

Velfungerende løsninger til ventilationssystemer i skoleklasser

Vejledning

Februar 2014



ALECTIA

Indledning

Denne ventilationsvejledning udgør den **forkortede udgave** af rapporten 'Velfungerende løsninger til ventilationssystemer i skoleklasser'.

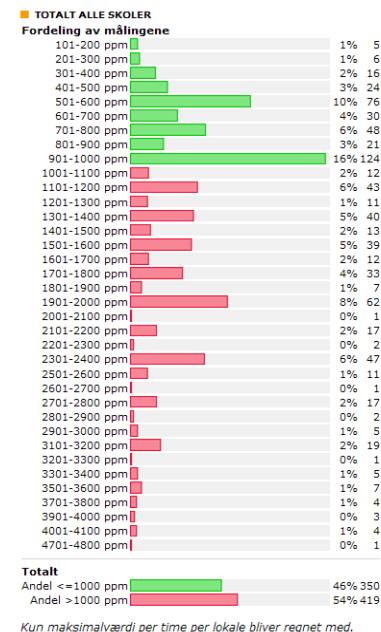
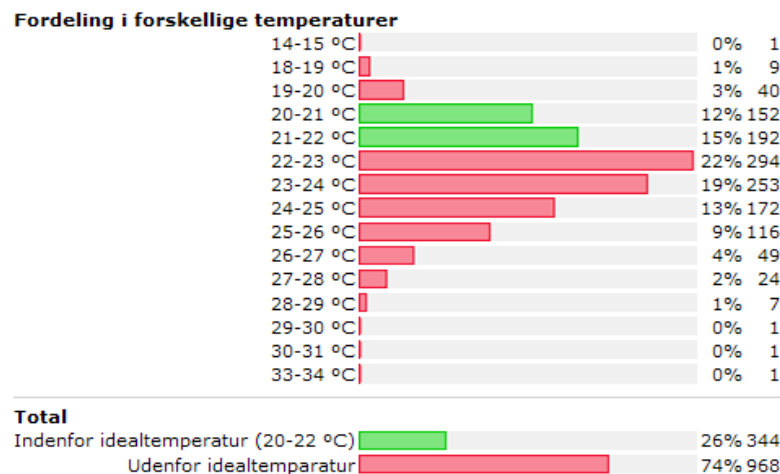
Vejledningen er et værktøj til kvalifikation af valget af ventilationsform både til renovering og nybyg af skoler. Analyserne, som ligger til grund for konklusionerne i denne vejledning kan findes i baggrundsrapporten.

Arbejdet med rapporten er igangsat af Energistyrelsen, fordi ventilationsforholdene på en tredjedel af de danske skoler ikke opfylder byg-

ningsreglementets krav til frisk luft. Målt i antal skoleelever svarer det til at 50 % af eleverne er udsat for et dårligt indeklima. Det kommer til udtryk ved høje koncentrationer af CO₂.

Kuldioxiden genereres via skoleelevernes stofskifte og høje koncentrationer i indeluften indikerer utilstrækkeligt luftskifte. Dårlig luftkvalitet giver hovedpine, irriterede slimhinder, træthed og koncentrationsbesvær. En fordobling af ventilationsraten (som resulterer i mindre koncentration af forureninger) forøger præstationen på typiske skoleopgaver med op til 15 % viser en undersøgelse foretaget af International Centre for Indoor Environment and Energy på DTU (Wargocki & Wyon, 2006).

Figur 1 Temperaturniveau i forskellige skoler. Den ideelle temperatur (20-22°C) afhænger reelt af elevernes påklædning. (Kun) om sommeren kan til-lades op til 26°C. Kilde: Masseeksperiment (2009)



Figur 2 Luftkvalitet målt ved CO₂-indhold i forskellige skoler. Kilde: Masseeksperiment (2009)

Krav til ventilation

Et velfungerende ventilationssystem defineres som et anlæg som har en ydeevne som mindst svarer til lovkrav og nyeste normer/standarder.

Et velfungerende ventilationssystem bør i renoverede skoler:

- Have evnen til at sikre luftkvaliteten, ofte målt som CO₂-niveau
- Bidrage til opretholdelse af den termiske komfort, f.eks. ved at undgå træk (fortrinsvist et problem i kolde perioder) og temperere lokalet med natventilation i varme perioder
- Have lavt støjniveau

Systemet skal kunne yde som nævnt under forudsætning af at:

- Energiforbruget er lavt
- Anlægsomkostningerne er rimelige
- Serviceomkostningerne er rimelige

Forslag til specifikke og målbare værdier findes i Tabel 2, side 20.

Tabel 1 opsummerer Bygningsreglementets krav til ventilation. Omregnet skal der iflg. BR10 i et normalt klasseværelse på 60 m² med 3,0 m rumhøjde med **21 elever** være en lufttilførsel på **470 m³/h**, og med **28 elever 600 m³/h**. I lavenergiklasse 2020 er kravet **840 og 1130 m³/h**.

Tabel 1 Opsummering af Bygningsreglementets mindstekrav til ventilation i skoler gennem tiden.

	BR82	BR95	BR10	Energikl. 2015	Energikl. 2020
SEL-værdi, CAV	-	2500 J/m ³	1800 J/m ³	1800 J/m ³	1500 J/m ³
SEL-værdi, VAV	-	3200 J/m ³	2100 J/m ³	2100 J/m ³	1500 J/m ³
SEL-værdi, udsugning	-	-	800 J/m ³	800 J/m ³	800 J/m ³
Mindste varmegenvinding	'Eff. genvinding'	'Eff. genvinding'	70 %	70 %	75 %
Lufttæthed ved 50 Pa	-	-	1,5 l/s pr. m ²	1,0 l/s pr. m ²	0,5 l/s pr. m ²
Ventilationskrav i skoler og institutioner	-	5 l/s pr. pers. + 0,4 l/s pr. m ²	5 l/s pr. pers. + 0,35 l/s pr. m ² eller 1500 ppm CO ₂	5 l/s pr. pers. + 0,35 l/s pr. m ² eller 1500 ppm CO ₂	900 ppm CO ₂
Termisk indeklima	Ingen spec. krav	Ingen spec. krav	Ingen spec. Krav	Få timer over 26°C	Få timer over 26°C

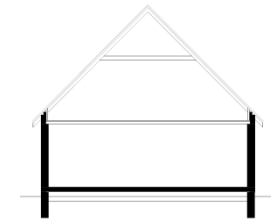
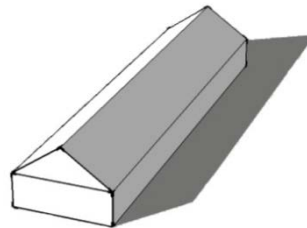
Hvilken skole?

At vælge det bedste ventilationsanlæg til en skole afhænger af skolens karakteristiske kendetegn. Nogle skoler er høje, andre lave; nogle har

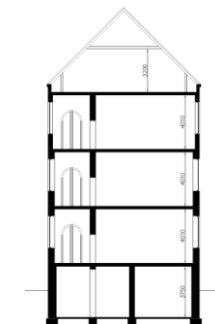
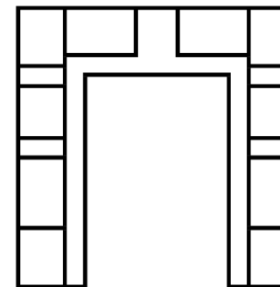
mange bærende vægge, andre er konstrueret af søjler og bjælker. Skolens konstruktionsprincip har betydning for hvilken ventilationsløsning, der kan anbefales til den enkelte skole.

En konkret anbefaling for hver type skole følger på de næste sider.

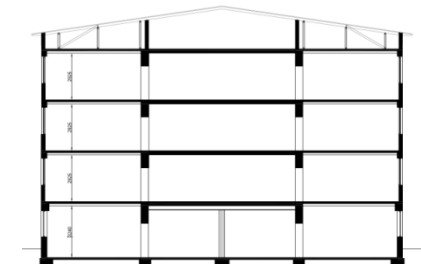
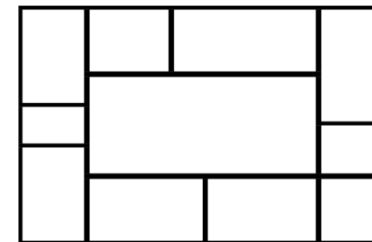
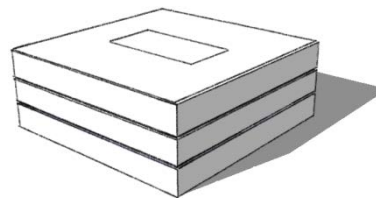
Landsby-
skolen
1720-1880



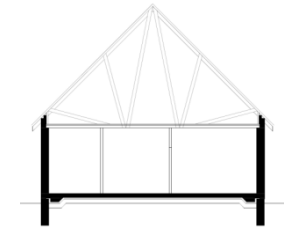
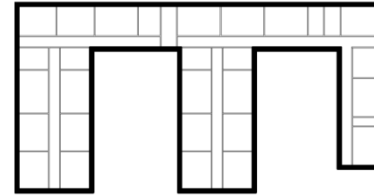
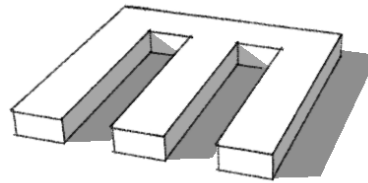
Etageskolen
1880-1930 og
1945-60



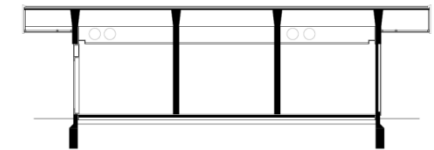
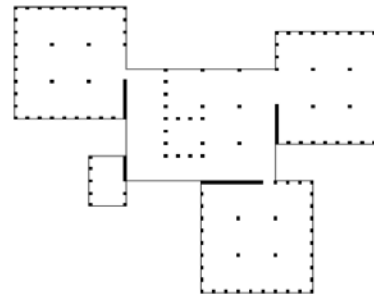
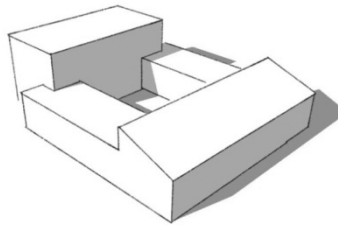
Aulaskolen
1930-1945



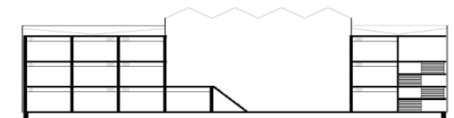
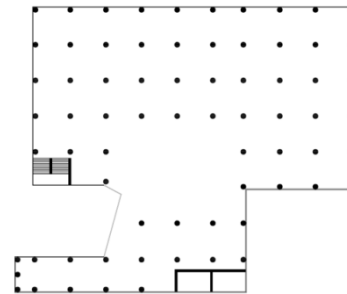
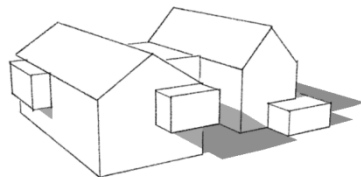
Kamskolen
1960-1970



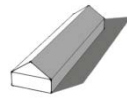
Åbenplan-
skolen
1970-1980



Projekt-
arbejdssko-
len
1990-2013



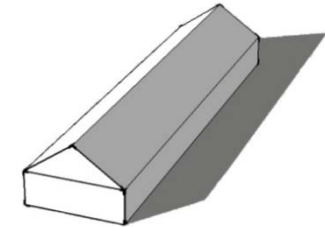
Landbyskolen



Landsbyskolens oprindelige konstruktion er typisk meget tung, med ydervægge og indervægge af mursten. Den bærende del af konstruktionen vil ofte kun være ydervæggene. Rumhøjden er typisk lav.

Hvis de indre vægge ikke er bærende, er **central mekanisk ventilation** en god løsning. Loftsrummet skal være stort nok til ventilationsaggregat og til at kanaler til rummene kan føres mellem spærkonstruktionerne. Rumhøjden er typisk for lav til at føre kanalerne under spærene.

Decentral mekanisk ventilation er en mulighed, hvis loftsrummet er for lille til central ventilation eller hvis mange vægge er bærende. Indblæsningen skal dog placeres, så den ikke giver træk pga. lav rumhøjde.



Det kan ikke anbefales at lave en form for ventilation, hvor vinduerne skal åbnes. Det vil enten være utilstrækkeligt eller skabe træk i lavloftede rum, se i øvrigt 'Naturlig ventilation' side 18.

	Tekniske og praktiske anbefalinger	Arkitektoniske anbefalinger	Luftkvalitet	Temperatur	Risiko for træk
Central mekanisk	Højden til underside loft i gangen bør være mindst 3,1 m, hvis kanaltrækket skal ske under spærkonstruktionen. Hvis indblæsning i lokalet sker vandret fra bagvæg bør rumhøjden være mindst 2,8 m for at undgå træk.	Central mek. benyttes sjældent i landsbyskoler. Design på ventilationsskorstene sammentænkes med arkitektur. Valg af design og farve på armaturer, rør og ventiler kan understøtte integration, men kan også have kvaliteter som 'ærlig' synlig installation.	Fremragende	Fremragende såfremt natventilation indbygges/aktiveres.	Acceptabel, men rumhøjden bør være mindst 2,5 m.
Decentral mekanisk	Det kan være vanskeligt at få plads til aggregatet under loftet. En stående model er en mulighed, men luftfordelingen bliver ringe.	Placering af synlige riste i facader skal ske med omtanke i forhold til facadearkitektur. Design på ventilationsaggregat overvejes for sammenhæng med helhed.	Fremragende	Fremragende idet natventilation som regel er standard.	Acceptabel, men rumhøjden bør være mindst 2,8 m

Etageskolen



Etageskoler blev typisk lavet af massive ydervægge i røde mursten. I bygningerne er der en central indgang og brede trapper, der fører til de øvre etager. Etagerne er modulære og alle klasselokaler ligger langs en korridor.

Etageskolernes konstruktion er typisk en meget tung konstruktion, med både ydervægge og indervægge opbygget af mursten og begge en del af den bærende konstruktion. Ydervæggene vil typisk være fuldmurede murstensvægge. Typisk rumhøjde er meget stor, op til 4 meter.

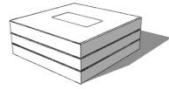
Kun et ventilationsprincip kan anbefales: **decentral mekanisk ventilation**. De mange indre bærende vægge blokerer centralt kanaltræk og bygningskroppen kræver lange føringsvejene. Den store rumhøjde er tilstrækkelig til placering af decentrale aggregater under loft og gennembyrdninger af facaden kan pænt lukkes med anonyme riste, hvis det sker med omtanke for facadearkitekturen.



Hvis etagehøjden tillader *meget* store kanaler og aggregatets dimensioner kan indplaceres i kælder/loftet, kan **central mekanisk ventilation** også være en mulighed.

	Tekniske og praktiske anbefalinger	Arkitektoniske anbefalinger	Luftkvalitet	Temperatur	Risiko for træk
Decentral mekanisk	Aggregaterne kan placeres under loftet imellem vinduerne. Hvis de sidder i vinduet tager de dagslys.	Placering af synlige riste i facader skal ske med omtanke i forhold til facadearkitektur. Design på ventilationsaggregat overvejes for sammenhæng med helhed.	Fremragende	Fremragende idet natventilation som regel er standard.	Acceptabel
Central mekanisk	Der bør være højde i korridoren til kanaler med diameteren 800 mm.	Design på ventilationsskorstene sammentænkes med arkitektur. Valg af design og farve på armaturer, rør og ventiler kan understøtte integration, men kan også have kvaliteter som 'ærlig' synlig installation.	Fremragende	Fremragende såfremt natventilation indbygges/aktiveres.	Acceptabel

Aulaskolen

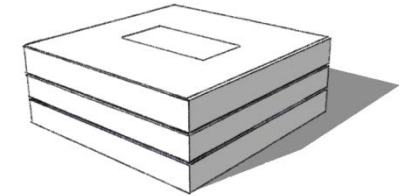


Mest karakteristisk ved skolekategorien er den centrale aula, som har en fremtrædende plads fordi alle funktioner centrerer sig omkring dette atrium-lignende rum.

Andre karakteristika er de store vinduer i hvert klasseværelse og en klar opdeling i skolernes faciliteter.

Aulaskolen er som etageskolen typisk opbygget i mursten. Indervægge og ydervægge er en del af den bærende konstruktion. Hulmure, det vil sige adskilte for- og bagmur med luft imellem, begynder at vinde frem. Rumhøjden er stor med op til 3,3 m.

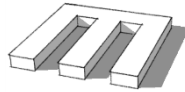
De mange bærende indervægge og flere etager fordyrer centralt kanaltræk, og derfor er **decentral mekanisk ventilation** en bedre løsning end **central mekanisk**. Imidlertid inviterer aulaskolens udformning



med et centralt højt rum til **hybrid ventilation** (two-mode hybrid), hvor mekanisk ventilation erstattes eller suppleres af naturlig ventilation om sommeren, fx via luftindtag i facade og afkast gennem i aulataget. Idet det mekaniske anlæg så ikke skal fungere hele året kan det udføres i lidt mindre pladsbesparende dimensioner. Rene udsugningsløsninger kan ikke anbefales.

	Tekniske og praktiske anbefalinger	Arkitektoniske anbefalinger	Luftkvalitet	Temperatur	Risiko for træk
Decentral mekanisk	Aggregaterne kan placeres under loftet imellem vinduerne.	Placering af synlige riste i facader skal ske med omtanke i forhold til facadearkitektur. Design på ventilationsaggregat overvejes for sammenhæng med helhed.	Fremragende	Fremragende idet natventilation som regel er standard.	Acceptabel
Central mekanisk	Kanalerne kan føres i aulaen under betonbroerne. Kanaltrækkene kan være relativt korte, da alle fløje centrerer sig om aulaen.	Valg af design og farve på armaturer, kanaler og ventiler kan understøtte integration, men kan også have kvaliteter som 'ærlig' synlig installation.	Fremragende	Fremragende såfremt natventilation indbygges/aktiveres.	Acceptabel
Hybrid ventilation (two-mode)	Lokaler skal indrettes med afstand til facadeindtag, detaljerede timesimuleringer skal godtgøre at anlægget kan sikre luftkvaliteten og at der ikke opstår træk.	Vinduer/spjæld skal udformes så vejrlig ikke forringer funktionen. Valg af design og farve på armaturer, kanaler og ventiler kan understøtte integration, men kan også have kvaliteter som 'ærlig' synlig installation.	Fremragende	Fremragende idet natventilation er aktiveres.	Acceptabel såfremt detaljerede simuleringer dokumenterer risikoen

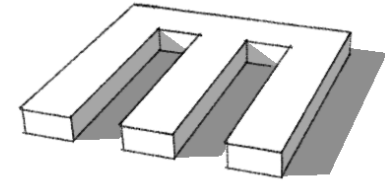
Kamskolen



Skoler fra 1960'erne betegnes kamskoler, fordi deres helt særlige form opdeler skolen i en masse grene eller forgreninger i lighed med en kam. Bygningerne er i et plan og som regel med fladt tag. Typisk vil faglokaler være placeret i en 'hovedbygning', hvorfra klasselokaler i grene udstikker fra.

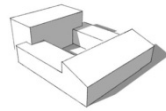
Kamskolens ydervægge er typisk opbygget af en bagmur af let beton eller letklinkerblokke, en formur af mursten og 5 cm isolering imellem. Indervægge vil typisk være opbygget af mursten, men er ikke en del af den bærende konstruktion. Rumhøjden er i underkanten af 3 m.

Da bygningen er i et plan og ofte med fladt tag er det nærliggende at anvende tagpladsen til **central mekanisk ventilation**.



	Tekniske og praktiske anbefalinger	Arkitektoniske anbefalinger	Luftkvalitet	Temperatur	Risiko for træk
Central mekanisk	<p>Kanaler og aggregat kan installeres på taget. Et aggregat per fløj er sandsynligvis passende.</p> <p>Hvis kanalerne føres indvendigt bør højden til underkant af bjælkerne i korridoren være mindst 3,1 m og helst mere end 3,2 m for at give plads til kanaler.</p> <p>Udvendige ventilationsanlæg kan være udsat for hærværk.</p>	<p>Udvendigt er det en stor kunst at placere ventiler, ventilationshuse og skorstene synligt, og desværre er der eksempler på flere løsninger, som er udført uden skelen til æstetik, end løsninger med fokus på indpasning.</p> <p>Nogle tekniske løsninger er placeret uafskærmet på taget, og kunne æstetisk forbedres ved at blive samlet i et element, som var designet til bygningens oprindelige arkitektur.</p>	Fremragende	Fremragende såfremt natventilation indbygges/aktiveres.	Acceptabel

Åbenplanskolen

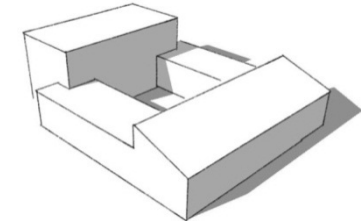


Åbenplanskoler tager nogle karakteristika fra kamskoler som f.eks. et-plans formen og beton som vigtigste materiale. Imidlertid bliver rummene tilrettelagt på en måde, så alle studerende har plads til at møde hinanden, socialisere eller have gruppearbejder.

Disse skolebygninger udgør ca. 1/3 af den samlede skolebygningsbestand.

Åbenplanskolens konstruktion er typisk opbygget af søjle/bjælke system med lette sandwichfacadeelementer, eller som kamskolen med formur af mursten, bagmur af letbeton med isolering imellem. De få

indervægge vil være en kombination af tunge stabiliserende og lette vægge. De kan typisk være opbygget af mursten, i nogle tilfælde med isolering. Rumhøjden er 2,5 m under nedhængt loft, men etagehøjden er 3,7 m.



Da bygningen er i et plan og med fladt tag er det nærliggende at anvende tagpladsen til **central mekanisk ventilation**.

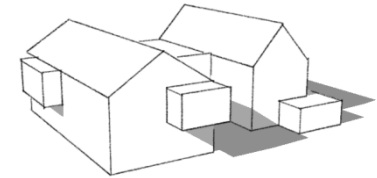
	Tekniske og praktiske anbefalinger	Arkitektoniske anbefalinger	Luftkvalitet	Temperatur	Risiko for træk
Central mekanisk	<p>Kanaler og aggregat kan installeres på taget. Et aggregat per fløj er sandsynligvis passende.</p> <p>Udvendige ventilationsanlæg kan være udsat for hærværk.</p> <p>Hvis kanalerne føres indvendigt bør højden til underkant af bjælkerne i korridoren være mindst 3,1 m og helst mere end 3,2 m for at give plads til kanaler</p>	<p>Udvendigt er det en stor kunst at placere ventiler, ventilationshuse og skorstene synligt, og desværre er der flere eksempler på løsninger, som er udført uden skelen til æstetik, end løsninger med fokus på indpasning.</p> <p>Nogle tekniske løsninger er placeret uafskærmet på taget, og kunne æstetisk forbedres ved at blive samlet i et element, som var designet til bygningens oprindelige arkitektoniske grammatik.</p>	Fremragende	Acceptabel såfremt natventilation indbygges/aktiveres. Effekten afhænger af hvor 'tunge' konstruktioner bygningen består af.	Acceptabel

Projektarbejdsskolen



Projektarbejdsskolens konstruktion kan variere meget i og med der sjældent er to der er ens. Projektarbejdsskolens bærende system vil typisk være et søjle/pladesystem, hvor søjlerne er det bærende element for etagedækkene. Derudover vil der typisk være en betonkerne, med elevator og trappeskakter til at optage vindlaster. Derudover vil projektarbejdsskolen typisk have en ikke-bærende facade med en form for facadebeklædning, som kan være med til at skabe forskellige udtryk for de respektive skoler. Næsten alle projektarbejdsskoler har **central mekanisk ventilation**, da de er relativt nye.

Central mekanisk er den primære ventilation i lokalerne, men de mange forskellige former og dobbelthøje rum inviterer også til mere avancerede former for ventilation, f.eks **hybrid**



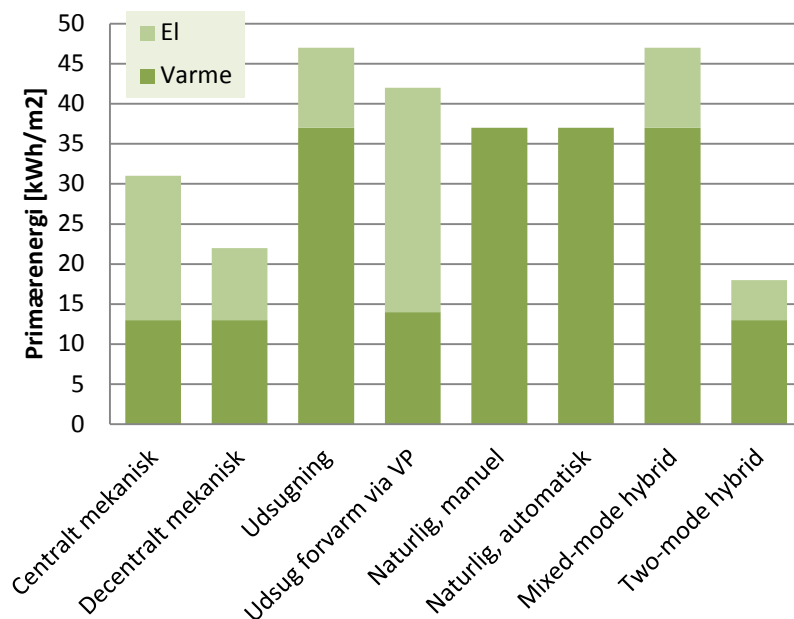
ventilation, hvor mekanisk ventilation erstattes eller suppleres af naturlig ventilation om sommeren (two-mode hybrid). Det skal dog understreges, at det kræver specialistkompetencer/firmaer at implementere et velfungerende (two-mode) hybrid system i en skole. Bl.a. skal lokaler indrettes med facadeindtag, så der ikke opstår træk og detaljerede timesimuleringer skal godtgøre at anlægget kan sikre luftkvaliteten under forskellige forhold.

	Tekniske og praktiske anbefalinger	Arkitektoniske anbefalinger	Luftkvalitet	Temperatur	Risiko for træk
Central mekanisk	Hvis kanalerne føres indvendigt bør højden til underkant af bjælkerne i korridoren være mindst 3,1 m og helst mere end 3,2 m for at give plads til kanaler.	Valg af design og farve på armaturer, kanaler og ventiler kan understøtte integration, men kan også have kvaliteter som 'ærlig' synlig installation.	Fremragende	Fremragende såfremt natventilation aktiveres	Acceptabel
Hybrid ventilation (two-mode)	Lokaler skal indrettes med afstand til facadeindtag, detaljerede timesimuleringer skal godtgøre at anlægget kan sikre luftkvaliteten og at der ikke opstår træk	Vinduer/spjæld skal udformes så vejrlig ikke forringer funktionen. Valg af design og farve på armaturer, kanaler og ventiler kan understøtte integration, men kan også have kvaliteter som 'ærlig' synlig installation.	Fremragende såfremt detaljerede simuleringer i hvert tilfælde dokumenterer effektiviteten	Fremragende idet natventilation er aktiveret	Acceptabel såfremt detaljerede simuleringer i hvert tilfælde dokumenterer risikoen

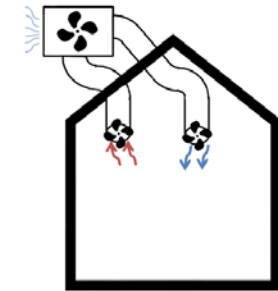
Central mekanisk ventilation

Centrale systemer er karakteriseret ved at et centralt placeret aggregat med ventilatorer forcerer ventilationsluften gennem et netværk af kanaler. Et aggregat forsyner hele bygningen eller adskillige lokaler med luft. Aggregatet er som regel med filtrering af luften, varmeveksling og styring af luftmængden til hvert klasselokale.

Ventilationsprincippet er i stand til at sikre luftkvaliteten efter både nugældende og fremtidige krav. Princippet er sammen med decentrale mekanisk ventilationsanlæg den optimale løsning mht. luftkvalitet og energiforbrug. Etablerings- og serviceomkostninger er dog relativt



høje, bl.a. fordi der skal installeres brandhæmmende foranstaltninger som brand- og røgspjæld eller varslingsanlæg.



Luftmængden dimensioneres efter luftkvalitet og ikke temperaturkomfort grundet anlægsomkostningerne. Temperaturen vil ellers være styrende i et normalt klasselokale, så derfor er nye anlæg ofte med natventilation, så dagtemperaturen kan holdes rimelig.

Ventilationsprincippet egner sig bedst til skoler med få indre bærende vægge, f.eks. kamskoler, åbenplanskoler og projektarbejds-skoler, hvor det bærende system er præget af søjler og bjælker. Ofte installere-

Figur 3 Årligt varme- og elforbrug opgjort for en 70'er normalklasse med nye vinduer. Simuleret med IDbuild (idbuild.dk). Sammenvejningen af varme og el er med BR10 primærenergifaktorerne 1,0 på varme og 2,5 på el. VP: varmepumpe

res aggregatet på taget med synlig kanalføring, så design på ventilationsaggregat og -skorsten bør derfor sammentænkes med arkitekturen. Desuden inviterer den synlige løsning også til hærværk. Indvendigt kan valg af design og farve på armaturer, kanaler og ventiler understøtte integration, men kan også have kvaliteter som 'ærlig' synlig installation

Støj er generelt ikke et problem i nye anlæg, hvor der er krav til energieffektiviteten. Støj er i den forbindelse et unødvendigt energitab. Men fordi anlægsomkostningen ofte er i fokus, kan der forekomme underdimensionering af nogle anlæg, f.eks. kan de nødvendige lyd-dæmpere blive sparet væk.



Figur 4 Eksteriør. Synlig, inddækket ventilationsinstallation, Roskilde Universitets Center.

Vedligehold er meget vigtigt. Der findes studier som forfægter den sundhedsmæssige konsekvens af bedre luftkvalitet via centrale anlæg fordi jævnlig rengøring og filterskift i praksis bliver negligeret. Svaret er en serviceaftale med leverandøren/montøren.

Varmeforbruget er lavt. Elforbruget afhænger meget af hvor meget plads det pågældende anlæg kan få lov at optage, f.eks. bør højden til bjælker i korridoren være mindst 3,1 m og helst mere end 3,2 m for at give plads til kanaler, ligesom aggregatet helst skal placeres på taget fremfor en trang kælder.



Figur 5 Eksteriør. Synlig, uinddækket ventilationsinstallation, Roskilde Universitets Center.

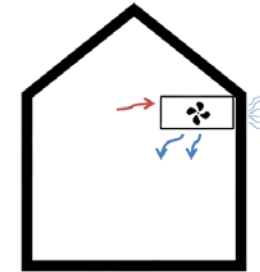
Decentral mekanisk ventilation

Decentral ventilation benytter også forceret ventilation, som centrale systemer gør, men aggregatet ventilerer kun det lokale, det er monteret i. Dvs. der er ingen eller kun meget lidt kanalføring. Varmeveksling og filtrering sker på samme måde som centrale systemer og har stort set samme effektivitet. Anlæggene leveres som en plug-n-play løsning, hvor luftkvaliteten styres af integrerede CO₂- og temperatursensorer. Der er derfor ikke samme kompleksitet som i centrale anlæg.

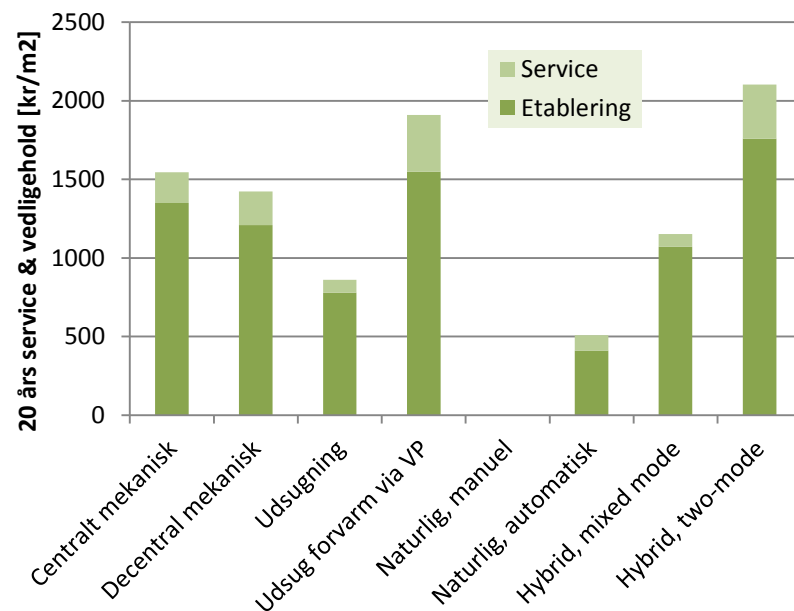
Decentral ventilation egner sig bedst til skoler med mange bærende indervægge, f.eks. landsbyskoler, etageskoler og aulaskoler, hvor bærende elementer blokerer centralt kanaltræk. Af hensyn til luftfor-

deling og trækforhold, bør aggregatet placeres højt i rummet og derfor bør rumhøjden være mindst 2,8 m.

Aggregatet trækker luft ind igennem facaden eller taget og derfor skal placering af synlige riste ske med omtanke i forhold til facadearkitektur. Ligeledes bør designet på ventilationsaggregatet overvejes for sammenhæng med helheden.



Da ventilationsanlægget er placeret fysisk i undervisningslokalet er det vigtigt at have fokus på støj, f.eks. ved at vælge kvalitetsprodukter og ved ikke at underdimensionere. Nuværende (og fremtidige krav til luftkvalitet) vil som regel kræve to enheder per klasselokale.



Figur 6 Opsummering af etablerings- og vedligeholdelsesomkostninger over en 20 års periode.

Styringen af decentrale rumaggregater er simplere end på centrale anlæg, men brugerne anbefales alligevel en serviceaftale på disse anlæg. I en skole kan der være ganske mange enheder installeret og uden et centralt tilbagemeldingssystem eller jævnlige fysiske kontroller, kan anlæg være ude af drift i flere år før det opdages.

Der gælder de samme krav til vedligehold som for centrale ventilationsanlæg. Jævnlig rengøring og filterskift er meget vigtigt, f.eks. i tilknytning til en halvårlig serviceaftale.

Decentrale systemer gennembryder ikke brandcellevægge og de er derfor brandteknisk simplere end centrale systemer.

Både el- og varmekonsumet er meget lavt og etableringsomkostninger er nogenlunde på højde med centrale ventilationsanlæg. Med en serviceaftale fra producenten er serviceomkostningerne heller ikke markant højere end for central mekaniske anlæg, se Figur 6 side 14.



Figur 7 Interiør. Selvstændige, synlige ventilationsaggregater med deres egen detaljerede æstetik.

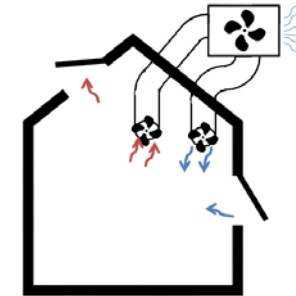
Hybridventilation

Hybrid ventilation kombinerer fordelene ved mekanisk og naturlig ventilation. Termen 'hybrid' dækker principielt over alle ventilationskombinationer, men kun two-mode hybridsystemer kombinerer de rigtige egenskaber: dvs. det er systemer, hvor mekanisk balanceret ventilation erstattes eller suppleres med automatisk styret naturlig ventilation som sommeren.

Systemerne er separerede med egne installationer og styringer og i overgangsperioder skiftes mere eller mindre intelligent fra ét ventilationsystem til et andet. På den måde opnås fordele fra begge systemer.



I kontormiljøer er erfaringerne gode, når systemerne fungerer, men i praksis er det svært at integrere systemerne og især i overgangsperioder er det vanskeligt at beslutte hvilket system, der tilfredsstiller flest brugere, f.eks. når nogle føler trækgener om sommeren.



Derfor er det vigtigt at brugerne om sommeren kan overstyre systemet og selv åbne vinduerne. Samtidig undgår de træk om vinteren.

For at hindre træk og sikre luftkvaliteten skal rummene iflg. BR10 indrettes med større volumener og mulighed for opdrifts/tværventi-

Figur 8 Stort rumvolumen, afstand fra vindue til elever og tværventilation er nødvendige for at skabe komfort og tilstrækkelig luftkvalitet i en hybrid løsning.

lation, dvs. med åbninger i facade og tag, så luften strømmer på tværs af lokalet (se Figur 8), ligesom facadeindtag bør udformes eller installeres med god afstand til de nærmeste elever. Facadeåbninger skal placeres højt, helst 2,7 m over gulv, og kan ikke anbefales til lavloftede rum. Af hensyn til ventilationseffektiviteten bør afstanden mellem indtag- og afkaståbninger ikke være mere end 4x rumhøjden, men der bør i alle tilfælde stilles krav om uddybende detaljerede simuleringer til dokumentation af luftkvalitet og trækrisiko.

Ligeledes skal det overvejes om eksterne støjkilder (kørende eller gående trafik) eller forurening (f.eks. biltrafik) vil forringe indeklimaet.

Der er ikke mulighed for filtrering af pollen, og åbentstående vinduer om natten – af hensyn til nedkølingen af bygningen – inviterer til ind-

brud eller hærværk, f.eks. ved at (brandfarlige) substanser kastes ind ad vinduet.

De store fordele ved hybrid ventilation er øget brugertilfredshed og energibesparelser, da ventilatorerne kan slukkes om sommeren og erstattes af automatisk vinduesåbning både om dagen og om natten.

Det skal understreges, at hybrid ventilationsprincippet (two-mode) kun er egnet til nye skoler, hvor hensyn til komfort og virkemåde kan implementeres tidligt og at det kræver specialistkompetencer/firmaer at implementere et velfungerende hybridssystem.

Figur 9 Vinduesåbninger i facaden. Kilde: www.WindowMaster.dk

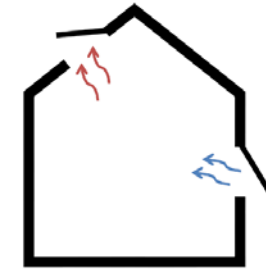


Naturlig ventilation

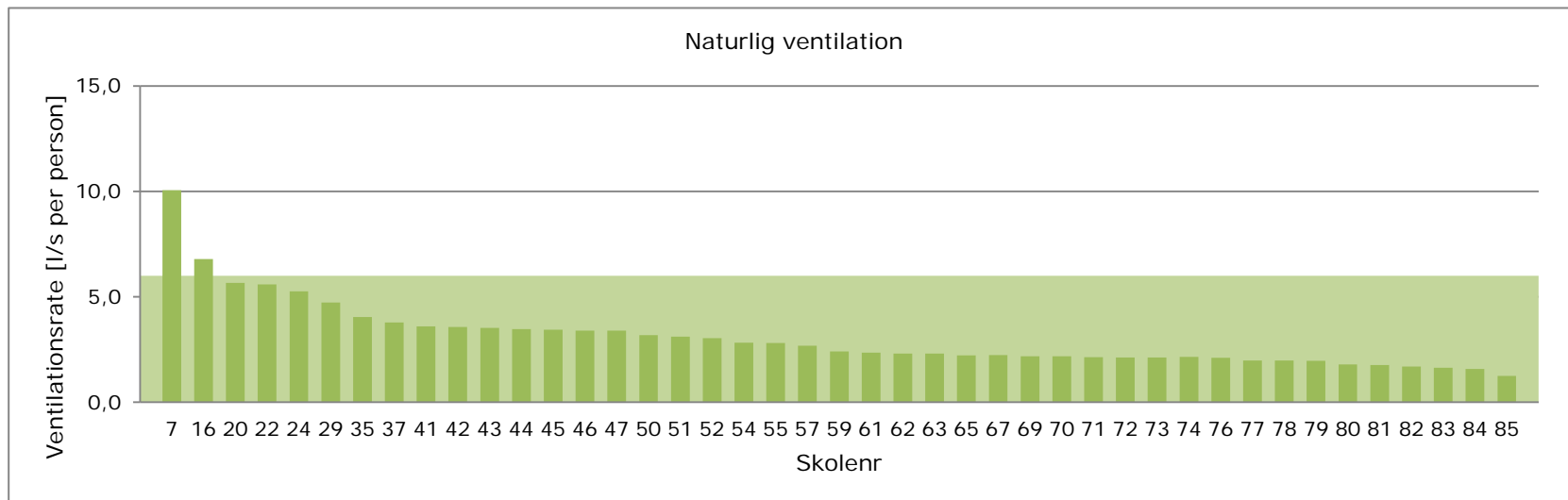
Manuel udluftning findes i et flertal af danske skoler (Masseeksperiment, 2009). Virkemåden og erfaringerne gør at princippet ikke kan betegnes som et ventilationssystem. Effektiviteten afhænger helt af brugernes forståelse af vigtigheden af at udlufte med jævne mellemrum, også selvom de oplever træk undervejs.

Erfaringsmæssigt leverer manuel udluftning ikke den påkrævede luftkvalitet, som illustreret på Figur 10, der viser ventilationsraten på et større antal skoler i en periode i efteråret 2009.

Naturlig ventilation med automatisk vinduesopluk har i forbindelse med hybrid ventilation potentiale (se afsnit 'Hybridventilation', side 16), men det kræver særlige byggetekniske tiltag som fx større rumvoluminer per person, tværv ventilation og mulighed for optimal placering af vinduesåbningerne, så trækgenerne minimeres. Derfor er naturlig ventilation kun relevant for helt nye bygninger (og til dels aulaskoler) og kun i sammenhæng med mekanisk vinterventilation med varmegenvinding. Simuleringer bør gennemføres i hvert konkrete tilfælde.



Figur 10 Ventilationsrater for naturligt ventilerede lokaler. Kun to anlæg yder mere end grænseværdien.



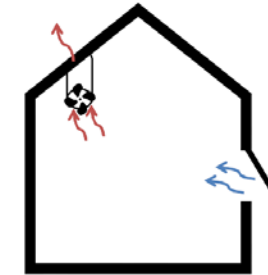
Udsugning

Udsugningsventilation er forceret ventilation, hvor indtag typisk sker fra små åbninger i facaden, f.eks. via friskluftventiler i vinduerne eller åbninger bagved radiatorerne. Systemet er simpelt, men meget varmemeforbrugende og styringen er som regel rudimentær.

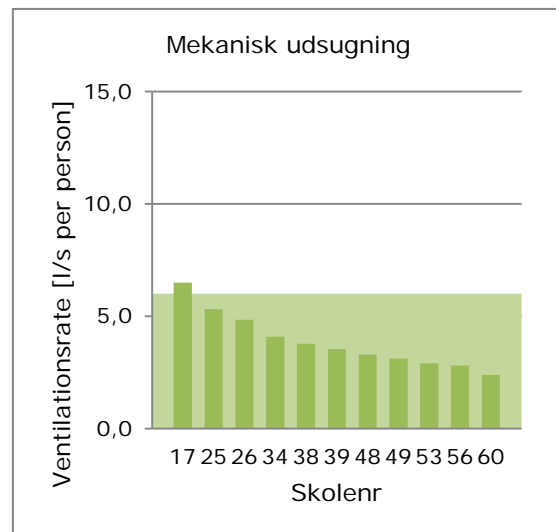
Erfaringsmæssigt leverer ventilationsprincippet ikke den forventede luftkvalitet, jf. Figur 12, og risikoen for træk er overhængende fordi kold luft tilføres så direkte til opholdszonen.

Nogle udsugningsprincipper benytter forvarmning i facaden (Figur 11) og varmegenvinding via en varmepumpe (Figur 13). Iflg. de praktiske

erfaringer forhindrer det ikke træk i opholdszonen og varmepumpen er en fordyrende anskaffelses- og vedligeholdelsesomkostning.



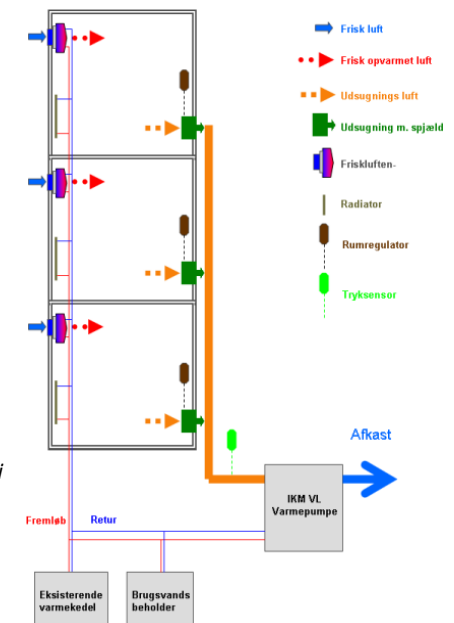
Figur 12 Ventilationsrater for mekanisk udsugede lokaler. Kun et lokale er over grænseværdien.



Figur 11 Indtag med varmeflade i facade, Navent model. Kilde: Airmaster.dk



Figur 13 Principskitse af udsugningsventilation med forvarmning i facaden via varmepumpe. Kilde: www.ikm.dk



Kom videre

Hovedkonklusionen er at centrale eller decentrale balancerede mekaniske ventilationsanlæg, som via CO₂ og temperatursensorer styres efter behovet i de enkelte klasselokaler, må betragtes som de to principper, der tilfredsstillende flest evalueringsparametre med størst margen og som har den bedste markedsmodenhed.

Hybrid ventilation, hvor automatisk styret naturlig og mekanisk ventilation kombineres, performer også fremragende på mange parametre. Det er forfatterens opfattelse, at denne type har det største potentiale til at sikre maksimal brugertilfredshed for mindst muligt energiforbrug.

P.t. er driftsstyring dog knap så markedsmoden.

Tabel 2 stiller en række parametre op, som kan anvendes til gradueret evaluering af ventilationsløsninger. Parametrene er SMART – specifikke, målbare, ambitiøse, relevante og tidsbestemte – og bør indgå i enhver kravspecifikation på et nyt ventilationsanlæg.

Acceptabelt niveau opfylder gældende lovgivning, og fremragende er *markant* bedre end det store gennemsnit. Uacceptabelt er ulovligt ved nyinstallation.

De grønne skraveringer i Tabel 2 viser et eksempel på prioriterede udbudsværdier, som er SMART. De røde skraveringer er ulovlige. Mht. vedligehold og etableringsomkostninger, se baggrundsrapporten.

Tabel 2 Eksempler på krav, som kan stilles til ventilationsanlæg, med tre graderingsniveauer

	Uacceptabelt	Acceptabelt	Fremragende
Luftkvalitet, CO ₂	Over 1500 ppm	1000-1500 ppm	Under 1000 ppm
Temperatur	Jævnligt udenfor 20-26 °C	Indenfor 20-26 °C	20-23 °C
Træk	Forekommer	Lav risiko	Forekommer ikke
Støj teknisk (trafik)	Større end 30 (33) dB(A)	27-30 (30-33) dB(A)	Under 27 (30) dB(A)
Filtrering	-	Evt. mulighed for filter	Filterklasse F7
Æstetik	-	Synlig	Integreret eller usynlig
Varmegenvinding	Mindre end 70 %	70-85 %	Højere end 85 %
Max specifikt elforbrug, SEL	Over 2100 J/m ²	1000-2100 J/m ²	Under 1000 J/m ²
Køling vha. natventilation	-	Evt. mulighed for natventilation	Natventilation indbygget

