

SBi-anvisning 212

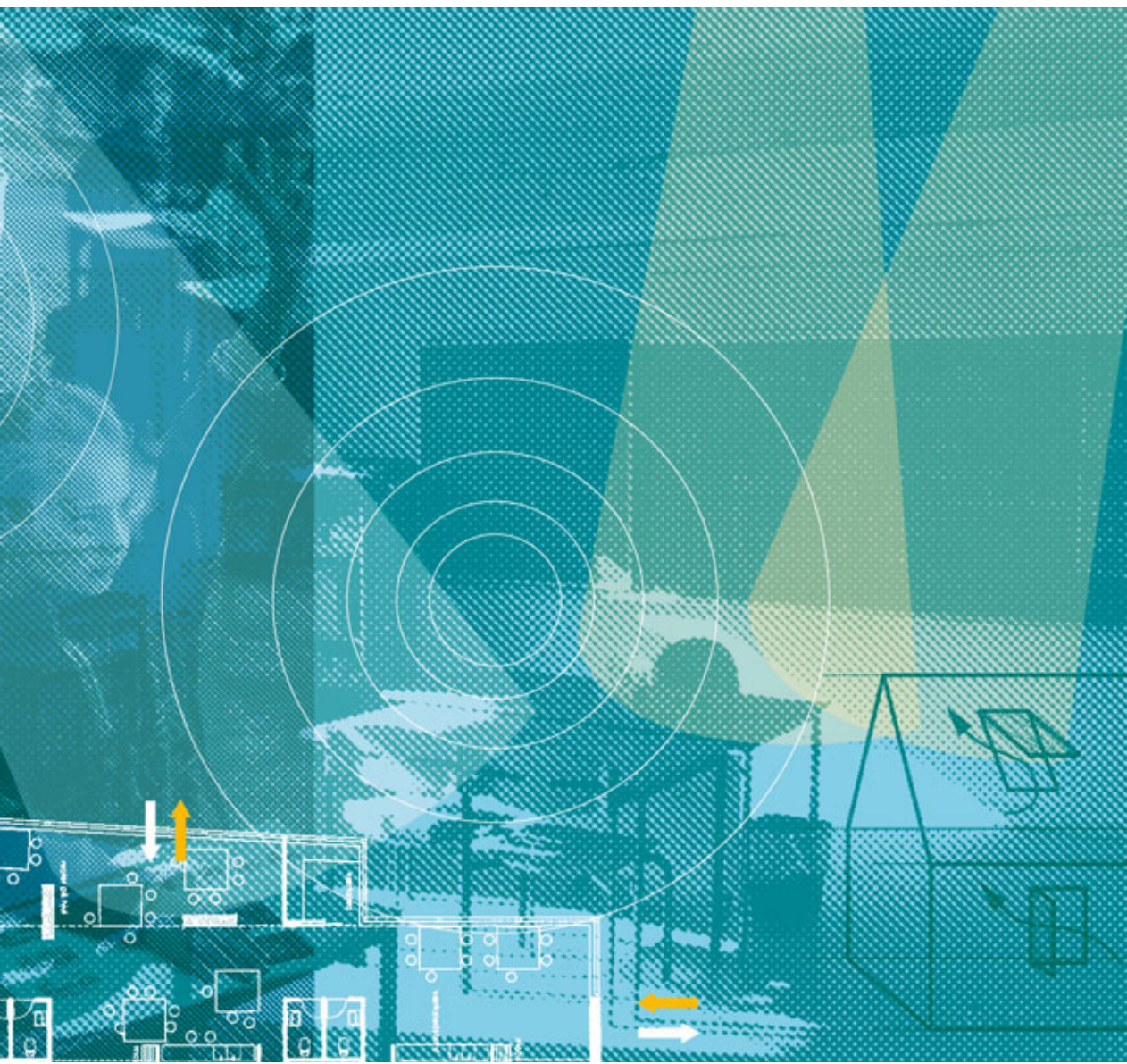
# Energieffektive skoler

## Ventilation, lys og akustik



Statens Byggeforskningsinstitut  
DANISH BUILDING RESEARCH INSTITUTE

1. udgave, 2006





# Energieffektive skoler

Ventilation, lys og akustik

Kirsten Engelund Thomsen

Kjeld Johnsen

Lars Gunnarsen

Claus Reinhold

Inge Mette Kirkeby

Dan Hoffmeyer

|                             |  |
|-----------------------------|--|
| Titel                       | Energieeffektive skoler  |
| Undertitel                  | Ventilation, lys og akustik  |
| Serietitel                  | SBI-anvisning 212  |
| Udgave                      | 1. udgave  |
| Udgivelsesår                | 2006   |
| Forfatter                   | Kirsten Engelund Thomsen, Kjeld Johnsen, Lars Gunnarsen,<br>Claus Reinhold, Inge Mette Kirkeby, Dan Hoffmeyer  |
| Sprog                       | Dansk  |
| Sidetæl                     | 86   |
| Litteratur-<br>henvisninger | Side 84-86   |
| Emneord                     | Skoler, energiforbrug, ventilation, dagslys, belysning, akustik, helhedssyn                                    |
| ISBN                        | 87-563-1271-7  |
| Pris                        | Kr. 200,00 inkl. 25 pct. moms  |
| Tegninger                   | Ove Nesdam, Niels Christian Bergsøe, Lars Gunnarsen,<br>Lisbeth S. Kristensen, Steen Traberg-Borup             |
| Omslags-<br>illustration    | Mai-Britt Amsler   |
| Fotos                       | Claus Asp, Gunnar Holm, Lisbeth S. Kristensen, Erwin Petersen  |
| Tryk                        | Salogruppen A/S  |
| Udgiver                     | Statens Byggeforskningsinstitut,<br>Dr. Neergaards Vej 15, DK-2970 Hørsholm<br>E-post sbi@sbi.dk<br>www.sbi.dk |

Eftertryk i uddrag tilladt, men kun med kildeangivelsen: *SBI-anvisning 212: Energieffektive skoler. Ventilation, lys og akustik. (2006)*

E-bog ISBN 87-563-1274-1  
Pris kr. 150,00 inkl. 25 pct. moms

# Forord

I disse år er mange kommuner i gang med at bygge nye skolebygninger eller ombygge eksisterende skoler som følge af stigende elevtal, pædagogisk omstilling og nedslidning af bygningerne. I den forbindelse har kommunerne samtidig en god mulighed for at nedsætte energiforbruget markant og skabe et bedre indeklima i skolerne, hvis de projekterende vel at mærke er opmærksomme på mulighederne.

Denne anvisning er tænkt som en vejledning til brug ved projektering af energieffektive skoler. I anvisningen er der gjort en særlig indsats for at beskrive løsninger, som gør det muligt at nedsætte energiforbruget til belysning og ventilation og samtidig skabe et sundt indeklima, god akustik og et stimulerende undervisningsmiljø.

Anvisningen henvender sig til beslutningstagere, skoleledere, medarbejdere, rådgivere/projekterende og andre, som er involveret i planlægning af skolebyggeri.

Anvisningen danner afslutning på Energistyrelsens forskningsprogram "Program for energieffektive skoler". Projektet er gennemført af Statens Byggeforskningsinstitut (SBI) i samarbejde med Københavns Kommune, Ballerup Kommune, Skanska Jensen A/S, som ejer skoler i Farum Kommune, Cenergia A/S og Birch & Krogboe A/S.

Afsnittet om akustik i anvisningen er skrevet af Dan Hoffmeyer fra DELTA Dansk Elektronik, Lys & Akustik.

Der har desuden været tilknyttet en følgegruppe med deltagere fra Statens Forsknings- og Uddannelsesbygninger, Erhvervs- og Byggestyrelsen, Miljøministeriet, Rådgivningstjenesten for Skolebyggeri, Arkitektskolen Aarhus, Rambøll, Danmarks Lærerhøjskole, Danmarks Lærerforening, Københavns Kommune, RIA Rådgivende Ingeniører og Arkitekter, Embedslægeinstitutionen i Storstrøms Amt, Lysteknisk Selskab, DELTA Dansk Elektronik, Lys & Akustik og KHR Arkitekter A/S.

SBI vil gerne sige tak til samarbejdspartnerne og følgegruppen, som har bidraget med nyttig viden og gode diskussioner.

SBI, Statens Byggeforskningsinstitut  
Afdelingen for Energi og Miljø  
April 2006

*Søren Aggerholm*  
Forskningschef

# Indhold

|  |    |
|--|----|
| Forord.....  | 5  |
| Indledning .....   | 9  |
| Om anvisningen.....  | 9  |
| Skolens bygninger skal kunne mere.....                           | 11 |
| Større hensyn til den enkelte elevs forudsætninger .....         | 11 |
| Mere projektarbejde.....   | 12 |
| Behovsstyret organisering af skoledagen .....                    | 12 |
| Flere krav til skolens bygninger.....                            | 13 |
| Energieffektivitet mellem mange hensyn .....                     | 14 |
| Generelle krav og bestemmelser .....                             | 15 |
| Klasserummets størrelse.....                                     | 15 |
| Temperatur og træk .....   | 16 |
| Brand .....  | 16 |
| Miljørigtig projektering og drift.....                           | 16 |
| Folkeskolelovens krav om nye undervisnings- og arbejdsformer .   | 17 |
| Arbejds miljø.....   | 18 |
| Undervisningsmiljø.....  | 18 |
| Energiforbrug .....  | 20 |
| Nye krav til energiforbruget.....                                | 20 |
| Energiramme for nye bygninger .....                              | 20 |
| Krav til varmetabet gennem klimaskærmen .....                    | 21 |
| Klassificering af lavenergibygninger .....                       | 21 |
| Energikrav ved renoveringer.....                                 | 21 |
| Energiforbrug i eksisterende skoler .....                        | 22 |
| Energiforbrug til varme og ventilation.....                      | 22 |
| Elforbrug .....  | 23 |
| Vandforbrug .....  | 24 |
| Håndregler for god og energieffektiv projektering og drift ..... | 24 |
| Ventilation.....   | 26 |
| Gældende krav og bestemmelser.....                               | 26 |
| Lov om elevers og studerendes undervisningsmiljø.....            | 26 |
| Bygningsreglementet.....   | 27 |
| Forureninger fra byggematerialer.....                            | 29 |
| Elforbrug til ventilationsanlæg .....                            | 29 |
| Behovstilpasning er vigtig .....                                 | 30 |
| Helhedsvurdering af indeklimaet.....                             | 30 |
| Tilpasning til skiftende anvendelse af rummene .....             | 30 |
| Muligheder for tilpasning i dagligdagen.....                     | 31 |

|  |    |
|--|----|
| En skole i pagt med omgivelserne.....                  | 31 |
| Mekanisk eller naturlig ventilation .....              | 32 |
| Helhedssyn og ventilation .....                        | 33 |
| Godt indeklima med ventilation.....                    | 35 |
| Syv ventilationsprincipper .....                       | 36 |
| Ventilationsprincipper med mekanisk ventilation .....  | 36 |
| Ventilationsprincipper med naturlig ventilation .....  | 39 |
| Dagslys i skoler.....                                  | 42 |
| Gældende krav og bestemmelser.....                     | 42 |
| Bygningsreglementets krav .....                        | 42 |
| Dagslyset skal med i planlægningsfasen .....           | 43 |
| Skalamodeller og computersimuleringer.....             | 43 |
| Rumhierarki og overgangszoner .....                    | 44 |
| Lysåbningernes størrelse og placering.....             | 44 |
| Eksempler fra Trekroner Skole .....                    | 45 |
| Lyset skal tilpasses aktiviteterne i rummet.....       | 46 |
| Balancen mellem diffust og rettet lys .....            | 46 |
| Solafskærmninger.....                                  | 48 |
| Solafskærmningens funktion.....                        | 49 |
| Tjekliste for dagslysprojektering .....                | 50 |
| Kortlægning af behov .....                             | 50 |
| Samspil med naturlig ventilation.....                  | 50 |
| Valg af lysåbninger og glasareal .....                 | 50 |
| Lysets stemning og karakter .....                      | 51 |
| Vinduesrammer, karme og detaljer omkring vinduer ..... | 51 |
| Farve og reflektans af overflader.....                 | 51 |
| Valg af rudetyper.....                                 | 51 |
| Valg af solafskærmning.....                            | 52 |
| Solafskærmningens funktion og regulering.....          | 52 |
| Valg af dagslysstrategier.....                         | 52 |
| Kunstig belysning .....                                | 56 |
| Gældende krav og bestemmelser.....                     | 56 |
| Bygningsreglement 1995.....                            | 56 |
| Dansk standard.....                                    | 56 |
| Belysningsløsninger .....                              | 58 |
| Eksempler på belysningsformer.....                     | 59 |
| Planlægningsfaktorer .....                             | 60 |
| Belysningsstyrke .....                                 | 61 |

|   |    |
|---|----|
| Luminansfordeling.....  | 61 |
| Blænding og reflekser.....  | 62 |
| Lysretning og modellering .....   | 63 |
| Lysfarve og farvegengivelse.....  | 63 |
| Flimmer.....  | 65 |
| Samspil med dagslyset.....  | 65 |
| Akustik.....  | 66 |
| Krav i Bygningsreglement 1995 .....   | 66 |
| Vejledende projekteringsværdier for lydforhold i<br>undervisningsbyggeri..... | 67 |
| Luftlydisolation .....  | 68 |
| Trinlydniveau .....   | 69 |
| Støjniveau .....  | 69 |
| Efterklangstid .....  | 69 |
| Absorptionsareal.....   | 71 |
| Generelt om efterklangstid og absorptionsareal.....                           | 71 |
| Eksempler på opfyldelse af projekteringsværdier for<br>lydregulering.....     | 72 |
| Klasserum .....   | 72 |
| Stort fælles opholdsrum.....  | 73 |
| Helhedssyn og lydforhold .....  | 73 |
| Håndregler for god akustik.....   | 74 |
| Helhedssyn i projekteringen: Overensstemmelser og konflikter .....            | 77 |
| Placering på grunden.....   | 77 |
| Konstruktioner.....   | 78 |
| Rumudformning og indretning .....   | 79 |
| Facadeudformning .....  | 80 |
| Overflader.....   | 81 |
| Installationer.....   | 81 |
| Litteratur .....  | 84 |