

Oppvarming og ventilasjon av skoler

Av sivilingeniør SVEIN MYKLEBOST,
Norges byggforskningsinstitutt

NORGES BYGGFORSKNINGSINSTITUTT



OSLO 1964

sq 697 : 727.1
M
2 ex

Oppvarming og ventilasjon av skoler

Oppvarming og ventilasjon av skoler¹

Ventilasjonsmengde i praksis og teori —

Glimt fra en ventilasjonsundersøkelse i nyere skolebygg. —

Hvilke typer varme- og ventilasjonsanlegg passer best for skolebygg idag — og hvilke vil være aktuelle i fremtiden?

Av sivilingeniør Svein Myklebost,
Norges byggforskningsinstitutt.

Oppvarming og ventilasjon av skoler ble i sin tid tatt opp av Komiteen for undervisningsbygg, oppnevnt ved Kronprinsregentens resolusjon 6. juni 1957. Komiteen hadde bl. a. til mandat å søke og finne frem til den mest rasjonelle og økonomiske utforming av undervisningsbygg. I sin innstilling konkluderte komiteen med at på området oppvarming og ventilasjon av skoler råder det stor uvisshet både med hensyn til hvilke krav som bør stilles og til hvilke systemer som best egner seg.

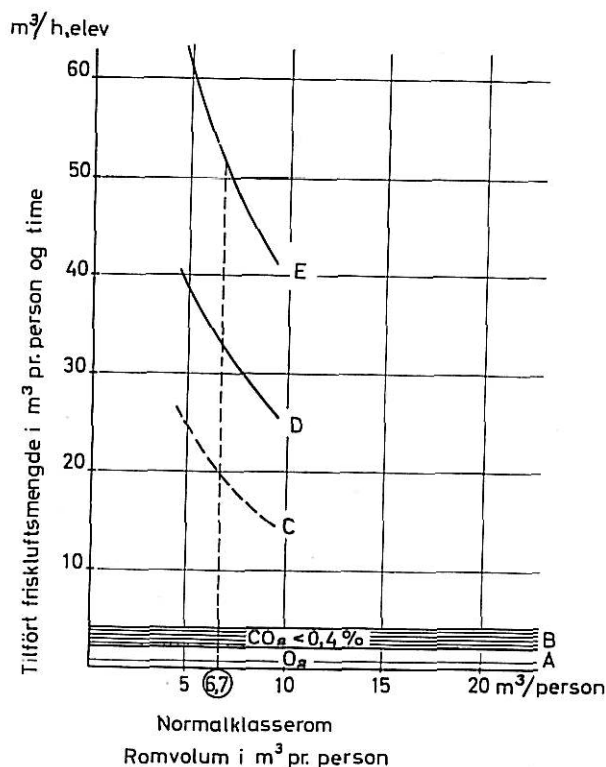


Fig. 1. Tilført friskluftmengde pr. person og time.

¹ Foredrag holdt i Byggforskningens åpne foredragsserie på Blindern, februar 1964.

Byggforskningens undersøkelser.

Norges byggforskningsinstitutt kom inn i arbeidet med denne sak etter at instituttet fikk i oppdrag av Oslo kommune å foreta en undersøkelse av ventilasjonsforholdene i byens skoler.

Under dette arbeidet ble undersøkelsen av instituttet utvidet til også å gjelde skoler utenfor Oslo. Målet var å komme frem til et statistisk pålitelig materiale for hvordan ventilasjonsforholdene er i praksis.

Før resultatene fra ventilasjonsundersøkelsen omtales nærmere, kan det være av nytte ganske kort å se litt på ventilasjonsmengder rent generelt og hvorfor vi ventilerer, selv om dette vil være kjent stoff for mange.

Figur 1 viser nødvendig tilført friskluftmengde pr. elev og time for å dekke oksygenbehovet, holde CO₂-konsentrasjonen under en bestemt grense, og til fortykning av luktstoffene.

Til forbrenning av de næringsstoffer vi spiser og drikker trenges oksygen. Linje A angir den minste tilførte friskluftmengde som skal til for å dekke dette oksygenbehov — ca. 0,5 m³/h. Som følge av denne forbrenningsprosess avgir kroppen en rekke organiske stoffer. Disse organiske stoffer fremkaller lukt.

Omgis vi hele tiden av den samme luftmengde, vil konsentrasjonen av disse luktstoffer stige og gjøre luften illeluktende og bedervet.

Ett av stoffene — kuldiksyd CO₂ — som avgis gjennom åndedrettet, har vært det enkleste å måle. CO₂-konsentrasjonen har derfor ofte vært brukt som et mål for hvor bedervet luften er. Det skraverte område B angir den nødvendige tilførte friskluftmengde forat CO₂-konsentrasjonen ikke skal overstige 0,4 %. Denne verdi blir ofte brukt som den øvre tillatte konsentrasjon i luft der mennesker skal oppholde seg, selv om vi ikke vil ta skade av konsentrasjoner helt opp til 4 %.

Kurve D angir den minste tilførte friskluftmengde forat personer som kommer utenfra og inn i et klasserom med stillesittende elever, ikke skal føle noen form for ubehagelig lukt.

Den nødvendige ventilasjonsmengde for en og samme luktintensitet avtar med økende romvolum pr. person. Dette kommer av at luktstoffene er relativt ustabile og derfor hurtig oksyderes i luft.

Med normalklasserummets rumvolum på ca. 6,7 m³ pr. elev trenges det følgelig en friskluftmengde på 33 m³/elev, h. Regner en med moderat aktivitet hos elevene, må en opp i 52 m³/elev, h, slik som *kurve E* viser.

20 m³/elev, h, som *kurve C* viser, har her hjemme lenge vært et anerkjent tall. Det brukes av de fleste konsulenter som prosjekterer ventilasjonsanlegg for skolebygg.

De som oppholder seg innendørs, vil ikke sjeneres av lukt i samme grad som de som kommer utenfra. Grunnen til dette ligger i at luktenervene etter ganske kort tid får en nedsatt følsomhet.

De lave konsentrasjoner av luktstoffer som kommer på tale, er ikke påvist å ha noen form for varig giftvirkning.

Varmeøkonomisk er kravet til ventilasjon kort og godt at den skal være så liten som mulig.

Det kan også tenkes andre grunner til at vi må ventilere. For å hindre kondensdannelse på vinduene f. eks. Til dette trenges det imidlertid bare ca. 2 m³/elev, h.

For å føre vekk overskuddsvarmen ved solinnstråling trenges det på den annen side så store luftmengder at de vanskelig kan tilføres på en trekkfri måte.

Det synes derfor berettiget å gå noe lavere ned i ventilasjonsmengde enn hva *kurve D* tilsier. Hvor meget lavere en kan gå er et skjønnsspørsmål, som må vurderes ut fra estetiske hensyn. Hygienisk skulle det som sagt ikke være noen innvendinger.

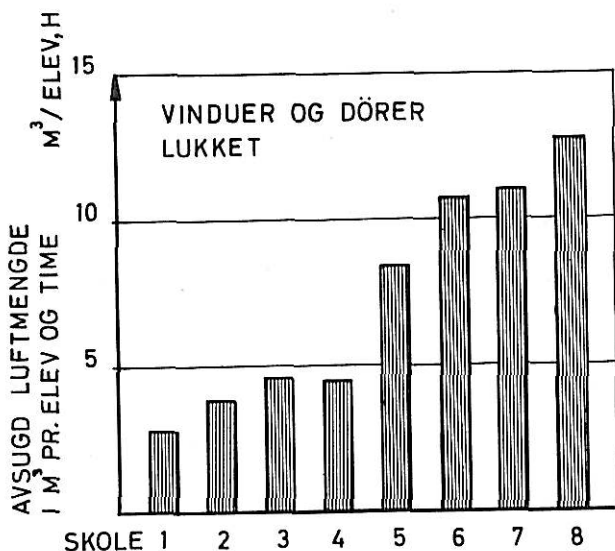


Fig. 2. Avsugt luftmengde i et tilfeldig valgt rum i hver skole.

De stipulerte 20 m³/elev, h ser derfor ut for å være et rimelig kompromiss mellom den nærmest luktfrie tilstand ved *kurve D* og den øvre tillatte grense for CO₂-konsentrasjonen.

Den innledende ventilasjonsundersøkelse hadde til primært formål å få bragt på det rene om elevene virkelig fikk tilført de foreskrevne 20 m³/elev, time.

Det har lenge hersket en utbredt mistanke om at dette ikke var tilfelle. De klager som var fremkommet over ventilasjons- og oppvarmingsforholdene, var sporadiske og diffuse i karakter, og det var vanskelig på dette grunnlag å danne seg et riktig bilde av de faktiske forhold. Det ble derfor gjort et tilfeldig utvalg av 8 nyere skoler i Oslo. Først ble det gjort et forsøk på å kartlegge klagen. 176 lærere ble stilt endel spørsmål i spørreskjema-form angående ventilasjons- og oppvarmingsforholdene i deres klasserum. Der nest ble den avsugde luftmengde målt for et tilfeldig valgt klasserum i hver skole.

Resultatene fra rundspørringen kan karakteriseres med at det var liten eller ingen sammenheng mellom hvor fornøyde lærerne var og de faktiske forhold med hensyn til tilført friskluftmengde, nødvendig vinduslufting og trekk.

Figur 2 viser resultatene fra de utførte målinger. Den avsugde luftmengde varierte fra 13 m³/elev, h og ned til bare 3 m³/elev, h. Middelerverdien ligger på rundt 7 m³/elev, h. Dette er vesentlig lavere enn de 20 m³/elev, h som det har vært gjort regning med at hver elev fikk tilført.

At de åpenbart dårlige ventilasjonsforhold ikke gir seg utslag i hyppigere og sterkere klager enn de gjør, har vel sin forklaring i at vi mennesker har en meget stor tilpasningsevne.

En overlærer karakteriserte forholdet ganske treffende da han uttalte: «Ja, forholdene er jo fæle de første ukene etter sommerferien — men en venner seg til det også!»

Resultatene fra disse undersøkelsene gjorde det berettiget å foreta undersøkelser i et større antall skoler for å få et statistisk holdbart materiale.

Det var ønskelig å foreta målinger i et stort antall klasserum på samme skole for å komme frem til representative verdier, også for hver enkelt skole. Av denne grunn ble målingene foretatt i rene klasserumspaviljonger der hvor slike fantes.

Ventilasjonsundersøkelsen omfatter bare ordinære klasserum. Samlingssaler, gymnastikk-

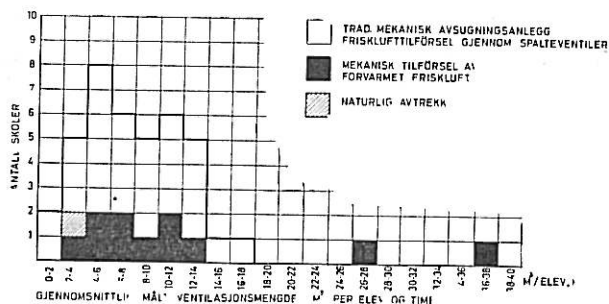


Fig. 3. Fordeling av målt ventilasjonsmengde ved 50 etterkrigsskoler.

saler, matsaler, skolekjøkken o. l. er holdt utenfor. For skoler med mer kompakt bebyggelse, ble klasserommene valgt ut etter ventilasjonsanleggets utforming.

Det vanlige er at avsugget luftmengde avtar med avstanden fra viften. Ved meget store og langstrakte anlegg ble derfor målingene utført som stikkprøver. Det ble utført målinger i klasserum nærmest og lengst fra vifte samt i to eller flere mellom disse ytterpunkter.

Til slutt ble — hvor det var praktisk mulig — den totale avsugede luftmengde fra hele anlegget målt, enten i kanal umiddelbart foran vifte eller i utblåsningsristen etter viften.

Med dette undersøkelsesopplegg var det ikke mulig å gjøre bruk av sporgassmetoden til måling av avsugget luftmengde fra klasserummet — den ville bli altfor tidkrevende. Det ble derfor valgt å bruke forskjellige instrumenter, alt etter anleggsutforming og ventiltype. Til direkte måling av lufthastigheter i kanaler og ventilåpninger ble brukt hetetrådsanemometer og velometer. Til direkte måling av avtrekket gjennom ventilene ble brukt vingeanemometer plassert i en målekasse.

Av de 50 skoler som ventilasjonsundersøkelsen totalt omfatter, hadde 38 vanlig mekanisk avsugningsanlegg uten forvarming av den tilførte friskluft, 1 hadde bare naturlig ventilasjon og 11 hadde innblåsning av forvarmet friskluft.

Figur 3 viser resultatene fra de utførte målinger. Langs abcissen er avsatt den gjennomsnittlige målte ventilasjonsmengde omregnet til m^3 pr. elev og time. Basert på et «normalklasserum» av $200 m^3$ rumvolum og 30 elever. Ventilasjonsmengden er avsatt i intervaller på hver $2 m^3/elev, h$.

Oppover viser hvor mange skoler som har avsugget luftmengde i de viste intervaller.

De åpne felter angir skoler med mekanisk av-

sugning og frisklufttilførsel gjennom spalter i ytterveggen — friskluften tas altså her inn uten først å bli forvarmet.

De sorte felter angir skoler som har mekanisk tilførsel av forvarmet friskluft.

Det skraverte felt viser den skole som har naturlig avtrekk.

Middelverdien for de 38 skoler er $8 m^3/elev$ og time.

Avsugget luftmengde varierer helt fra 0— $2 m^3/elev$ og time og opp til 16— $18 m^3/elev$ og time.

Ser en bort fra de to høyeste verdier, ligger middelverdien for skoler med innblåsning av forvarmet friskluft også her på ca. $8 m^3/elev$ og time og med omlag samme spredning.

De to skoler i intervallene 26—28 og 36—38 representerer de moderne luftoppvarmingsanlegg (to-strengs-høyhastighetsanlegg og enstrengs-lavhastighetsanlegg).

De målte verdier gjelder her den totalt befordrede luftmengde. Under drift i brukstiden kan hele denne luftmengde bestå av friskluft. Normalt vil bare en del bestå av friskluft; resten er følgelig omluft, luft som sirkulerer i anlegget.

Disse anlegg kan, men behøver derfor ikke nødvendigvis, gi lavere luktnivå enn de øvrige anlegg.

For skoler med naturlig avtrekk vil avsugget luftmengde være sterkt avhengig av de ytre vind- og temperaturforhold. Verdien for den avmerkede skole gjelder derfor kun under de bestemte forhold som hersket da målingene ble utført, nemlig $-5^{\circ} C$ utetemperatur og normale vindforhold, dvs. ca. 2 m/s. Verdien angir imidlertid området hvor slike anlegg vil ligge.

De verdiene som her er angitt er gjennomsnittsverdier for en eller flere klasserumsfløyer ved hver enkelt skole.

To klasserum i samme bygning har imidlertid ofte svært forskjellig ventilasjon. Dette er vist på figur 4.

Langs ordinaten er avsatt den høyeste og laveste målte luftmengde i $m^3/elev, h$ ved samme skole.

Langs abcissen er de undersøkte skoler avsatt i to grupper:

- 1) Skoler med frisklufttilførsel gjennom spalteventiler.
- 2) Skoler med mekanisk tilførsel av forvarmet friskluft.

Spredningen er i begge grupper stor, og i mange skoler tildels meget stor.

Norges Byggeskoleundersøkelser

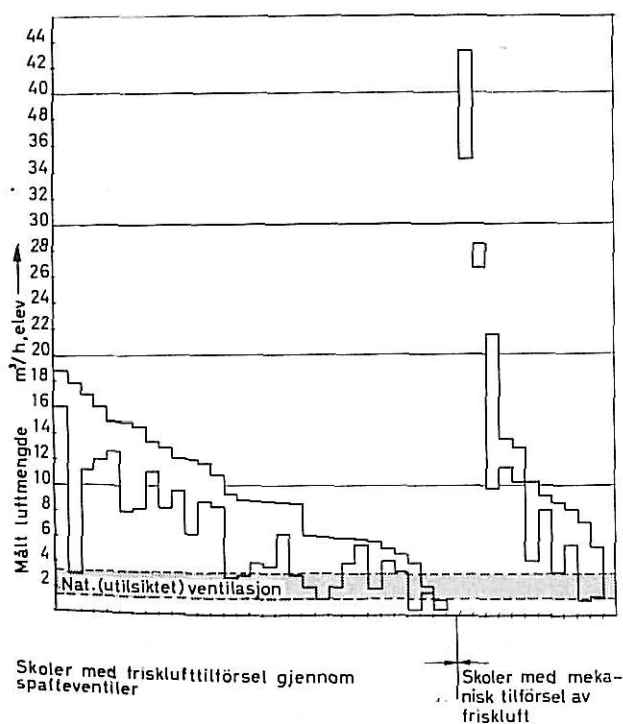


Fig. 4. Spredning av ventilasjonsmengde.

I skole nr. 2 f. eks. har det dårligst ventilerte rum kun 3 m³/elev, h, mens det best ventilerte rum når opp i 18 m³/elev, h. De to skoler med den største luftmengde har relativt liten spredning.

Spredningen i ventilasjonsmengde innenfor hver enkelt skole skyldes for det vesentlige mangelfull innregulering. Den ujevne fordeling også i gruppen med innblåsning av forvarmet friskluft tyder på dette. Normalt vil disse være de enkleste å innregulere, fordi det her vanligvis brukes ventiltyper med forinnstilling.

At fordelingen er bedre i skoler med ren varmluftoppvarming er naturlig, fordi en her er helt avhengig av luften som eneste oppvarmingsmedium.

På grunnlag av de fremkomne resultater må en undres litt over hva som er årsaken til at den mekanisk tilførte friskluftmengde ligger såvidt langt under 20 m³/elev, h.

For det tradisjonelle mekaniske avsugnings-system er saken ganske opplagt. Her føres den kalde uteluften direkte inn i klasserummet gjennom spalteventiler, vanligvis plasert i overkant vindu. Den kalde uteluft som her trekkes inn, vil lett falle ned i oppholdssonen og forårsaker trekk. Når trekken blir for sjenerende, stenges ventilene — og luftmengden blir redusert.

Trekkvirkningen fra friskluftstrålen er til en viss grad avhengig av inntakets utforming og plasing. I flere tilfelle ble ventilene funnet å være montert opp ned. I andre tilfelle var gardinbrett plasert rett foran åpningen, og i atter andre var lysarmatur plasert nær opp til ventilåpningen. Dette er alle faktorer som bevirker at kaldluftstrålen fra ventilene på en ugunstig måte blir rettet nedover.

Tilsynelatende uvesentlige detaljer som dette bør derfor vies større oppmerksomhet.

Spalteventilene er vanligvis plasert i en høyde av 2—2,5 meter over gulv. Trekkvirkningen kan minskes noe om avstanden økes. Dette er imidlertid kun mulig i visse typer paviljongskoler. Høyden er her 3,5 til 4 meter.

Efter de målinger Byggforskningen har utført er det selv her ikke mulig med en større luftmengde enn 10—15 m³/elev, h i temperaturområdet ± 0 til -5° C. Synker temperaturen under dette, må friskluftmengden ytterligere reduseres.

Vind som blåser mot en bygning forårsaker vanligvis overtrykk på vindsiden og undertrykk på den motstående side. Overtrykket på vindsiden fører til at en større luftmengde blir presset inn i bygningen. Undertrykket på den motstående side kan lett oppheve undertrykket i klasserommene. Luftstrømmen gjennom friskluftsventilene stanser og går da den andre veien. Den brukte luften fra korridoren og klasserommene på vindsiden trekkes derved gjennom klasserommene på lesiden. Dette er forhold som spesielt vil gjøre seg gjeldende i strøk utsatt for sterk vind.

Det ville derfor være ønskelig å komme frem til en utførelse som for det første er like billig som et tradisjonelt mekanisk avtrekksanlegg, og som for det andre gir en mer kontrollert og trekkfri innføring av friskluften.

For det kan vel ikke herske tvil om at det også er behov for anleggstyper som er så billige som overhode mulig, men som samtidig kan tilfredsstille rimelige krav til komfort.

En løsning som ser ganske lovende ut, men som ennå ikke er tilstrekkelig utprøvet, er innføring av friskluft i forbindelse med akustikk-tak — hvor slike likevel skal monteres. Her kan strålevirkningen fra det nedkjølte akustikk-tak komme til nytte i perioder med overoppvarming.

Årsaken til den lave friskluftmengde også ved de anlegg som tilfører friskluften forvarmet, skyldes mer sjelden trekkproblemer. En natur-

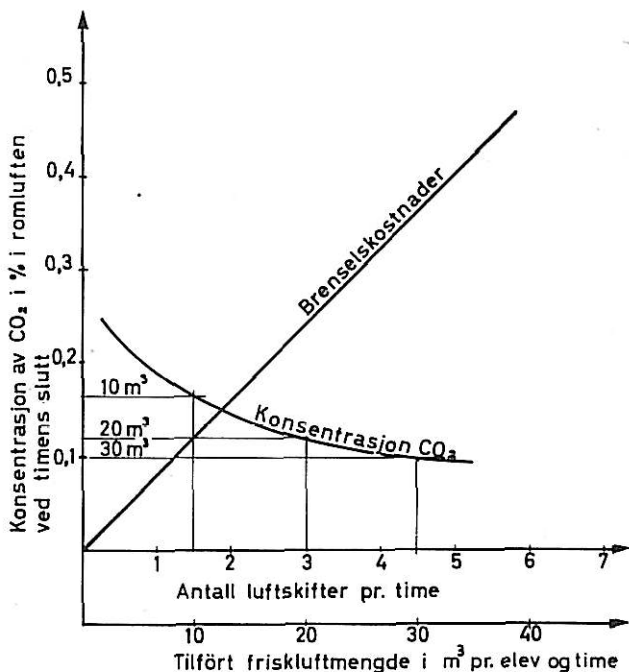


Fig. 5. Forholdet mellom konsentrasjon av luktstoffer, brenselkostnader og luftskifte.

ligere forklaring kan her være at en er blitt skremt av de høye brenselutgiftene som en friskluftmengde på 20 m³/elev, h medfører.

Dette forhold vil nok gjøre seg spesielt gjeldende ved direkte elektrisk oppvarming, hvor tariffen vanligvis straffer de høye toppbelastninger.

Hensynet til brenselkostnader og luftens luktintensitet — estetiske hensyn — er derfor de faktorer som i første omgang bestemmer mengden av tilført friskluft.

Figur 5 viser hvordan brenselkostnader og luktstoffkonsentrasjon avhenger av tilført friskluftmengde. CO₂-konsentrasjonen er også her valgt som mål for luktstoffkonsentrasjonen i rumluften og er avsatt langs ordinaten i %.

Brenselkostnadene øker lineært med tilført friskluftmengde, dvs. en fordobling av friskluftmengden medfører en dobling av brenselkostnadene.

Forholdet er noe annerledes med hensyn til luktstoffkonsentrasjonen. En fordobling av friskluftmengden fra 10 til 20 m³/elev, h resulterer i en senkning av luktstoffkonsentrasjonen på 25 %.

Det som nå avgjør vår estetiske reaksjon på luftens luktnivå, er brukstidens lengde og det faktum at luktesansen i likhet med våre andre sanser reagerer tilnærmet logaritmisk.

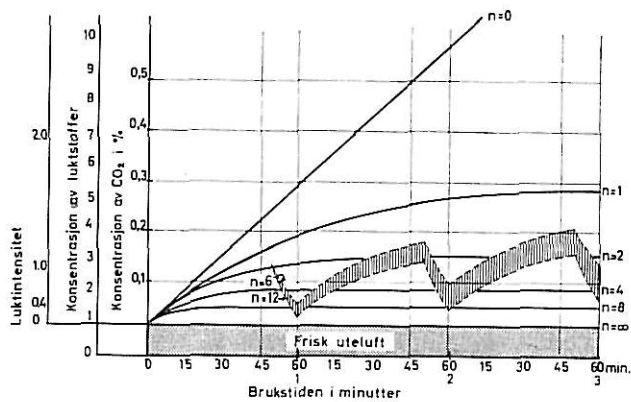


Fig. 6. Sammenhengen mellom konsentrasjon av luktstoffer, luktintensitet og friskluftvekslinger.

Figur 6 illustrerer disse forhold. Til høyre er brukstiden avsatt i minutter og timer.

Oppover vises CO₂-konsentrasjonen i %.

Ved skoledagens begynnelse er det frisk luft i klasserommet. En starter da opp med ca. 6,7 m³ friskluft pr. elev. Den første timen har en derfor faktisk ca. 1,3 luftvekslinger i tillegg til den ordinære ventilasjon.

Nødvendig friskluftmengde bør derfor også sees i sammenheng med brukstidens lengde.

Linjen for n = 0 viser hvordan luktstoffkonsentrasjonen tiltar i et hermetisk lukket rum som starter med frisk luft.

Kurvene for n = 1, 2, 4 viser forholdet ved økende friskluftskifte.

Det skraverte området viser hvordan luktstoffkonsentrasjonen kan tenkes å variere når det blir brukt vinduslufting i en periode på 10 min. mellom undervisningstidene i tillegg til den ordinære ventilasjon på 2 luftvekslinger pr. time.

Helt til venstre er avsatt en logaritmisk skala for den føyte luktintensitet. Skalaen er avsatt med frisk luft som basis. En kan her se at luktintensiteten på langt nær tiltar så hurtig som luktstoffkonsentrasjonen. Det trengs en 3-dobling av luktstoffkonsentrasjonen for å fordoble luktintensiteten.

Vi kan derfor slå fast følgende:

Senkningen i luktstoffkonsentrasjonen avtar meget raskt ut over en luftmengde på 15—20 m³/elev, h — og siden luktintensiteten avtar logaritmisk i forhold til luktstoffkonsentrasjonen, avtar luktintensiteten enda raskere ut over det samme område.

Dette skulle tilsi at en økning av friskluftmengden ut over området 15—20 m³/elev, h har liten berettigelse.

Konklusjon på ventilasjonsundersøkelsene.

Konklusjonen på ventilasjonsundersøkelsene må bli:

1. At den mekanisk tilførte friskluftmengde i praksis ligger langt under de 20 m³/elev, h som man har regnet med.
2. At det er stor variasjon på tilført friskluftmengde i de enkelte klasserom i den samme skole. Dårlig innregulering må her ta skylden.
3. Alle forhold tatt i betraktning synes det som om en tilført friskluftmengde på 15 til 20 m³/elev, h er tilstrekkelig for klasserom, og at en oppnår lite ved økning ut over dette.

Hvilken rolle spiller luftfuktigheten?

Foruten luktintensiteten, kaldlufttrekk og stråletrekk, har det vært stor uvisshet og uenighet om hvor vidt rumluften kan bli for tørr.

Byggforskningen har derfor foretatt langtidsregistreringer av klasseromsluftens relative fuktighet. Figur 7 viser resultatet.

Langs abscissen er avsatt uteluftens temperatur i °C, mens ordinaten viser klasseromsluftens relative fuktighet.

Det skraverte felt viser klasseromsluftens relative fuktighet (RF) med elever tilstede.

RF varierer lite med hensyn til luftveksling og små variasjoner i rumtemperatur.

De stiplede linjer viser rumluftens teoretiske relative fuktighet ved de angitte luftvekslinger om all den fuktighet elevene avgir ble opptatt av rumluften.

For normale, friske mennesker er det ikke påvist noen sjenanse eller skadelige virkninger med relativ fuktighet i området 20–30 %.

Tar en i betraktning de få dager det i store deler av landet er kaldere enn -15° C, må en ut fra dette slutte at det ikke skulle være behov for kunstig befuktning av den luft som tilføres klasserommet.

Overoppvarming.

Overoppvarming av klasserommene har i de senere årene kommet til å spille en meget dominerende rolle for kvaliteten av innneklimaet.

Overoppvarmingsproblemet kan deles i to:

- 1) Overoppvarming som skyldes den varme elevene og belysningen avgir,
- 2) overoppvarming som skyldes varmetilskuddet ved solinnstråling.

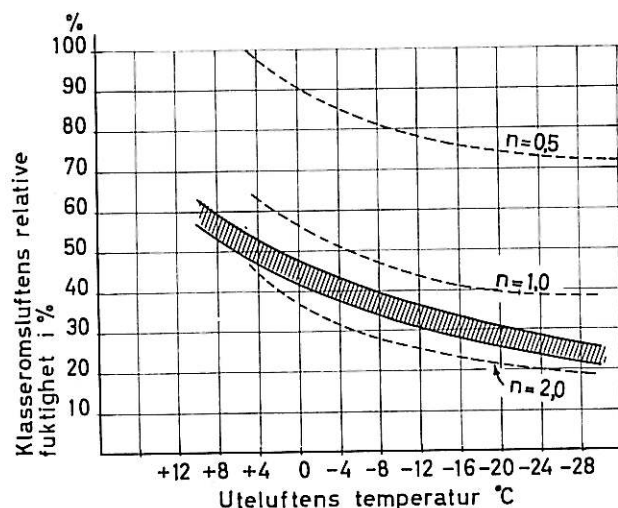


Fig. 7. Målt relativ fuktighet i klasserommet med elever tilstede.

I moderne bygninger med langt bedre isolasjon enn eldre bygninger vil elevvarmen — allerede mens utetemperaturen er ganske lav — balansere bygningens transmisjonstap.

I f. eks. en moderne, vel-isolert paviljongskole vil balanse være oppnådd i temperaturområdet ± 0° C til +5° C. Stiger utetemperaturen over dette, stiger også klasseromstemperaturen; hvor hurtig og hvor meget avhenger av bygningskonstruksjonen og hvilke muligheter det i hvert enkelt tilfelle gis til å føre vekk overskuddsvarmen.

Moderne ventilasjonsanlegg i skoler blir nå vanligvis dimensjonert for å kunne føre vekk denne overskuddsvarmen så lenge uteluftens naturlige kjøleeffekt kan nyttiggjøres.

Ventilasjonsanlegg som bare er beregnet på tilførsel av den nødvendige friskluftmengde, vil ikke uten trekksejanse kunne føre vekk overskuddsvarmen.

Skal en i slike tilfelle unngå temperaturstigning, må en ty til hyppig vinduslufting.

Overoppvarming p.g.a. solinnstråling er imidlertid langt alvorligere og langt vanskeligere å bekjempe. Her vil selv det beste ventilasjonsanlegg komme til kort. Forholdet er meget betenkelig fordi eksamen og eksamensforberedelser oftest faller sammen med den periode overoppvarming p.g.a. solvarme er mest sjenerende. Vi skal derfor se litt nærmere på hvorfor problemet er større idag enn før, hvor omfattende det er, og hva som best kan gjøres for å redusere det.

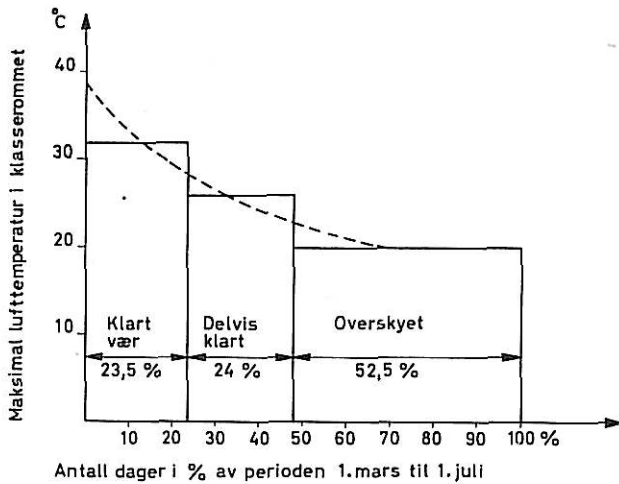


Fig. 8. Maksimal lufttemperatur i perioden 1. mars—1. juli for østvendte klasserum med et samtidig solbestrålt glassareal på $\frac{1}{5}$ av gulvarealet.

Som følge av de moderne byggemåter er det fremkommet en rekke ugunstige virkninger for innklimaet.

Økt varmemotstand mellom rummets begrensingsflater og de ytre bygningsmasser, redusert bygningsmasse, lette akustikk-tak som blir hengt opp for å dempe rumstøy, lette mellomvegger som ofte inneholder isolasjonsmaterialer for å virke støydempende, tre- eller linoleumsgulv — alle disse faktorer har ført til at moderne bygninger i høy grad har mistet varmeakkumulasjonsevne sammenlignet med de eldre massive bygninger med liten eller ingen innvendig isolasjon.

Til dette kommer at glassarealet i moderne bygninger er vesentlig større enn i de eldre. Derved er rumluftens temperatur spesielt overfor solinnstråling blitt meget følsom og svinger hurtig fra det ene ekstrene til det andre.

Av andre uheldige følger kan nevnes at de økte vindusarealer ikke bare har medført at solinnstrålingen kan føre til katastrofale følger for rumtemperaturen, men den kalde stråletrikken om vinteren rekker lengre inn i rummet når glassarealet økes — og føles faktisk på samme måte som om ytterveggen har mangelfull isolasjon.

Dette er mange vanskelige — og tildels uløselige — problemer.

Innenfor en sunn økonomisk ramme er det blitt langt vanskeligere for VVS-ingeniøren å skape et behagelig innklima.

For å få en oversikt over hvor stort overoppvarmingsproblemet er — ble det foretatt tempe-

raturregistreringer ved en rekke skoler som kunne tenkes å ha slike problemer.

Figur 8 viser resultatet fra disse målinger.

Figuren viser maksimal klasserumstemperatur i perioden 1. mars til 1. juli avsatt oppover for et øst-vendt klasserum med et samtidig solbestrålt glassareal på $\frac{1}{5}$ av gulvarealet.

Langs abcissen er avsatt antall dager i % av perioden 1. mars til 1. juli.

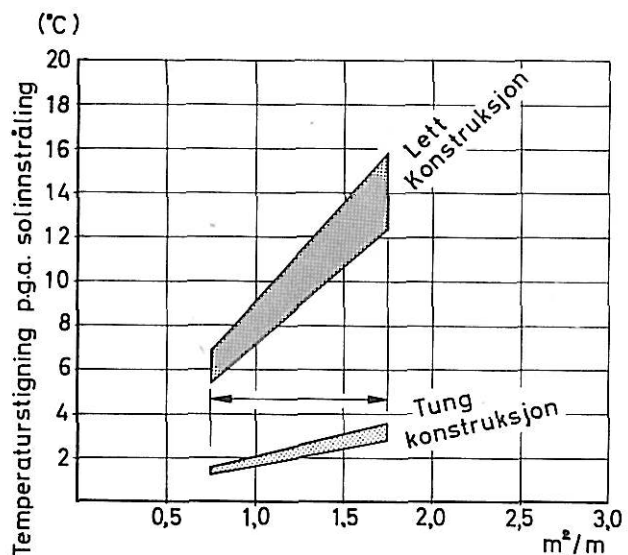
De meteorologiske observasjoner på Blindern viser at i femårsperioden 1956 til 1960 var det klart vær i 23,5 % av dagene både ved observasjonen kl. 8,00 og kl. 13,00. 24 % av dagene hadde delvis klart vær — mens 52,5 % hadde overskyet vær. I gjennomsnitt var, etter dette, klasserumstemperaturer hver femte dag over 28°C .

Forskjellen i rumtemperaturstigning for en lett konstruksjon, som har liten evne til å akkumulere varme, og en tung konstruksjon, er ganske markant.

Figur 9 viser målte temperaturstigninger for en lett konstruksjon og for en tung konstruksjon ved forskjellige glassarealer.

Det bygges idag skoler med et samtidig solbestrålt glassareal på opptil $1,75\text{ m}^2/\text{meter}$ yttervegg. I en lett konstruksjon som f. eks. bindingsverk, vil rumtemperaturen med et slikt glassareal stige $12\text{--}16^{\circ}\text{C}$ over utgangsverdien.

Den tilsvarende temperaturstigning for en tung konstruksjon vil ligge rundt 3°C .



Samtidig solbestrålt glassareal i m^2 pr. meter yttervegg

Fig. 9. Sammenhengen mellom maksimal temperaturstigning i klasserommet og samtidig solbestrålt glassareal ved solinnstråling.

En forutsetter her vanlige ventilasjonsforhold, d.v.s. 1—2 luftvekslinger pr. time.

Mange av de nyere skoler hører til den første kategori.

Hvordan skal vi bekjempe overskuddsvarmen?

Vi skal se litt på hvilke muligheter det gis for å bekjempe den uønskede temperaturstigning. En mulighet er å føre vekk den varme rumluften og erstatte den med kaldere uteluft. De ekstremt store varmemengder som blir tilført klasserummet ved solinnstråling kan en imidlertid ikke makte å føre vekk ved ventilasjon.

En annen mulighet ville være å nedkjøle takflaten. Men heller ikke denne metode vil kunne nedkjøle tilstrekkelig, uten meget ubehagelige strålingsforhold.

Det gis derfor ingen annen farbar vei enn å gå til bygningsmessige forandringer.

De omtalte endringer i bygningskonstruksjonens varmeakkumuleringsevne kan en vel neppe gjøre seg håp om vil bli gjort noe med.

Andre ting som kan gjøres er: 1) Redusere glassarealet, 2) sørge for at klasserummets samtidig solbestrålte glassareal gis en slik orientering at overoppvarming ikke inntreffer i brukstiden, 3) stenge solvarmen ute ved bruk av avskjermingsanordninger.

Det har lenge vært diskutert hvilken orientering vinduene i et klasserum bør ha. Fra et varmeteknisk synspunkt bør vindusarealet gis en slik orientering at perioden med overoppvarming faller utenom brukstiden.

Hvilke orienteringer en bør velge og de andre tiltak av bygningsmessig karakter, er sammenfattet i figur 10.

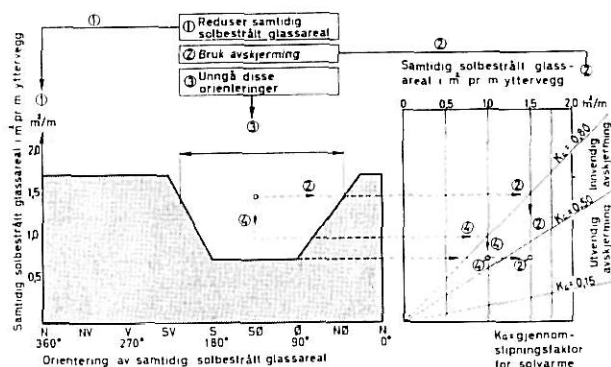


Fig. 10. Forebyggende tiltak mot overoppvarming ved solbestråling for bygninger med liten varmekapasitet (250—500 kcal/°C, meter yttervegg) og frisklufttilførsel tilsvarende 1—2 luftvekslinger pr. time.

I venstre del er himmelretningene avsatt langs abcissen, mens ordinaten viser det samtidig solbestrålte glassareal.

Av figuren kan vi nå se hvor stort glassarealet kan være ved de forskjellige orienteringer.

På skrå oppover mot høyre er avsatt gjennomsnittsfaktoren for solvarme; skille mellom utvendig og innvendig avskjerming er valgt satt ved $K_Q = 0,5$.

Figuren gjelder for lette konstruksjoner som f. eks. bindingsverkskonstruksjoner, og en kjøleeffekt som tilsvarende den en kan oppnå ved 1 til 2 luftvekslinger pr. time.

Bruken av figuren kan best illustreres ved eksempler.

Ved gitt orientering syd-øst og glassareal 1,5 m²/m kan en hindre overoppvarming ved:

1. Redusert samtidig solbestrålt glassareal fra 1,5 m²/m til 0,75 m²/m.
2. Bruk av avskjerming. I høyre del av figuren vil en finne hvordan dette kan gjøres. På skrå oppover mot høyre er her avsatt gjennomsnittsfaktorene for solvarme. Skille mellom utvendig og innvendig avskjerming er valgt satt ved 0,5. Øverst finner en igjen glassarealet. Avskjermingseffekten må tilsvare den reduksjon vi hadde i glassareal. Gjennomsnittsfaktoren for solvarme må derfor reduseres fra 0,8 for vanlige dobbeltglass til ca. 0,4 — d.v.s. en utvendig avskjermingsanordning må benyttes.
3. Å unngå orienteringer i sektoren 40° til 220°.
4. Både å redusere glassareal og gjøre bruk av avskjerming. Reduserer en f. eks. glassarealet fra 1,5 m²/m til 1,0 m²/m, kan en klare seg med innvendig avskjerming, fordi gjennomsnittsfaktoren nå blir 0,65.

For å kunne løse oppvarmings- og ventilasjonsspørsmålet på en tilfredsstillende måte, trenges det derfor en koordinering og et samspill mellom arkitektonisk og bygningsmessig utførelse og valg av oppvarmings- og ventilasjonssystem.

Arkitekter, byggekomitéer og andre som har bestemmende myndighet ved prosjekteringen av skolebygg, bør være klar over de meget uheldige forhold som kan oppstå om det ikke tas hensyn til muligheten for overoppvarming, og videre hva som kan gjøres for å motvirke denne. Felles for nesten alle tiltak er at de må gå inn i arkitektens prosjektering.

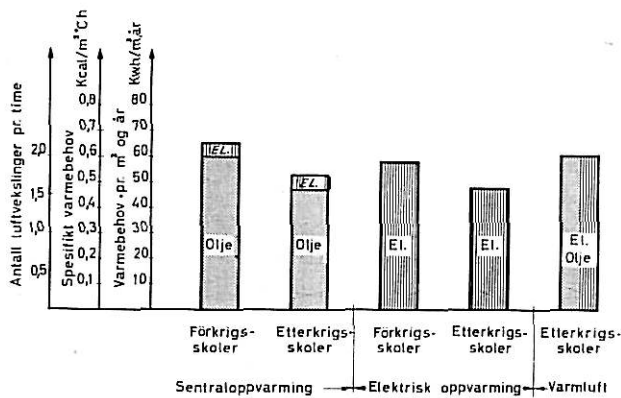


Fig. 11. Oppvarmingsbehov for skoler.

Kostnader for oppvarmings- og ventilasjonsanlegg.

De faktorer som i de fleste tilfelle vil veie tyngst i vurderingen med hensyn til valg av oppvarmings- og ventilasjonssystem, er anleggs- og driftskostnadene.

Byggforskningen har derfor foretatt en innsamling av data for anleggskostnader for de installasjoner som hører inn under oppvarmings- og ventilasjonsanlegget, samt oppgaver over forbruk av olje og elektrisk energi pr. fyrings- sesong. Figur 11 viser resultatet fra de innsamlede data over brenselforbruket.

Skolene er inndelt i tre grupper:

- Førkrigs- og etterkrigsskoler med sentraloppvarming.
- Førkrigs- og etterkrigsskoler med elektrisk oppvarming.
- Etterkrigsskoler, varmluftoppvarmet.

Langs ordinaten er avsatt det gjennomsnittlige varmebehov i kWh pr. m³ byggevolum og år, det spesifikke varmebehov i kWh pr. m³ og °Ch og dessuten antall luftvekslinger pr. time.

Innsamlingen omfatter ialt tre fyringssesonger for gruppe A og B — med et gjennomsnittlig graddagtall = 3600.

Gruppe C gjelder for 1 og 2 fyringssesonger. Graddagtallet er omlag det samme som for gruppe A og B.

Det skraverte felt på toppen av kolonnene 1 og 2 representerer all medgått elektrisk energi til belysning, varmtvann o. l.

Ser en på etterkrigsskolene, viser det seg at varmebehovet er svært nær det samme, enten oppvarmingen skjer med olje eller elektrisk energi. Det samme er tilfelle med førkrigsskolene.

Det er regnet med en årsvirkningsgrad på 75 % for sentraloppvarmingsanleggene.

Varmebehovet i varmluftoppvarmede skoler ligger noe høyere. Forskjellen er ikke stor, og skyldes sannsynligvis større frisklufttilførsel.

Varmebehovet i førkrigsskolene både når det gjelder olje og elektrisitet ligger noe høyere enn for etterkrigsskolene, men ikke så meget høyere som en kanskje hadde ventet. Transmisjonstapet er jo her vesentlig større enn i moderne, velisolerte skoler.

Det beregnede gjennomsnittlige transmisjonstap for etterkrigsskoler i Oslo tilsvarer et spesifikt varmebehov på 0,3 kcal/m³ °Ch. Transmisjonstapet tilsvarer følgelig 1 luftveksling pr. time. Dette er vist helt til venstre på figuren. Den gjennomsnittlige frisklufttilførsel i fyrings- sesongene kan etter dette rent teoretisk og over- slagsmessig settes til ca. 0,6 luftvekslinger pr. time, noe som stemmer bra overens med de ut- førte ventilasjonsmålinger.

Skal 3 luftvekslinger pr. time — 20 m³/elev, h være sammenligningsgrunnlaget, må en nok regne med ca. 1,0 luftvekslinger pr. time i gjen- nemnsnitt for fyringssesongen.

Varmebehovet for sentraloppvarmede og elek- trisk oppvarmede skoler er derfor av sammen- ligningsgrunner satt opp til 60 kWh/m³ og år. De kommer da på linje med varmluftoppvar- mede skoler. Dette forbruk gjelder ved et grad- dagtall på 3600 og for skoler med middels spe- sifikt transmisjonstap. Skoler med meget kom- pakt bebyggelse vil ligge noe lavere.

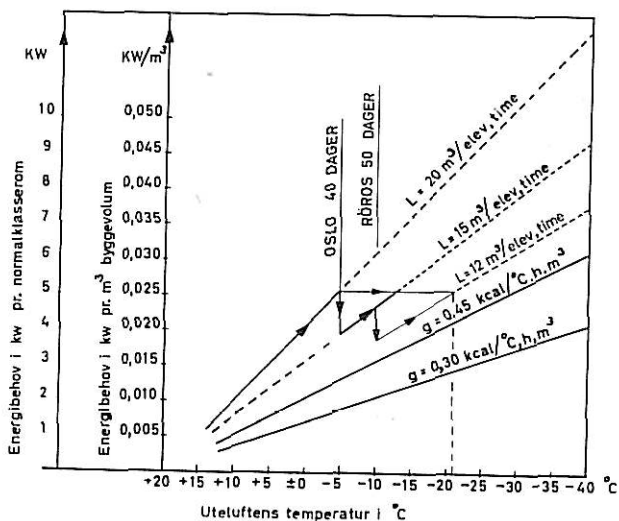


Fig. 12. Energibehov for oppvarming og ventilasjon av skoler.

Utgifter til pass og stell av anlegget er vanskelig å dra inn i sammenligningen. Men det er opplagt at direkte elektrisk oppvarming her er gunstigere stillet enn kompliserte oljefyringsanlegg.

Direkte elektrisk oppvarming på sin side er ugunstig stillet med hensyn til driftskostnader ved lave utetemperaturer, om ikke kravet til friskluftmengde reduseres.

Det vil være riktig ikke bare for denne type anlegg, men også ved alle andre anleggstyper å senke kravet til tilført friskluftmengde ved de laveste utetemperaturer.

Figur 12 viser hvordan dette kan tenkes utført. Absisssen viser uteluftens temperatur. Langs ordinaten er avsatt energibehovet i kW pr. normalklasserum. De skrå linjer angir energibehovet ved en bestemt tilført friskluftmengde og ved et bestemt spesifikt transmisjonstap.

Oslo har bare ca. 40 dager med utetemperaturer under -5°C . Det vil derfor være riktig å sette ned tilført friskluftmengde f. eks. fra $20\text{ m}^3/\text{elev, h}$ til $15\text{ m}^3/\text{elev, h}$.

Bare 10 dager er det kaldere enn -10°C , det ville derfor være riktig med en ytterligere reduksjon i disse få dager. Men friskluftmengden bør ikke gå under $10\text{ m}^3/\text{elev, h}$.

Blir dette gjennomført, vil den installerte effekt i skoler med et gjennomsnittlig transmisjonstap på $0,3\text{ kcal}/\text{m}^3\text{ }^{\circ}\text{C}$ og med en dimensjonerende utetemperatur på -20°C som f. eks. Oslo, kunne holdes på ca. 5 kW, tilsvarende $25\text{ Watt}/\text{m}^3$, når en trekker fra elevvarmen på 2 kW og ser bort fra tillegg for hjørnerum.

I en velisolert paviljongskole er ifølge målinger det spesifikke transmisjonstap $0,45\text{ kcal}/\text{m}^3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Paviljongskoler har stor avkjølingsflate i forhold til volumet; en kan derfor regne med at et spesifikt transmisjonstap på ca. $0,45\text{ kcal}/\text{m}^3\text{ }^{\circ}\text{C}$ representerer det maksimale for nyere skoler. Den maksimale installerte effekt vil her bli ca. 6,5 kW.

En tilsvarende reduksjon av friskluftmengden vil, for et sted som Røros, bety en reduksjon av installert varmeeffekt på fra 18,5 kW til 12,5 kW. Dette gir en vesentlig innsparing i både drifts- og anleggskostnader.

Det finnes en lang rekke forskjellige oppvarmings- og ventilasjonssystemer i skolebygg, og nye varianter dukker stadig opp. I en sammenligning av anleggskostnadene har det derfor vært nødvendig å foreta en gruppering.

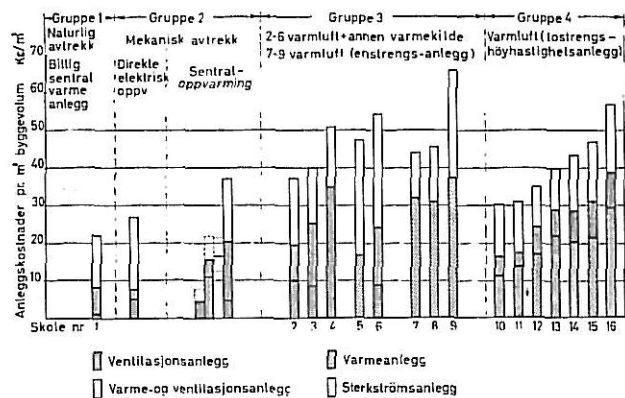


Fig. 13. Anleggskostnader for ventilasjons-, varme- og elektriske anlegg for skoler.

I figur 13 er anleggene inndelt i 4 grupper — etter ventilasjonsmåten.

Gruppe 1 omfatter anlegg som alle har til felles at frisklufttilførselen baseres på naturlig ventilasjon og vinduslufting. Dette tilfredsstiller ikke de krav vi idag med rimelighet bør stille. I den videre vurdering kan en se bort fra denne gruppe. Bare data fra én skole er derfor tatt med her.

Gruppe 2 omfatter anlegg som alle har mekanisk avtrekk. Friskluften tilføres uoppvarmet.

Gruppe 4 omfatter kun varmluftoppvarmingsanlegg — nærmere bestemt to-strengs høyhastighetsanlegg.

Gruppe 3 omfatter alle de øvrige anleggstyper — med det til felles at friskluften tilføres forvarmet.

Den videre behandling vil nå omfatte gruppene 2, 3 og 4 idet vi som sagt ser bort fra gruppe 1.

Inndeling i grupper etter ventilasjonsmåten danner også naturlige skillelinjer med hensyn til kvaliteten av inneklimate. Gruppe 2 må således ansees for å gi det dårligste inneklimate — gruppe 3 gir noe bedre enn 2 — men dårligere enn gruppe 4.

En sammenligning bare på grunnlag av kostnadene for varmeanlegg + ventilasjonsanlegg eller eventuelt kombinert varme- og ventilasjonsanlegg kan lett gi et feilaktig bilde. Grunnen til dette er at i noen tilfelle er de elektriske arbeider, forbundet med oppvarmings- og ventilasjonsanlegget, ført over på kontoen for de elektriske installasjoner. I andre tilfelle er de ikke. Da det her dreier seg om store summer, vil en få bedre sammenligningsgrunnlag om en

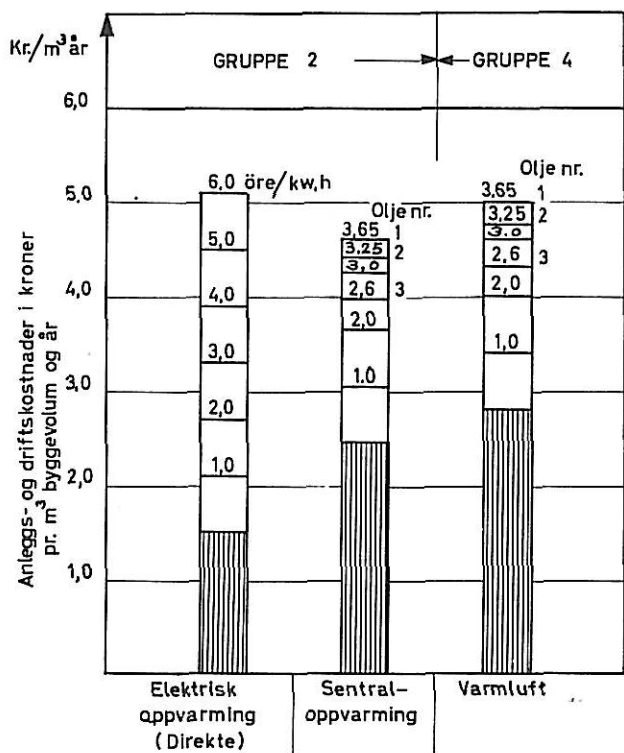


Fig. 14. Anleggs- og driftskostnader til oppvarming og ventilasjon av skoler.

også inkluderer kostnadene for sterkstrømsanlegget.

Kolonnene i gruppe 2 under sentraloppvarming viser gjennomsnittsverdier og spredning av kostnadene for ventilasjon-, varme- og elektriske anlegg for en lang rekke relativt ensartede etterkrigsanlegg.

Kolonnen til høyre viser den totale sum.

Kolonnen til venstre under direkte elektrisk oppvarming omfatter færre anlegg fordi spredningen her var minimal, spesielt for varme- og ventilasjonsanleggene.

Denne sammenstilling synes å vise at anlegg i gruppe 3 blir de mest kostbare.

I mange tilfelle vil det være et rent finansielt spørsmål hvilket system som skal velges. Det vil derfor alltid være behov for en anleggstype som er billig.

Figur 14 viser en sammenstilling av anleggs- og driftskostnader for anlegg i gruppe 2 og 4. Det skraverte felt nederst viser anleggskostnadene. Den øverste del av kolonnen viser driftskostnadene. Disse er basert på et varmebehov på 60 kWh/m³ og år og er gradert etter kWh-prisen. Til høyre for kolonne 2 og 3 er olje nr. avsatt ut for den respektive ekvivalente kWh-pris.

Denne sammenstilling viser at med direkte elektrisk oppvarming og med et enkelt mekanisk avsugningsanlegg kan en betale opp til 4,6 øre/kWh sammenlignet med et to-strengs høyhastighetsanlegg som bruker olje nr. 3 til 20,7 øre pr. liter.

Med et skjønnsmessig tillegg på 50 øre pr. m³ byggevolum og år til pass og stell av varmluftanlegg og oljefyr kan en betale 5,5 øre/kWh.

Slutning.

I de nærmeste årene vil det bli investert flere hundre millioner kroner innenfor skolebyggingsektoren. Det er derfor av den aller største betydning at også de tekniske installasjoner får en så rasjonell og økonomisk utforming som mulig. Slik forholdene er idag, er det åpenbart noe galt når de tekniske installasjoner i én skole koster dobbelt så meget som i en annen, samtidig som kvaliteten av innneklimaet er dårligere.

Det er vårt håp at denne undersøkelse kan bidra til en bedre forståelse for hva som kan og bør gjøres for å skape det best mulige innneklima i våre skoler på den mest økonomiske måte.