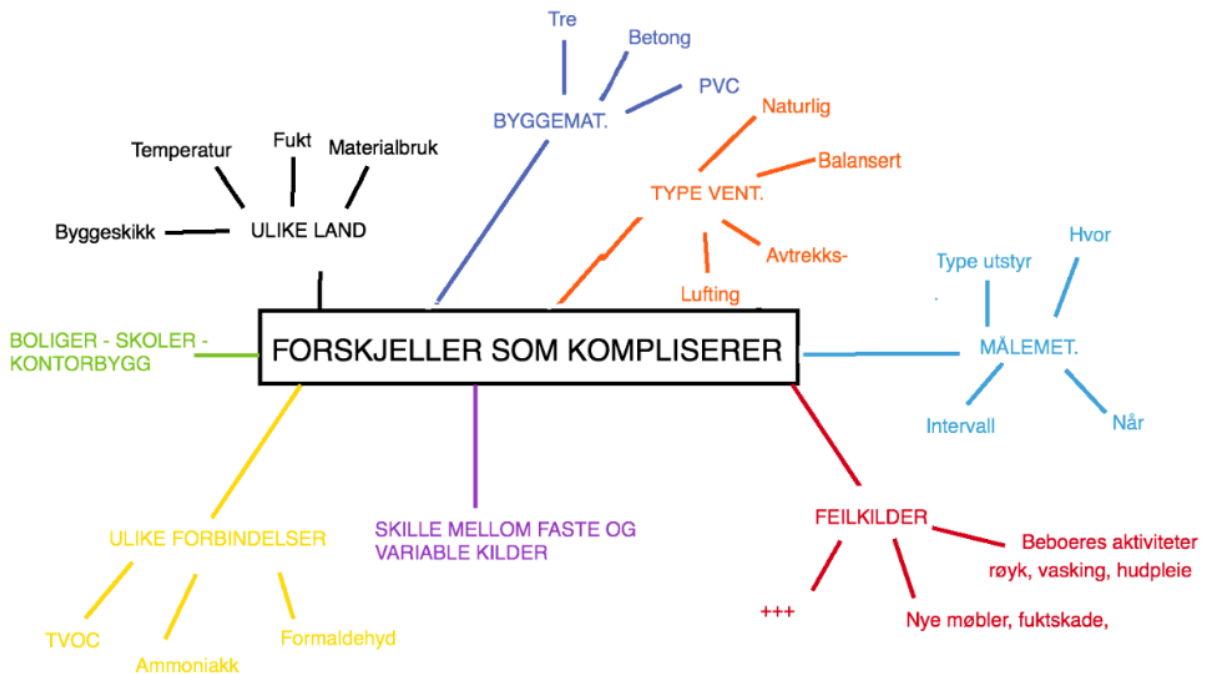
I tilknytning til veiledning 444 er et notat fra overlege i Arbeidstilsynet, Dr. Jan Vilhelm Bakke gjennomgått. Dette notatet gir en bakgrunn for kravene og anbefalingene i dette dokumentet med litteraturreferanser som er gjennomgått. Også faglige normer for inneklimate (Folkehelseinstituttet 2015) har gitt en rekke referanser som bakgrunn for sine anbefalinger.

2.3 Begrensninger

Det er kun utarbeidet sammendrag for de publikasjonene som tilfredsstill kriteriene i metodekapitlet, altså feltstudier der det er undersøkt endring i konsentrasjon og emisjon av ulike forbindelser i inneluften, samtidig som det er målt luftmengder eller luftveksling. Litteratursøket er ikke uttømmende, men vi vurderer at det oppsummerer den mest relevante litteraturen som var tilgjengelig da det ble utført.

3 Resultater

Det ble funnet store forskjeller mellom de ulike feltstudiene som gjorde det vanskelig å sammenligne resultatene og bruke disse til å gi en ny anbefaling om ventilasjonsstrategi det første året. Figur 2 under gir en oversikt over disse forskjellene. Disse forskjellene kompliserer, men kan også belyse at det er viktig å ta hensyn til flere faktorer når man skal sikre et godt inneklime det første året i et nybygg eller rehabilitert bygg.



Figur 2 – Ulike faktorer i feltundersøkelser som kan påvirke resultatene

3.1 Utvalgte kilder

Tabell 1 gir en oversikt over de mest relevante feltstudiene og en oppsummering av resultatene.

Tabell 1. Undersøkelser av utvikling i forurensning over tid

Referanse og land	Type bygning	Undersøkte enheter	Valg av materialer	Tid undersøkt	Informasjon om luftvekslinger (h^{-1})	Type ventilasjon
Brown (2002), Australia	Bolig	1	Svært lav-emitterende	35 uker	Minimum 0,35	Mekanisk
Järnström et al (2006, 2007, 2008) Finland	Boligblokker	8	Lav-emitterende materialer	Ett år	Varierer, Gj.snitt 1,0	Mekanisk i to leiligheter, resten naturlig
Derbez et al (2013, 2014) Frankrike	Nybygg Energi-effektive boliger	7, 2 fulgt opp		Tre år	0,2-1,4	Balansert mekanisk – Tre trinn
Tuomainen et al (2001, 2002, 2003)	Leilighetsblokker. Case-bygg og kontrollbygg	2	Case-bygg: Lav-emitterende. Kontrollbygg: Konvensjonell	Over tre år	Case-bygg: 1,7 Kontrollbygg: 0,8	Case-bygg: Balansert mekanisk Kontrollbygg: Mekanisk avtrekk
Hodgson (2004)	Flyttbare klasserom	4	Case-rom: Lav-emitterende. Kontrollrom: Konvensjonell	27 uker	1,49-8,2	Mekanisk. To ulike systemer
(Kaunelienė, Prasauskas et al. 2016)	Enebolig	1		Ukentlig i 5 uker	0,5	Balansert mekanisk
(Poppendiek, Ng et al. 2015)	Lavenergi bolig	1	Lav-emitterende	Månedlige målinger i 15 måneder	0,13-0,17	Balansert mekanisk
(Shin and Jo, 2013) Sør-Korea	Leiligheter i høyblokk	25		Målinger hver måned over 2 år	0,34-0,59	Naturlig
(Crump et al., 1997) Storbritannia	Enebolig	4		2 år	Gjennomsnittlig 0.3-0,5	2 balansert mekanisk, 2 naturlig

3.2 Resymé av utvalgte studier

3.2.1 Järnström et al. (2008)

I en finsk studie (Järnström, Saarela, Kalliokoski and A.-L. Pasanen, 2008) av åtte nybygde boliger er det målt VOC, formaldehyd og ammoniakk rett etter ferdigstillelse av bygget, samt etter seks og tolv måneder. Lav-emitterende materiale ble brukt i alle byggene, det vil si materialer som hadde gått gjennom laboratorietester og ble M1-klassifisert. Det ble gjort målinger både i romlufta, og av spesifikk emisjonsrate fra vegg, tak og gulv, ved hjelp av FLEC-kammer. Forventet konsentrasjon i lufta fra disse materialemisjonene ble så beregnet ut fra spesifikk emisjonsrate, luftutveksling og forholdet mellom materialets overflateareal og volum i rommet.

Ventilasjon og luftmengder

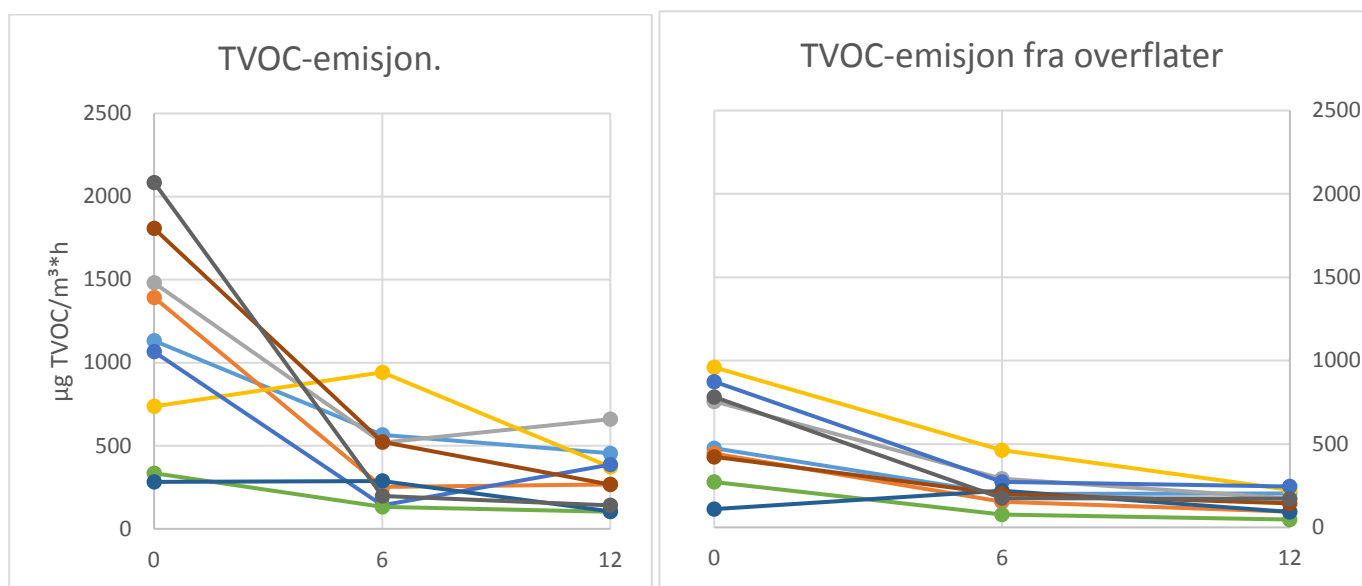
To av leilighetene hadde balansert ventilasjon, mens resten hadde avtrekksventilasjon. Leilighetene med balansert ventilasjon hadde en luftveksling mellom 0,73 og 1,02 h⁻¹. Dette tilsvarer en luftmengde mellom 1,8 og 2,5 m³/(h*m²). De resterende leilighetene hadde en luftmengde mellom 2,2 og 4,3 m³/(h*m²). Korrelasjonen mellom grad av luftveksling og konsentrasjon av luftbåren forurensning viste seg å være ustabil.

Faktorer som ble antatt å påvirke

Konsentrasjonen av de ulike forbindelsene ble påvirket av type ventilasjon, type gulvbelegg, vegger og tak overflater, årstid, relativ fuktighet og temperatur innendørs samt beboelse. TVOC konsentrasjonen ble mest påvirket av parameteren ventilasjon, hvor leilighetene med balansert ventilasjon hadde signifikant lavere TVOC konsentrasjon enn leilighetene med kun avtrekksventilasjon. I disse leilighetene var også temperaturen lavere. Denne sammenhengen ble ikke funnet for formaldehyd og ammoniakk. Relativ fuktighet (RH) påvirket konsentrasjonene av formaldehyd og ammoniakk mest, og høyere konsentrasjoner ble målt når RH var over 50%.

TVOC

Konsentrasjonen av TVOC var jevnt over grensen 600 µg/m³ i klasse S3 den finske klassifiseringen ved ferdigstilling. Etter seks måneder var konsentrasjonen sunket til under 600 µg/m³, og for enkelte leiligheter var konsentrasjonen under 200 µg/m³ (klasse S1). Det var ingen signifikant endring i TVOC-konsentrasjon mellom seks og tolv måneder for noen av leilighetene. Altså var det fortsatt leiligheter som hadde konsentrasjoner av TVOC som var høyere enn den finske klasse S1 grenseverdien på 200 µg/m³.



Figur 3. Estimerte emisjonsrater basert på målinger i rommet (venstre) og emisjon fra gulv, vegg og tak (høyre) i 9 leiligheter; 0, 6 og 12 måneder etter innflytting. Tall for konsentrasjon og luftskifte hentet fra Järnström et al. (2008)

Individuelle VOC-er

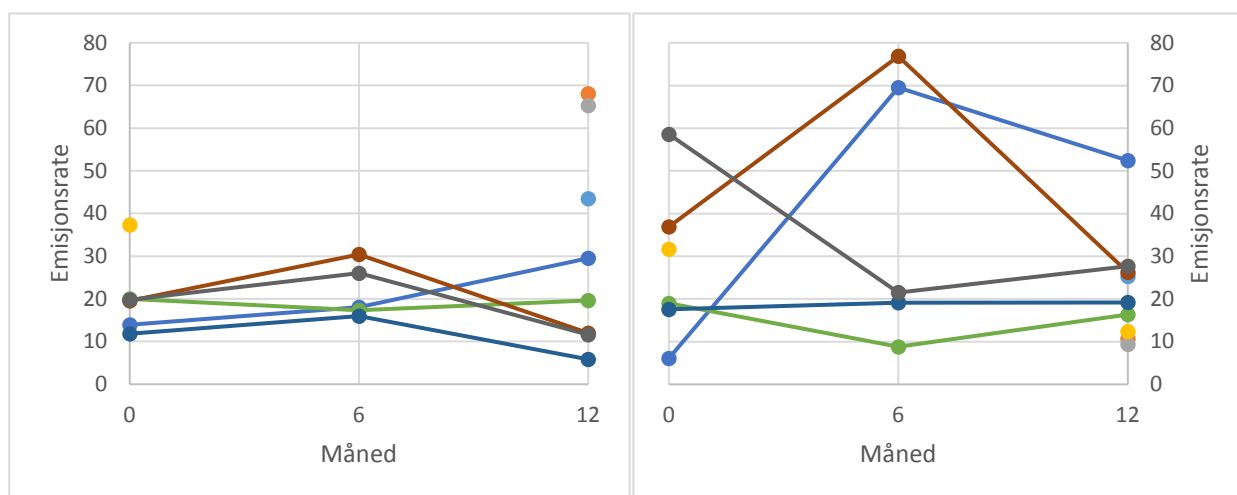
Målinger av individuelle VOC-er viste at konsentrasjon hadde størst nedgang i løpet av de første seks månedene. Gjennomsnittlig konsentrasjon var da som regel under $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Undersøkelsen viste også at det kom andre typer VOC inn i bygget etter innflytning i leilighetene.

Ammoniakk

Konsentrasjonen av ammoniakk kunne komme over $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i enkelte leiligheter. Ammoniakkkonsentrasjonen korrelerte med relativ fuktighet gjennom årstidene. Om sommeren (over 50% RH) var konsentrasjonen mellom $60\text{-}90 \mu\text{g}/\text{m}^3$, noe som er over kravet i S3-klassen i den finske klassifiseringen. Om vinteren var konsentrasjonen lavere ($20\text{-}50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ - RH under 40%).

Formaldehyd

Konsentrasjonen av formaldehyd var mellom 13 og $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i de nyoppførte bygningene. I løpet av det første året, var ikke konsentrasjonen signifikant over grensen på $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ifølge S2-klassen i den finske klassifiseringen. I noen tilfeller var det her betydelig lavere konsentrasjoner i lufta enn man skulle vente ut fra målingene fra materialer.



Figur 4. Estimerte emisjonsrater basert på målinger i rommet (venstre) og emisjon fra gulv, vegg og tak (høyre) i 9 leiligheter; 0, 6 og 12 måneder etter innflytting. Tall for konsentrasjon og luftskifte hentet fra Järnström et al. (2008)

3.2.2 Derbez et al. (2014)

I en nyere studie gjort i Frankrike av Derbez et al. (2014) ble luftkvaliteten i syv nybygg undersøkt over ett år. Det ble totalt utført tre målinger i løpet av det første året, men målingene ble ikke utført på samme tidspunkt eller med samme tidsintervall. Deretter ble det utført en oppfølgingsstudie (Derbez, Berthineau, Cochet, Pignon, et al., 2014), der to av de syv boligene (bygg B og bygg E) ble fulgt opp over tre år. Første måling etter innflytting ble utført etter én måned for bygg B, og etter to måneder for bygg E. Innendørs temperatur og fuktighet ble også målt.

Ventilasjon og luftmengder

Alle bygningene var energieffektive boliger med mekanisk ventilasjon. Ventilasjonsanleggene hadde variable luftmengder og kunne styres i tre trinn; lav, medium og høy. Luftvekslinger i seks boliger varierte mellom $0,2\text{-}1,4 \text{ h}^{-1}$ når ventilasjonsanlegget var slått på. Luftveksling i bygg B var målt til mellom $0,2\text{-}1,2 \text{ h}^{-1}$. I bygg E ble det målt lavere luftveksling, mellom $0,2\text{-}0,6 \text{ h}^{-1}$.

Temperatur og fukt i bolig B og E

Innendørs temperatur var jevnt over høyere i bygg B enn i bygg E. Gjennomsnittstemperatur var høyere enn 23°C på sommeren og lavere enn 22°C på vinteren i bygg B. I bygg E var de tilsvarende temperaturene høyere enn 21°C og lavere enn 19°C. Absolutt fuktighet var høyere enn 8 g vanndamp per kg tørr luft på sommeren, og lavere enn dette på vinteren. Overoppheting ble ofte observert på sommeren for bygg B. Dette skjedde bare av og til for bygg E i løpet av sommeren 2010.

Individuelle VOC-er og TVOC

Resultatene fra målingene viste store variasjoner i TVOC-nivået i de ulike byggene. Etter innflytting hadde TVOC-konsentrasjonen sunket betraktelig (>60%) i de fleste byggene utenom bygg A. Høyere konsentrasjoner av individuelle VOC-er og TVOC ble også målt i perioden før innflytting, spesielt i byggene hvor ventilasjonssystemet var slått av. Den høyeste median konsentrasjonen av TVOC ble målt før innflytting i bygg E, og oppfølgingsmålingene viste at median konsentrasjonen hadde minket med over 80% etter 6 måneder, og over 90% etter 3 år.

Konsentrasjonen av formaldehyd var relativt stabil over tre år for bygningene i oppfølgingsstudien. Resultatene viste gradvis nedgang i konsentrasjonen av alifatiske hydrokarboner. De fleste VOC-forbindelsene hadde nokså stabil konsentrasjon, men enkelte stoffer viste sporadiske toppe gjennom måleperioden. Dette gjaldt blant annet styrene, benzen og alle typer terpener.

3.2.3 Brown (2002)

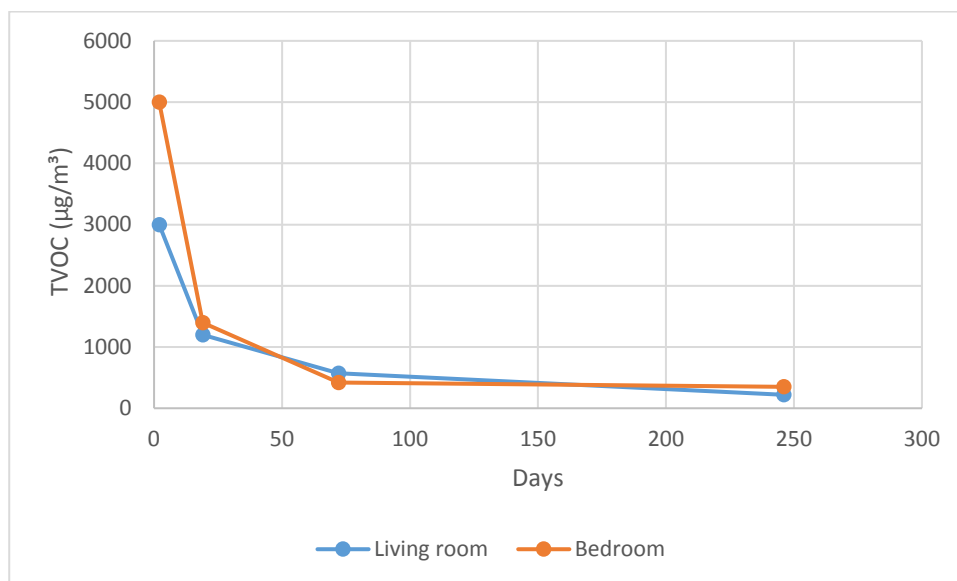
Studien i Melbourne, Australia, undersøkte både eksisterende bygninger og nybygg (Brown, 2002). Oppfølgingsmålinger av VOC og formaldehyd ble utført i nybygget (case A) 35 uker etter ferdigstillelse. Case A var en to-etasjers bolig på 190 m² og svært lavemitterende bygningsmaterialer ("zero-VOC") ble benyttet.

Ventilasjon og luftmengder

Bygget var et såkalt "healthy house", noe som innebar tett bygningskonstruksjon og mekanisk ventilasjon med luftveksling på 0,35 h⁻¹. Total luftveksling inkludert infiltrasjon ble antatt å være 0,5 h⁻¹.

TVOC

I løpet av de første 20 dagene sank konsentrasjonen av TVOC raskt (>50%). Etter rundt 35 uker var nivået på TVOC omtrent det samme som det som ble målt i etablerte bygninger (rundt 200 µg/m³). TVOC-konsentrasjonen var ifølge Brown mye lavere enn det som er funnet i tidligere studier fra andre land.



Figur 5. TVOC-konsentrasjoner, utvikling over tid. Data hentet fra Brown (2002)

Individuelle VOC-er

Resultatene viste at konsentrasjonen av VOC var høy ved ferdigstillelse, og kravene til maksimal konsentrasjon i de australske retningslinjene ble ikke oppnådd før etter 10 uker.

Formaldehyd

Formaldehyd-konsentrasjonen var høy etter ferdigstillelse av bygget, rett under $130 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Konsentrasjonen av formaldehyd hadde en rask nedgang i løpet av de første 20 dagene, men hadde deretter en saktere nedgang. Det antas derfor at forurensingen av formaldehyd vil fortsette i mange år.

3.2.4 Tuomainen et al. (2001, 2003)

En annen studie i Finland foretok målinger av VOC i to nye leilighetsblokker (Tuomainen et al., 2001). Det ene bygget var et case-bygg som var tilrettelagt for mennesker med luftveisproblemer, der det ble benyttet lav-emitterende bygningsmaterialer. Det andre bygget var et kontrollbygg, som var bygget med konvensjonelle materialer. Konsentrasjon av ulike gasser i inneluften ble utført etter ferdigstillelse, etter en uke før innflytting og etter fem måneder. Oppfølgingsmålinger ble foretatt etter ett, to og tre år (Tuomainen et al., 2003).

Ventilasjon og luftmengder

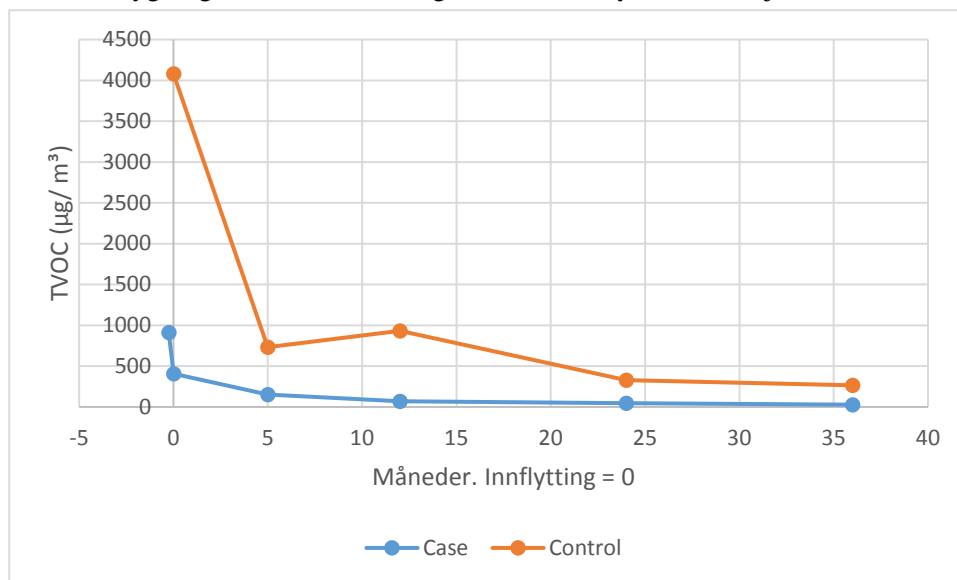
Case-bygningen hadde balansert ventilasjon med dimensjonerende luftmengder som gav en luftveksling på $1,7 \text{ h}^{-1}$. Kontrollbygningen hadde kun avtrekksventilasjon med dimensjonerende luftmengder som ga en luftveksling på $0,8 \text{ h}^{-1}$.

Andre faktorer som ble antatt å påvirke

Det var generelt lavere konsentrasjon av forurensninger i case-bygningen, hovedsakelig på grunn av bruk av lav-emitterende materialer og mer ventilasjon.

TVOC

Det ble kjørt høy ventilasjonen i case-bygningen i en uke etter ferdigstillelse. I denne perioden var bygget ubebodd. Målingene viste at TVOC-nivåene var redusert med 50% etter en uke. De finske grenseverdiene ($< 200 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ble oppnådd allerede etter fem måneder. Nivåene av TVOC hadde en synkende tendens i oppfølgingsperioden over tre år. Det ble observert en raskere nedgang i TVOC-nivåene i case-bygningen enn i kontrollbygningen, noe som ble begrunnet med høyere ventilasjon.



Figur 6. Utvikling i TVOC fra innflytting og framover. Gjennomsnitt av 7-12 leiligheter. Case: lavemitterende materialer, balansert ventilasjon 1,7 luftvekslinger h^{-1} . Control "normale" materialvalg, avtrekksventilasjon 0,8 luftvekslinger h^{-1} . Tall hentet fra Tuomainen et al. (2001, 2003).

Formaldehyd

Den finske grenseverdien for formaldehyd ($< 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$) var allerede oppnådd før beboerne flyttet inn i byggene. Full ventilasjon i én uke førte ikke til signifikant reduisering av formaldehyd. Konsentrasjonen av formaldehyd forble under grenseverdien gjennom hele tre års oppfølgingsperioden, men for kontrollbygget var formaldehydkonsentrasjonen høyere enn før innflytting.

Ammoniakk

Full ventilasjon i én uke i case-bygningen førte ikke til signifikant nedgang av ammoniakk- konsentrasjonen. Den finske grenseverdien var oppnådd etter fem måneder. Konsentrasjonen var ammoniakk kom under grenseverdien i den strengeste klassen i Finland etter ett år. Målingene etter tre år viste imidlertid at verdiene hadde økt over grenseverdien.

3.2.5 Tuomainen og Pirinen (2002)

Studien besto av målinger over syv måneder i to nye leilighetsblokker tilrettelagt for mennesker med luftveisproblemer (Tuomainen and Pirinen, 2002). Bare lav-emitterende bygningsmaterialer ble benyttet. Konsentrasjon av TVOC, ammoniakk og formaldehyd ble målt i seks leiligheter per bygg. Målingene ble utført før innflytting, etter tre måneder og etter syv måneder. Resultatene er presentert som gjennomsnittsverdier med standardavvik. Det ble også gjort hyppigere målinger i to av leilighetene som sto tomme de første to månedene.

Ventilasjon og luftmengder

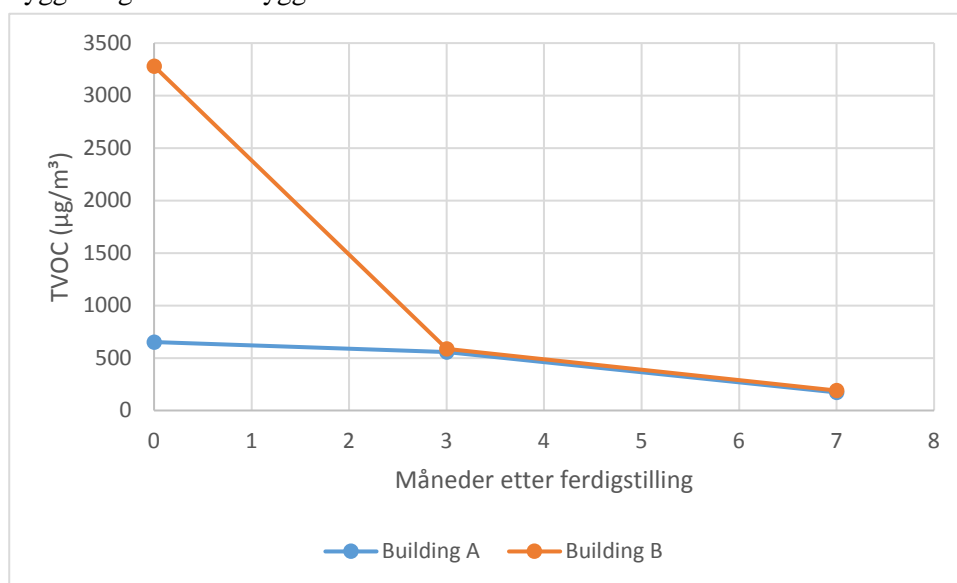
Begge bygningene hadde balansert ventilasjon. Luftmengdene varierte mellom 2,5 til 4,0 m³/(h*m²). Den vanligste luftmengden var omtrent 3,2 m³/(h*m²), noe som ga en luftveksling på omtrent 1,2 h⁻¹. Styringen av ventilasjon var ulikt for de to bygningene. Bygg A hadde automatisk styring, mens i bygg B kunne beboere manuelt styre ventilasjonen.

Andre faktorer som ble antatt å påvirke

Generelt var gjennomsnittlige verdier av TVOC, ammoniakk og formaldehyd lavere i bygg A enn i bygg B. Dette skyldtes antakeligvis bedre kontroll på fukt under bygging. I en av leilighetene så man en økning i alle parametere åtte dager etter at plastikkaminat ble lagt på badet. Nivåene sank imidlertid tilbake til utgangspunktet etter et par uker.

TVOC

Målingene viste at konsentrasjonen av TVOC var høye rett etter ferdigstilling og før innflytting. Nivåene sank raskt i løpet av de første månedene (Figur 7), og etter syv måneder var konsentrasjonen redusert med 74% for bygg A og 94% for Bygg B.



Figur 7. TVOC-konsentrasjoner 0, 3 og 7 måneder etter ferdigstilling. Gjennomsnitt av 6 leiligheter i to bygg (bygg A og bygg B). Tall hentet fra Tuomainen (2002).

Ammoniakk og formaldehyd

Konsentrasjon av både ammoniakk og formaldehyd var rundt grenseverdien i Finland på 30 µg/m³ før innflytting i bygg A, men hadde en liten økning etter tre måneder. I bygg B sank konsentrasjonen av formaldehyd etter 3 måneder og var redusert med 50% etter 7 måneder.

3.2.6 Hodgson et al. (2004)

I denne studien ble det sett på hvordan valg av lavemitterende innvendige overflater og interiør påvirker utslipp av VOC (Hodgson et al., 2004). Undersøkelsene ble gjort i fire flyttbare klasserom i California. Studien ble utført med laboratoriemålinger av materialer og sammenligning av resultatene fra etterfølgende feltstudier. Feltstudiene ble utført på to ulike skoler der et standard klasserom og et case-klasserom ble plassert ved siden av hverandre. Klasserommene var ferdigbygget sent på sommeren i 2001 og ble tatt i bruk samme høst. Første

måling ble utført før klasserommene ble tatt i bruk. Deretter ble det utført målinger etter 8 uker og etter 27 uker.

Ventilasjon og luftmengder

Hvert klasserom var utstyrt med to separate ventilasjonssystem, som ble brukt om hverandre. Dimensjonerende luftmengder i klasserommene var $25 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{person})$. Anlegget var på kontinuerlig, med noen unntak. Luftmengdemålingene ble utført kvelden før, og måling av VOC-er ble utført den påfølgende morgenen før elevene tok rommet i bruk. Luftvekslinger i de fire klasserommene varierte fra $1,49 - 8,2 \text{ h}^{-1}$ avhengig av klasserom og tidspunktet målingene ble foretatt.

Andre faktorer som ble antatt å påvirke

Det ble oppdaget feil i målingene som følge av at læreren hadde tatt med seg utstyr inn i klasserommet, og dette kunne ha ført til økt konsentrasjonen av formaldehyd. Materialene i alle klasserommene, både case-rommene og kontroll-rommene, viste seg å være bidra i liten grad til forurensninger.

Individuelle VOC-er og TVOC

Begge typer klasserom hadde lave kilder til forurensing. Det var en betydelig nedgang i emisjonsrate mellom første måling og 8 uker etter at rommene ble tatt i bruk. Som følge av bruk av materialer med lave utslipp og vesentlig høyere ventilasjon som kreves i klasserom på grunn av høyere persontetthet, var konsentrasjonen av de fleste VOC-er relativt lav. Det var målt høyere verdier av formaldehyd. Gjennomsnittlig konsentrasjon av formaldehyd var også jevnt over høyere enn de beregnede verdiene, noe som tydet på mulig tilstedeværelse av andre kilder gjennom skoledagen. Det ble konkludert med at testing av materialer i laboratorier kombinert med modellering og feltstudier viste seg å være tilstrekkelig korrekt, og at det kan brukes som utgangspunkt for å velge materialer med lav emisjon. Etter to måneder hadde det skjedd et vesentlig fall i emisjonsraten for mange av stoffene. Det var en ytterligere nedgang etter omtrent syv måneder, men nedgangen var betraktelig mindre enn de to første månedene. Forfatterne sammenlignet resultatene med tidligere undersøkelser (Hodgson et al., 2000, 2004) som var utført med lignende metode, men da utført i boliger og med luftskifte mellom $0,14 - 0,78 \text{ h}^{-1}$. Etter 2 måneder var emisjonsfaktoren for 2-butanon, heksanal, heptanal, oktanal, 2-oktenal, α -pinen og d-limonen lavere i klasserommene enn i boligene. Emisjonsfaktor for formaldehyd var noe lavere enn det som ble målt i boligene. Emisjonsfaktor for toluen var imidlertid høyere i klasserommene enn i boligene etter 2 måneder.

3.2.7 Grini and Wigenstad (2011)

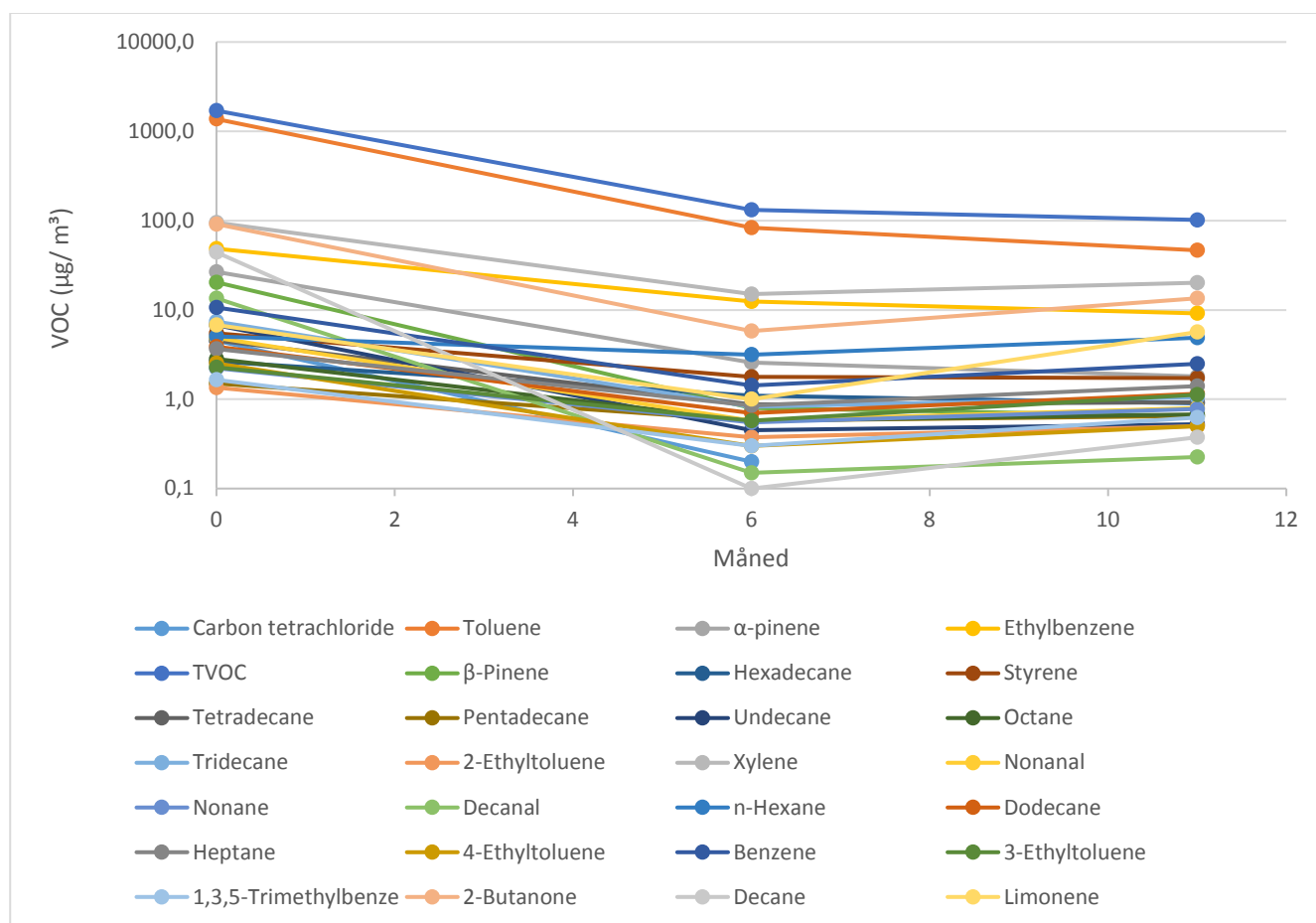
En prosjektrapport gjort av SINTEF Byggforsk i 2011 undersøkte hva som kreves for å få alle brikkene på plass ved behovstilpasset ventilasjon (Grini and Wigenstad, 2011). Rapporten viser blant annet til prosjektet "Innemiljø i skolebygg" der det ble kartlagt inneklima i åtte skoler før og etter rehabilitering. Som et ekstraprosjekt fikk man ved Tranberg skole målt total mengde av flyktige organiske forbindelser (TVOC). Skolen har prosjektert luftmengde på $1300 \text{ m}^3/\text{h}$ pr. klasserom. Ventilasjonsanlegget har sentralstyrt dataanlegg - SD-styring, og er regulert etter soner. Følere registrerer CO_2 og temperatur både på tilluft og avtrekksluft. Tranberg videregående skole ble rehabilitert i skoleåret 1994/95. Målingene ble gjort 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 og en måling etter at ventilasjonsanlegget hadde vært i drift i ca. 1,5 time. Emisjonsnivået fra målingene etter rehabilitering og etter ett års drift viste en stor reduksjon både i antall komponenter og nivået på disse når ventilasjonsanlegget hadde vært avstengt i 3 døgn. Disse målingene gjenspeilet i hovedsak emisjoner fra materialer, inventar og overflatebehandlinger da det ikke var

noen aktivitet på skolen når ventilasjonsanlegget var slått av. Resultatene fra målingene etter rehabilitering viste en reduksjon av TVOC-konsentrasjonen på over 95% etter at ventilasjonsanlegget hadde vært i drift i 1,5 time. Målingene ett år senere viser en reduksjon av TVOC-konsentrasjonen på ca. 90% etter at ventilasjonsanlegget hadde 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.

3.2.8 Lee et al. (2012)

Målinger av individuelle VOC ble foretatt i fire rom i en skole i Seoul rett etter bygging, etter 6 måneder og etter ett år (Lee et al., 2012). Konsentrasjonen av de fleste VOC-forbindelser minket drastisk i løpet av de første månedene før den stabiliserte seg etter ca. 6 måneder (Figur 8). I løpet av de første 6 månedene var TVOC i de fire rommene redusert med en faktor på mellom 7,6 og 16,4. Luftskifte ble ikke målt, men forfatterne oppgir "dårlig ventilasjon" som årsak til høye konsentrasjoner.



Figur 8. Reduksjon i TVOC og en rekke enkeltkomponenter i løpet av 6 og 12 måneder etter ferdigstilling. Data hentet fra Lee et al. (2012). Merk at skalaen til Y-aksen er logaritmisk.

Ma

3.2.9 Shin og Jo (2013)

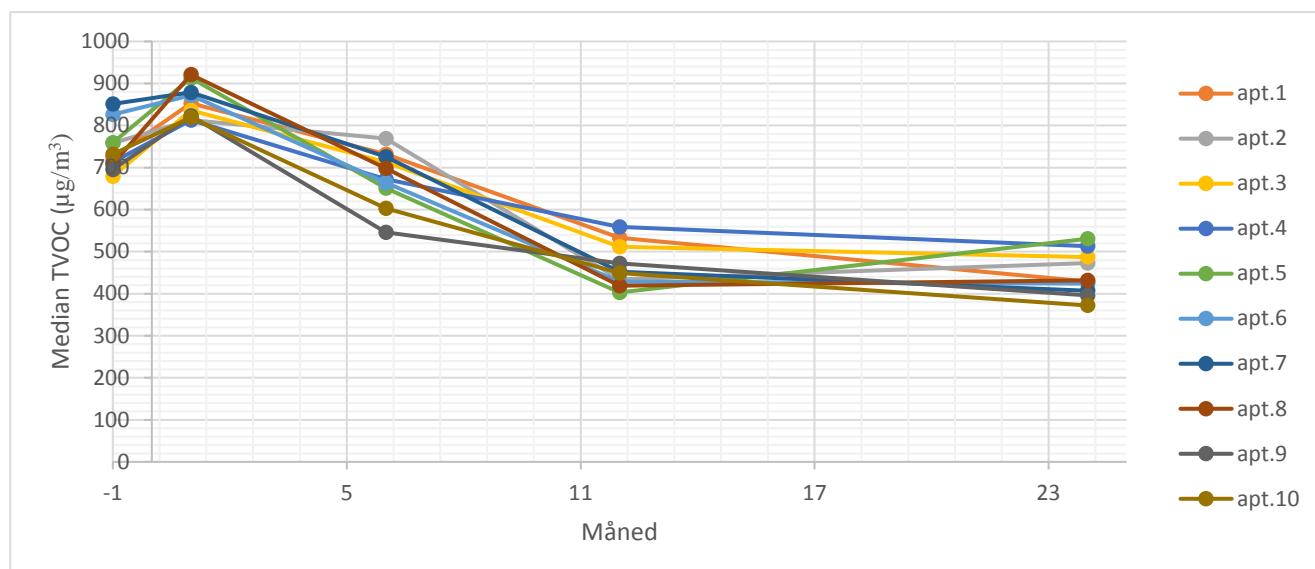
I denne studien ble det sett på konsentrasjon av VOC i nye leilighetskomplekser i Sør-Korea før og etter innflytting av beboere over en periode på 2 år. Målinger av utvalgte VOC-forbindelser ble gjentatt i 25 leiligheter hver måned etter innflytting. Det ble også foretatt VOC-målinger før innflytting i 10 leiligheter (Shin and Jo, 2014)

Ventilasjon og luftmengder

Leilighetene hadde naturlig ventilasjon, og luftveksling ble målt til å variere mellom 0,34-0,59 h⁻¹ (medianverdi).

Individuelle VOC-er og TVOC

Konsentrasjonen av TVOC etter en måned etter innflytting var høyere sammenlignet med da leilighetene var ubebodd (Figur 9). Denne økning ble tilskrevet møbler, overflatebehandling og bruk av diverse husholdningsprodukter. En gradvis nedgang i TVOC-konsentrasjon ble observert i løpet av to år, og etter ett år var median konsentrasjonen i 25 leiligheter nesten halvert. I likhet med TVOC, hadde de fleste VOC-forbindelser (33 av 40) også en gradvis nedgang i konsentrasjon, spesielt de som var assosiert med emisjoner fra bygningsmaterialer og møbler.



Figur 9 Median TVOC konsentrasjon målt i 10 leiligheter; en måned før, 1, 6, 12 og 24 måneder etter innflytting. Tall hentet fra Shin og Jo (2013).

3.2.10 Liang et al. (2014)

VOC-forbindelser ble målt i en nybygd leilighet i Beijing. Beboerne flyttet inn 20 dager etter at leilighetene var ferdig innredet, og det ble målt 10 ganger i løpet av 18 måneder.

Ventilasjon og luftmengder

Leiligheten hadde naturlig ventilasjon. Luftveksling (infiltrasjonsrate) ble målt en gang og ble estimert til å være 0,17 h⁻¹.

Individuelle VOC-er og TVOC

Konsentrasjonen av TVOC hadde en rask reduksjon i løpet av de første månedene, fra 6500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ til 531 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i løpet av 6 måneder. Målinger etter 18 måneder viste en økning av TVOC-konsentrasjonen, men i forhold til før innflytting var den blitt redusert med en faktor på 3.

Generelt hadde de fleste VOC-forbindelser en kraftig reduksjon i konsentrasjon de første månedene etter at innredning var på plass, deretter ble ulike konsentrasjonsprofiler observert for de individuelle VOC-gruppene.

Andre faktorer som ble antatt å påvirke

Konsentrasjoner av TVOC og enkelte VOC-forbindelser (alkoholer, aromater) var høyere på sommeren sammenlignet med vinteren. Det ble spekulert på om høye temperaturer innendørs (opptil 32 grader om sommeren) kunne hatt en innvirkning på emisjonsraten til bygningsmaterialene i leilighetene. Lavere infiltrasjonsrate var en annen faktor som ble antatt å ha ført til høyere VOC-konsentrasjoner.

3.2.11 Crump et al. (1997)

Konsentrasjonen av formaldehyd og VOC ble målt hver måned i 2 år i fire nybygde og ubebodde testboliger i denne studien. To boliger (T1 og T2) har bedre isolasjon og er mer lufttette enn boligene M1 og M2.

Ventilasjon og luftmengder

T-husene var energieffektive boliger med mekanisk ventilasjon med og hadde en gjennomsnittsluftveksling på 0,5 h^{-1} , mens M-husene hadde spalteventiler, og en gjennomsnittsluftveksling på 0,3 h^{-1} ble målt.

TVOC og formaldehyd

Målinger av TVOC-konsentrasjon som ble tatt i stuen til T1-huset viste en markert reduksjon i konsentrasjon de første 4 månedene etter at huset ble ferdig bygd. TVOC-nivået stabiliserte seg etter 6 måneder (fra 9700 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ til 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i løpet av 6 måneder), og en mer gradvis reduksjon av TVOC-konsentrasjon ble observert med noe fluktuasjoner i sommer månedene. Etter 16 måneder, var TVOC-nivået blitt redusert med en faktor på 48,5. Konsentrasjonsprofilen til formaldehyd var betydelig annerledes med topper i juni og september måned. Dog ble det observert en gradvis reduksjon av formaldehyd-nivået etter 2 år.

Årsgjennomsnittet av hele huset viste en større reduksjon av TVOC-konsentrasjonen av T-husene sammenlignet med M-husene fra første til andre året.

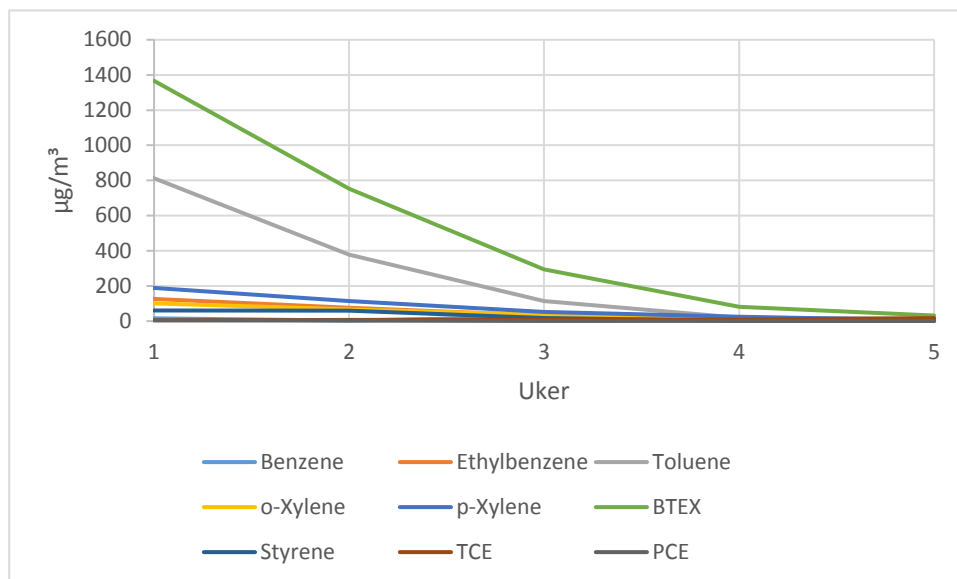
3.2.12 Noguchi et al. (2016)

Konsentrasjon av VOC ble målt i to rom (rom A og B) i en barnehage i Japan. Målingen ble tatt rett etter at bygget var ferdig og etter 3 måneder. Rom A var utstyrt med to mekaniske ventilasjonsvifter, mens rom B hadde fire mekaniske ventilasjonsvifter. Etter tre måneder, ble en ny vifte ble installert i rom A. Luftveksling for hele barnehagen ble estimert til 1,5 h^{-1} i nybygget og økt til 3,5 h^{-1} etter 3 måneder. To ulike utstyr ble brukt til å måle TVOC; PID og GC/MS.

Både konsentrasjonen av formaldehyd og TVOC var høyere i rom A enn i rom B, mest sannsynlig på grunn av mindre ventilasjon i rom A. Etter 3 måneder hvor en ekstra vifte ble installert, var TVOC-konsentrasjonen redusert med ca. 1/10 del av det som ble målt rett etter at bygget var ferdigstilt. For formaldehyd, var konsentrasjonen ble redusert med ca. 20% i rom B og ca. 30% i rom A etter 3 måneder.

3.2.13 Kauneliené et al. (2016)

Som en del av en undersøkelse av inneluftkvalitet i lavenergiboliger, ble en enebolig fulgt opp i 5 uker etter ferdigstilling og før innflytting.



Figur 10. Reduksjon i ulike VOCer i ubebodd enebolig, 0,5 luftvekslinger per time.

4 Diskusjon

Ettersom detaljkunnskap om hver enkelt VOC-forbindelse er mangelfull og fordi konsentrasjonsnivået til hvert enkelt stoff ofte er lavt, sees det ofte heller på den samlede konsentrasjonen av VOC (TVOC). I mange feltstudier foretas målinger av TVOC-konsentrasjonen for å vurdere forurensningsnivået i inneluften.

Folkehelseinstituttet har valgt å ikke gi en tallfestet normverdi for TVOC. En slik tallfestet norm finnes heller ikke i WHO (2010) sine retningslinjer. Dette begrunnes med at det faglige grunnlaget for å sette en helsebasert norm for TVOC er utilstrekkelig både for inneluft-konsentrasjoner og for avgassing fra materialer. Ifølge Folkehelseinstituttet (2015) vil en tallfestet norm kunne medføre et økt ønske om målinger som i liten grad kan brukes til å avklare årsaken til at enkeltindivider har helseplager.

I denne rapporten er *nedgangen* i konsentrasjon av TVOC blitt brukt som en indikator på hvor lenge det er nødvendig å ventilere. Dette er spesielt relevant for nybygg eller etter en større rehabiliteringer som fører til høye nivåer av VOC-konsentrasjoner i inneluft. En av årsakene er avgivelser fra primærkilder (*primæremisjon*), som er avgassing av stoffer fra stasjonære kilder, for eksempel inventar, bygningsmaterialer og overflatebehandling. I tillegg til denne kan det oppstå flyktige forbindelser gjennom nedbrytning av materialer som utsettes for høy temperatur, reaktive kjemikalier, svært høy fuktighet eller lignende. Dette kalles *sekundæremisjon*. Stoffer i luften vil kunne adsorberes i og på materialer. Dette er en reversibel prosess, og stoffene vil desorberes (avgis til luften) når konsentrasjonen i luften synker.

Emisjoner fra primærkildene vil stabilisere seg over tid, men hvor raskt det avtar i tidlig avgassingsfase vil variere. For eksempel vil en tynn overflatebehandling som inneholder flyktige forbindelser ha en svært høy emisjonsrate, mens i tykkere materialer vil stoffene diffundere langsommere mot overflatene og avgis over lengre tid. I tillegg vil faktorer som luftmengde, temperatur og relativ fuktighet påvirke emisjonsraten.

Emisjon fra materialer blir som oftest målt i laboratorium etter standardiserte metoder (Byggforsk 2012). Emisjonsfaktoren, angitt i $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$, etter 3 eller 28 dagers eksponering i kammeret er mye brukt. For at et bygg skal være definert som lavt eller svært lavt forurensende, må bygningsmaterialer oppfylle visse kriterier. Kriteriene retter seg først og fremst mot flyktige organiske forbindelser (VOC, formaldehyd) og ammoniakk. Mange produsenter av bygningsmaterialer benytter seg av Building Information Foundation (RTS) (RTS 2016) sitt system for klassifisering av emisjon til innemiljø, der klasse M1 betraktes som lavemitterende. For enkelte forbindelsesgrupper er det utarbeidet kriterier for lavemitterende materialer (GEV Emicode og M1). Det pågår et omfattende arbeid for å supplere kriterier som bygger på TVOC med et system som tar hensyn til enkeltkomponenters toksikologiske egenskaper (Harrison 2011), men dette er ikke fullt operativt.

Bruk av lavemitterende bygningsmaterialer vil gi lavere forurensningsnivåer, men tiden og luftmengden som kreves for at konsentrasjonen når et akseptabelt nivå er det fortsatt ingen enighet om. I de neste avsnittene diskuteres de ulike faktorene som påvirker emisjonsraten i tidlig avgassingsfase.

Tabell 2 - Krav emisjoner fra bygningsmaterialer/produkter (emisjonsfaktor etter 28 døgn) ifølge klassifiseringen i NS-EN 15251, og etter finske standarder.

	NS-EN 15251 (norsk standard) [$\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$]			Finsk klassifisering [$\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$]		
	Klasse I Svært lav- emitterende materialer	Klasse II Lav- emitterende materialer	Klasse III Ikke lav- emitterende materialer	M1	M2	M ³
TVOC	≤ 75	≤ 200	≥ 200	< 200	< 400	> 400
Ammoniakk	≤ 10	≤ 30	≥ 30	< 30	< 60	> 60
Formaldehyd	≤ 20	≤ 50	≥ 50	< 50	< 125	> 125

4.1 Hvordan påvirker ventilasjonen emisjonsrate og forurensningsnivå?

En hovedhensikt med ventilasjon er å fortynne forurensning fra materialer og andre innendørs kilder. Dersom man øker luftmengdene og ellers opprettholder samme forhold, synker konsentrasjonen i innelufta. Når forurensninger fjernes fra innelufta, blir konsentrasjonsforskjellen mellom materialet og innelufta større, og dette bidrar til at emisjonshastigheten øker. Dermed vil materialene raskere "tømmes" for forbindelser som kan emittere.

Hus og Helse (Edwardsen, 2009) sammenligner forløpet av emisjoner med det å tørke et håndkle. Det går raskest å tørke håndkleet utendørs på en varm sommerdag med litt vind. Det er altså snakk om temperatur og fuktighet i rommet, luftskifte og ventilasjonseffektivitet, hvor stor konsentrasjon det er i rommet allerede og om det er andre materialer i rommet som midlertidig kan ta opp forurensningen via adsorpsjon.

Det er dermed ikke en lineær sammenheng mellom økte luftmengder og konsentrasjonen i inneluften (Rackes and Waring, 2016). En studie utført i nye boliger i USA undersøkte hvilken effekt ventilasjon og kontroll av kildene hadde på konsentrasjonen og emisjonsraten av formaldehyd (Hult et al., 2015). Ved økt ventilasjon, observerte de lavere konsentrasjon av formaldehyd, men reduksjonene var mindre enn forventet dersom

emisjonsraten var konstant. Hun et al. (2010) fant ingen sammenheng mellom luftveksling og formaldehyd-konsentrasjon. I et tverrsnittstudie av nye boligbygg i USA fant Offermann (2009) at formaldehyd-konsentrasjon minket som en følge av høyere luftutveksling. Noguchi et al. (2016) observerte også at økning av luftutveksling førte til kraftig reduserte konsentrasjoner av TVOC og formaldehyd i en nybygget barnehage i Japan. Järnström et al. (2006) derimot fant en lav og negativ korrelasjon mellom luftutvekslingsrate og konsentrasjon av luftbåren forurensning i nybygg, men da bygget var ett år gammel var korrelasjonen mellom konsentrasjon av formaldehyd og luftveksling signifikant. Hodgson et al. (2000) observerte at sammenhengen mellom emisjonsraten og ventilasjonsrate var avhengig av flyktigheten til forbindelsene. Emisjonsraten til de mindre flyktige forbindelser minket med mer enn 10% ved lav ventilasjonsrate, mens emisjonsraten for mer flyktige forbindelser var upåvirket av ventilasjonsraten.

Ventilasjon har altså to funksjoner, - å øke emisjonsraten, og å tynne ut konsentrasjonen av forurensning i inneluften. Hvilke av de to funksjonene som påvirker resultatene i feltundersøkelser kan være vanskelig å avgjøre, da også andre faktorer, som for eksempel temperatur og relativ fuktighet, kan ha betydning for konsentrasjon av ulike forbindelser i inneluften (Hult et al., 2015; Poppendieck et al., 2015).

4.2 Hvordan samsvarer beregnede og virkelig konsentrasjonsnivåer?

Det har blitt utført mange kammertester der det er sett på nedgang av konsentrasjon og emisjonsfaktor for ulike materialer. Slike kammertester kan være gode indikatorer på hvordan emisjonsforløpet vil være i et reelt bygg. Likevel vil slike tester ha enkelte viktige svakheter. De fleste kammerstudier studerer enkeltmaterialer, og dette kan føre til et annet resultat enn man ville oppnådd i et reelt bygg. Maling vil for eksempel ha et helt annet emisjonsforløp hvis den males på en glassplate enn på en gipsplate (Liang et al., 2015; Liu et al., 2013) Effekten adsorpsjon og desorpsjon vil påvirke effekten av varierende luftmengder, og det er derfor vanskelig å bruke kammerstudier direkte til å vurdere hvordan konsentrasjoner av forurensninger som skriver seg fra bygningsmaterialer vil utvikle seg over tid.

Som tidligere nevnt skiller man mellom stasjonære og variable kilder til VOC. De variable kildene vil generelt være mindre forutsigbare enn de stasjonære, og vil ytterligere svekke sammenhengen mellom resultater fra kammerstudier og feltmålinger. Emisjoner fra variable kilder kan i denne sammenhengen betraktes som "støy" i feltforsøkene, mens variasjon i emisjon som følge av variasjon i ytre forhold som ventilasjonsrate, trykkforhold, temperatur og relativ luftfuktighet representerer forhold av reell betydning som vanskelig kan studeres i laboratorium.

Et annet forhold er at det i reelle bygninger vil være flere materialer til stede enn de som er emisjonstestet.

Järnström et al. (2008) fant store avvik mellom beregnede og målte verdier av konsentrasjonen av ulike forbindelser i inneluften. Beregnet gjennomsnittlig TVOC-konsentrasjon var 57% av det som faktisk ble målt innendørs, noe som ble forklart med at det var ukjente kilder tilstede. For ammoniakk og formaldehyd ble det også antatt at rundt 25-35% av konsentrasjonen kom fra ukjente kilder. Sammensetningen av ulike VOC-er endret seg også i løpet av perioden, der VOC-er fra konstruksjonsfasen ble erstattet av nye. Brown et al. (2002) anslo at så mye som om lag 70% av TVOC-konsentrasjonen kommer fra ukjente kilder. Motsatt konklusjon finnes hos Hodgson et al. (2004). De konkluderte med at testing av materialer i laboratorier kombinert med modellering og feltstudier viste seg å være tilstrekkelig korrekt, og at dette kan brukes som utgangspunkt for

å velge materialer med lav emisjon. De fant enkelte avvik som mest sannsynlig skyldtes at personer hadde tatt med utstyr inn i rommene.

Laboratorie- og kammerundersøkelser kan gi en indikasjon på hvor raskt emisjoner synker fra nye materialer, møbler og utstyr. Slike forsøk bør derfor ikke utelukkes i arbeidet med å avgjøre hvilken ventilasjonsstrategi som bør benyttes den første tiden i et nybygg eller rehabilitert bygg. Man bør likevel være oppmerksom på at resultatene ikke nødvendigvis samsvarer med det man oppnår i virkelige bygg.

4.3 Hvordan avtar konsentrasjonsnivå over tid?

De fleste artiklene som er gjennomgått i denne litteraturstudien er feltstudier der det har blitt foretatt målinger i private boliger eller leiligheter. Det generelle bildet er at TVOC og mange enkeltforbindelser synker relativt raskt, spesielt er det en stor reduksjon i de første ukene etter ferdigstilling. De fleste langtidsstudiene er gjort i bygninger i bruk, og der ser man typisk at mens enkelte flyktige forbindelser fortsatt reduseres etter lengre tid (6-36 måneder), øker konsentrasjonen av forbindelser fra andre kilder etterhvert så mye at TVOC-konsentrasjonen blir relativt stabil. I ubebodde bygg ser man en økning av TVOC-konsentrasjon rett etter innflytting, men konsentrasjonen synker relativt raskt i løpet av de første månedene før det stabiliserer seg (Shin and Jo, 2013).

Enkelte forbindelser varierer som følge av årstid, noe som kompliserer vurderingen av avgassing over tid (Liang et al., 2014). Sesongvariasjonen kan skyldes temperatur- eller fuktavhengige forskjeller i avgassing fra materialer (først og fremst i klimaskjermen der variasjonen er størst), væravhengige variasjoner i trykkforhold (trykkgradienten i bygningen blir større ved store forskjeller mellom ute- og innetemperaturen, noe som gir mer infiltrasjon) eller kjemiske reaksjoner med ozon i uteluft, som har sesongvariasjoner. Dersom det ikke kompenseres for sesongvariasjoner i ventilasjon eller forurensninger i uteluft, kan dette også bidra.

Tabell 3 – Oversikt over utvikling i konsentrasjon av ulike gasser i inneluften

Forfattere	Luftveksling	TVOC	Formaldehyd	Ammoniakk
Järnström et al (2008)	0.7-1.5 h ⁻¹	200 µg/m ³ (fra byggematerialer) etter 6 mnd, men nye enkelt-VOC identifisert	Lavere enn kravene hele tiden. Varierer med årstid og RH	Samme etter 12 mnd. Varierer med årstid og RH
Brown (2002)	0.35 h ⁻¹	Rask nedgang de første dagene. Etter 8,75 mnd var nivået rundt 200 µg/m ³	Høy etter ferdigsstillelse. Rask nedgang i starten, deretter saktere. Antas å fortsette i mange år.	Ikke undersøkt
Derbez et. al (2013,2014)	0,2-1,4 h ⁻¹	Sett på enkelt-VOC. Ulikt resultat for ulike forbindelser	Stabil over tid.	Ikke undersøkt

Tuomainen et al (2001, 2002, 2003)	Case-bygg: 1,7 h ⁻¹ Kontrollbygg: 0,8 h ⁻¹	Case-bygning: 50% reduksjon første uke med høy vent. 200 µg/m ³ etter 5 mnd.	Lavere enn kravene. Forble på samme nivå.	Strengeste grenseverdi i Finland oppnådd etter 5 mnd.
Hodgson (2004)	1,49-8,2 h ⁻¹	Rask nedgang av de fleste individuelle VOC-er etter 8 uker	Noe høy. (Se artikkel)	Ikke undersøkt
Lee et al. (2012)	Ikke oppgitt	TVOC redusert med faktor 22,6 i løpet av 6 måneder. 27 enkeltforbindelser rapportert; alle redusert i de første 6 mnd, 20/27 økte fra 6 til 11 mnd.	Ikke rapportert	Ikke rapportert
Poppendieck & al 2015(2015)	0,15-0,22 h ⁻¹	Ikke målt TVOC, men 31 enkeltforbindelser. Mange sterk sesongavhengighet. Fra første 8 mnd til neste 7 økte 7 forbindelser, 1 var uforandret og 23 ble redusert (faktor 1,1 – 30)	Relativt stabil, tydelig sesongeffekt.	
(Pei et al., 2016)	5-10 h ⁻¹	TVOC redusert 97,1% og 72,8% for rommene med høyeste og lavest konsentrasjon i løpet av 3 måneder	Gjennomsnittlig konsentrasjon redusert med 50,8% etter 3 måneder.	Reduksjon på 20,4%.

4.3.1 Betydningen av luftmengde

Tabell 3 viser en kort oppsummering av resultatene i de ulike feltstudiene. Her er det fokusert på luftvekslinger, men mange andre forhold er ulike i de ulike undersøkelsene.

Ved luftvekslinger mellom 0,2-1,7 h⁻¹ viser de fleste feltundersøkelsene at konsentrasjonen av TVOC minket raskt den første tiden. Tuomainen et al. (2003) fant at TVOC-nivåene hadde sunket til den finske grenseverdien på 200 µg/m³ etter syv måneder. Brown et al. (2002) observerte at konsentrasjonen av TVOC falt raskt den første tiden og etter omtrent åtte måneder (35 uker) lå konsentrasjonsnivået rundt 200 µg/m³. Järnström et al. (2008) konkluderte med at et nivå på 200 µg/m³ i gjennomsnitt ble nådd etter seks måneder dersom man kun ser på bidraget fra materialoverflater. Dersom nedgang i konsentrasjon av TVOC er en indikator på hvor lang

man bør ventilere et nybygg eller rehabilitert bygg, og at $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ anses som et akseptabelt nivå, kan det se ut som om man kan oppnå gode resultater med relativt lave luftmengder etter seks til åtte måneder. Disse resultatene ble oppnådd til tross for ulik materialbruk, temperatur, relativ fuktighet osv.

For formaldehyd og ammoniakk er resultatene noe mer sprikende. Med tilsvarende luftvekslinger viste enkelte feltundersøkelser at konsentrasjonen av formaldehyd var lave den første tiden (Järnström, Saarela, Kalliokoski and A.-L. Pasanen, 2008; Tuomainen et al., 2001). Brown (2002) målte høyere formaldehyd konsentrasjon ved ferdigstilling. Konsentrasjonen sank raskt i begynnelsen, men flatet deretter ut, noe som indikerte at forurensingen ville vedvare i flere år. Konsentrasjonen av formaldehyd kan variere mellom årstidene, med høyere konsentrasjon om sommeren (Järnström, Saarela, Kalliokoski and A.-L. Pasanen, 2008; Poppendieck et al., 2015). Andre studier viser økning av formaldehyd etter noen måneder som kan skyldes beboernes aktiviteter (Tuomainen and Pirinen, 2002). Også for ammoniakk viste feltundersøkelsene at konsentrasjonen varierte (Järnström, Saarela, Kalliokoski and A.-L. Pasanen, 2008; Tuomainen et al., 2003).

Hodgson et al. (2004) gjorde undersøkelser av nedgang i *emisjonsfaktor* i flyttbare klasserom. Dimensjonerende luftmengder var $25 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{person})$, noe som er nokså nærme anbefalingene i Felles kravspesifikasjon for skoleanlegg i Oslo kommune (2012). Luftveksling i disse klasserommene varierte mellom $1,49$ og $8,2 \text{ h}^{-1}$. Etter to måneder hadde det skjedd et vesentlig fall i emisjonshastighet for mange av stoffene. Det var en ytterligere nedgang etter omtrent syv måneder, men nedgangen var betraktelig mindre enn de to første månedene.

4.3.2 Betydningen av å øke luftmengdene før innflytting og før brukstiden

Feltundersøkelser viser at forurensningsnivået blir betydelig lavere når ventilasjonsanlegget settes i drift i et nytt bygg før innflytting (Tuomainen et al., 2001, 2003). Tiltaket forutsetter at støvgenererende byggearbeid er avsluttet slik at ventilasjonsanlegget ikke forurenses av den tidlige driften. Overnevnte studier har vist at en eller to uker drift av ventilasjonsanlegget før innflytting er nok til å bedre innendørs luftkvaliteten ved innflyttingsdato. Også Järnström et al. (2006) målte den laveste TVOC-konsentrasjonen før innflytting i de byggene der ventilasjonsanlegget med balansert ventilasjon hadde vært i drift i to uker. Tuomainen et al. (2001) observerte at TVOC-nivået var redusert med 50% etter syv dager med "kraftig ventilasjon", som i dette tilfellet tilsvarte en luftveksling på rundt $1,7 \text{ h}^{-1}$. En studie foretatt i en norsk videregående skole (Tranberg skole) som ble rehabilitert støtter disse funnene og underbygger en anbefaling om tidlig start av ventilasjonsanlegget for å fjerne nattens forurensning før bygget tas i bruk (Grini and Wigenstad, 2011; Mysen et al., 2003). Resultatene viste en reduksjon av TVOC-konsentrasjonen på over 95% når ventilasjonsanlegget hadde vært i drift i ca. 1,5 time. Skolen var utstyrt med et behovsstyrt ventilasjonsanlegg, men da undersøkelsen er gjennomført på midten av 1990-tallet, er det er noe usikkert hvor relevant disse resultatene er i dag. Det har ikke latt seg gjøre å spore opp rapporten som beskriver hvordan målingene av TVOC har blitt utført.

4.3.3 Betydningen av temperatur

Fra kammerstudier og generell fysisk teori er det kjent at økt temperatur øker diffusjons- og emisjonsraten. Flere av feltundersøkelsene som er gjennomgått i denne litteraturstudien viser en tydelig sesongeffekt, som tyder på at temperatur og fukt påvirker emisjonshastigheten og målt konsentrasjon i inneluften. Poppendieck et al. (2015) observerte korrelasjoner på 0,02 til 0,88 mellom ulike VOC forbindelser og utetemperatur ved måling, med sterkest korrelasjon for forbindelser der kjente kilder var brukt i klimaskjermen, og konkluderte

med at dette skyldes at avgassing fra materialer ute i klimaskjermen påvirker inneklimate. I samme studie førte en 8 °C økning i innetemperaturen til at emisjonen fra materialer økte med en gjennomsnittlig faktor på 1,4. I et studie gjort i Kina med mer tydelige temperaturforskjeller mellom årstidene, var VOC-konsentrasjonen 2-10 ganger høyere om sommeren enn om vinteren (Liang et al., 2014). Høyere emisjonsrater ved høyere temperaturer og lavere luftfiltrasjon ble angitt som potensielle årsaker til disse observerte forskjellene.

Folkehelseinstituttets anbefalte faglige normer for inneklimate sier at man kan vurdere utbaking, det vil si heving av temperaturen, for å få til en raskere avgassing (2015). I følge Hus og Helse (Edvardsen, 2009) vil utbaking av rom eller møbler ved for eksempel 30 °C halvere den tiden som skal til før emisjonen er under en angitt grense. Det kan med fordel ses nærmere på hvordan man kan benytte økt innetemperatur i kombinasjon med ventilasjon i den første perioden i et nybygg eller rehabilitert bygg.

4.3.4 Andre faktorer

De fleste artiklene som er gjennomgått i denne litteraturstudien har beskrevet bygninger der det er valgt lavemitterende materialer. Mange av bygningene som er studert i feltundersøkelsene er nye boliger i ulike deler i verden. Dette, og andre forskjeller, gjør at resultatene ikke nødvendigvis vil bli de samme i skoler og næringsbygg. Det bør imidlertid nevnes at flere av feltundersøkelsene trekker frem fordelene av å velge lavemitterende materialer. For eksempel viser studiene i Finland at valg av lavemitterende materialer i byggeperioden samt riktig utførelse på byggeplass, kan bidra til å redusere konsentrasjoner av forurensninger i inneluften (Tuomainen et al., 2001, 2003). I følge Hult et al. (2015) vil valg av lavemitterende materialer gi 42±10% lavere konsentrasjon av formaldehyd. Poppendieck et al. (2015) viste at målinger fra et lavenergihus der det var valgt materialer med lite avgassing av formaldehyd lå i størrelsesorden 1/5-1/4 av nybygg med "normale" materialvalg. Det er ikke gjort en systematisk undersøkelse av hvor stor effekt valg av lavemitterende materialer har på emisjonshastighet og konsentrasjon av ulike forbindelser, og det bør undersøkes hvordan valg av lavemitterende materialer påvirker anbefalingen om økt og kontinuerlig ventilasjon etter bygging og rehabilitering.

4.4 Er det vitenskapelig grunnlag for ekstra krav til ventilasjon i tidlig avgassingsfase og hva er i så fall ventilasjonsbehovet?

Ventilasjon bidrar til en raskere nedgang av emisjoner fra bygningsmaterialer, møbler og utstyr ved å øke forskjellen i damptrykk mellom inneluften og materialet. Denne effekten vil være størst ved høye konsentrasjoner av flyktige forbindelser i overflatene av materialene, det vil si kort tid etter at materialer er montert, og spesielt ved bruk av flytende produkter som maling og lignende. Basert på dette kan man si at det er grunnlag for ekstra ventilasjon i en tidlig avgassingsfase. I mange byggeprosesser vil nok dette behovet for å ventilere bort avgasser fra materialer og kjemiske byggprodukter være størst *før* igangkjøring av ventilasjonsanlegget, da igangkjøring gjerne utsettes til alle støvende arbeider er avsluttet.

Det er foreløpig funnet få feltundersøkelser som studerer ventilasjonsbehovet før og rett etter ferdigstillingsfasen: nødvendige luftmengder for å ventilere bort avgassing fra "våte" kjemisk byggprodukter som lim, maling, fugemasser, o.l., men kammerundersøkelser viser oftest en kraftig reduksjon i avgassing mellom 3 og 28 dager, typisk ved en ventilasjonsrate på 1 m³/h per m² av testmateriellet (jfr. NS-EN 717-1). Det bør arbeides videre med konkrete anbefalinger om tid mellom ferdigstilling og innflytting samt ventilasjon og eventuelt temperaturøkning i denne fasen.

Resultatene fra ulike feltundersøkelser viser at konsentrasjonen av TVOC og mange enkeltkomponenter synker kraftig i løpet av noen uker etter en rehabilitering eller i en nyoppført bygning. Etter ca 6 måneder er emisjonen fra innvendig materialbruk vanligvis redusert til et nokså stabilt nivå, og VOCer fra andre kilder enn byggematerialer vil etter hvert dominere innelufta.

Reduksjonene oppnås også ved luftvekslinger mellom $0,2-1,7 \text{ h}^{-1}$, som tilsvarer $0,6 - 4,6 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$. Det vil si i samme området som minimumskravet i TEK til ventilasjon på grunn av avgassing fra materialer i yrkesbygninger.

Det er mange spørsmål som med fordel kunne vært bedre belyst, men av hensyn til VOC ser det ikke ut til å være noen god grunn til å kreve full døgkontinuerlig ventilasjon i lengre tid enn seks måneder etter innflytting. En minimumsventilasjon gjennom døgnet på $2,5 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$ i 6 måneder vil under realistiske forutsetninger om gode materialvalg være tilstrekkelig av hensyn til primæavgassing av VOC fra materialer.

4.5 Hva mangler av kunnskap for å bedre fastsette ventilasjonsbehov og tidperiode?

Organiske forbindelser med høyt kokepunkt (øvre del av VOC-området, SVOC, POM) oppfører seg annerledes enn VOC ved at en betydelig mindre andel av forbindelsene kan opptas i luft. En større andel av disse forbindelsene vil være bundet til overflater, blant annet på partikler, og inhalasjon eller svelging av partikler, eventuelt også opptak gjennom huden vil være en viktigere eksponeringsvei enn inhalasjon av disse stoffene i gassform. Vi vurderer at det er behov for mer informasjon om hvordan ventilasjonsrate påvirker eksponeringen for slike forbindelser-

Ventilasjonsstrategier som innebærer periodevis nedstengning av ventilasjonen (nattstengning eller intermittert nattventilering) og bruk av omluft i perioder der bygningen ikke er i bruk, er aktuelle alternativer på grunn av utfordringer med styringen av svært små luftmengder. Det er ønskelig med mer informasjon om hvordan slike strategier vil påvirke avgassingsraten.

Det bør også arbeides videre med følgende spørsmål:

- Fører krav til valg av lavemitterende materialer til så lave emisjoner at krav om ekstra ventilering etter bygging er unødvendig? Eller fører kravene mer til en forskyvning mot forbindelser som har lavere initiell avgassing, men avgassing over lengre perioder?
- Kan målinger av forbindelser i lufta inn mot en grenseverdi være et kostnadseffektivt alternativ til døgkontinuerlig ventilasjon i en på forhånd bestemt tidsperiode?
- Kan man sette praktiske grenser for hva som skal anses som akseptabel konsentrasjon av ulike forbindelser i innelufta?
- Kan godt utførte kammerstudier benyttes for å undersøke hvor lenge man bør ventilere ved nybygg eller i rehabiliterte bygg, og i så fall hvor lenge?
- Hva er effekten av intermittert ventilasjon, bruk av omluft og ulike materialvalg (porøse og tekstile materialer) på utviklingen av forurensningsnivå?
- Er det andre hensyn enn primær emisjon fra materialer som bør være styrende for grunnventilasjonen (kjemiske reaksjoner / sekundæremisjon/ biologiske prosesser)?

5 Foreløpig anbefaling

Det finnes ikke et sikkert kunnskapsgrunnlag for å fastsette en optimal ventilasjonsrate som sikrer fullgodt inneklima samtidig som det ikke brukes unødig energi til ventilasjon. Til det er kunnskapen om forurensningskilder og forurensningenes helseeffekter for mangelfullt. Litteraturen gir likevel grunnlag for noen konkrete råd:

- Dagens kunnskapsgrunnlag tilsier ikke behov for full døgkontinuerlig ventilasjon i ett år etter innflytting slik det er formulert i Klimaveiledning 444.
- Når personer er til stede må det uansett ventileres tilstrekkelig av hensyn til alle stasjonære og variable forurensningskilder. Denne litteraturundersøkelsen har ikke hatt som mål å avgjøre ventilasjonsbehov i brukstiden, og gir heller ikke grunnlag for anbefalinger om dette. Vi tar utgangspunkt i at man tilfredsstiller TEK (Direktoratet for Byggkvalitet, 2016) sitt krav til minimum $2,5 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$ i driftstiden.
- Et krav om døgkontinuerlig ventilasjon på minimum $2,5 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$ i 6 måneder etter avsluttede bygge- og innredningsarbeider er tilstrekkelig for å øke emisjonsraten og få forsvarlig innendørs forurensingskonsentrasjon i den tidlige avgassingsfasen. Det er lite i dagens kunnskapsgrunnlag som tilsier at får en positiv inneklimaeffekt av en større luftmengde enn dette når det ikke er folk tilstede i bygningen, under forutsetning av at forurensningskilden er normale byggematerialer og innredning. Sammenlignet med datagrunnlaget inneholder denne anbefalingen en sikkerhetsmargin både med tanke på varighet av økt ventilering og luftmengde, begrunnet i at de helse-konsekvensene av et for "snilt" krav veier tyngre enn energi konsekvensene at et for "strengt" krav.
- Etter 6 måneders drift kan man redusere luftmengden normal drift utenom driftstid forutsatt at man tilfredsstiller TEK (Direktoratet for Byggkvalitet, 2016) sitt krav til minimum $0,7 \text{ m}^3/(\text{m}^2\text{h})$ i gjennomsnitt utenom driftstiden. Dette er en ventilasjonsstrategi som utnytter de mulighetene behovsstyrt ventilasjon gir, samtidig som ventilasjonskrav til tidlig avgassingsfase ikke reduserer mulighetene for å funksjonsteste ventilasjonsanlegget.
- Undersøkelsen har heller ikke hatt som mål å vurdere ventilasjonsbehovet under og rett etter arbeider med overflatebehandlinger og kjemiske byggprodukter med svært høy avgassing. En del av funnene understøtter at det kan være en god praksis å øke temperaturen og ventilasjon under slike arbeider og en periode på et par uker etterpå.

6 Litteraturliste

- Arbeidstilsynet (2006) Veiledning om klima og luftkvalitet på arbeidsplassen, Direktoratet for arbeidstilsynet, Available from: <http://www.arbeidstilsynet.no/binfil/download2.php?tid=79437> (accessed 1 February 2017).
- Brown, S.K. (2002) Volatile Organic Pollutants in New and Established Buildings in Melbourne, Australia, *Indoor Air*, **12**, 55–63.
- Crump, D.R., Squire, R.W. and Yu, C.W.F. (1997) Sources and Concentrations of Formaldehyde and Other Volatile Organic Compounds in the Indoor Air of Four Newly Built Unoccupied Test Houses, *Indoor Built Environ.*, **6**, 45–55.
- Derbez, M., Berthineau, B., Cochet, V., Pignon, C., Ribéron, J., Wyart, G., Mandin, C. and Kirchner, S. (2014) A 3-year follow-up of indoor air quality and comfort in two energy-efficient houses, *Build. Environ.*, **82**, 288–299.
- Derbez, M., Berthineau, B., Cochet, V., Lethrosne, M., Pignon, C., Riberon, J. and Kirchner, S. (2014) Indoor air quality and comfort in seven newly built, energy-efficient houses in France, *Build. Environ.*, **72**, 173–187.
- Direktoratet for Byggkvalitet (2016) Byggteknisk forskrift (TEK 10) - Direktoratet for byggkvalitet - byggteknisk-forskrift-tek10-med-veiledning.pdf, Available from: <https://dibk.no/byggeregler/tek/> (accessed 1 February 2017).
- Edvardsen, K.I. (2009) *Hus og helse*, SINTEF Byggforsk, Available from: <https://www.sintefbok.no/Product.aspx?sectionId=0&productId=532&categoryId=17> (accessed 1 February 2017).
- Folkehelseinstituttet (2015) *Anbefalte faglige normer for inneklima. Revisjon av kunnskapsgrunnlag og normer – 2015*, Folkehelseinstituttet, 147, Available from: <http://www.fhi.no/publ/2015/anbefalte-faglige-normer-for-innekl/> (accessed 1 February 2017).
- Grini, C. and Wigenstad, T. (2011) *Leco. Behovstilpasset ventilasjon. Hvordan får man alle brikkene på plass?*, SINTEF akademisk forlag, Available from: <https://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/2422257> (accessed 1 February 2017).
- Harrison, P., Crump, D., Kephelopoulos, S. Yu, C., Däumling, C & Rousselle, C. (2011). "Harmonised Regulation and Labelling of Product Emissions- A New Initiative by the European Commission." *Indoor and Built Environment* **20**(6): 581-583.
- Hodgson, A.T., Rudd, A.F., Beal, D. and Chandra, S. (2000) Volatile Organic Compound Concentrations and Emission Rates in New Manufactured and Site-Built Houses, *Indoor Air*, **10**, 178–192.
- Hodgson, A.T., Beal, D. and McIlvaine, J.E.R. (2002) Sources of formaldehyde, other aldehydes and terpenes in a new manufactured house, *Indoor Air*, **12**, 235–242.
- Hodgson, A.T., Shendell, D.G., Fisk, W.J. and Apte, M.G. (2004) Comparison of predicted and derived measures of volatile organic compounds inside four new relocatable classrooms, *Indoor Air*, **14**, 135–144.

- Hult, E.L., Willem, H., Price, P.N., Hotchi, T., Russell, M.L. and Singer, B.C. (2015) Formaldehyde and acetaldehyde exposure mitigation in US residences: in-home measurements of ventilation control and source control, *Indoor Air*, **25**, 523–535.
- Hun, D.E., Corsi, R.L., Morandi, M.T. and Siegel, J.A. (2010) Formaldehyde in residences: long-term indoor concentrations and influencing factors, *Indoor Air*, **20**, 196–203.
- Järnström, H., Saarela, K., Kalliokoski, P. and Pasanen, A.-L. (2006) Reference values for indoor air pollutant concentrations in new, residential buildings in Finland, *Atmos. Environ.*, **40**, 7178–7191.
- Järnström, H., Saarela, K., Kalliokoski, P. and Pasanen, A.-L. (2008) Comparison of VOC and ammonia emissions from individual PVC materials, adhesives and from complete structures, *Environ. Int.*, Proceedings of the 1st Conference of the UK Network on Persistent Organic Pollutants (POPs) 29th and 30th March 2006, University of Birmingham, UK, **34**, 420–427.
- Järnström, H., Saarela, K., Kalliokoski, P. and Pasanen, A.-L. (2008) The Impact of Emissions from Structures on Indoor Air Concentrations in Newly Finished Buildings — Predicted and On-Site Measured Levels, *Indoor Built Environ.*, **17**, 313–323.
- Kaunelienė, V., T. Prasauskas, et al. (2016). "Indoor air quality in low energy residential buildings in Lithuania." *Building and Environment* **108**: 63-72.
- Lee, L.-K., Kim, J.-H., Kim, B. and Kim, J. (2012) A study of volatile organic compound concentrations in a new school building over one year period, *Toxicol. Environ. Health Sci.*, **4**, 248–255.
- Liang, W., Yang, C. and Yang, X. (2014) Long-term concentrations of volatile organic compounds in a new apartment in Beijing, China, *Build. Environ.*, **82**, 693–701.
- Liang, W., Yang, S. and Yang, X. (2015) Long-Term Formaldehyde Emissions from Medium-Density Fiberboard in a Full-Scale Experimental Room: Emission Characteristics and the Effects of Temperature and Humidity, *Environ. Sci. Technol.*, **49**, 10349–10356.
- Liu, Z., Ye, W. and Little, J.C. (2013) Predicting emissions of volatile and semivolatile organic compounds from building materials: A review, *Build. Environ.*, **64**, 7–25.
- Mysen, M., Clausen, G., Bekö, G. and Halas, O. (2003) The influence of typical ways of operating and air-handling unit on the sensory pollution load from used bag filters, Helsinki, Finland, National University of Singapore, 267–272, Available from: <https://www.mysciencework.com/publication/show/6130de473b81d2d9977fff30997640b2> (accessed 1 February 2017).
- Mysen, M., Hammer, H.L., Nersveen, J. and Fostervold, K.I. (2012) Kampen School - Evaluation of pupils' performance and perceived health and well-being before and after school retrofitting, Brisbane, Australia, Queensland University of TEchnology, Available from: <http://www.sintef.no/en/publications/publication/?pubid=CRISTin+936554> (accessed 1 February 2017).
- Noguchi, M., Mizukoshi, A., Yanagisawa, Y. and Yamasaki, A. (2016) Measurements of Volatile Organic Compounds in a Newly Built Daycare Center, *Int. J. Environ. Res. Public Health*, **13**, Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4962277/> (accessed 17 January 2017).

- NS-EN 12599:2012 (n.d.) *Ventilasjon i bygninger - Prøvingsprosedyrer og målemetoder for overtakelse av ventilasjons- og luftkondisjoneringsanlegg*, 01.01.2013 ed., Standard Norge, Available from: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=606810> (accessed 1 February 2017).
- Offermann, F.J. (2009) *Ventilation and Indoor Air Quality in New Homes*, Collaborative Report, California Air Resources Board and California Energy Commission, PIER Energy - Related Environmental Research Program., Available from: <https://www.arb.ca.gov/research/apr/past/04-310.pdf> (accessed 30 January 2017).
- Ole Fanger, P. (2006) What is IAQ?, *Indoor Air*, **16**, 328–334.
- Pei, J., Yin, Y. and Liu, J. (2016) Long-term indoor gas pollutant monitor of new dormitories with natural ventilation, *Energy Build.*, **129**, 514–523.
- Poppendieck, D.G., Ng, L.C., Persily, A.K. and Hodgson, A.T. (2015) Long term air quality monitoring in a net-zero energy residence designed with low emitting interior products, *Build. Environ.*, **94**, Part 1, 33–42.
- Rackes, A. and Waring, M.S. (2016) Do time-averaged, whole-building, effective volatile organic compound (VOC) emissions depend on the air exchange rate? A statistical analysis of trends for 46 VOCs in U.S. offices, *Indoor Air*, **26**, 642–659.
- Rett og slett: en veiledning til Byggeforskrift 1987* (1990), Oslo, Norsk byggtjenestes forl., Available from: http://urn.nb.no/URN:NBN:no-nb_digibok_2007091104036 (accessed 1 February 2017).
- Salthammer, T. and Uhde, E. (2009) *Organic Indoor Air Pollutants: Occurrence, Measurement, Evaluation*, 2nd Edition., Available from: <http://www.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-3527312676.html> (accessed 1 February 2017).
- Shin, S.-H. and Jo, W.-K. (2013) Longitudinal variations in indoor VOC concentrations after moving into new apartments and indoor source characterization, *Environ. Sci. Pollut. Res.*, **20**, 3696–3707.
- Shin, S.-H. and Jo, W.-K. (2014) Volatile organic compound concentrations in newly built apartment buildings during pre- and post-occupancy stages, *Int. J. Environ. Anal. Chem.*, **94**, 356–369.
- SINTEF Byggforsk (2012a) 421.522 Emisjoner fra byggevarer. Anbefalte grenseverdier, SINTEF Byggforsk, Available from: <https://bks.byggforsk.no/DocumentView.aspx?documentId=198§ionId=2> (accessed 1 February 2017).
- SINTEF Byggforsk (2012b) 421.523 Emisjoner fra byggevarer. Måling i laboratorium og resultater, SINTEF Byggforsk, Available from: <https://bks.byggforsk.no/DocumentView.aspx?documentId=4043§ionId=2> (accessed 1 February 2017).
- Sundell, J., Levin, H., Nazaroff, W.W., Cain, W.S., Fisk, W.J., Grimsrud, D.T., Gyntelberg, F., Li, Y., Persily, A.K., Pickering, A.C., Samet, J.M., Spengler, J.D., Taylor, S.T. and Weschler, C.J. (2011) Ventilation rates and health: multidisciplinary review of the scientific literature, *Indoor Air*, **21**, 191–204.

- Tuomainen, M. and Pirinen, J. (2002) TVOC, formaldehyde and ammonia levels in two new blocks of flats, Monterey, CA, USA, 244–248, Available from: <https://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB6106.pdf> (accessed 9 February 2017).
- Tuomainen, M., Pasanen, A.-L., Tuomainen, A., Liesivuori, J. and Juvonen, P. (2001) Usefulness of the Finnish classification of indoor climate, construction and finishing materials: comparison of indoor climate between two new blocks of flats in Finland, *Atmos. Environ.*, **35**, 305–313.
- Tuomainen, M., Tuomainen, A., Liesivuori, J. and Pasanen, A.-L. (2003) The 3-year follow-up study in a block of flats – experiences in the use of the Finnish indoor climate classification, *Indoor Air*, **13**, 136–147.
- Utdanningsetaten (2012) Felles kravspesifikasjon for Oslo kommune, Skoleanlegg 2012 - Del 3 Tekniske Krav, Oslo Kommune, Available from: <http://fkok.no/Kravspesifikasjoner/FKOK2012/Skoleanlegg.html> (accessed 1 February 2017).
- WHO (2010) *WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants*, Copenhagen, Denmark, World Health Organization, Available from: <http://www.euro.who.int/en/publications/abstracts/who-guidelines-for-indoor-air-quality-selected-pollutants> (accessed 7 February 2017).



Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no