

Vurdering af ventilationsbehov

Niels C. Bergsøe

SBI-meddelelser er foreløbige rapporteringer og beretninger om forundersøgelser, konferencer, symposier mv.

Denne meddelelse kan frit læses og downloades fra SBI's hjemmeside: www.sbi.dk.

SBI-publikationer udgives i følgende serier: Anvisninger, Rapporter, Meddelelser, Byplanlægning og Beton. Publikationerne kan købes gennem boghandlen eller via et SBI-abonnement.

SBI-abonnement er en rabatordning med mange fordele for dem, der vil sikre sig løbende orientering om væsentlige udgivelser inden for byggeforskningsområdet. Kontakt SBI og hør nærmere, eller slå op på SBI's hjemmeside: www.sbi.dk.

ISBN 87-563-1056-0.

ISSN 1399-8447.

Pris: Kr. 94,00 inkl. 25 pct. moms.

Statens Byggeforskningsinstitut

Postboks 119, 2970 Hørsholm.

E-post: sbi@sbi.dk

www.sbi.dk

Eftertryk i uddrag er tilladt, men kun med kildeangivelsen:

SBI-meddelelse 130: Vurdering af ventilationsbehov. 2000

Indhold

Vurdering af ventilationsbehov.....	1
Forord.....	4
Sammenfatning og konklusion.....	5
Indeluftens kvalitet	5
Fugtforhold.....	6
Beregninger.....	7
Konklusion.....	7
Boligventilation.....	8
Bygningsreglementernes bestemmelser	8
Ventilationens formål	8
Forureninger i indeklimaet.....	9
Ventilationsbehov – indeluftens kvalitet	10
Bioeffluenter og CO ₂	10
Tobaksrøg	10
Afgasning fra byggevarer og inventar	11
Bygningsreglementernes indeklimakapitel	12
Mærkningsordningen Dansk Indeklima Mærkning.....	12
Radon og jordforureninger.....	14
Ventilationsbehov – fugtforhold	14
Kondensation	14
Skimmelsvampe	15
Husstøvmider	16
Behovsstyret ventilation og ventilationsstrategier	17
Beregningsmæssig "regulering"	18
Demonstrationsprojekt - fugtstyring.....	18
Beregninger.....	19
Procedure	19
Forudsætninger.....	19
Udeklima.....	19
Lejligheden	20
Lejlighedens brug.....	21
Person- og fugtbelastning.....	22
Forureningsbelastning.....	22
Scenarier	22
Beregningsresultater	25
Diskussion.....	28
Absolut vandindhold og relativ fugtighed	28
CO ₂ -koncentration.....	29
Afgasning fra byggevarer og inventar	30
Konklusion.....	31
Litteratur.....	33
Appendiks.....	37
Summary	42

Forord

Denne SBI-meddelelse indgår som en del af resultaterne af første fase af et samlet projektprogram i fire faser om energieffektiv behovsstyret boligventilation.

Formålet med projektprogrammet er at udvikle og afprøve nye effektive ventilationsstrategier, hvor der med mindst muligt energiforbrug opnås et godt indeklima. Ventilationsstrategierne vil bygge på en reduktion af den konstante basisventilation og individuel forøgelse af ventilationen svarende til det reelle behov i de enkelte boliger og rum. Projektprogrammets fire faser udgør en samlet forskningsindsats, som kan danne grundlag for nye ventilationstekniske løsninger, og som kan indgå i et vurderingsmateriale for ændringer i ventilationsbestemmelserne i Bygningsreglementet 2005. De fire faser i projektprogrammet er:

- 1) Vurdering af ventilationsbehov og opstilling af indeklimamodel
- 2) Udvikling og afprøvning af ventilationsstrategier
- 3) Gennemførelse af demonstrationsbyggerier
- 4) Målinger og evaluering af demonstrationsbyggerierne

Projektet er gennemført under EFP 99 med journalnummer 1213/99-0019. Fase 2 *Udvikling og afprøvning af ventilationsstrategier* forventes igangsat i begyndelsen af 2000 under EFP 2000.

Statens Byggeforskningsinstitut
Afdelingen for Energi og Indeklima, oktober 1999

Erik Christophersen, Forskningschef

Sammenfatning og konklusion

Denne SBI-meddelelse udgør en del af resultaterne af første fase i et samlet projektprogram om energieffektiv behovsstyret boligventilation. Meddelelsen skal tjene som grundlag for det videre arbejde med udvikling og afprøvning af ventilationsstrategier til anvendelse i fremtidens boliger. Ventilationsstrategierne skal kunne sikre tilfredsstillende luftkvalitet og gode indeklimamæssige forhold, men med et lavere energiforbrug end i boliger bygget efter de nyeste bygningsreglementer, BR 95 og BR-S 98.

Meddelelsen består af to hovedafsnit. Det første behandler udvalgte emner inden for boligventilation og ventilationsbehov ud fra gældende bygningsreglementsbestemmelser, eksisterende erfaring og viden på ventilations- og indeklimaområdet samt forventningerne til konstruktion og materialevalg i fremtidens boliger. Meddelelsens andet hovedafsnit omfatter en række beregninger af ventilationsforholdene i en lejlighed ud fra forudsætninger om person-, fugt- og forureningsbelastninger.

Hovedformålet med at ventilere en bolig er at tilgodese menneskers behov for et hygiejnisk og sundhedsmæssigt tilfredsstillende indeklima herunder at kontrollere fugtforholdene i rummene. Ventilationsbehovet kan vurderes ud fra henholdsvis *indeluftens kvalitet* og *fugtforholdene*, og den nødvendige udelufttilførsel må fastlægges ud fra det kriterium, som medfører det største ventilationsbehov.

Indeluftens kvalitet

Indeluftens kvalitet er almindeligvis bestemt af koncentrationen af bioeffluenter fra mennesker herunder personrelateret CO₂, tobaksrøg samt afgangning fra byggevarer og inventar.

Anskuet ud fra et lugtkriterium, hvor kriteriet anlægges af en person, som i forvejen har vænnet sig til rumluftens kvalitet ved ophold i rummet, og alene anskuet ud fra personafgivet CO₂, bør udelufttilførslen være 3,5-4 l/s pr. person.

I forbindelse med tobaksrygning må det anses for sandsynligt, at ringe luftkvalitet vil blive afhjulpet ved indgriben fra beboernes side, fx ved åbning af døre og vinduer. Det vil derfor være rimeligt at forudsætte, at boligventilationssystemet generelt ikke skal dimensioneres på grundlag af luftforurening fra tobaksrygning.

I de senere år er opmærksomheden i stigende grad rettet mod afgangning fra byggevarer og inventar og afgangningens betydning for luftkvaliteten. I de nyeste bygningsreglementer fra henholdsvis 1995 og 1998 er der indført et indeklimakapitel, som præciserer bestemmelser og krav til brugen af en række materialer, og medio 1994 etableredes Mærkningsordningen Dansk Indeklima Mærkning. Begge initiativer har medført en betydelig produktudvikling, således at der er både dokumentation og begrundede formodninger om, at afgangning fra byggevarer og inventar vil få stadig mindre betydning for indeluftens kvalitet.

Bygningsreglementerne rummer bestemmelser, som skal medvirke til sikring mod indtrængning af radon og andre forureninger fra undergrunden. Bestemmelserne er endnu så nye, at der ikke foreligger undersøgelser af effekten af bestemmelserne, men det må forventes, at det kun i ekstraordinære tilfælde vil være nødvendigt at dimensionere boligens ventilation efter eventuelle forureninger i jorden under boligen.

Fugtforhold

Formålet med at kontrollere fugtforholdene i boliger ved hjælp af ventilationen er at forhindre kondensation på eller i bygningsdele, at reducere risikoen for skimmelsvampevækst og at begrænse antallet af husstøvmider.

Kondensation på bygningsdele kan forårsage skader og tidlig nedbrydning af materialerne. På baggrund af den fugtmængde som rumluften i boligen typisk vil blive tilført fra fugtkilderne i boligen, og på baggrund af beregninger af maksimalt tilladeligt fugttilskud til rumluften af hensyn til kondensation betragtes en gennemsnitlig udelufttilførsel på ca. 7 l/s pr. person i opvarmningsperioden som tilstrækkelig. I typiske boligstørrelser vil dette svare til 0,35 l/s pr. m², som igen svarer til et luftskifte omkring 0,5 gange pr. time. Såvel fugtkilderne som fugtproduktionen kan være ujævnt fordelt i tid og sted, og der kan derfor være en både energi- og indeklimateæssig fordel ved at undersøge mulighederne for at regulere ventilationen, så denne ikke er permanent 0,35 l/s pr. m², men i perioder højere og i andre perioder lavere og samtidig bedre fordelt på rummene i boligen afhængig af den aktuelle fugtproduktion.

Der er igangsat en række forskningsprojekter, som dels skal forbedre den eksisterende viden om skimmelsvampe i indeklimaet dels tilvejebringe et grundlag for effektive, sikre og økonomisk forsvarlige løsninger, som kan afhjælpe og forebygge skimmelsvampevækst i eksisterende og nye bygninger.

Skimmelsvampevækst kan begrænses ved at benytte gennemtænkte konstruktionsdetaljer, vælge hensigtsmæssige materialer og sikre den fornødne udelufttilførsel. Hvad angår anvendelse af ventilation som parameter, må det på baggrund af den nuværende viden på området anbefales, at bekæmpelse af skimmelsvampevækst sker ved at sikre, at der ikke forekommer kondensation på bygningsdele og ved at begrænse rumluftens fugtighed. Egentlige bygningsmæssige skader, som fx utæt tag eller utætte vandrør, skal udbedres umiddelbart. Det må antages, at såfremt der sikres en udelufttilførsel, som forhindrer kondensation (se ovenfor), og at generelle anbefalinger til begrænsning af husstøvmider følges (se nedenfor), vil risikoen for skimmelsvampevækst ligeledes blive reduceret.

Til at bekæmpe husstøvmider anbefales almindeligvis, at rumluftens vanddampindhold i nogle måneder i opvarmningsperioden bør være lavere end 7 g vand pr. kg luft, svarende til en relativ fugtighed på ca. 45 pct. ved 20-22 °C.

Beregninger

Med henblik på at opnå en energibesparelse i energiforbruget til ventilation og under hensyntagen til at både fugtkilderne og fugtproduktionen i en bolig kan være ujævnt fordelt i tid og sted, er der gennemført beregninger, som skal understøtte vurderinger af mulighederne for at regulere udelufttilførslen i afhængighed af den aktuelle fugtproduktion. Beregningerne antyder, at i en typisk lejlighed og med det forudsatte brugsmønster er det muligt at regulere basisventilationen, så der kan opnås en reduktion af denne på 20-30 pct. i forhold til gældende regler, uden at indeklimaet forringes.

Såfremt *alene* rumluftens indhold af forureninger lægges til grund for vurderingerne, viser beregningerne, at det i *indeklimamæssig* sammenhæng kan være acceptabelt at regulere og i gennemsnit reducere ydelsen af den mekaniske udsugning. Dette vil imidlertid ikke med sikkerhed tilfredsstille almindelige anbefalinger til *maksimal acceptabel luftfugtighed* inde. Det er derfor nødvendigt at sikre, at der i sammenhæng med en regulering af den mekaniske udsugning sker en effektiv udnyttelse af den tilførte udeluft, fx ved at den tilføres de rum, hvor der aktuelt forekommer fugt- eller personbelastning. Dette forudsætter, at bygningen er tæt, og at udeluften tilføres gennem veldefinerede og hensigtsmæssigt placerede åbninger.

Konklusion

Ventilationsbehovet kan fastlægges ud fra krav til indeluftens kvalitet og ud fra krav til kontrol af fugtforholdene. På baggrund af de nyeste bygningsreglementsbestemmelser og den nuværende viden om forureninger i indeklimaet hidrørende fra bioeffluenter fra mennesker herunder personrelateret CO₂, tobaksrøg samt afgang fra byggevarer og inventar, betragtes boligens fugtforhold som bestemmende for ventilationsbehovet. Under forudsætning af at beboerne udviser god bolighygiejnisk adfærd og med henblik på kontrol af fugtforholdene i boligen (forhindring af kondensation på bygningsdele, reduktion af risikoen for skimmelsvampevækst, begrænsning af antallet af husstøvmider), bør udelufttilførslen være omkring 0,35 l/s pr. m², svarende til et luftskifte omkring 0,5 gange pr. time.

De gennemførte beregninger antyder, at i en typisk lejlighed og under den forudsatte brug af denne er det muligt ved hensigtsmæssig styring af ventilationen, at reducere basisventilationen med 20-30 pct. i forhold til gældende regler uden at indeklimaet forringes. Der kan således i gennemsnit opnås besparelser i energiforbruget til ventilationen i etageboliger.

Boligventilation

Ventilation er tilførsel af udeluft dvs. udskiftning af indeluften med udeluft. Udelufttilførsel til en bolig er nødvendig for at opretholde tilfredsstillende luftkvalitet og for at kontrollere fugtforholdene i rummene. Uanset om en bolig ventileres ved mekanisk eller naturlig ventilation, er der et energiforbrug knyttet til ventilationen; nemlig opvarmning af den tilførte udeluft. I forbindelse med bestræbelser på at reducere energiforbruget til ventilation, er det ikke tilrådeligt, at blot sænke basisventilationen. Basisventilationen er ventilationssystemets ydelse ved normaldrift.

Bygningsreglementernes bestemmelser

Med det nyeste bygningsreglement fra 1995 [5] og småhusreglementet fra 1998 [6] ændredes titlen på det kapitel i de to reglementer, som indeholder ventilationsbestemmelserne. Kapitlets titel ændredes fra *Ventilation* til *Indeklima*, og kapitlet rummer foruden specifikke bestemmelser med hensyn til indretning af ventilationen afsnit, som vedrører forureninger fra byggematerialer (formaldehyd, asbest, mineraluld, flyveaske) og andre forureninger (kvælstofilter, radon, grundforurening). Hensigten er at begrænse såvel antallet som kildestyrken af forureningskilder i indeklimaet, og i vejledningsteksten præciserer bygningsreglementerne, at der altid bør benyttes byggematerialer med den lavest mulige afgivelse af forureninger.

I særdeles korte træk foreskriver bygningsreglementerne blandt andet følgende vedrørende ventilationen i boliger:

- under normal brug af en bygning skal der kunne opretholdes et sundheds- og sikkerhedsmæssigt tilfredsstillende indeklima
- boliger anses normalt for at være benyttet døgnet rundt
- ventilationsbestemmelserne vedrører alene de almene ventilationsbehov
- i ethvert beboelsesrum såvel som i boligenheden totalt skal der være et samlet luftskifte på mindst 0,5 gange pr. time
- hvis ventilationen tilvejebringes ved mekanisk udsugning, skal anlægget yde 20 l/s fra køkken og 15 l/s fra bade- og wc-rum
- udsugningen i køkken skal ske gennem emhætte
- der skal være udeluftventiler i alle beboelsesrum. Krav til udeluftventilernes størrelse afhænger af bygningstypen
- luftoverføring mellem rum skal ske fra mindre til mere forurenede rum

Ventilationens formål

Formålet med at ventilere en bolig er at tilgodese menneskers behov for et hygiejnisk og sundhedsmæssigt tilfredsstillende indeklima herunder at kontrollere fugtforholdene i rummene. Den nødvendige

udelufttilførsel – ventilationsbehovet – for at kravene til luftkvalitet og fugtforhold inde kan blive opfyldt, beror på arten af forureninger i indeklimaet og forureningskildernes styrke, dvs. raten hvormed kilderne afgiver forurening til indeklimaet.

Forureninger i indeklimaet

Almindeligt forekommende forureningskilder i indeklimaet kan klassificeres som:

- a) forureningskilder som er direkte relateret til personers tilstedeværelse (bioeffluenter fra mennesker, CO₂, fugt)
- b) forureningskilder som er indirekte personrelaterede (fugt fra madlavning, tøjvask og tøjtørring, skimmelsvampe, husstøvmider)
- c) forureningskilder som er relateret til selve bygningen og bygningsmæssige forhold (afgasning fra byggevarer og inventar, byggefugt, indtrængning af radon og jordgasser)

Et fuldstændig forureningsfrit indeklima er en umulighed. Tilvejebringelse af tilfredsstillende indeklima må ske ved en kombination af begrænsning af forureningskilderne og deres emission samt tilførsel af udeluft – ventilation. Direkte kontrol af forureningskilderne er bedst egnet i forbindelse med "undgåelige" forureninger, fx emission fra byggevarer og inventar, mens ventilation generelt vil være en egnet metode til kontrol af "uundgåelige" forureninger, fx bioeffluenter fra mennesker, CO₂ og fugtbelastning fra persontilstedeværelse og aktivitet. Anvendelse af ventilation til at frembringe tilfredsstillende indeklima baseres typisk på fortyndingsprincippet.

Ventilationsbehovet, det vil sige den udelufttilførsel, som er nødvendig, for at der opnås et tilfredsstillende indeklima, kan i praksis sjældent fastlægges på basis af alle tænkelige forureningskilder. I [30] er der vist en række forureningskilder, som normalt kan have betydning for størrelsen af den nødvendige udelufttilførsel. Figuren viser, at det især er bioeffluenter fra mennesker, tobaksrøg og emission fra byggevarer, som der bør tages hensyn til ved beregning af ventilationsbehovet. I tillæg hertil er det vigtigt at sikre, at fugtproduktionen hidrørende fra beboernes tilstedeværelse og aktiviteter, fx madlavning og tøjvask, ikke medfører en uacceptabel høj fugtighed. Et højt fugtindhold i rumluften øger risikoen for kondensationsproblemer og fugtskader på bygningen. Samtidig kan et højt fugtindhold i rumluften og i materialer og inventar medføre henholdsvis husstøvmider og skimmelsvampe.

Med baggrund i formålet med at ventilere boliger, kan ventilationsbehovet vurderes ud fra henholdsvis *indeluftens kvalitet og fugtforholdene*. Den nødvendige udelufttilførsel må fastlægges ud fra det kriterium, som medfører det største ventilationsbehov.

Ventilationsbehov – indeluftens kvalitet

Indeluftens kvalitet er almindeligvis bestemt af koncentrationen af bioeffluenter fra mennesker herunder personrelateret CO₂, tobaksrøg samt afgangning fra byggevarer og inventar [30].

Bioeffluenter og CO₂

Forureninger i indeluften hidrørende fra bioeffluenter fra mennesker er den almindelige årsag til, at indeluften ved utilstrækkelig ventilation betegnes som indelukket, lugtende eller ubehagelig.

En væsentlig bestanddel af bioeffluenterne er CO₂. En CO₂-koncentration på nogle få procent kan medføre hovedpine og svimmelhed [28]. Arbejdstilsynet har fastsat en grænseværdi på 5000 ppm gældende for industriluft, men i opholdsrum i boliger bør maksimumværdien sættes væsentlig lavere. Almindelige anbefalinger er, at CO₂-koncentrationen i opholdsrum ikke bør overstige 1000 ppm. Baggrunden herfor er, at CO₂-afgivelsen fra personer kan anvendes som indikator for koncentrationen af andre bioeffluenter og dermed som indikator for lugtintensitet.

Størrelsen af CO₂-afgivelsen fra en person afhænger af personens aktivitetsniveau. Ved konstant aktivitetsniveau og ved konstant udelufttilførsel vil der optræde en ligevægtskoncentration af CO₂ i rummet. Forudsat at der ikke er andre CO₂-afgivende kilder i rummet, og at CO₂-koncentration i udeluften er kendt og konstant, er det muligt at beregne den nødvendige udelufttilførsel pr. person, for at der ved et givet aktivitetsniveau højest opnås en vis acceptabel ligevægtskoncentration. Anskuet ud fra et lugtkriterium, hvor kriteriet anlægges af en person, som i forvejen har vænnet sig til rumluftens kvalitet ved ophold i rummet, og alene anskuet ud fra personafgivet CO₂ anføres i [18], at ved stillesiddende aktiviteter, bør udelufttilførslen være mindst 3,5 l/s pr. person, og i [8] anføres 4 l/s pr. person i rum med lav personbelastning.

Tobaksrøg

Forurening fra tobaksrygning består af såvel gasformige som partikelformige forureninger. Tobaksrygning anses for at være den væsentligste kilde i indeklimaet til luftbårent respirabelt støv [30], det vil sige støv, der kommer ned i luftvejene. Udelufttilførslen skal forøges væsentligt, for at tilfredsstillende luftkvalitet kan opretholdes i rum, hvori der forekommer tobaksrygning. Forøgelsen afhænger blandt andet af antallet af rygere i forhold til ikke-rygere, rumvoluminet pr. person og grænsen for acceptabel luftkvalitet. I [8] sættes udelufttilførslen til rum, hvori der ryges, til 10 l/s pr. person, og i fx [16], [18], [28] og [30] er anført væsentlig større udelufttilførsler – op til 30 l/s pr. person. Imidlertid er det et spørgsmål, om det er relevant at stille krav om, at ventilationssystemet i boliger skal have kapacitet til at kunne tilvejebringe den samme luftkvalitet i rum, hvori der ryges, som i rum, hvori der ikke ryges. Samtidig er accepten af tobaksrøg i indeklimaet mindre nu end for blot få år siden, så det i praksis vil være på det nærmeste umuligt, at tilvejebringe tilfredsstillende luftkvalitet for en ikke-ryger, i et rum hvori der ryges.

Problemstillingen vedrørende ventilationens størrelse i forbindelse med tobaksrygning angår især lokaler i kontor- og institutionsbyggeri, hvor både adaptation og indtrædendes førstehåndsindtryk af luftens kvalitet kan have en betydning. I forbindelse med ventilation af boliger må det imidlertid anses for sandsynligt, at ringe luftkvalitet hidrørende fra tobaksrygning hurtigt vil blive afhjulpet ved indgriben fra beboernes side, fx ved åbning af døre og vinduer. Det vil derfor være rimeligt at forudsætte, at det ikke vil være relevant at skulle dimensionere boligventilationssystemet, så det er i stand til at håndtere luftforurening fra tobaksrygning. I [18] anføres det således, at i boliger kan udelufttilførslen være lavere end generelle anbefalinger til udelufttilførsels størrelse gældende for andre bygninger end boliger, fordi beboerne har mulighed for selv at forøge ventilationen ved udluftning.

Afgasning fra byggevarer og inventar

Indeluften indeholder et meget stort antal forskellige organiske gasser og dampe. En del af stofferne findes i udeluften, men i det omfang stofferne primært hidrører fra afgasning fra byggevarer og inventar, er det i teorien muligt at begrænse forureningsniveauet i indeklimaet. Byggevarer, dvs. byggematerialer og -komponenter, og inventar kan desuden afgive en mængde andre forureninger til indeklimaet fx partikler, herunder fibre, uorganiske gasser og dampe samt ioniserende stråling.

Det er kendt, at organiske gasser og dampe kan medføre indeklimaproblemer i form af lugtgener og øjen-, næse- og luftvejsirritationer [13], [14], [30], [33]. Sammenhængene er dog komplekse og ufuldstændigt belyst, og organiske gasser og dampe kan næppe entydigt udpeges som årsag til de nævnte symptomer. Myndighederne har fastsat grænser for koncentrationen af nogle få stoffer, og for andre er der udarbejdet såkaldte indeklimaværdier, se fx [30] og bygningsreglementerne [5] og [6].

I de senere år er opmærksomheden i stigende grad rettet mod byggevarernes indflydelse på luftkvaliteten. Der er inden for den sidste halve snes år iværksat en lang række forsknings- og udviklingsprojekter inden for materiale- og indeklimaområdet. Forskningsresultaterne skal bidrage til den trods alt relativt begrænsede viden, der eksisterer på området.

Forureninger i indeluften hidrørende fra bygningsmæssige forhold er almindeligvis kildebetingede, og begrænsning af forureningernes indvirkning på indeluftkvaliteten bør derfor i første række ske ved modifikation af kilden, fx ved reduktion af emissionsraten eller anvendelse af andre produkter. Desuden har sensoriske undersøgelser vist, at ubehagelig lugt fra nogle materialer fortsat vil blive vurderet ubehagelig selv ved kraftig ventilation. I praksis kan problemet i sådanne tilfælde således kun elimineres ved at undgå materialet. Blandt andet på denne baggrund er der indført bestemmelser i bygningsreglementerne vedrørende forureningsafgivelse fra byggematerialer, og desuden er Mærkningsordningen Dansk Indeklima Mærkning [9], [33] etableret.

Bygningsreglementernes indeklimakapitel

Bygningsreglementernes indeklimakapitel rummer bestemmelser vedrørende anvendelse af dels spånplader, træfiberplader mv., som indeholder formaldehydafgivende lim dels varmeisoleringsmaterialer, der fremstilles ved opskumning af urea og formaldehyd. Formålet med bestemmelserne er at sikre, at formaldehydkoncentrationen i rumluften under normale forhold ikke overstiger $0,15 \text{ mg/m}^3$. Hvad angår formaldehydholdige træplader, så overholder alle plader, der i dag anvendes i indeklimaet, Træpladekontrollens godkendelses- og kontrolregler, og hvad angår ureaformaldehydholdige isoleringsmaterialer, så findes produkterne ikke længere på markedet. Produkterne udgik af markedet i begyndelsen af 1980-erne, idet producenterne af ureaformaldehydskum måtte erkende, at produkterne ikke kunne leve op til kravene i en kontrolordning, som blev indført af Boligministeriet i 1980. På denne baggrund antages det, at ventilationsbehovet af hensyn til andre forureningskilder i indeklimaet fx bioeffluenter fra mennesker og CO_2 , vil kunne sikre at formaldehydkoncentrationen i rumluften ikke overstiger $0,15 \text{ mg/m}^3$.

I lighed med produktudviklingen inden for træplader, herunder spånplader, er der i de senere år sket en produktudvikling af indkapslede plader og ikke-vandfastlimede loftplader. Således er de tidligere kendte indeklimaproblemer hidrørende fra afgivelse af mineraluldsfibre til indeluften fra sådanne plader nu stort set elimineret [33]. En medvirkende årsag er introduktionen af Mærkningsordningen Dansk Indeklima Mærkning i 1994, se nedenfor.

I henhold til Arbejdsministeriets bekendtgørelse nr. 660 er brug af asbest generelt forbudt, og bygningsreglementerne fastslår, at asbestholdige materialer ikke må anvendes indendørs. Asbestholdige produkter er således ligesom ureaformaldehydholdige isoleringsmaterialer gennem produktudvikling erstattet af andre produkter.

Mærkningsordningen Dansk Indeklima Mærkning

Medio 1994 etableredes Mærkningsordningen Dansk Indeklima Mærkning [9], [33]. Ordningen er organiseret i et normgivende og et mærkeudstedende organ, henholdsvis Dansk Selskab for Indeklima og Dansk Indeklima Mærkning. Mærkningsordningen Dansk Indeklima Mærknings primære rolle er tildeling og overvågning af mærkningstilladelser med udgangspunkt i det tekniske grundlag udarbejdet i regi af Dansk Selskab for Indeklima.

Mærkningsordningen Dansk Indeklima Mærkning er en frivillig mærkningsordning for byggevarer og produkters påvirkning af indeklimaet. Ideen i mærkningsordningen er at medvirke til at forbedre indeklimaet i bygninger ved at kontrollere afgasningen fra de byggevarer, der er omfattet af ordningen. Formålet med ordningen er at bidrage til:

- at luftkvaliteten i bygninger forbedres
- at indeklima- og materialeforskning omsættes og anvendes i byggeriet
- at producenter af byggevarer bliver støttet i udviklingen af mere indeklimarigtige produkter
- at dansk byggeindustri kan markere sig stærkt internationalt

Ordningen er hovedsagelig baseret på materialernes primære afgivelse af ubundne organiske gasser og dampe. På baggrund af prøvninger i laboratoriet bestemmes blandt andet en såkaldt indeklimatelevante tidsværdi. Den indeklimatelevante tidsværdi angiver den tid, det tager et materiales afgangning at nå ned på en defineret acceptabel koncentration i indeklimaet i et standardrum. En tidsværdi på fx 10 døgn betyder, at der er en yderst ringe sandsynlighed for, at produktet vil kunne afgive lugt eller vil kunne forårsage slimhindeirritation ud over de første 10 døgn fra produktet er monteret. Ordningen omfatter desuden en vurdering af de vejledninger, producenten leverer med produktet, og for loftprodukters vedkommende måles endvidere partikelafgivelse.

Ordningen vil med stor sandsynlighed medføre, at der i fremtidens boliger vil blive registreret færre indeklimatelevante gener forårsaget af nyproducerede produkters afgangning, men der foreligger endnu kun udokumenterede erfaringer fra de første år med ordningen. Det anslås, at ordningen i øjeblikket omfatter i størrelsesordenen 85 pct. af producenterne af loft- og vægssystemer, og formodentlig er mere end 50 pct. af producenterne af tekstile gulvbelægninger med i ordningen. Ordningen har rimeligvis været en medvirkende årsag til den betydelige produktudvikling, som er sket gennem de senere år, indenfor samtlige produktområder, som i øjeblikket indgår i ordningen¹. Som eksempel har den indeklimatelevante tidsværdi for godkendelse af tekstile gulvbelægninger været 120 døgn siden ordningens start, men det påtænkes i en revideret produktstandard at sætte den ned til 30 døgn.

Et vigtigt element i erhvervelsen af "Indeklimamærket" er producentens vejledninger om transport, opbevaring, montering og rengøring af produkterne. Vejledningerne indgår i den samlede vurdering af produktets indeklimatelevante egenskaber, og ordningen har også på dette område bidraget til, at produkterne efter montage ikke forringer indeklimaet.

Nogle af erfaringerne med selve ordningen er, at professionelle brugere anser det for vigtigt, at ordningen er videnskabeligt baseret, og at resultatet kan angives ved én enkelt værdi. Mærkningsordningen er udviklet, så den kan være et supplement til andre ordninger, og den vil uden videre kunne relateres til de gældende myndighedskrav. Der er således en begrundet formodning om, at stadig flere producenter vil lade sig tilslutte ordningen, og at der i fremtidens boliger i højere grad vil blive anvendt materialer, som i løbet af kort tid opnår en lav emissionsrate af forureninger. Potentielle indeklimatelevante problemer, på grund af afgangning fra byggevarer og inventar, vil således fremover blive afhjulpet på den mest hensigtsmæssige måde, nemlig ved modificering af kilden, for eksempel nedbringelse af emissionsraten eller eliminering af forureningskilden ved anvendelse af andre produkter.

1. Produktområder September 1999: 1) Loft- og vægssystemer, 2) Tekstile gulvbelægninger, 3) Indvendige døre og mobilvægge, 4) Halvhårde gulvbelægninger, laminatgulve og trægulve, 5) Trægulvolier, 6) Vinduer og yderdøre, 7) Køkken-, bad- og garderober.

Radon og jordforureninger

Bygningsreglementerne rummer bestemmelser, som skal medvirke til sikring mod indtrængning af radon og andre forureninger fra undergrunden. Generelt foreskrives, at bygningskonstruktioner mod jord skal udføres lufttæt, og såfremt der bygges på grunde, hvor eventuelle forureninger i jorden ikke er fuldstændig oprenset, skal konstruktionen desuden udføres diffusionstæt. Det er især småhuse, som er udsat for indtrængning af radon og jordgasser, og da det nyeste småhusreglement endnu kun har været i kraft i kort tid, foreligger der ikke undersøgelser af, om der ved nybyggeri i praksis opnås tætte konstruktioner mod jord.

I en undersøgelse af metoder til reduktion af radonkoncentrationen i indeluften i enfamiliehuse [1], er der ved et enkelt forsøg med membrandækning af et eksisterende terrændæk fundet en reduktion af radonkoncentrationen i boligen på 27 pct. Udenlandske undersøgelser har vist, at i nybyggeri kan såvel membrandækning som tætning af revner i betondæk med tætningsmasse reducere indtrængningen af radon og jordluft med ca. 50 pct.

Det må forventes, at bygningsreglementernes bestemmelser vil medføre, at kælder- og terrændækskonstruktioner i fremtiden boliger generelt vil være mere tætte end dagens standard. Samtidig må det forventes, at den almindelige opmærksomhed på forureninger i jorden fx fra tidligere lossepladser, gasværker og lignende vil medføre en særlig agtpågivenhed i forbindelse med opførelse af bygninger på sådanne grunde. Det vil derfor kun i ekstraordinære tilfælde være nødvendigt at indrette boligens ventilation efter eventuelle forureninger i jorden under boligen.

Ventilationsbehov – fugtforhold

Ved almindeligt forekommende indetemperaturer har rumluftens vanddampindhold stort set ingen indvirkning på menneskers vurdering af indeluftens kvalitet. Ekstraordinær lav luftfugtighed kan i sammenhæng med færdsel på gulvbelægninger, der ikke er tilstrækkelig elektrisk ledende, medføre, at personer bliver opladet med statisk elektricitet, men problemet er dog sjældent særligt fremtrædende i boliger. De primære formål med at kontrollere fugtforholdene i boliger ved hjælp af ventilationen er at forhindre kondensation på bygningsdele, at reducere risikoen for skimmelsvampevækst og at begrænse antallet af husstøvmider.

Kondensation

Kondensation på bygningsdele kan forårsage skader og tidlig nedbrydning af materialerne. De bygningsdele, som er mest udsat for kondensationsrisiko, er vinduerne. I [28] er vist kurver for, hvornår der netop optræder kondensation på vinduer. Kondensationsrisikoen er vist dels i afhængighed af temperaturerne inde og ude dels i afhængighed af tilførslen af fugt til rumluften. Sammenfattende viser kurverne, at fugttilskud omkring 2,5 g vand pr. kg luft normalt ikke vil give anledning til kondensation, men at det må forventes, at der opstår kondensationsproblemer ved fugttilskud omkring 4 g vand pr. kg luft i boliger med 2-lags ruder, når rumtemperaturen sænkes, og

gardiner trækkes for. I en større undersøgelse af ventilationsforholdene i nyere enfamiliehuse [34] er der målt gennemsnitlige differenser mellem inde- og udeluftens vanddampindhold på ca. 3 g vand pr. kg luft i stuen og ca. 4 g vand pr. kg luft i soverummene. I samme undersøgelse indgik en spørgeundersøgelse, og i denne oplyste 209 husstande ud af 1403, svarende til 15 pct., at der ofte forekommer dug på vinduerne, når udetemperaturen er omkring 0 °C, og gardiner ikke er trukket ned. Ved at sammenholde måleresultater og spørgeskema-besvarelser blev det fundet, at i gennemsnit var rumluftens relative fugtighed højere og udelufttilførslen lavere, i de boliger hvor der forekommer dug på vinduerne end i de øvrige boliger i undersøgelsen.

I en bolig tilføres rumluften fugt både fra personer, fra indirekte personrelaterede fugtkilder og fra bygningsmæssige fugtkilder, som anført side 9. Et ofte anvendt nøgletal for den samlede fugtproduktion i en husstand på 4 personer er ca. 10 kg vand pr. døgn [29] svarende til 2-3 kg vand pr. person pr. døgn. I førnævnte undersøgelse [34] er der fundet en gennemsnitlig fugtproduktion på 2,7 kg vand pr. person pr. døgn. Der kan desuden være en fugtproduktion i køkken og bad, som bortventileres straks, og som derfor ikke registreres i opholdsrummene. I [28] er det vist, at med et maksimalt tilladeligt fugttilskud til rumluften på omkring 4 g vand pr. kg luft, fordres der en udelufttilførsel på ca. 7 l/s pr. person. I typiske boligstørrelser vil dette svare til ca. 0,35 l/s pr. m², som igen svarer til et luftskifte omkring 0,5 gange pr. time. Det anses derfor for rimeligt at forudsætte, at boligventilationssystemet bør indrettes til at kunne yde omkring 0,35 l/s pr. m². Men da såvel fugtkilderne som fugtproduktionen kan være ujævnt fordelt i tid og sted, kan der være en både energi- og indeklimamæssig fordel i undersøge muligheder for at regulere ventilationen, så den ikke er permanent 0,35 l/s pr. m², men i perioder højere og i andre perioder lavere og samtidig bedre fordelt på rummene i boligen afhængig af den aktuelle fugtproduktion. I afsnittet *Beregninger* på side 19 er der vist eksempler på en sådan regulering.

Skimmelsvampe

Skimmelsvampesporer findes overalt i luften. Organiske byggematerialer, som har et permanent højt fugtindhold fx på grund af mangelfuld ventilation eller egentlige bygningsmæssige fejl og skader, kan blive angrebet af skimmelsvampe. Det har længe været kendt, at ophold i fugtskadede boliger har sundhedsmæssige konsekvenser, idet der er fundet en sammenhæng mellem boligfugt, skimmelsvampeforekomst og en overhyppighed af luftvejssymptomer hos både børn og voksne. Det har været antaget, at skimmelsvampenes betydning alene skyldtes deres allergener. Skimmelsvampe indeholder og afgiver imidlertid en lang række andre biologisk aktive stoffer og det er påvist, at skimmelsvampe kan producere giftige stofskifteprodukter, såkaldte mykotoksiner, som er immunundertrykkende og kræftfremkaldende. Opmærksomheden er derfor skærpet overfor de uheldige sundhedsmæssige virkninger, udbredt vækst af skimmelsvampe kan have for beboerne. På denne baggrund er der iværksat et tværfagligt, fireårigt forskningsprogram, som dels skal forbedre den eksisterende viden om skimmelsvampes livsbetingelser i bygninger og virkninger på mennesker dels tilvejebringe et grundlag for effektive, sikre og

økonomisk forsvarlige løsninger, som kan afhjælpe og forebygge skimmelsvampevækst i eksisterende og nye bygninger.

Generelt kan væksten af skimmelsvampe begrænses ved at kontrollere fugtniveauet både i rumluften og på overfladerne i boligen. Erfaringsmæssigt er det navnlig gulv, vægge og loft i vådrummene og lokalt kolde ydervægge, fx i forbindelse med kuldebroer, som bør være under observation. Imidlertid er der i dag utilstrækkelig viden om de mekanismer, som betinger afgivelsen og spredningen af sporer og flygtige stoffer fra skimmelsvampevækst på materialer (kilden), til indeluften og videre til de eksponerede personer, der opholder sig i bygningen. Dette er ét af de emner, som vil blive undersøgt i et delprojekt under det tværfaglige forskningsprogram, og blandt andet vil ventilationens indflydelse på afgivelsen og spredningen af forurening fra skimmelsvampe blive studeret.

Desuden bør forskningsprojektet "Energieffektiv boligventilation til forebyggelse og bekæmpelse af skimmelsvampevækst" nævnes. Projektet er igangsat under EFP-98, og det har til formål at undersøge sammenhænge mellem boligventilation, skimmelsvampevækst og materialevalg i typiske boliger. Desuden har projektet til formål at undersøge risikoen for skimmelsvampevækst på bygningsdele ved forskellige fugt- og temperaturforhold, herunder forhold som behovsstyring af ventilationen, ventilationseffektivitet, natsækning, periodisk drift og lignende. På baggrund af undersøgelserne vil der blive udformet konkrete anbefalinger for udformning og vedligeholdelse af boligventilationen samt bolighygiejnisk adfærd for at forebygge skimmelsvampevækst.

Skimmelsvampevækst kan begrænses ved at benytte gennemtænkte konstruktionsdetaljer, vælge hensigtsmæssige materialer og sikre den fornødne udelufttilførsel. Hvad angår anvendelse af ventilation som parameter, må det på baggrund af den nuværende viden på området anbefales, at bekæmpelse af skimmelsvampevækst sker ved at begrænse rumluftens fugtighed og ved at sikre, at der ikke forekommer kondensation på bygningsdele. Egentlige bygningsmæssige skader, som fx utæt tag eller utætte vandrør, skal udbedres umiddelbart. Det må antages, at såfremt der sikres en udelufttilførsel, som forhindrer kondensation (se ovenfor), og at generelle anbefalinger til begrænsning af husstøvmider følges (se nedenfor), vil risikoen for skimmelsvampevækst ligeledes blive reduceret.

Husstøvmider

I [17] er vist resultater af en undersøgelse af sammenhængen mellem husstøvmideforekomsten i boliger og ventilationen/luftfugtigheden. Der blev ved undersøgelsen fundet en signifikant sammenhæng mellem husstøvmideforekomsten og ventilationen i soverum, med høje midetal i boliger med lavt luftskifte i soverummene. Desuden blev der fundet relation mellem høj luftfugtighed og høj mideforekomst, således at husstøvmider især forekommer i boliger, hvor rumluftens vanddampindhold er over 7 g vand pr. kg luft.

Almindelige anbefalinger til bekæmpelse af husstøvmider er, at i nogle måneder i opvarmningsperioden bør rumluftens vanddampindhold være lavere end 7 g vand pr. kg luft, svarende til en relativ fugtighed på ca. 45 pct. ved 20-22 °C.

Behovsstyret ventilation og ventilationsstrategier

Behovsstyring af ventilationen betyder i al væsentlighed, at udelufttilførslen kontrolleres på en sådan måde, at der i tid (morgen/aften, hverdag/weekend, sommer/vinter) og sted (soverum/opholdsrum) tilføres udeluft i afhængighed af det aktuelle behov. Overordnet set, er formålet med at behovsstyre ventilationen, at på samme tid opnå en besparelse i energiforbruget til ventilation og tilvejebringe et tilfredsstillende indeklima. Behovsstyringen må ikke medføre komplekse og sårbare ventilationssystemer, som er dyre i installation og drift, og som stiller særlige krav til brugernes adfærd eller indsigt i systemernes funktion.

Ideelt set skulle én føler kunne detektere en hvilken som helst forurening i indeluften og reagere, så snart niveauet af én af forureningerne oversteg et forudbestemt niveau. I praksis er der flere forhold, som indskrænker mulighederne for at opnå idealtilfældet. Begrænsninger i udvalget af praktisk anvendelige følere gør, at behovsstyret ventilation bedst egner sig til brug i situationer, hvor der er en enkelt forureningskilde, som i særlig grad er bestemmende for ventilationsbehovet. Bortset fra kostbare specialfølere beregnet til anvendelse i særlige industrielle miljøer, begrænser valgmulighederne inden for boligventilation sig til fugtfølere, CO₂-følere, infrarøde tilstedeværelsesfølere og såkaldte luftkvalitetsfølere. Sidstnævnte følere kan fx detektere CO og forskellige organiske gasser og dampe, og følerne kan almindeligvis reagere på persontilstedeværelse. Da individuelle gasser ikke detekteres, er brugen af sådanne detektorer set fra et luftkvalitetssynspunkt næppe egnede til styring af ventilationen i boliger.

Regulering af ventilationen kan ske på baggrund af aktive eller passive følere. Aktive følere er typisk separate følere, som giver et elektrisk udgangssignal, som kan viderebearbejdes elektronisk og indgå i reguleringen af fx en ventilators omløbstal. Passive følere reagerer mekanisk, og er almindeligvis indbygget i selve den regulerende komponent; bedst kendt er termostat-radiatorventiler og fugtføl-somme udeluftventiler. En variant er passive følere, hvor reguleringen sker med støtte fra et indbygget batteri.

Det er normalt nødvendigt at betragte en bolig som bestående af forskellige zoner med principielt forskellig brug. Køkken, baderum og wc-rum regnes til boligens fugtbelastede og luftforurenede rum. Soverum og opholdsrum har, i hvert fald i boliger af en vis størrelse, sjældent tidsmæssigt sammenfaldende person- og fugtbelastning. Følerens placering i en zone eller et rum kan have stor betydning for funktionen af den behovsstyrede ventilation. Såfremt der kan lokaliseres ét eller nogle få punkter, som er repræsentative for forholdene i zonen eller rummet, kan aktive følere ofte relativt nemt placeres hensigtsmæssigt. Passive følere har for det meste en mere bundet placering. Til gengæld kan anvendelse af aktive følere medføre en mere kompliceret, og dermed sårbar, systemopbygning.

Som følge af den ofte nødvendige zoneopdeling af en bolig, må udeluftens fordeling på de enkelte rum i boligen tilrettelægges. I afsnittet *Beregninger* side 19 er det vist, at det ikke kan påregnes at være tilstrækkeligt, at regulere boligens samlede udelufttilførsel.

Beregningsmæssig "regulering"

Regulering af rumtemperaturerne i en bolig vekselvirker med styring af de interne luftbevægelser. Temperaturforskelle mellem rum medfører luftstrømning gennem døråbningerne, og i [3] er vist udvikling af en computerbaseret model til beskrivelse af denne vekselvirkning. I forbindelse med verifikation af den udviklede model er der gennemført beregninger på en 2-værelses lejlighed. Målet har været at vise, at det – i det mindste beregningsmæssigt – er muligt at tage højde for temperaturforskellene imellem boligens rum og samtidig tilpasse udelufttilførslen til et soverum. Der vises et eksempel med et soverum med to sovende personer, hvor udelufttilførslen tilpasses, så der opnås en CO₂-koncentration på maksimalt 1000 ppm i samtlige rum i boligen. Det argumenteres, at 1000 ppm er en acceptabel CO₂-koncentration, og da koncentrationen ikke overstiger 1000 ppm i noget rum, er boligen ventileret tilfredsstillende.

Demonstrationsprojekt - fugtstyring

I et demonstrationsprojekt [10], [25] er der foretaget en sammenlignende undersøgelse af funktionen af behovstyret, mekanisk udsugning med rumluftens fugtighed som kontrolparameter. Undersøgelsen omfatter 13 forsøgsboliger med fugtstyret, mekanisk udsugning og 13 identiske kontrolboliger med traditionel, kontinuert, mekanisk udsugning.

I forsøgsboligerne blev udelufttilførslen reguleret på en sådan måde, at der i alle rum var en relative luftfugtighed, som lå under grænsen for vækst af husstøvmider og netop tilstrækkelig til at modvirke kondensation på vinduerne. To kontrolkriterier var indlagt i styringen af ventilationen; et for udetemperaturer over 1 °C og et for udetemperaturer under 1 °C.

Resultaterne af målingerne af ventilationen viste, at udelufttilførslen kunne reduceres i forhold til bygningsreglementets krav ved gennemsnitlige udetemperaturer lavere end 9 °C. Den største reduktion blev opnået ved en gennemsnitlig udetemperatur på 1,5 °C. Reduktionen var i dette tilfælde 35 pct., og der var ikke signifikant forskel i rumluftens fugtighed i de to grupper af boliger.

Beregninger

Ved hjælp af computerprogrammet CONTAM-96 [35] er der foretaget en række beregninger af ventilationsforholdene i en tænkt lejlighed. Beregningerne skal understøtte vurderinger af konsekvenserne af at regulere basisventilationen, så denne ikke er kontinuert 35 l/s, men i perioder lavere og i andre perioder højere. Med det formål på længe sigt at opnå besparelser i energiforbruget til ventilation har beregningerne taget udgangspunkt i en gennemsnitlig reduktion af basisventilationen i forhold til de gældende bestemmelser i bygningsreglementerne.

Procedure

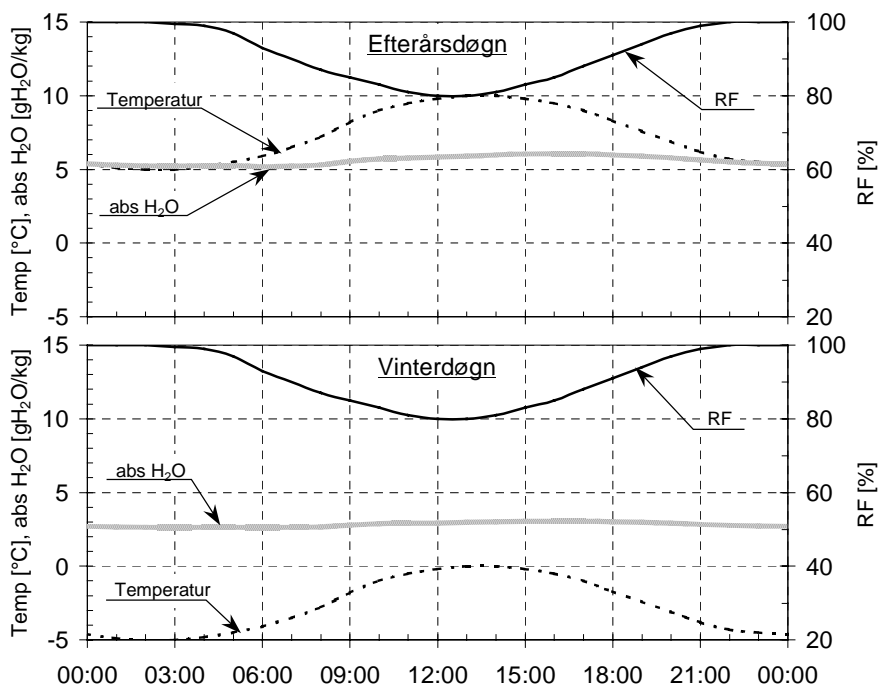
Basis for beregningerne er en tænkt lejlighed, under et typisk udeklima og under forudsatte person-, fugt- og forureningsbelastninger. Forudsætningerne er beskrevet i de følgende afsnit.

Beregningerne er gennemført som cykliske beregninger. Princippet i metoden er, at i trin på 5 minutter regnes et døgn igennem, hvorved døgnforløbet af infiltrationen, exfiltrationen, interne luftbevægelser, rumluftens absolutte vandindhold, CO₂-koncentration etc. bestemmes. Derefter gennemregnes endnu et døgn, idet begyndelsesbetingelserne for beregningen af dette døgn er det sidste resultat (kl. 23:55) fra beregningen af det foregående døgn. Efter gennemregning af et antal på hinanden følgende døgn vil der indstille sig en døgnstationær situation, idet variationerne i person-, fugt- og forureningsbelastningerne i lejligheden samt ventilationsstrategi og udeklima er antaget ens døgn efter døgn. Denne døgnstationære situation tages som resultat af beregningen.

Forudsætninger

Udeklima

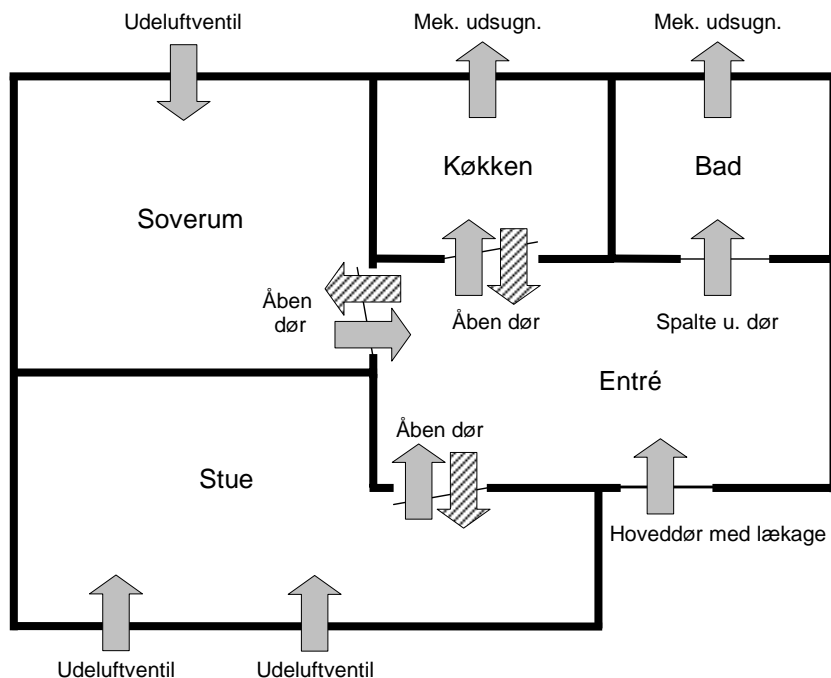
Fugtforholdene i en bolig er bestemt af udeluftens temperatur og vandindhold samt fugtproduktionen i boligen. I opvarmningsperioden har den tilførte udeluft blandt andet til opgave at nedbringe fugtigheden i indeluften. Om vinteren har udeluften et stort affugtningspotentiale, og ved hensigtsmæssig ventilation og normal brug af en bolig er det i teorien uproblematisk at opnå tilfredsstillende fugtforhold inde. Det kan derimod være vanskeligere i overgangsperioderne. Der er gennemført beregninger baseret på såvel et typisk efterårsdøgn som et typisk vinterdøgn. Det anvendte udeklima, hvad angår temperatur og fugt, er vist i Figur 1. Udeluftens CO₂-indhold er i alle beregninger sat til 450 ppm.



Figur 1. Udeklima et typisk efterårsdøgn og et typisk vinterdøgn som anvendt ved beregningerne.

Lejligheden

Figur 2 viser lejligheden, som består af soverum, stue, entré, køkken og bad. I køkken og bad er der mekanisk udsugning. Udeluft tilføres gennem udeluftventiler i soverum og stue. Indvendige døre er regnet åbne; dog er døren til bad regnet lukket med en spalte under.



Figur 2. Skematisk plan af lejligheden. Under forudsætning af samme temperatur i alle rum forekommer alene luftoverføring fra soverum og stue via entré til køkken og bad bestemt af den mekaniske udsugning. De skraverede pile angiver to-vejs luftstrømninger, som forekommer ved uens temperaturer i rummene.

Ved beregning af relative luftfugtigheder og interne luftudvekslinger er det forudsat, at temperaturen er 18 °C i soverummet, 22 °C i stuen, 19 °C i entréen, 20 °C i køkkenet og 22 °C i badet.

Beregningerne og de viste resultater er uafhængige af lejlighedens areal og volumen.

Lejlighedens brug

Lejligheden antages beboet af 2 voksne personer. Med det formål at simulere fugt- og forureningskilders variation i tid og sted er det antaget, at beboerne følger en døgnrytme som vist i Tabel 1. Tabellen viser den forudsatte person-, fugt- og forureningsbelastning gennem døgnet.

Tabel 1. Forudsat person-, fugt- og forureningsbelastning i lejligheden gennem et døgn.

Tidsrum	Soverum	Stue	Entré, køkken, bad
00:00-01:00	15 gH ₂ O/h	2 personer: 60 gH ₂ O/h/pers. 20 l CO ₂ /h/pers. 60 gH ₂ O/h/pers. 15 gH ₂ O/h Forureningsemission	Entré: 15 gH ₂ O/h
01:00-07:00	2 personer: 25 gH ₂ O/h/pers. 12 l CO ₂ /h/pers. 15 gH ₂ O/h	15 gH ₂ O/h Forureningsemission	Entré: 15 gH ₂ O/h
07:00-08:00	15 gH ₂ O/h	15 gH ₂ O/h Forureningsemission	Entré: 15 gH ₂ O/h Køkken: 2 personer: 20 l CO ₂ /h/pers. madlavning 200 gH ₂ O/h Bad: 2 pers., 2 x 10 min: 20 l CO ₂ /h/pers. badning: 2000 gH ₂ O/h
08:00-18:00	15 gH ₂ O/h	15 gH ₂ O/h Forureningsemission	Entré: 15 gH ₂ O/h
18:00-19:00	15 gH ₂ O/h	15 gH ₂ O/h Forureningsemission	Entré: 15 gH ₂ O/h Køkken: 2 personer: 20 l CO ₂ /h/pers. madlavning: 200 gH ₂ O/h
19:00-24:00	15 gH ₂ O/h	2 personer: 60 gH ₂ O/h/pers. 20 l CO ₂ /h/pers. 60 gH ₂ O/h/pers. 15 gH ₂ O/h Forureningsemission	Entré: 15 gH ₂ O/h

Person- og fugtbelastning

Det fremgår af Tabel 1, at en del af fugtbelastningen er personrelateret, dvs. knyttet til personbelastningen og personernes aktivitetsniveau. Derudover er der en fugtbelastning, som er uafhængig af persontilstedeværelse, og som hidrører eksempelvis fra planter i rummene, akvarier og desorption fra inventar. Fugtbelastningen antages ikke at omfatte ekstraordinære fugtbelastninger som fx indtrængende regnvand eller opstigende grundfugt. Endelig er der indregnet en fugtbelastning til simulering af tøjtørring i opholdsrummene og en vaske- eller opvaskemaskine i drift. I praksis kan denne type fugtbelastning optræde tilnærmelsesvis personuafhængig, men ved disse beregninger er fugtbelastningen antaget at følge beboernes tilstedeværelse i stuen.

Lejligheden antages beboet af to voksne personer med et brugsmønster som vist i Tabel 1. Den samlede fugtbelastning i lejligheden er 3,9 kgH₂O pr. døgn. Såfremt lejligheden havde været beboet hele døgnet vil fugtbelastningen have været ca. 6,3 kgH₂O, og hvis familien havde bestået af fire personer, ville fugtbelastningen have været omkring 11,2 kgH₂O pr. døgn. Et ofte anvendt nøgletal for fugtproduktionen fra en familie på 4 personer er ca. 10 kgH₂O pr. døgn [29], og ved en større feltundersøgelse [34] blev der fundet en gennemsnitlig fugttilførsel i boligerne på 2,7 kgH₂O pr. døgn pr. person. Boligerne i den nævnte undersøgelse var i gennemsnit ubenyttede i 5,4 timer pr. døgn. Såfremt beregningerne i denne SBI-meddelelse havde forudsat lejligheden benyttet på tilsvarende måde, ville fugtbelastningen have været ca. 5,1 kgH₂O pr. døgn svarende til omkring 2,55 kgH₂O pr. døgn pr. person.

Forureningsbelastning

Beregningerne indregner forureningsbelastning fra to slags forureningskilder. Den ene er personrelateret CO₂-afgivelse, og den anden er en personuafhængig forureningskilde. CO₂-afgivelsens størrelse afhænger af personernes aktivitetsniveau. Den personuafhængige forureningskilde er medregnet for at kunne understøtte simple vurderinger af spredning og variation af forureningsniveauet hidrørende fra afgang fra inventar og byggevarer. Af hensyn til overskueligheden i beregningerne er det antaget, at forureningsbelastningen alene forekommer i stuen, og at baggrundskoncentrationen er 0. Beregningerne omfatter ikke sorptionsmekanismer.

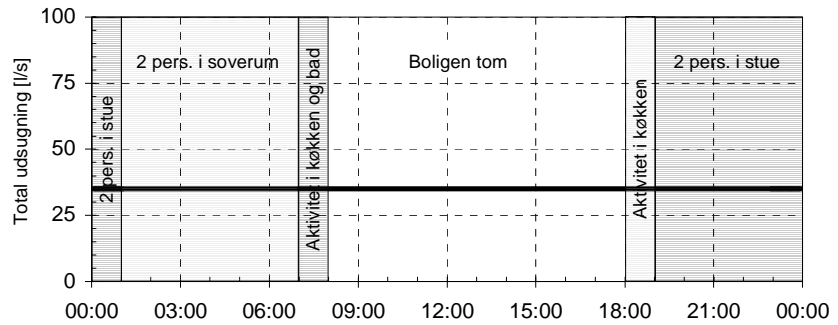
Forureningskildens emissionsrate er regnet konstant både over døgnet og fra scenario til scenario. Af praktiske årsager er forureningskilden regnet dimensionsløs, og emissionsraten er beregningsmæssigt tilpasset, så der i de gennemregnede scenarier opnås koncentrationer i rumluften mellem 0 og 100.

Scenarier

Der er gennemført beregninger af i alt 5 scenarier, som beskrives i korte træk i det følgende. Scenarierne er desuden behandlet i afsnittene *Beregningsresultater* side 25 og *Diskussion* side 28.

Scenario 1

Bygningsreglementernes nuværende krav med hensyn til udelufttilførsel og udsuget volumenstrøm er opfyldt. Det er antaget, at der alene forekommer luftoverføring fra soverum og stue via entré til køkken og bad bestemt af den mekaniske udsugning. Udsugningen yder kontinuert 20 l/s fra køkken og 15 l/s fra bad, se Figur 3. Udeklimaet er et typisk efterårsdøgn, se Figur 1.



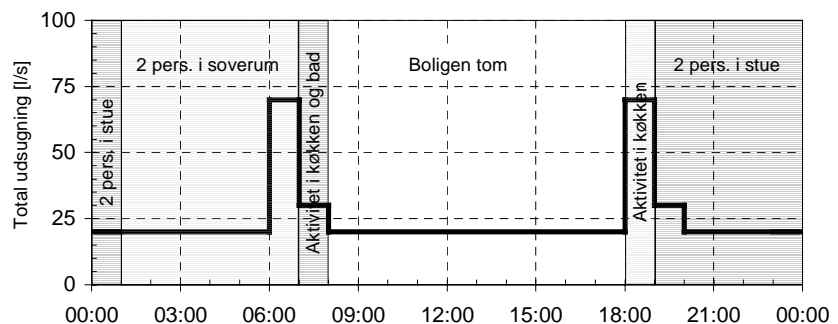
Figur 3. Scenario 1 og 2. Antaget personbelastning og udsugning.

Scenario 2

I praksis vil der opstå 2-vejs luftstrømninger gennem en åben dør, som forbinder to rum med forskellig temperatur. I scenario 2 indregnes denne interne luftudveksling. Lufttilførslen til fx soverummet vil således bestå af dels udeluft dels luft fra entréen. Den kontinuerte udsugning yder 20 l/s fra køkken og 15 l/s fra bad. Udeklimaet er et typisk efterårsdøgn.

Scenario 3

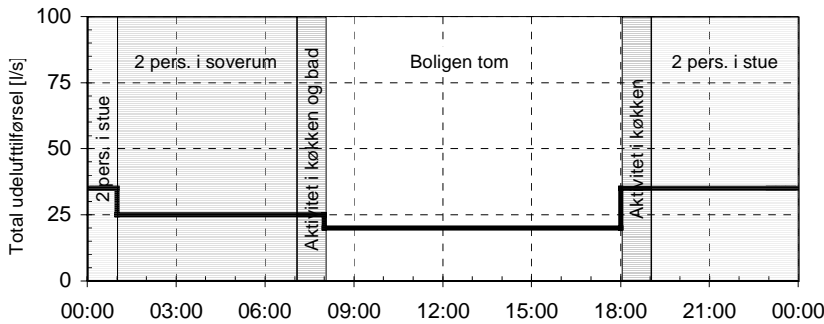
Ydelsen af den mekaniske udsugning i køkken og bad reduceret i forhold til scenario 1 og 2 og dermed i forhold til bygningsreglementernes krav. I gennemsnit udsuges er 25 l/s svarende til en reduktion på ca. 30 pct. Om natten og i dagtimerne udsuges i alt 20 l/s fordelt på 10 l/s fra køkken og 10 l/s fra bad. I to timer om morgenen og i to timer tidligt på aftenen øges udsugningen, så den i gennemsnit over døgnet er de nævnte 25 l/s, se Figur 4. Som i scenario 2 indregnes intern luftudveksling. Udeklimaet er et typisk efterårsdøgn.



Figur 4. Scenario 3. Antaget personbelastning og udsugning. Den gennemsnitlige udsugning over døgnet er 25 l/s.

Scenario 4

I scenario 4 er den gennemsnitlige totale udelufttilførsel over døgnet ca. 25 l/s som i scenario 3. Men i scenario 4 udnyttes den tilførte udeluft mere effektivt. Dels er hoveddøren antaget tæt, så udelufttilførslen alene sker i opholdsrummene, dels tilføres udeluften de rum, hvor beboerne aktuelt opholder sig. Figur 5 viser den totale udelufttilførsel. I scenariet indregnes luftudveksling mellem rummene. Udeklimaet er et typisk efterårsdøgn.



Figur 5. Scenario 4 og 5. Antaget personbelastning og total udelufttilførsel. I gennemsnit over døgnet tilføres lejligheden ca. 25 l/s. Udeluftens fordeling på henholdsvis soverum og stue kan ses af figurerne til de respektive scenarier i appendiks.

Scenario 5

Scenariet svarer til scenario 4; dog er udeklimaet et typisk vinterdøgn, hvor scenario 4 er et typisk efterårsdøgn. Scenariet viser effekten af udeluftens højere affugtningspotentiale i vinterperioden.

Tabel 2. Stikordsbeskrivelse af de beregnede scenarier.

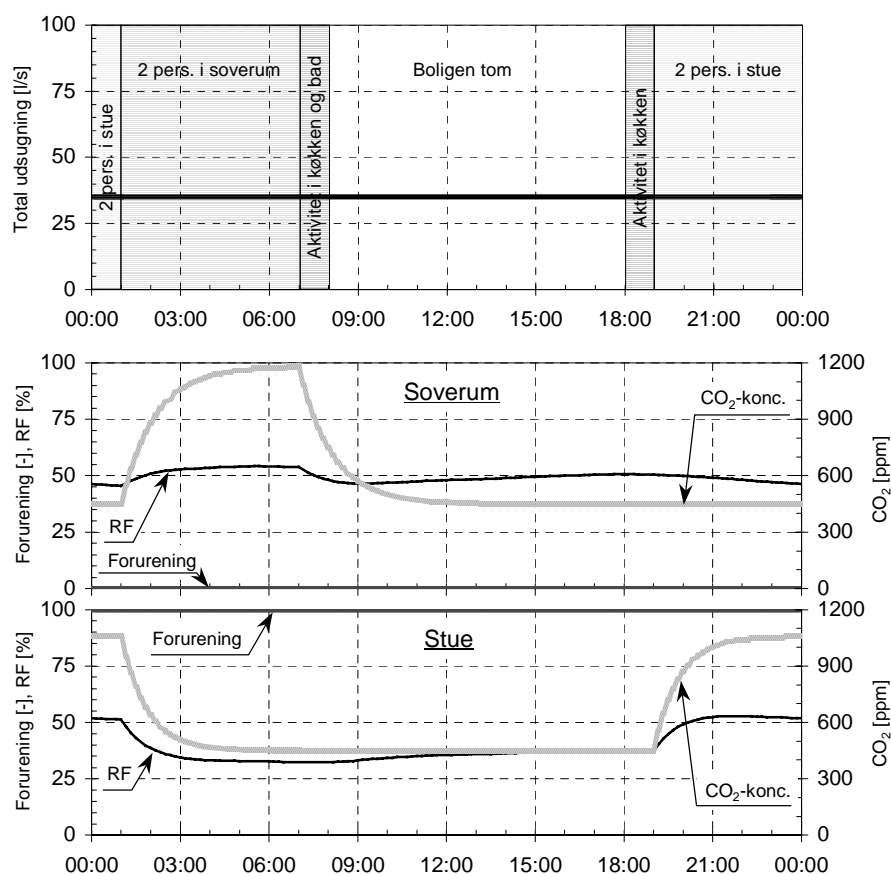
Scenario 1	<ul style="list-style-type: none">• efterårsdøgn• ingen luftudveksling mellem lejlighedens rum• kontinuert udsugning 35 l/s
Scenario 2	<ul style="list-style-type: none">• efterårsdøgn• luftudveksling mellem lejlighedens rum• kontinuert udsugning 35 l/s (= scenario 1; dog indregnes intern luftudveksling)
Scenario 3	<ul style="list-style-type: none">• efterårsdøgn• luftudveksling mellem lejlighedens rum• varierende udsugning, i gennemsnit udsuges 25 l/s (= scenario 2; dog antages varierende udsugning)
Scenario 4	<ul style="list-style-type: none">• efterårsdøgn• luftudveksling mellem lejlighedens rum• bedre udnyttelse af den tilførte udeluft• i gennemsnit over døgnet tilføres lejligheden 25 l/s (= scenario 3; men bedre udnyttelse af udeluften)
Scenario 5	<ul style="list-style-type: none">• vinterdøgn• luftudveksling mellem lejlighedens rum• bedre udnyttelse af den tilførte udeluft• i gennemsnit over døgnet tilføres lejligheden 25 l/s (= scenario 4; dog antages vinterdøgn)

Beregningsresultater

Resultaterne af beregningerne er vist i Tabel 3 på side 26 og i appendiks på side 37. Tabel 3 viser – for hvert scenario og fordelt på rum – maksimumværdi og gennemsnit over døgnet af rumluftens absolutte vandindhold og relative fugtighed, CO₂-koncentrationen og den relative koncentration af en personuafhængig forurening afgivet i stuen. I appendiks er vist beregningsresultater i form af kurver. I det følgende fremhæves principielle forhold og iagttagelser, som bør sammenholdes med diskussionen af resultaterne i afsnittet *Diskussion* på side 28.

Som anført i afsnittet *Forureningsbelastning* side 22, er emissionsraten fra den personuafhængige forureningskilde regnet dimensionsløs og konstant både over døgnet og fra scenario til scenario. Kildens emissionsrate er tilpasset, så der i scenario 1, hvor der ikke forekommer luftudveksling mellem lejlighedens rum, opnås en ligevægtskoncentration på 100 i stuen, hvor forureningskilden findes. I de øvrige scenarier opnås der koncentrationer under 100. Specielt for scenario 1 fås koncentrationen 0 i soverummet.

Figur 6 viser som eksempel resultater fra soverummet og stuen i scenario 1.



Figur 6. Scenario 1. Personbelastning og udsugning samt beregningsresultater vedrørende soverum og stue.

Table 3. Maksimumsværdi og gennemsnit over døgnet af rumluftens absolutte vandindhold [$\text{gH}_2\text{O/kg}$], relative fugtighed [pct.], CO_2 -koncentration [ppm] og relative koncentration [-] af en personafstøvet forurening afgivet i stuen.

		Scenario 1		Scenario 2		Scenario 3		Scenario 4		Scenario 5	
		Maks.	Middel	Maks.	Middel	Maks.	Middel	Maks.	Middel	Maks.	Middel
Soverum (18 °C)	abs H_2O	6,9	6,3	7,5	6,5	8,5	6,9	7,5	6,6	4,6	3,9
	RF	54	49	59	51	67	54	59	52	36	30
	CO_2 -konc.	1180	630	770	600	990	680	770	630	770	630
	Forurening	0	0	48	48	87	74	83	66	83	66
Stue (22 °C)	abs H_2O	8,9	6,6	7,7	6,5	8,8	7,0	7,7	6,7	4,8	3,9
	RF	53	39	46	39	52	42	46	40	29	23
	CO_2 -konc.	1060	610	800	600	1010	680	780	630	780	630
	Forurening	100	100	57	57	96	83	96	78	96	78
Entré (19 °C)	abs H_2O	7,6	6,4	7,6	6,5	8,7	7,0	7,6	6,7	4,7	3,9
	RF	55	47	56	48	63	51	56	49	35	29
	CO_2 -konc.	770	580	770	600	980	680	790	640	790	640
	Forurening	52	52	52	52	91	78	91	73	91	73
Køkken (20 °C)	abs H_2O	8,6	6,6	7,6	6,5	8,7	7,0	7,6	6,7	4,7	3,9
	RF	59	45	52	45	59	48	52	46	32	27
	CO_2 -konc.	1110	620	780	610	980	680	880	640	880	640
	Forurening	52	52	52	52	91	78	91	73	91	73
Bad (22 °C)	abs H_2O	21,5	6,8	21,7	6,9	19,3	7,3	23,5	7,2	20,9	4,5
	RF	126	41	127	41	113	44	137	43	122	27
	CO_2 -konc.	810	580	850	610	980	680	950	640	950	640
	Forurening	52	52	52	52	91	78	91	73	91	73

Det fremgår af Figur 6, at variationen i den relative luftfugtighed i stuen primært er bestemt af den personrelaterede fugtproduktion. I dagtimerne, hvor lejligheden er tom, ses en beskeden virkning af udeluftens fugtindhold. Udeklimaet, et efterårsdøgn, er vist i Figur 1 på side 20. I gennemsnit over døgnet er den relative luftfugtighed 39 pct. i stuen og 49 pct. i soverummet. Tabel 3 viser, at rumluftens gennemsnitlige absolutte vandindhold er 6,6 gH₂O/kg i stuen, mens det er 6,3 gH₂O/kg i soverummet. Det lavere vandindhold i rumluften i soverummet svarer til en højere relativ fugtighed end i stuen, idet rumtemperaturen er sat til 18 °C i soverummet og 22 °C i stuen.

Idet lufttilførslen til stuen i scenario 1 alene består af udeluft, er CO₂-koncentrationen i dagtimerne, hvor lejligheden er tom, 450 ppm, svarende til udeluftens CO₂-indhold. Om aftenen, hvor beboerne opholder sig i stuen, fås en ligevægtskoncentration på 1060 ppm. Rumluftens CO₂-indhold, c_{inde} kan beregnes af fortyndingsligningen:

$$c_{inde} = \frac{m_{pers}}{q} (1 - e^{-n\tau}) + (c_o - c_{ude}) \cdot e^{-n\tau} + c_{ude}$$

hvor m_{pers} er den personafgivne CO₂, q er udelufttilførslen, c_o og c_{ude} er henholdsvis begyndelseskoncentrationen og udeluftens CO₂-indhold. Ligevægtskoncentrationen i stuen om aftenen fås af:

$$\begin{aligned} c_{inde} &= \frac{m_{pers}}{q} + c_{ude} \\ &= \frac{20 [lCO_2/h \text{ pr. pers}] \cdot 2 [pers]}{18,2 [l\text{luft}/s] \cdot 3600 [s]} + 450 \cdot 10^{-6} [lCO_2/l\text{luft}] = 1060 [ppm] \end{aligned}$$

Kurverne i Figur A1 i appendiks viser, at i køkken og bad er rumluftens CO₂-indhold og relative fugtighed styret af beboernes ophold og aktiviteter i morgen og aftentimerne.

Bortset fra scenario 1 er det antaget, at der på grund af temperaturforskelle forekommer luftudveksling mellem rummene. Lufttilførslen eksempelvis til soverummet vil således bestå af både udeluft og luft fra entréen. Luftens tilstand i soverummet vil således være influeret af person-, fugt- og forureningsbelastninger i køkken og stue.

Åbningen mellem entré og bad er en spalte under en lukket dør. Det er forudsat, at der gennem denne spalte alene forekommer 1-vejs luftstrømning bestemt af den mekaniske udsugning i bad. Den intensive fugtbelastning i badet om morgenen antages således ikke at have indvirkning på fugtniveauet i lejlighedens øvrige rum.

I scenarierne 3-5 er der forudsat varierende ventilation som vist i Figur 4 på side 23 og i figurerne til de pågældende scenarier i appendiks. I gennemsnit over døgnet er udelufttilførslen ca. 25 l/s svarende til en reduktion på ca. 30 pct. i forhold til bygningsreglementernes krav på 35 l/s.

Diskussion

I dette afsnit diskuteres resultaterne af beregningerne. Generelt henvises til figurerne i appendiks på side 37. Desuden henvises til afsnittet *Beregningsresultater* på side 25, hvor principielle forhold er behandlet.

Absolut vandindhold og relativ fugtighed

I scenario 1 antages de indvendige døre alene at tillade 1-vejs luftstrømning, dvs. luftoverføring *fra* soverum og stue via entré *til* køkken og bad. Situationen svarer til, at der antages samme temperatur i alle rum og luftoverføring mellem rummene alene bestemmes af den mekaniske udsugning i køkken og bad. Det ses af Figur A1, at den relative luftfugtighed i soverummet øges, når beboerne går i seng. Såfremt der antages uens temperaturer i lejlighedens forskellige rum, og de indvendige døre holdes åbne (scenario 2), vil temperaturforskellene bevirke, at der forekommer luftudvekslinger mellem lejlighedens rum. Derved sker der en udjævning af forskellene i det absolute vandindhold i lejlighedens forskellige rum. Endvidere falder udeluftens temperatur i løbet af natten, hvorved ventilationsluftens evne til at affugte indeluften øges. Figur A2 viser, at tilsammen medfører de to mekanismer, at der sker et svagt fald i den relative luftfugtighed i soverummet i løbet af natten. Ved at sammenholde scenario 1 og scenario 2 ses desuden, at der generelt sker en svag forøgelse af niveauet af den relative luftfugtighed i soverummet. Det forøgede niveau skyldes luftoverføringen mellem rummene, idet fugtproduktion i andre af lejlighedens rum influerer på fugtniveauet i soverummet. Uden luftudveksling mellem lejlighedens rum er luftens absolute vandindhold i soverummet i gennemsnit over døgnet $6,3 \text{ gH}_2\text{O/kg}$ svarende til 49 pct. relativ fugtighed, mens det er $6,5 \text{ gH}_2\text{O/kg}$ svarende til 51 pct. relativ fugtighed, når der forekommer luftudveksling.

I løbet af dagen er der ingen personophold i soverummet, og som det fremgår af scenario 1 (Figur A1), er rumluftens relative fugtighed bestemt af udeluftens temperatur og fugtindhold. Såfremt der forekommer luftudveksling, afhænger den relative luftfugtighed i soverummet desuden af fugtproduktionen i lejligheden i øvrigt. Eksempelvis viser scenario 2 en stigning i den relative luftfugtighed i soverummet fra kl. 18:00, hvor beboerne vender hjem, men i øvrigt ikke opholder sig i soverummet.

På tilsvarende måde er den relative luftfugtighed i stuen i scenario 1 bestemt af udeluftens temperatur og fugtindhold samt personbelastningen. Umiddelbart før beboerne går i seng, er den relative fugtighed 53 pct.. I scenario 2 bevirker luftudvekslingen mellem rummene, at der sker der en udjævning af variationerne i rumluftens absolute vandindhold og dermed relative fugtighed. I gennemsnit over døgnet er den relative luftfugtighed i stuen i scenario 1 og scenario 2 på det nærmeste ens og omkring 40 pct., men i scenario 2 opnås maksimalt 46 pct. relativ fugtighed.

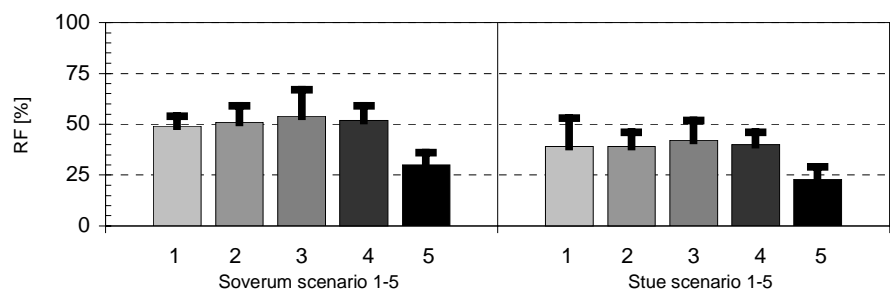
I både scenario 1 og scenario 2 er den relative luftfugtighed i køkkenet i gennemsnit over døgnet omkring 45 pct.. Luftudveksling mellem rummene i scenario 2 medfører, at effekten af den intensive fugtbelastning morgen og aften reduceres.

Der er ikke forskel i den relative fugtighed i badet i scenarierne 1 og 2. I begge tilfælde ses kortvarige kondensproblemer om morgenen, men i gennemsnit over døgnet er den relative luftfugtighed omkring 40 pct.

I scenario 3, hvor der antages varierende og reduceret udsugning, ses generelt en lidt højere gennemsnitlig relativ luftfugtighed. Den forøgede udsugning i morgentimerne og de tidlige aftentimer reducerer den aktuelle fugtbelastningen i køkken og bad, men har ringe indvirkning på fugtforholdene i lejlighedens øvrige rum. I aften- og nattetimerne, hvor der er personer til stede i lejligheden, medfører den reducerede udsugning i forhold til scenarierne 1 og 2 tilsvarende højere relativ luftfugtighed.

Scenario 4 viser, at for at opnå en positiv effekt af en reduktion i udsugningen, er det nødvendigt, at den tilførte udeluft udnyttes mere effektivt. Såfremt udeluften tilføres, der hvor der er en fugtbelastning, er det muligt at reducere udelufttilførslen i de på samme tidspunkt ubenyttede rum. I scenario 4 opnås både gennemsnitlige og maksimale relative fugtigheder på niveau med værdierne i scenario 2, men med ca. 30 pct. lavere udelufttilførsel.

I en vintersituation, scenario 5, opnås gennemsnitlige relative fugtigheder omkring og noget under 30 pct., se Tabel 3 side 26 og Figur 7 nedenfor. Betragtes scenario 1 som en accepteret situation i relation til bygningsreglementerne og scenario 2 som en realistisk og mere almindeligt forekommende situation, viser beregningerne, at hvad angår de resulterende fugtforhold i lejligheden, vil det under typiske vinterforhold være acceptabelt at reducere ventilationen i forhold til bygningsreglementernes krav.



Figur 7. Relativ fugtighed i henholdsvis soverum og stue i de 5 scenarier. Figuren viser døgnets gennemsnitlige (søjle) og maksimale (markering over søjle) relative fugtighed.

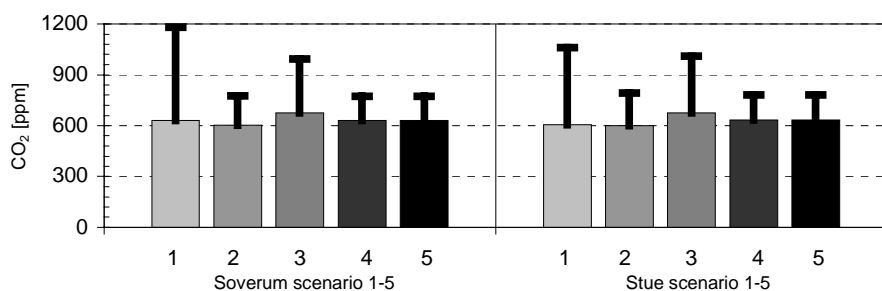
CO₂-koncentration

I scenario 1, hvor der ikke forekommer luftudveksling mellem boligens rum, er rumluftens CO₂-koncentration alene bestemt af personophold i rummet. I dagtimerne, dvs. når der ikke er personer til stede i soverummet, svarer CO₂-koncentrationen til udeluftens CO₂-koncentration, 450 ppm. I løbet af natten opnås en ligevægtskoncentration på lidt under 1200 ppm. I gennemsnit over døgnet er CO₂-koncentrationen i soverummet ca. 600 ppm. Antages luftudveksling mellem rummene, dvs. scenario 2, vil den gennemsnitlige CO₂-koncentration i soverummet fortsat være ca. 600 ppm, mens den maksimale koncen-

tration vil være under 800 ppm. Beboernes aktivitetsniveau taget i betragtning vil der være en højere CO₂-produktion i stuen indtil kl. 1:00 end i soverummet efter kl. 1:00. Den maksimale CO₂-koncentration i soverummet forekommer derfor umiddelbart efter, at beboerne er gået i seng kl. 1:00, se Figur A2.

I scenario 3 er udelufttilførslen reduceret i forhold til scenarierne 1 og 2. I gennemsnit over døgnet er reduktionen ca. 30 pct., men uden for 2-timers perioderne morgen og aften, hvor udsugningen forceres, er reduktionen ca. 40 pct. Ved sammenligning med scenario 2 er der således i scenario 3 såvel en højere gennemsnitlig som en højere maksimal CO₂-koncentration. Sammenlignes med scenario 1, ses en lavere maksimal CO₂-koncentration på grund af luftudvekslingen mellem rummene.

CO₂-koncentrationen i rumluften er knyttet til persontilstedeværelse og ventilation. Scenarierne 4 og 5 adskiller sig ved det forudsatte udeklima, og der ses derfor samme CO₂-koncentration i de enkelte rum i disse to scenarier. Derimod resulterer den mere effektive udnyttelse af den tilførte udeluft i, at der forekommer såvel lavere gennemsnitlig som lavere maksimal CO₂-koncentration i rummene i forhold til scenario 3, se Figur 8.



Figur 8. CO₂-koncentration i henholdsvis soverum og stue i de 5 scenarier. Figuren viser døgnet gennemsnitlige (søjle) og maksimale (markering over søjle) CO₂-koncentration.

Afgasning fra byggevarer og inventar

Men henblik på at kunne foretage simple vurderinger af ventilations indflydelse på forureningsniveauet hidrørende fra fx afgasning fra byggevarer og inventar er der antaget en permanent forureningskilde i stuen. Forureningskilden er regnet dimensionsløs, og det er antaget, at emissionsraten er konstant.

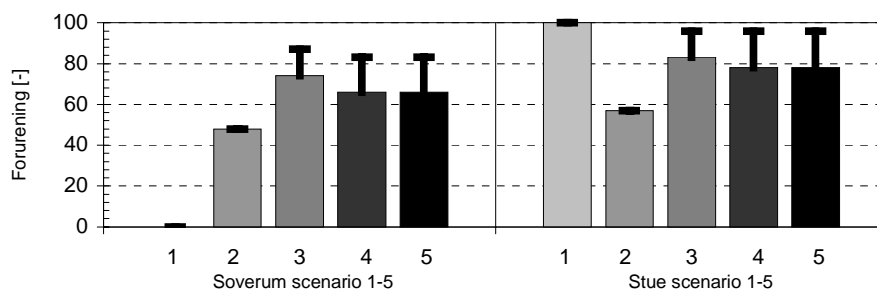
Den direkte emission af organiske gasser og dampe fra byggevarer og inventar afhænger af en lang række fysiske parametre fx rumtemperaturen, rumluftens relative fugtighed, materialets vandindhold, ventilationen, lokale lufthastigheder og materialetype. Desuden kan der indgå sorptionsprocesser, som indebærer, at materialerne kan opsamle eller akkumulere forureninger, som kan blive frigivet på et senere tidspunkt. Den samlede indvirkning på indeklimaet og luftkvaliteten er endnu ikke fuldt belyst, og ved de her gennemførte beregninger, har det alene været hensigten, at danne et grundlag for relative vurderinger.

I scenario 1, hvor der ikke forekommer luftudveksling mellem boligens rum, og hvor udsugningen i køkken og bad er konstant, giver den tænkte forureningskilde i stuen anledning til en konstant koncentration, ligevægtskoncentrationen, som er sat til 100. I soverummet vil koncentrationen af forureningen være 0. I scenario 2, hvor der indregnes luftudveksling mellem rummene, vil der indstille sig en ny ligevægtskoncentration, som er omkring 50 i alle rum; højest i stuen (57), lavest i soverummet (48). Entréen tilføres luft fra soverummet, fra stuen og udefra gennem den utætte hoveddør. Fra entréen overføres luften til køkken og bad, og da der ikke er forureningskilder i entré, køkken og bad, vil forureningskoncentrationen være den samme i disse rum (52).

Ved varierende udsugning som i scenario 3, hvor udsugningen forceres i 2 timer om morgenen og i 2 timer om aftenen, vil maksimalkoncentrationen i rummene forekomme umiddelbart før udsugningen forceres. Maksimalkoncentrationen vil være omkring 90 i alle rum. Det fremgår af Figur A3 i appendiks, at maksimalkoncentrationen omtrent svarer til ligevægtskoncentrationen. Gennemsnitskoncentrationen i rummene vil være omkring 80.

Emissionsraten af den tænkte forureningskilde i stuen er ved disse beregninger regnet uafhængig af udeklimaet. Der opnås således samme koncentration i de respektive rum i scenario 4 og scenario 5. Det fremgår af Figur 9 nedenfor, at såvel den gennemsnitlige koncentration som den maksimale koncentration er lavere end de tilsvarende koncentrationer i scenario 3, men højere end i scenario 2.

Under de givne forudsætninger er det muligt at variere og reducere den gennemsnitlige ventilation på de valgte måder, uden at der i et rum opstår forureningskoncentrationer, som overstiger 100. Scenario 1 er en acceptabel situation set i forhold til bygningsreglementernes bestemmelser.



Figur 9. Forureningsniveau i henholdsvis soverum og stue i de 5 scenarier. Figuren viser døgnets gennemsnitlige (søjle) og maksimale (markering over søjle) forureningskoncentration.

Konklusion

Med henblik på at opnå en reduktion i energiforbruget til ventilation i boliger er der gennemført beregninger, som skal tjene som støtte for vurderinger af konsekvenserne af at reducere basisventilationen i forhold til bygningsreglementernes nuværende krav.

Beregningerne viser, at i en typisk lejlighed og under den forudsatte brug af lejligheden er det muligt ved hensigtsmæssig styring af ventilationen efter behovet, at reducere basisventilationen i forhold til gældende regler. Beregningerne antyder, at den gennemsnitlige basisventilation kan reduceres med 20-30 pct. uden at forringe indeklimaet. Dette giver mulighed for i gennemsnit, at opnå besparelser i energiforbruget til boligventilation.

I forbindelse med en generel reduktion af basisventilationen skal det sikres, at ændringen ikke vil medføre en forringelse af indeluftens kvalitet, i forhold til hvad der kan opnås ved at opfylde gældende bygningsreglementsbestemmelser. Indeluftens kvalitet kan blandt andet vurderes ud fra koncentrationen af forureninger, herunder CO₂, og vanddampindholdet. Det fremgår af beregningerne, at rumluftens fugtindhold vil være bestemmende for den nødvendige udelufttilførsel og dermed reduktionens størrelse. Et højt fugtindhold i rumluften øger risikoen for kondensationsproblemer og fugtskader på bygningen og kan samtidig medføre problemer med husstøvmider og skimmelsvampe.

Såfremt *alene* rumluftens indhold af forureninger lægges til grund for vurderingerne, viser beregningerne, at det i *indeklimate* sammenhæng kan være acceptabelt at regulere og i gennemsnit reducere ydelsen af den mekaniske udsugning. Dette vil imidlertid ikke med sikkerhed tilfredsstille almindelige anbefalinger til *maksimal acceptabel luftfugtighed* inde. Det er derfor nødvendigt at sikre, at der i sammenhæng med en regulering af den mekaniske udsugning sker en effektiv udnyttelse af den tilførte udeluft, fx ved at den tilføres de rum, hvor der aktuelt forekommer fugt- eller personbelastning. Dette forudsætter, at bygningen er tæt, og at udeluften tilføres gennem veldefinerede og hensigtsmæssigt placerede åbninger.

Med baggrund i Mærkningsordningen Dansk Indeklima Mærkning, skærpede bestemmelser i bygningsreglementerne samt den stadig større viden om afgang fra byggevarer og inventar vil det i fremtidens boliger i stigende grad være rumluftens fugtindhold, som er bestemmende for den nødvendige udelufttilførsel. Samtidig har udeluften om vinteren et stort affugtningspotentiale, og det kan derfor være relevant at overveje mulighederne for at regulere udelufttilførslen i afhængighed af udeklimaet, fx udetemperaturen.

Ved udformning af fremtidens boliger bør der lægges vægt på, at disse udformes og indrettes, så det er muligt både at kontrollere udelufttilførselens fordeling på boligens rum og at regulere basisventilationen efter udeklimaet. Desuden skal der sikres mulighed for effektiv forcering af ventilationen ved ekstraordinære belastninger. Der vil være et behov for udvikling af passende ventilationsstrategier, så der sikres både et godt indeklima og en driftsikker kontrol og regulering af ventilationen.

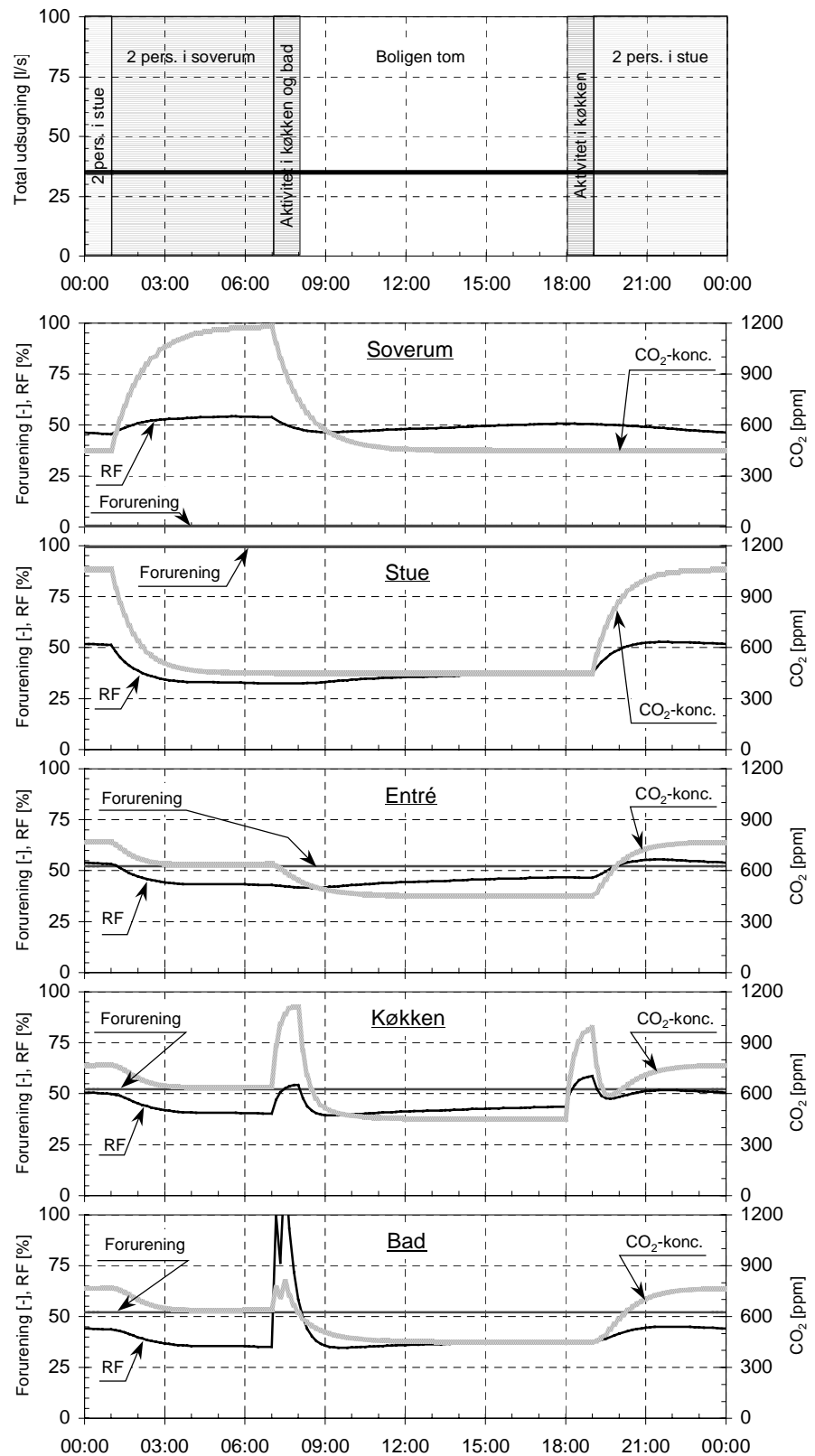
Litteratur

- [1] Andersen, Claus E et al.: Radon-95: En undersøgelse af metoder til reduktion af radonkoncentrationen i danske enfamiliehuse. Udarbejdet for Bygge- og Boligstyrelsen og Statens Institut for Strålehygiejne. Forskningscenter Risø. Roskilde. 1997.
- [2] Berg-Munch, B.; G. Clausen; P.O. Fanger: Ventilation Requirements for the Control of Body Odour in Spaces Occupied by Women. Proceedings of the 3rd International Conference on Indoor Air Quality and Climate. Stockholm Aug. 22-24. 1984. Stockholm. 1984. Vol.5, p. 227-234.
- [3] Björnell, Niclas: Control Strategies for Demand Controlled Ventilation Systems. Proceedings of 5th International Conference on Air Distribution in Rooms, July 17-19, 1996, Roomvent '96. Yokohama. 1996.
- [4] Björnell, Niclas; Claes Blomqvist: Utveckling av nya system som ger möjlighet till flexibel behovsstyrning av luftflödene. FoU-rapport Nr 40. Högskolan i Gävle. FoU-nämnden. Gävle. 1998.
- [5] Bygningsreglement 1995. Boligministeriet. Bygge- og Boligstyrelsen. København. 1995.
- [6] Bygningsreglement for småhuse, BR-S 98. Bolig- og Byministeriet. København. 1998.
- [7] Dansk Indeklima Mærkning. Produkt- & Virksomhedsoversigt. Teknologisk Institut, Træteknik. Taastrup. 1999.
- [8] Dansk Ingeniørforenings norm for ventilationsanlæg DS 447. Dansk Ingeniørforening. København. 1981.
- [9] Dansk Selskab for Indeklima. Introduktion til principperne bag Indeklimamærkningen. Teknologisk Institut, Byggeri. Taastrup. 1999.
- [10] Esbensen Consultants: Energy Efficient Ventilation Based on Demand Humidity Control. Demonstration Project with 49 Apartments in Sønderborg. Sønderborg. 1996.
- [11] Evaluation and Demonstration of Domestic Ventilation Systems. State of the Art. Lars Göran Månsson. IEA. ECBS Annex 27. Swedish Council for Building Research. Report A12:1995. Stockholm. 1995.
- [12] Evaluering og udvikling av ventilasjonssystemer for boliger. Nordiska kommittén för byggbestämmelser, NKB. Inomhusklimatutskottet. NKB utskotts- och arbetsrapporter 1994:5. Helsingfors. 1994.
- [13] Fisk, William J.; Anibal T. De Almeida: Sensor-based demand-controlled ventilation: a review. Energy and Buildings 29 (1998), p.35-45.

- [14] Guidelines for Ventilation Requirements in Buildings. Indoor Air Quality & its Impact on Man. Report No. 11. EF. Luxembourg. 1992.
- [15] Gunnarsen, Lars B.; Ole Valbjørn: Air quality after renovation of offices. CIB-W77. Rotterdam. 1992.
- [16] Gunnarsen, Lars B.: Adaptation and ventilation requirements. Proceedings of the 5th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Toronto 29 July-3 August '90. Toronto. 1990. Vol. 1, p. 599-604.
- [17] Harving, Henrik; Jens Korsgaard Jensen; Ronald Dahl: Husstøvmideforekomst i boliger. Sammenhæng med boligventilation og luftfugtighed. Ugeskrift for læger 156 (1994), 8. s. 1141-1144.
- [18] Inomhusklimat – Luftkvalitet. NKB-skrift nr. 61. Nordiska kommittén för byggbestämmelser, NKB. Helsingfors. 1991.
- [19] Kusuda, T.: Indoor humidity calculations. ASHRAE Trans. 89 (1983), 2, p. 728-740.
- [20] Levin, Per: The Development of an Occupancy-Controlled Exhaust Air Ventilation System. Proceedings of 17th AIVC Conference. Air Infiltration and Ventilation Centre. Gothenburg 1996.
- [21] Liddament, Martin W.: A Guide to Energy Efficient Ventilation. Air Infiltration and Ventilation Centre. Coventry. 1996.
- [22] Luoma, Marianna; Reijo Kohonen: A Ventilation Concept for Future Dwelling-Houses. Proceedings of 9th AIVC Conference. Air Infiltration and Ventilation Centre. Gent. 1988.
- [23] Martin, P.; J. Verschoor: Cyclic Moisture Desorption/Absorption by Building Construction and Furnishing Materials. Symposium on Air Infiltration, Ventilation and Moisture Transfer, Fort Worth, Texas, USA. Building Thermal Envelope Coordinating Council. 1988. p. 59-70.
- [24] Mølhav, Lars et al. : The Danish Twin Apartment Study – Part II: Mathematical modeling of the relative strength of sources of indoor air pollution. Indoor Air (1996), 6, p. 18-30.
- [25] Nielsen, Jan Bach; I. Ambrose: A New Ventilation Strategy for Humidity Control in Dwellings – A Demonstration Project. Proceedings of 16th AIVC Conference. Air Infiltration and Ventilation Centre. Palm Springs, USA. 1995.
- [26] Plathner, Philipp; John Littler: Predicting Condensation Potential in Dwellings. Proceedings of 2nd European Conference on Energy Performance and Indoor Climate in Buildings, EPIC '98. Lyon. 1988. Vol. 3, p. 718-723.
- [27] Raatschen, Willigert; Lutz Trepte: Ventilation Requirements and Demand Controlled Ventilation. Proceedings of 8th AIVC Conference. Air Infiltration and Ventilation Centre. Überlingen. 1987.

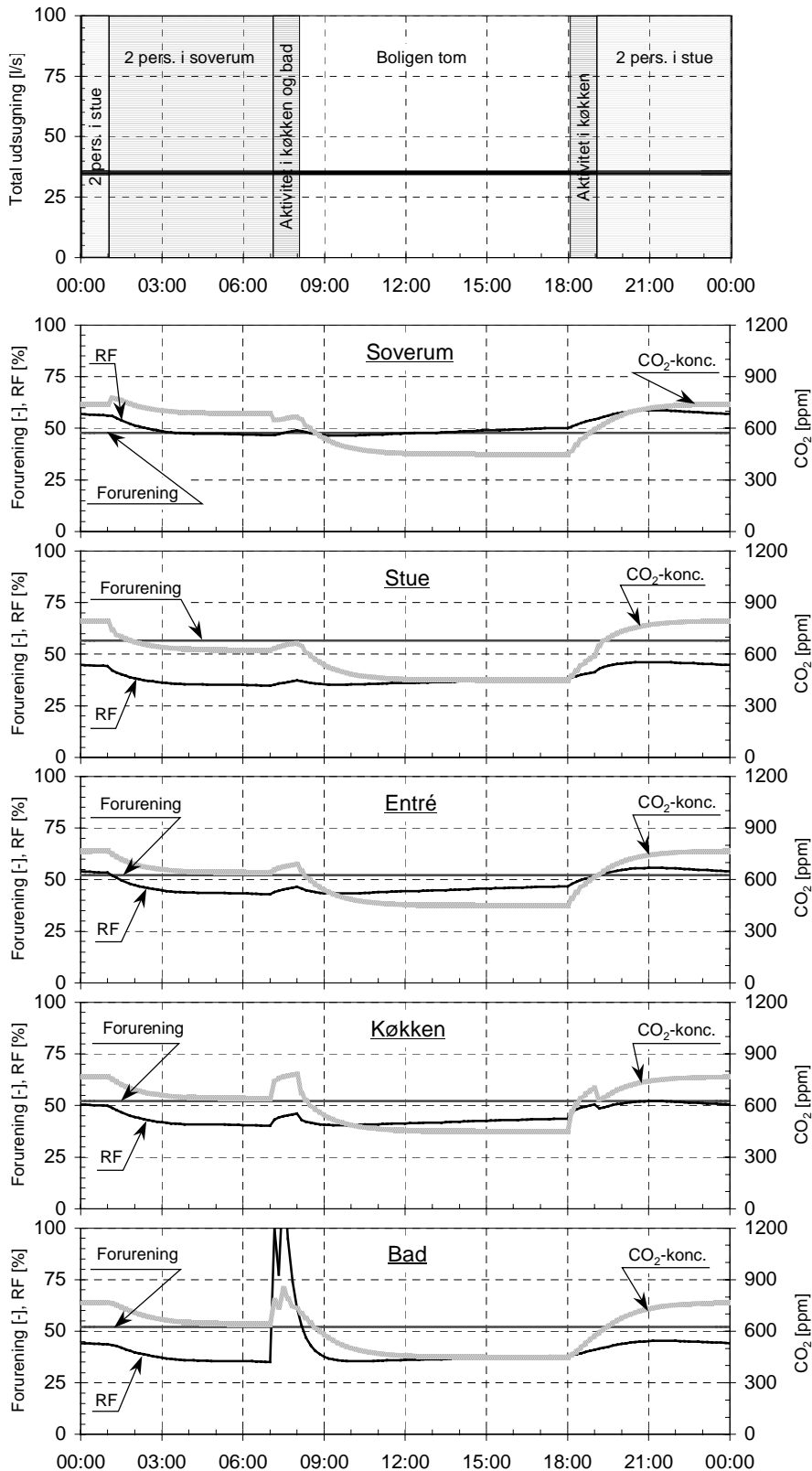
- [28] SBI-rapport 161: Boligventilationssystemer. Teori og erfaringer. Statens Byggeforskningsinstitut. Hørsholm. 1984.
- [29] SBI-anvisning 178: Bygningers fugtisolering. Statens Byggeforskningsinstitut. Hørsholm. 1993.
- [30] SBI-anvisning 182: Indeklimahåndbogen. Statens Byggeforskningsinstitut. Hørsholm. 1995.
- [31] SBI-rapport 213: Undersøgelse af ventilationsforhold i nyere boliger. Luftsifte, luftfugtighed, organiske gasser og dampe. Statens Byggeforskningsinstitut. Hørsholm. 1991.
- [32] SBI-rapport 230: Indeklimaets påvirkninger. Statens Byggeforskningsinstitut. Hørsholm. 1993.
- [33] SBI-rapport 232: Indeklimamærkning af byggevarer. Del 1: Beskrivelse af en prototypeordning. Statens Byggeforskningsinstitut. Hørsholm. 1993.
- [34] SBI-rapport 236: Ventilationsforhold i nyere, naturligt ventilerede enfamiliehuse. Statens Byggeforskningsinstitut. Hørsholm. 1994.
- [35] Walton, George N.: Contam-96 User Manual. NISTIR 6056. National Institute of Standards and Technology, NIST. Gaithersburg (MD). 1997.
- [36] Øie, Leif; Hans Stymne; Carl-Axel Boman; Vidar Hellstrand: The Ventilation Rate in 344 Oslo Residences. *Indoor Air* (1998), 8, p. 190-196.

Appendiks



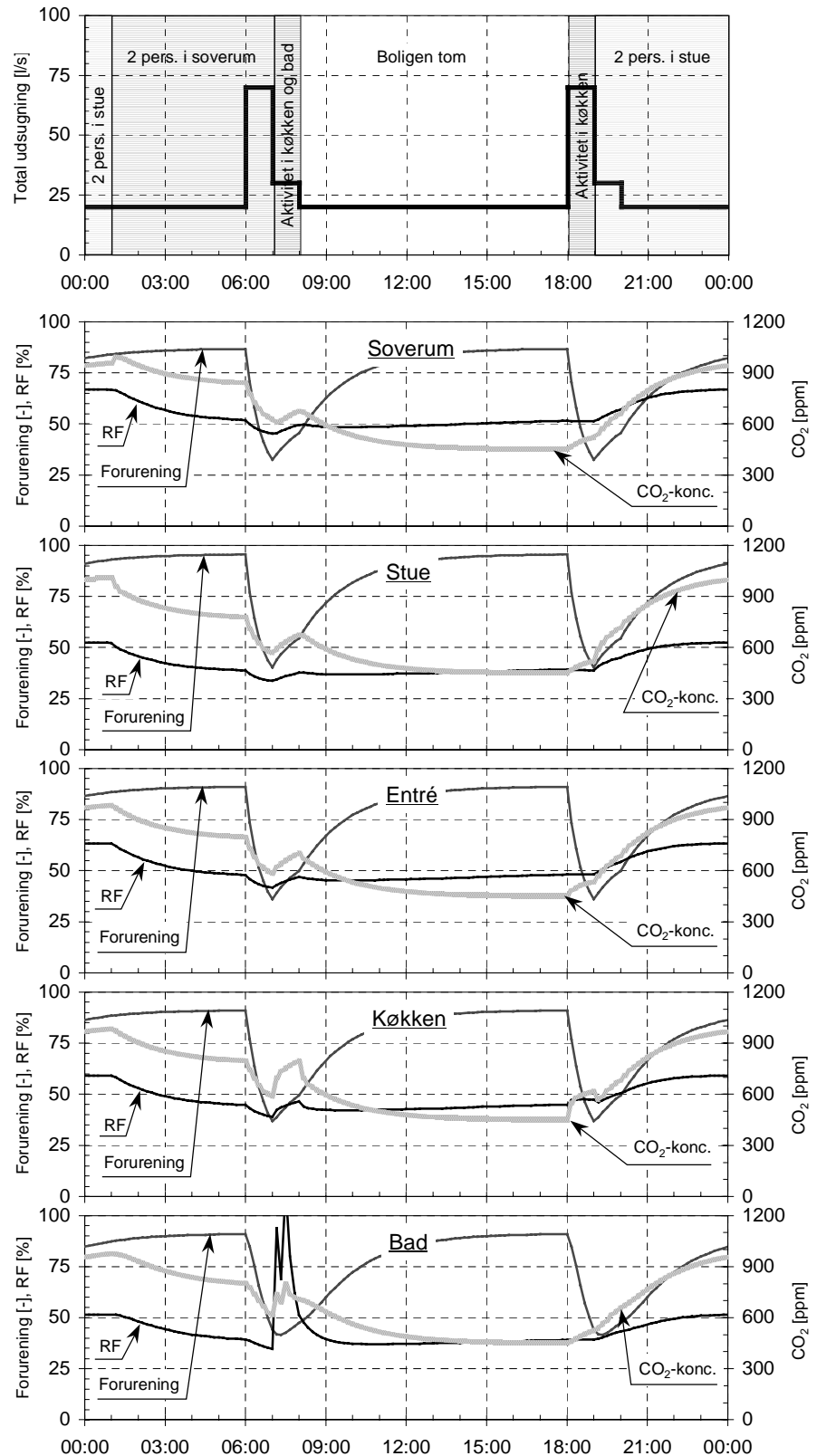
Figur A1. Scenario 1. Det øverste diagram viser den forudsatte variation i personbelastning og kontinuert udsugning. De følgende fem diagrammer viser forløbet af forureningsniveauet, rumluftens relative fugtighed og CO₂-koncentrationen.

Scenario 2.



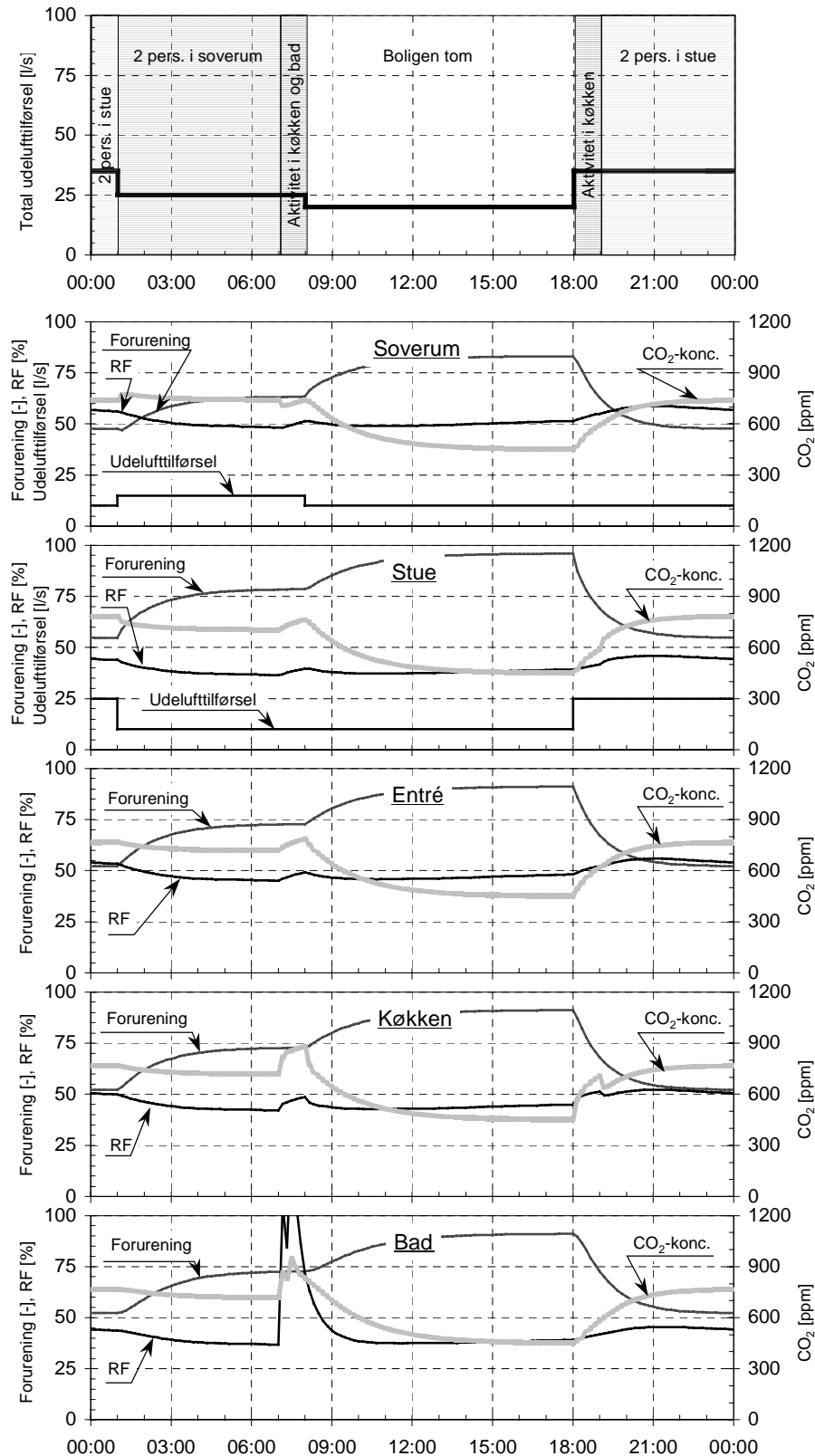
Figur A2. Scenario 2. Det øverste diagram viser den forudsatte variation i personbelastning og kontinuert udsugning på i alt 35 l/s (20 l/s fra køkken og 15 l/s fra bad). De følgende fem diagrammer viser forløbet af forureningsniveauet, rumluftens relative fugtighed og CO₂-koncentrationen i lejlighedens rum.

Scenario 3.



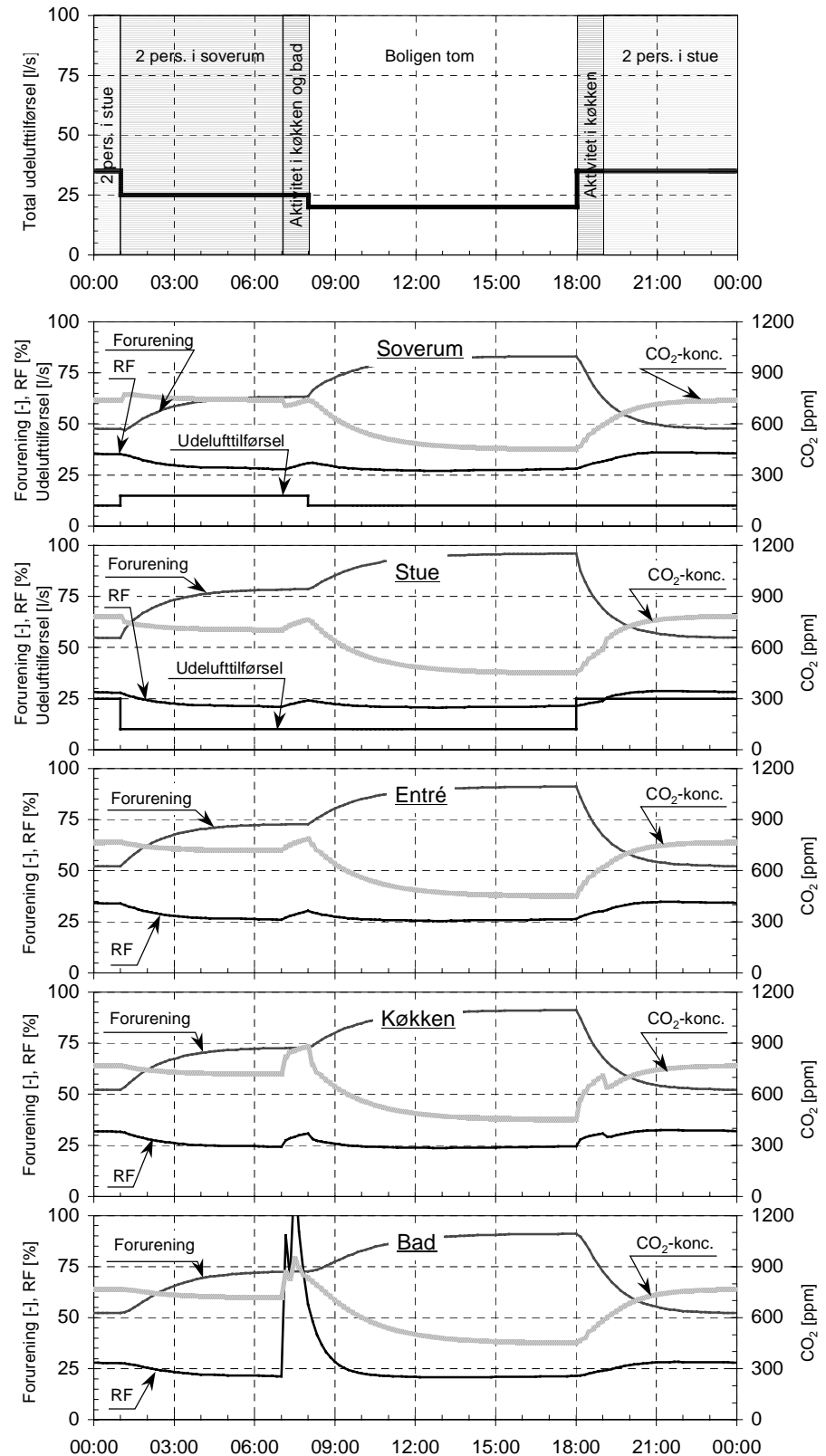
Figur A3. Scenario 3. Det øverste diagram viser den forudsatte variation i henholdsvis personbelastningen og den totale udsugede volumenstrøm over døgnet. De følgende fem diagrammer viser forløbet af forureningsniveauet, rumluftens relative fugtighed og CO₂-koncentrationen i lejlighedens rum.

Scenario 4.



Figur A4. Scenario 4. Det øverste diagram viser den forudsatte variation i henholdsvis personbelastningen og den totale udelufttilførsel over døgnet. De følgende fem diagrammer viser forløbet af forureningsniveauet, rumluftens relative fugtighed og CO₂-koncentrationen i lejlighedens rum. I diagrammet for soverum og stue vises desuden udelufttilførslen gennem døgnet.

Scenario 5.



Figur A5. Scenario 5. Det øverste diagram viser den forudsatte variation i henholdsvis personbelastningen og den totale udelufttilførsel over døgnet. De følgende fem diagrammer viser forløbet af forureningsniveauet, rumluftens relative fugtighed og CO₂-koncentrationen i lejlighedens rum. I diagrammet for soverum og stue vises desuden udelufttilførslen gennem døgnet.

Summary

SBI Bulletin 130

Assessing Ventilation Requirements

This SBI Bulletin forms part of the results of the first phase of a project programme on energy-efficient, demand-controlled domestic ventilation. The Bulletin is to serve as a basis for further work on development and testing of ventilation strategies for use in future dwellings. The ventilation strategies must ensure satisfactory air quality and good indoor climate, but with lower energy consumption than in dwellings built according to the most recent Danish Building Regulations, BR 95 and BR-S 98.

The Bulletin comprises two main chapters. The first chapter deals with selected topics within domestic ventilation and ventilation requirements based on today's Building Regulations, existing experience and knowledge within the areas of ventilation and indoor climate and the expectations to construction and choice of materials in the dwellings of tomorrow. The second main chapter comprises a number of calculations of ventilation conditions in an apartment based on assumptions concerning moisture and pollution loads.

Calculations

Both sources and production of moisture in a dwelling may be unevenly distributed in time and place and therefore calculations were performed to support the assessments of possibilities of regulating the outdoor air supply depending on the actual production of moisture. The calculations indicate that, in a typical apartment and with the assumed pattern of use of the dwelling, it is possible to regulate the basic ventilation so that a reduction of 20-30 percent is achieved compared with existing regulations, without compromising the indoor climate.

In case *only* the pollution contaminants in the room is taken as the basis for the assessments, the calculations show that *in terms of indoor climate* it may be acceptable to regulate and on average reduce the performance of the mechanical exhaust. However, this may not meet normal recommendations for *acceptable air humidity* indoors. It is therefore necessary to ensure that the supplied outdoor air is efficiently used in connection with regulation of the mechanical exhaust, e.g. by supplying it to those rooms where human and humidity loads actually occur. A precondition is that the building is tight and that the outdoor air is supplied through well defined and suitably placed openings.

Conclusion

Ventilation requirements can be determined based on requirements to the indoor air quality and on control of moisture conditions. Based on the new Danish Building Regulations and existing knowledge about contaminants in the indoor climate originating from bioeffluents and CO₂ from humans, tobacco smoke and emissions from building products and furnishing, the humidity conditions of a dwelling are regarded as determining for the ventilation requirements. The outdoor air supply should be around 0.35 l/s per m² corresponding to an air change rate of about 0.5 times per hour assuming that residents demonstrate a good pattern of residential hygiene behaviour and in order to control humidity conditions in the dwelling (prevention of condensation on building parts, reduction of the risk of mould growth and the number of house dust mites).

The calculations indicate that with the assumed use of a typical apartment, it is possible to reduce basic ventilation by 20-30 percent through a suitable control of the ventilation compared with existing regulations without compromising the indoor climate. Thus on average energy savings can be achieved on the energy consumption for ventilation in multi-storey buildings.

Denne SBI-meddelelse udgør en del af resultaterne af første fase i et samlet projektprogram om energieffektiv behovsstyret boligventilation. Meddelelsen skal tjene som grundlag for det videre arbejde med udvikling og afprøvning af ventilationsstrategier til anvendelse i fremtidens boliger. Ventilationsstrategierne skal kunne sikre tilfredsstillende luftkvalitet og gode indeklimamæssige forhold, men med et lavere energiforbrug end i boliger bygget efter de nyeste bygningsreglementer, BR 95 og BR-S 98. Meddelelsen består af to hovedafsnit. Det første behandler udvalgte emner inden for boligventilation og ventilationsbehov ud fra gældende bygningsreglementsbestemmelser, eksisterende erfaring og viden på ventilations- og indeklimaområdet samt forventningerne til konstruktion og materialevalg i fremtidens boliger. Meddelelsens andet hovedafsnit omfatter en række beregninger af ventilationsforholdene i en lejlighed ud fra forudsætninger om person-, fugt- og forureningsbelastninger.