

**Att se,
höra
och andas
i skolan**

en handbok
om skolans innemiljö

Handboken "Att se, höra och andas i skolan", har utarbetats genom ett samarbete mellan Arbetarskyddsstyrelsen och Boverket. Syftet med boken är att skapa bättre ljus-, ljud- och luftförhållanden i skolans inomhusmiljö.

Handboken vänder sig till alla som planerar och projekterar ny-, om- eller tillbyggnader av undervisningslokaler eller som på annat sätt är engagerade i skolans inomhusmiljö. Den inleds med ett avsnitt om byggprocessen. Därefter följer tre kapitel om ljus, ljud och luft i undervisningslokaler.

Arbetarskyddsstyrelsen utfärdar regler på arbetsmiljöområdet medan Boverket utfärdar regler som styr byggandet.



Arbetarskyddsstyrelsen



Att se, höra och andas i skolan

Boverket
Arbetskyddsstyrelsen

PROJEKTGRUPP

Bengt Johansson

Salme Wooremaa-Nilson

Ann-Christine Svärd

Arbetarskyddsstyrelsen

Klas Hagberg

Ewa Rydén

Boverket

REDAKTÖR

Annika Hellberg

Grafisk form: Iréne Thisner

Illustrationer: Ingela Jondell

Tryck: Gummessons Tryckeri ab, Falköping 1996

Förlag: Publikationsservice, Box 1300, 171 25 Solna

Tel: 08-730 97 00 Fax: 08-730 98 17

© Arbetarskyddsstyrelsen

ISSN 0284-043X ISBN 91-7464-963-9

Skolan är Sveriges största arbetsplats. Här arbetar såväl barn och ungdomar som vuxna. I skolan läggs också grunden till ett livslångt lärande av betydelse för hela landets utveckling. Den arbetsmiljö som eleverna möter påverkar inte bara hälsan utan också inlärningssituationen och hur de som vuxna kommer att uppfatta sina rättigheter och skyldigheter. Här är både de psykosociala och fysiska faktorerna av stor betydelse. Bra förhållanden stimulerar koncentrations- och minnesförmåga samt underlättar skapande och logiskt tänkande.

Med syfte att underlätta tillkomsten av undervisningslokaler med goda förhållanden vad gäller ljus, ljud och luft har Boverket och Arbetskyddsstyrelsen tillsammans låtit utarbeta denna handbok.

Texten till de tre huvudavsnitten är framtagen av författarna David Södergren (VBB Theorells AB), Christian Simmons (Sveriges Provings- och forskningsinstitut AB), Jan Ejhed (Kungliga Tekniska Högskolan). De ansvarar också själva för innehållet i sina kapitel. Övriga avsnitt har utarbetats av en projektgrupp med representanter från Boverket och Arbetskyddsstyrelsen.

Det är vår förhoppning att handboken ska bidra till en bra inomhusmiljö i landets skolor genom att vara till nytta och stimulans för alla som deltar i byggprocessen och alla andra som är engagerade i skolans verksamhet.

Stockholm/Karlskrona i mars 1996

Bo Bylund
arbetskyddsstyrelsen

Gösta Blücher
boverket

Projektgruppen vill härmed rikta ett tack till författare, illustratör och övriga medarbetare för ett givande samarbete samt till alla som under arbetets gång lämnat synpunkter på bokens innehåll och gett förslag till förbättringar.

Innehåll

Inledning	5
Bestämmelser	9
Byggprocessen	15
Termiskt klimat, luftkvalitet och ventilation	23
Akustik	49
Dagsljus och belysning	81
Sammanställning av målvärden	133
Sakordsregister	139

Inledning

*Boverket
Arbetskyddsstyrelsen*

Innemiljö i skolan

En viktig förutsättning för stimulerande och effektiv inläring är bra innemiljö. I en sådan miljö är tillgången till frisk luft tillräcklig, temperaturförhållandena behagliga, bullernivån låg och taluppfattbarheten god. Förhållandena är också goda vad avser dagsljus och belysning. Innemiljön är även av samhällsekonomisk betydelse eftersom den påverkar elevers och lärares hälsa. Detta är särskilt aktuellt eftersom fler och fler barn och ungdomar lider av allergiska besvär och överkänslighetsreaktioner. Studier och enkäter har visat att miljöfaktorer förknippade med framför allt luft, ljud och ljus ofta utgör problem i dagens skolor. Det är därför viktigt att dessa faktorer beaktas vid ny- och ombyggnad av skollokaler.

Den här boken behandlar just dessa innemiljöfaktorer i undervisningslokaler. Den är tänkt att öka beställarkompetensen hos dem som ska beställa och bruka en ny-, om- eller tillbyggnad. Den ska också fungera som vägledning för den som planerar, handlar upp, projekterar, uppför eller låter uppföra skolbyggnader. Den är skriven på ett sätt som gör att skolledare, lärare, skyddsombud med flera kan ha glädje av den i vardagssituationer. Den omfattar primärt lokaler för teoriundervisning men behandlar i tillämpliga delar även andra liknande lokaltyper.

De flesta åtgärder som bidrar till ett bättre inomhusklimat kostar pengar. För att uppnå en god kvalitet till så låga kostnader som möjligt är det viktigt att avgörande faktorer beaktas redan vid planeringen. Det är också viktigt att livstidskostnaden för lokalerna tas med i beräkningen. En hög initialkostnad, för exempelvis en ventilationsanläggning, kan på sikt bidra till låg totalkostnad på grund av en bra driftsekonomi. Målet är alltid att eftersträva en låg totalkostnad.

Modern pedagogik och ny teknik i undervisningen ställer nya krav på skolans lokaler. Behov kan finnas av att studera enskilt, samlas i stor grupp, diskutera och arbeta i mindre grupper eller arbeta vid dator med eller utan lärarstöd. Av detta följer att lokaler och möbler på ett flexibelt sätt behöver kunna anpassas efter olika arbetsätt. Att

finna lösningar som fungerar perfekt för alla arbetsmoment är dock svårt. Därför kompletteras ofta traditionella lärosalar och grupprum med större föreläsningssalar och datorsalar av varierande storlek. De olika lokaltyperna och kraven på flexibilitet påverkar i hög grad de tekniska lösningar som krävs för ett bra inneklimat.

Helhetssyn på innemiljön samt bra balans mellan olika miljöfaktorer är av stor betydelse. Låg kvalitet på ett område kan inte kompenseras med hög kvalitet på ett annat. Olika miljöfaktorer är heller inte oberoende av varandra. Exempelvis kan ökad luftomsättning orsaka bullerproblem och ökad belysningsstyrka kan höja temperaturen. Samverkan mellan ansvariga inom olika områden är därför nödvändig för att uppnå balanserade och kostnadseffektiva lösningar.

Bokens uppläggning

För att göra boken användbar för "branschfolk" och samtidigt tillgänglig för en bredare krets har texten lagts på två nivåer. En allmän nivå samt en mer teknisk nivå för den som har behov av djupare förståelse i aktuellt ämne. Texten till den mer tekniska nivån återfinns i fördjupningsavsnitt som är markerade med en blå linje.

För att en bra miljö ska kunna åstadkommas på ett kostnadseffektivt sätt är det viktigt att miljöaspekterna beaktas på ett tidigt stadium i byggprocessen och sedan bevakas under tillblivelsen av en ny- eller ombyggnad. Därför ingår även en kortfattad beskrivning av byggprocessen.

I slutet av boken har samtliga *målvärden* (se Förklaringar sid 12) sammanställts för att underlätta jämförelser och kontroll. Det är dock viktigt att man vid tillämpningen av denna sammanställning är medveten om att det i anslutning till tabellerna i texten finns en del synpunkter kring målvärdena som inte redovisas i sammanställningen. Det finns därför anledning att använda sammanställningen med viss försiktighet.

Hänvisning till referenslitteratur markeras med en upphöjd siffra. Lista över referenslitteratur finns i slutet av varje avsnitt.

Innehåll

Bestämmelser	9
Myndigheternas regler	10
<i>Arbetskyddsverket 10, Boverket 10,</i>	
<i>Socialstyrelsen 11, Skolverket 11</i>	
Förklaringar	12

Bestämmelser

Innemiljön i byggnader regleras i viss mån av gällande lagar med tillhörande förordningar och föreskrifter. Lagtext är oftast mycket allmänt hållen medan förordningar och föreskrifter innehåller preciseringar för att underlätta tolkningen av lagen. Formuleringarna i lagar, förordningar och föreskrifter kan dock aldrig tjänstgöra som heltäckande underlag vid projektering, upphandling eller uppförande av en byggnad. Detta är heller inte syftet med författningstext.

För att kunna skapa god innemiljö vid ny- och ombyggnad krävs därför mer detaljerade kunskapssammanställningar som kan fungera som vägledning i byggprocessen. Behovet av ett sådant underlag har ökat i och med att samhällsutvecklingen på senare tid kommit att innebära en ansvarsförskjutning från samhället till lokala aktörer. Ansvaret för skollokaler har i stor utsträckning överförts till skolledarna samtidigt som företrädare för byggbranschen i allt större utsträckning ansvarar för byggande och förvaltning.

De dokument som åberopas under en byggprocess är av olika karaktär; en del är exempelvis offentligt bindande för den enskilde och för myndigheter, en del är civilrättsligt bindande för enskilda som står i ett avtalsförhållande med varandra, en del är enbart vägledande eller rådgivande. Dokumenten kan vara lag, förordning, föreskrifter, allmänna råd eller någon standard, rapport eller liknande. Samhällets minimikrav i lagar, förordningar och föreskrifter måste alltid minst uppnås. Det gäller naturligtvis bara om, exempelvis byggnaden, omfattas av aktuell lag.

Ett allmänt råd innehåller generella rekommendationer om tillämpningen av en föreskrift och anger hur man kan handla för att föreskriften skall anses uppfylld. Det står dock den enskilde fritt att välja andra lösningar eller metoder, om dessa uppfyller föreskriftens krav. Om man väljer att följa ett allmänt råd så är respektive myndighet skyldig att godkänna en sådan lösning. Standarder, rapporter, handböcker och liknande är inte automatiskt bindande men kan bli det i samband med offentlig upphandling och om de åberopas i föreskrifter och kontraktshandlingar. Den här boken hör till kategorin handböcker.

Myndigheternas regler

Arbetskyddsverket

Arbetskyddsverket består av Arbetskyddsstyrelsen och Yrkesinspektionen.

Till grund för Arbetskyddsverkets verksamhet ligger arbetsmiljölagen (AML, SFS 1977:1160). Den trädde i kraft den 1 juli 1978 och har sedan ändrats flera gånger. I arbetsmiljölagen finns de grundläggande reglerna för arbetsmiljöns utformning. Denna lag anger ramen för Arbetskyddsstyrelsens föreskrifter som mer i detalj anger krav och skyldigheter.

Arbetsmiljölagen omfattar alla arbetstagare och sedan 1990 även alla skolans elever från årskurs 1 och uppåt. De är alltså i lagens mening likställda med arbetstagare. Enligt lagen skall luft-, ljud-, och ljusförhållanden och övriga arbetshygieniska förhållanden i en arbetslokal vara tillfredsställande. För den regionala tillsynen inom arbetsmiljöområdet ansvarar Yrkesinspektionen.

Föreskrifter och allmänna råd som är aktuella när det gäller krav på inomhusmiljön är bl.a. AFS 1992:6 "Internkontroll av arbetsmiljön", AFS 1991:8 "Belysning", AFS 1992:10 "Buller", AFS 1993:5 "Ventilation och luftkvalitet", AFS 1993:56 "Utrymning", AFS 1995:3 "Arbetslokaler" samt AFS 1995:4 "Projektering av byggnader och anläggningar". AFS betyder Arbetskyddsstyrelsens författningssamling.

Boverket

Boverket arbetar med fysisk planering, boende och byggande. Inom verkets verksamhetsområde finns samhällets krav på byggnader. Dessa ska säkerställa en miniminivå för bland annat hälsa, säkerhet, tillgänglighet och energihushållning.

En del av samhällets minimikrav vad avser krav på nya byggnader och tillbyggnader finns förtydligade i *Boverkets byggregler*, *BBR94* (BFS 1993:57) och i *Boverkets konstruktionsregler*, *BKR94* (BFS 1993:58). Författningarna innehåller föreskrifter och allmänna råd till plan- och bygglagen PBL (SFS 1987:10) och lagen om tekniska egenskapskrav på byggnadsverk m.m., BVL (SFS 1994:847) med förordning. Beträffande funktionskontroll av ventilationssystem finns förordningarna SFS 1991:1273 samt Boverkets föreskrifter BFS 1991:36. BFS betyder Boverkets författningssamling medan SFS betyder Svensk författningssamling. Den lokala tillsynen avseende PBL och BVL med tillhörande förordningar och myndighetsföreskrifter utövas av byggnadsnämnden i kommunen.

Socialstyrelsen

Socialstyrelsen är central tillsynsmyndighet för flera lagar inom området hälso- och sjukvård, socialtjänst och hälsoskydd. Som tillsynsmyndighet skall Socialstyrelsen följa upp och utvärdera det arbete som bedrivs inom dessa områden av landsting, kommuner och enskilda huvudmän.

Till grund för Socialstyrelsens verksamhet beträffande inomhusmiljön ligger hälsoskyddslagen, HL (SFS 1982:1080). Den har formen av en ramlag och innehåller allmänna bestämmelser och krav ur hälsoskyddshänseende på olika verksamheter, lokaler m.m. Ett centralt begrepp i lagen är sanitär olägenhet – ”en störning som kan vara skadlig för människors hälsa och som inte är ringa eller helt tillfällig”. I förarbetena till lagen har man uttryckt att man vid bedömningar enligt HL skall ta hänsyn till känsliga grupper som allergiker, barn och äldre.

I hälsoskyddsförordningen (SFS 1983:616) ställs mer detaljerade krav på inomhusmiljön vad gäller ventilation, termiskt klimat, buller m.m. För att ge ytterligare vägledning kompletteras författningsbestämmelserna med Socialstyrelsens allmänna råd. För den lokala tillsynen över befintliga lokaler ansvarar de kommunala miljö- och hälsoskyddsnämnderna.

Socialstyrelsen har idag allmänna råd om bland annat termiskt klimat och ventilation.

Skolverket

Riksdagen och regeringen anger mål och riktlinjer för skolan i Sverige. Det sker dels i skollagen dels i läroplanerna. Tillsammans med kursplanerna och timplanerna styr dessa dokument innehållet i skolan. De gäller för alla skolor, kommunala och fristående, och ska garantera en likvärdig utbildning, oavsett var i landet utbildningen ges.

Skolverket ska ha en samlad kunskap om hur skolan ser ut och fungerar. Skolverkets uppgift är att bidra till att skolan utvecklas så att de nationella målen och verkligheten i skolorna stämmer överens.

För att skaffa sig kunskap och bidra till utveckling arbetar Skolverket med följande insatser: uppföljning, utvärdering, utveckling, forskning samt tillsyn. Skolverket utarbetar även kursplaner och betygskriterier, utfärdar föreskrifter samt godkänner fristående skolor. Den statliga rektorsutbildningen hör också till Skolverkets ansvar.

Skolverket ger regeringen och riksdagen en samlad bild av läget i svensk skola och ger dessutom underlag för skolans nationella utvecklingsplan.

Skolverket har en del av sin organisation i Stockholm och en fältorganisation som är lokaliserad till 11 orter. Fältorganisationen sprider den kunskap Skolverket tar fram, ger underlag för årliga beskrivningar av tillståndet i skolan samt deltar vid tillsynen av skolväsendet.

Förklaringar

Målvärde är ett begrepp som används i denna bok för att beskriva vad som är lämpligt att sträva efter vid planering, projektering och upphandling. I texten är vissa målvärden och mål markerade med färg. Om markeringen är röd så innebär det att det finns motsvarande bindande myndighetsföreskrifter antingen från Arbets- och skyddsstyrelsen eller Boverket. Om markeringen däremot är lila så innebär det att målvärdet återfinns som ett allmänt råd. De målvärden som saknar färgmarkering saknar också direkt stöd i författningen men får ändå betraktas som lämpliga mål vid planering, projektering, upphandling etc. för att i det enskilda fallet uppnå god inommiljö.

Innehåll

Byggprocessen	15
Utredning	16
Programskrivning	16
Projektering	17
Upphandling	18
Byggande	18
Allmänna referenser	20

Ändringar i ”Att se, höra och andas i skolan” - byggprocess

Byggprocessen

Sid 20 - Allmänna referenser

3. Boverkets byggregler, BBR (BFS 1993:57)
- 10 Boken om lov, tillsyn och kontroll.
Boverkets allmänna råd 1995:3 ([ändrad genom 2004:2](#))

Referenserna 11- 17 tas bort och ersätts med följande:

11. Arbetsmiljöverkets föreskrifter (AFS 2001:1 senast ändrad 2003:4) om systematiskt arbetsmiljöarbete.
12. Arbetarskyddsstyrelsens föreskrifter (AFS 2000:42) om arbetsplatsens utformning.
13. Arbetsmiljöverkets föreskrifter (AFS 2005:16) om buller.
14. Boverkets konstruktionsregler, BKR (BFS 1993:58)

Byggprocessen*

**Avsnittet behandlar inte den formella hanteringen mot myndigheter. Utförlig beskrivning av detta finns i allmänna referenser¹⁰.*

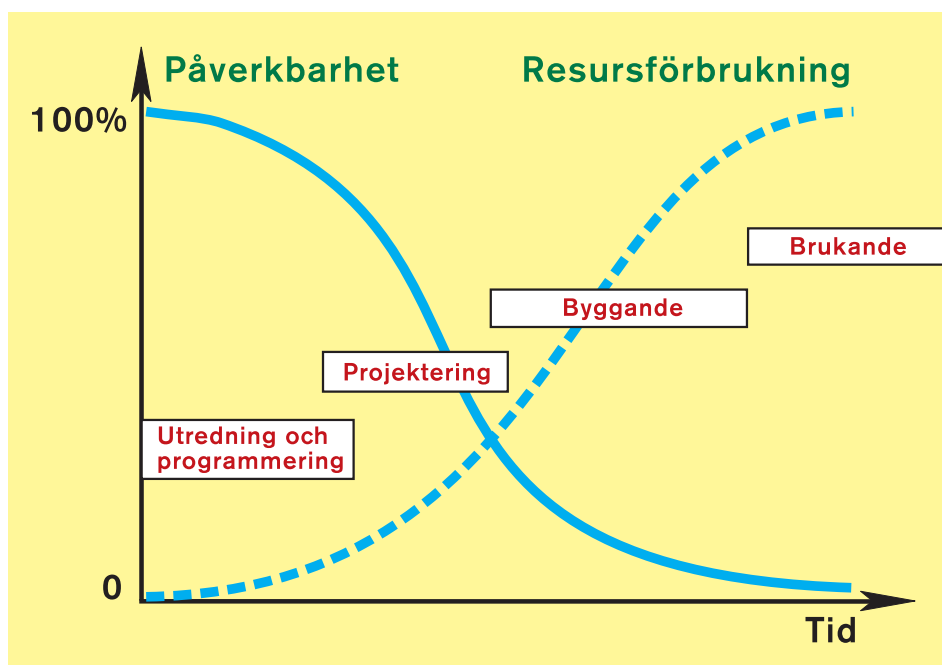
Bygprocessen är de aktiviteter som behövs för att planera, genomföra och följa upp ett byggprojekt och som leder fram till en färdig byggnad eller ombyggnad.

Den kan delas in i följande skeden:

- Utredningsskedet
- Programskedet
- Projekteringskedet
- Upphandlingsskedet
- Byggskedet

Beroende på typen av projekt överlappar de olika skedena varandra mer eller mindre och har en varierande omfattning. För att underlätta styrning och redovisning delas skedena vanligen också in i ett antal

Möjligheten att uppnå god kvalitet till låg kostnad är störst i de tidiga skedena.



delskeden. Återföring från ett senare skede till ett tidigare är också vanligt i de första skedena. För att uppnå god kvalitet till så låga kostnader som möjligt är det viktigt att avgörande faktorer beaktas så tidigt som möjligt i byggprocessen. Ett principiellt exempel visas i figuren på föregående sida. En åtgärd i ett sent skede kan bli mycket kostsam. Det är också viktigt att berörd personal informeras och ges möjlighet att medverka och lämna synpunkter redan i ett tidigt skede.

Utredning

I utredningsskedet behandlas frågor som verksamhetens art, omfattning, målsättning, alternativ samt behov av lokaler, utrustning och installationer. I samband med nybyggnad kommer även lokalisering, val av tomt och tomtens förutsättning med i bilden. Här tas hänsyn till faktorer som exempelvis buller och avgaser från närliggande gator och vägar, ljus- och markförhållanden m.m. I det här skedet fastställs också projektorganisationen samt projektets kostnadsramar och tidplan.

Utredningsarbetet kan i stora organisationer utföras av egna lokalplanerare men vanligen anlitas en konsult som utför arbetet i samarbete med brukare och byggherre (beställare). Konsulten samlar in och sammanställer i skriftlig form alla önskemål och krav på verksamheten och arbetsmiljön liksom de problem och kvaliteter som finns i den befintliga miljön.

Programskrivning

I programskedet formuleras kraven på den färdiga byggnaden eller ombyggnaden och ett program som ska utgöra underlag för projekteringen sammanställs. Omfattningen och detaljeringsgraden i programarbetet beror i hög grad på projektets art.

Programmet kan exempelvis innehålla:

- En orienterande beskrivning av projektet
- Verksamhetsbeskrivning
- Arbetsmiljöprogram där bl.a. normer och bestämmelser för verksamheten beskrivs
- Lokalprogram
- Tekniskt program med krav på bl.a. belysning, inomhusklimat, bullernivåer och ljudisolering
- Kalkyl med kostnader för bl.a. projektering, entreprenad och finansiering

I programskedet medverkar projektören ofta med ett visst inledande skissarbete. Eftersom möjligheterna att påverka projektet fortfarande är förhållandevis stora är brukarinflytandet viktigt i detta skede. Det är också viktigt att arbetsmiljöfrågorna behandlas redan här eftersom byggherrar och projektörer enligt arbetsmiljölagen har ansvar för att arbetsmiljön både för de som bygger och för de som kommer att bruka lokalen blir så bra som möjligt.

Projektering

I projekteringsskedet överförs de krav och önskemål som specificerats i programhandlingarna till tekniska beskrivningar och ritningar som ska ligga till grund för upphandling och byggande. En projektgrupp bildas och vanligen anlitas utomstående konsulter – projektörer – för att utarbeta förslag inom de aktuella områdena. Exempel på konsulter är arkitekt, inredningsarkitekt, VVS-konsult, akustiker, belysningskonsult, elkonsult och byggkonstruktör.

Gången i projekteringen kan vara följande:

- 1) Den inledande fasen, så kallad *förprojektering*, har formen av ett utvecklings- och idéarbete. Här tas *förslagshandlingar* fram vilka beskriver anläggningen och innehåller ett eller flera alternativa förslag som svarar mot beskrivningen. Vid speciella problem, exempelvis med ventilation och buller, kan det vara en fördel att redan nu anlita expertis som kan ange vilka krav som ska ställas exempelvis vid inköp av maskiner och anläggningar samt ge synpunkter på lokalutformningen. I förprojekteringsskedet är planerna ännu flexibla och brukarrepresentanterna kan fortfarande komma in med synpunkter.
- 2) Utifrån förslagshandlingarna tar byggherre och brukare beslut om den slutliga utformningen.
- 3) Baserat på förslagshandlingarna utarbetas *huvudhandlingar* eller *systemhandlingar* vilka beskriver hur byggnaden och dess tekniska system ska utformas.
- 4) Huvudhandlingarna utgör sedan grund för de handlingar som behövs vid kontakt med olika myndigheter. Vilka myndigheter som är aktuella beror på projektets art. De kan exempelvis vara byggnadsnämnd, brandmyndighet, hälsoskyddsmyndighet och Yrkesinspektionen. Skyddsombudet ska i regel också beredas möjlighet att yttra sig.
- 5) Slutligen utarbetas mer detaljerade ritningar och beskrivningar vilka utformas till *anbudshandlingar* (*entreprenadhandlingar*) som kommer att ligga som underlag till kontrakten med byggfirman (entreprenören).

Upphandling

Upphandling innebär att en eller flera entreprenörer efter ett anbudsförfarande utses för bygget. Formerna för entreprenaden kan variera. I huvudsak tillämpas fyra former – Egen regi, generalentreprenad, delad entreprenad och totalentreprenad. Även blandformer mellan de olika entreprenadformerna förekommer.

Det är viktigt att anbuden inte bara granskas ur ekonomisk synvinkel utan även med avseende på kvaliteten hos den framtida miljön. När väl byggnader och installationer handlats upp är möjligheterna oftast små att påverka utformningen.

- Egen regi innebär att byggherren ansvarar för hela projektet från projektering till upphandling av material och samordning av de olika yrkesgruppernas arbeten. Detta innebär stort samordningsansvar från byggherren.
- Vid generalentreprenad utser byggherren en huvudentreprenör som är ansvarig för helheten och som i sin tur anlitar underentreprenörer.
- Delad entreprenad innebär att byggherren upphandlar de olika entreprenaderna var för sig. Ofta anlitas då en projektledare som ansvarar inför byggherren för projektets helhet.
- Vid totalentreprenad ansvarar entreprenören med egna projektörer även för detaljutformningen utifrån de krav som finns upptagna i programhandlingen. Denna form ger vanligen brukarna mindre möjligheter att påverka planeringen eftersom arkitekten är anlitad av entreprenören och inte av byggherren.

Byggande

Arbetena genomförs enligt en huvudtidplan som finns i kontraktet med entreprenören. I denna anges bland annat det datum när entreprenaden ska vara färdig. Efter hand tas mer detaljerade tidplaner fram. För att följa bygget och lösa uppkomna problem hålls vanligen byggmöten med beställare, entreprenör, kontrollant och konsulter. Alla ändringar som beslutas på byggmötena dokumenteras i protokoll och bevakas så att de inte får någon negativ inverkan på arbetsmiljön.

Byggskedet avslutas med entreprenadbesiktning ("slutbesiktning") under ledning av en opartisk besiktningsman. Därefter är byggnaden eller ombyggnaden färdig att tas i bruk. Det är även under bruksskedet vanligt med olika typer av garantibesiktningar i

samband med att garantitiden för byggnadens olika delar och installationer börjar gå ut.

För att en bra arbetsmiljö ska kunna bibehållas krävs en kontinuerlig bevakning och uppföljning. En viktig del i detta är väl fungerande rutiner för drift och underhåll.

Allmänna referenser

1. Gulliksson, H. m.fl., Bra inommiljö i skolan.
Innommiljöcentrum Växjö. Byggforskningsrådet T26:1992.
2. Skolan – en arbetsmiljö för alla? Arbetarskyddsstyrelsen 1992.
Best nr H 192.
3. Boverkets byggregler, BBR 94 (BFS 1993:57).
4. Planering av arbetslokaler. Arbetarskyddsnämnden 1991.
5. Hur blir din Arbetsmiljö. IACTH 1988:4.
Chalmers Tekniska Högskola.
6. Lokalplanering och arbetsmiljö. Statliga sektorns
arbetsmiljönämnd. Utbildningsförlaget Brevskolan 1991.
7. Planering. Arbetarskyddsnämnden.
Utbildningsförlaget Brevskolan 1991.
8. Den fysiska miljön i skolan: Ljud, ljus och ergonomi.
Rapport från forskarseminarium om skolans arbetsmiljö
den 8 september 1993. Arbetslivsinstitutet.
9. Lokaler för den nya gymnasieskolan.
Svenska Kommunförbundet 1994.
10. Boken om lov, tillsyn och kontroll.
Boverkets allmänna råd 1995:3.
11. Arbetarskyddsstyrelsens kungörelse, "Internkontroll av
arbetsmiljön", AFS 1992:6.
12. Arbetarskyddsstyrelsens kungörelse, "Belysning", AFS 1991:8.
13. Arbetarskyddsstyrelsens kungörelse, "Buller", AFS 1992:10.
14. Arbetarskyddsstyrelsens kungörelse, "Ventilation och
luftkvalitet", AFS 1993:5.
15. Arbetarskyddsstyrelsens kungörelse, "Utrymning",
AFS 1993:56.
16. Arbetarskyddsstyrelsens kungörelse, "Arbetslokaler",
AFS 1995:3.
17. Arbetarskyddsstyrelsens kungörelse, "Projektering av
byggnader och anläggningar", AFS 1995:4.
18. Boverkets konstruktionsregler, BKR 94 (BFS 1993:58).

Innehåll

Termiskt klimat	24
Klimatupplevelsen.....	26
Luftkvalitet	28
Var det bättre förr?	29
Ventilation och tekniska lösningar	31
Jämförelser av olika principiella lösningar	31
<i>FT-system 31, F-system 35, S-system 36</i>	
Förhållanden vid stark sol och varm väderlek	37
Andra förutsättningar för fungerande ventilation	38
Målvärden.....	39
Målvärden temperatur	39
Målvärden luftkvalitet	39
Allm. rekommendationer och bestämmelser	40
Vad man särskilt bör tänka på.....	40
Ordförklaringar	41
Definition av lufttyper	45
Referenser	46

FÖRKLARINGAR*

	<i>Fördjupning</i>
	<i>Målvärden</i>
<i>Röd...</i>	<i>Finns som motsvarande myndighetsföreskrifter</i>
<i>Lila...</i>	<i>Finns som allmänt råd till myndighetsföreskrifter</i>
<i>Svart...</i>	<i>Lämpliga mål</i>

(*Mer information under "Förklaringar", sid. 12)

Termiskt klimat, luftkvalitet och ventilation i handboken Att se, höra och andas i skolan.

s 28:

SOSFS 1989:51 har ersatts av SOSFS 1999:25 (M), Socialstyrelsens allmänna råd om tillsyn enligt miljöbalken – ventilation. Begreppet ”sanitär olägenhet” har ersatts med ”olägenhet för människors hälsa”.

AFS 1993:5 har upphört att gälla men motsvarande föreskrifter finns i AFS 2000:42 Arbetsplatsens utformning.

s 31:

Yrkesinspektionen heter sedan den 1 januari 2001 Arbetsmiljöverket

s 39:

Vistelsezonen finns numera definierad i Socialstyrelsens allmänna råd om temperatur inomhus SOSFS 2005:15 (M)

s 40:

ABK 96 och AB 04 finns nu istället för ABK 87 och AB 92.

Termiskt klimat, luftkvalitet och ventilation

*Av David Södergren,
VBB Theorells AB*

Under 1992 sände Arbetarskyddsstyrelsen ut en enkät till landets alla rektorer för grund- och gymnasieskolor. Bland annat tillfrågades rektorerna om vilka arbetsmiljöförbättringar de bedömde som mest angelägna i skolan vad avsåg den fysiska arbetsmiljön. Svaren jämfördes med de anmärkningar som 1991 års skyddsronder hade angivit. Både från skyddsronder och från rektorernas egna uppfattningar framgår att det i särklass dominerande problemet var luften i skolan. I 68 % av alla skolor ansåg rektorerna att den mest angelägna åtgärden avseende arbetsmiljön i deras skola var att förbättra ventilationen. 1993 inleddes den Obligatoriska Ventilationskontrollen i landets skolor enligt Regeringens föreskrifter¹⁸ och Boverkets anvisningar¹⁹. De första resultaten bekräftar att funktionen var så dålig som enkätsvaren antydde.

I en nyligen utkommen kunskapssammanställning från Folkhälsoinstitutet¹⁵ konstateras att rent generellt har barns miljöer lägre uteluftsflöden och därmed sämre ventilation än de arbetsmiljöer där enbart vuxna arbetar.

Samtidigt visar en färsk studie att skolans kostnader har fördubblats under de senaste 20 åren och enligt denna utredning är det framför allt lokalerna som blivit dyrare².

Syftet med ett gott klimat och en god luftkvalitet i undervisningslokaler kan kort beskrivas vara av två slag – dels att undervisningen skall kunna bedrivas utan att någon störning av studieverksamheten skall behöva befaras, dels att vistelsen i lokalerna inte skall ge upphov till någon hälsopåverkan varken på kortare eller längre sikt.

Höjd kvalitet på klimat och luftkvalitet balanseras av ökade kostnader. En mer noggrant styrd temperatur och en höjd luftkvalitet leder till såväl ökade investeringar som till högre driftskostnader, men sådana åtgärder kan mycket väl vara motiverade om de ger bättre inlärningsförutsättningar. Med en högre kvalitet på klimat och luft undviks dessutom risken för att unga människor utsätts för en så ohälsosam miljö att de får livslånga men av att de vistats för länge

under termiskt påfrestande förhållanden eller i alltför förorenad luft.

Ur samhällsekonomisk synpunkt är det ofta motiverat att investera för att uppnå bättre inneklimat och hälsosammare luft. I en utredning på uppdrag av Folkhälsoinstitutet¹, påvisas bland annat att det från samhällets sida är lönsamt att åtgärda tekniskt bristfälliga skolor.

Termiskt klimat

Lämplig rumstemperatur i undervisningslokaler är ca 20-22 °C. Inomhustemperaturen anges ibland som "operativ temperatur" vilket innebär att den relativt väl överensstämmer med den temperatur som uppfattas av människor. Hänsyn tas då även till omgivande ytors temperatur.

Detta är särskilt viktigt i skollokaler där det ofta förekommer en fönstervägg med stora glasytor. Vintertid kan dessa glasytor vara kalla, under 10 °C, och strålningen orsakar då att det känns kallt för personer som sitter i närheten av fönstren trots att lufttemperaturen är över 20 °C.

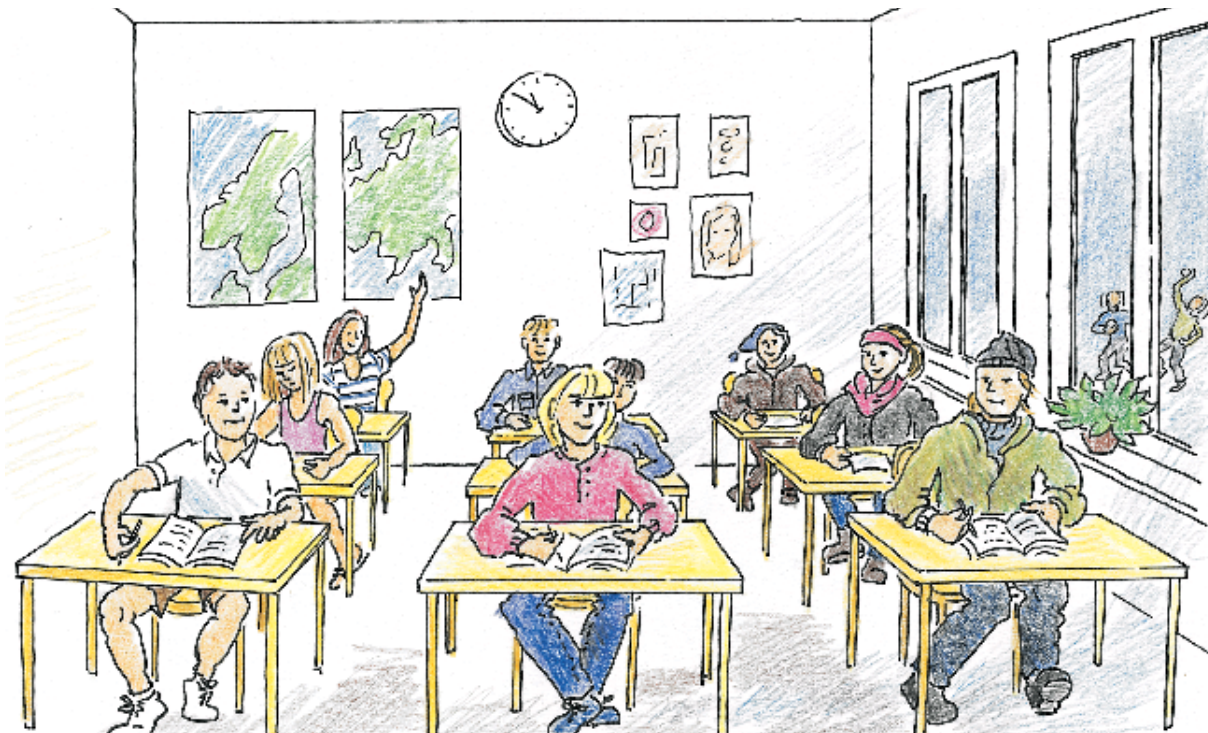


Fig. 1 Strålning från fönstren påverkar den upplevda temperaturen.

Obehaget av strålningen från den kalla fönsterytan förstärks av att det kan förekomma s.k. kallras från fönstren. Rumsluft som kommer i kontakt med det kalla glaset kyls och blir då lite tyngre varför den

gärna vill falla ner och strömma ut över golvet. Detta kallras kan bli ännu mer besvärande om fönstren är otäta så att kall uteluft tränger in och förstärker kallraset. En kall luftström över golvet, som vanligen benämns golvdrag, kan orsaka ett stort obehag för personer som sitter i närheten av fönsterväggen.

Detta obehag minskas om det finns värmeelement (radiatorer) under fönstren. Ett problem kan dock vara att värmen till elementen är avstängd trots att det är kallt ute. Detta förhållande är rätt vanligt i moderna skollokaler där värmeisoleringen i klimatskalet är bra och den värme som kommer från lampor, personer och eventuella datorer under en stor del av året räcker för att hålla varmt i lokalen samtidigt som det är svårt att klara kallraset.

Även under sommarförhållanden är ofta fönstren en anledning till en värmestörning. Solinfallet genom fönstren orsakar en förhöjd operativ temperatur vilken kan bli så besvärande att lokalerna inte kan utnyttjas varken till studier eller annan verksamhet under sommarferien. Börje Löfstedt skrev om detta redan 1976 i Byggforskningens informationsblad³. "En värmebelastning som medför ökning av kroppstemperaturen ger en parallell sänkning av muskeltonus och vakenhetsgrad och därmed den mentala aktiviteten."

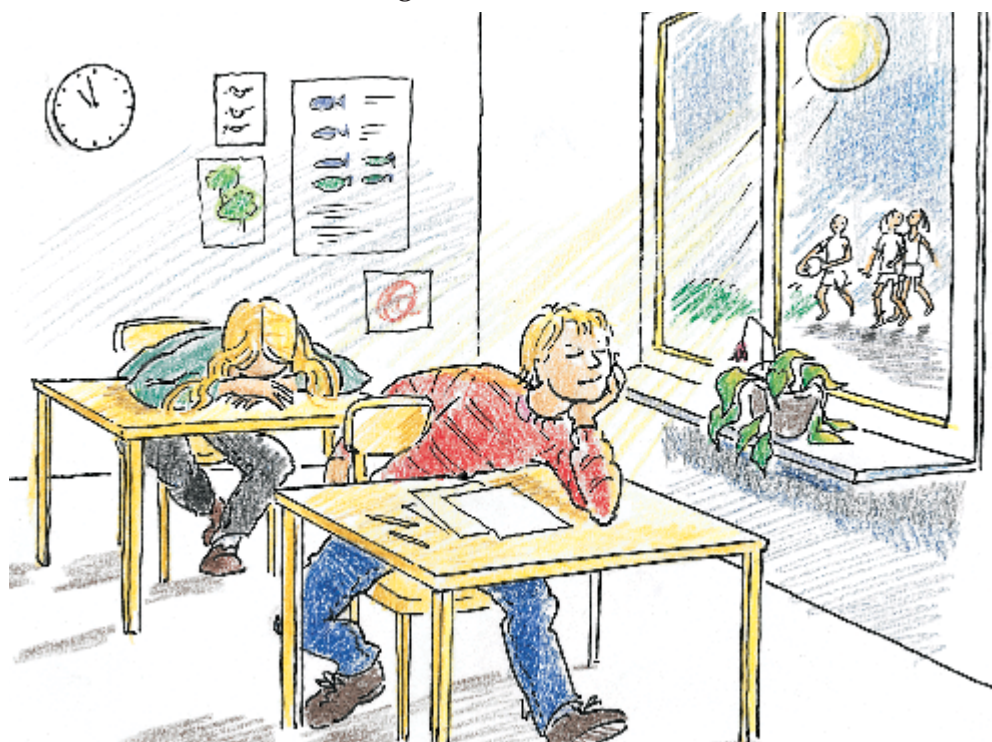


Fig. 2 Solinstrålning
påverkar vakenhetsgraden.

Ett sätt att förbättra förhållandet är att förse fönstren med markiser eller annan solavskärmning.

Flera försök att fastställa samband mellan rumstemperaturer och mental aktivitet har genomförts. David Wyon och Harriet Ryd studerade förhållandena i skolor i slutet av 70-talet och fann då en signifikant reduktion av den mentala prestationen när temperaturen närmade sig 30 °C (ca 80 % av prestationen vid 22 °C). (En sammanfattning har lämnats av D. Wyon i BFR T26:1992.)⁴

Senare studier av Wyon vid kombinationer av ljud- och temperaturpåfrestningar har dock inte givit lika markanta samband mellan temperatur och vakenhet.^{5,6} Samma förhållanden, dvs. att en högre temperatur kan kompenseras av en högre ljudnivå för att uppnå samma vakenhet, är påvisade av Staffan Hygge i en utredning från 1987.⁸

Klimatupplevelsen

För att kroppstemperaturen skall kunna hållas konstant fordras att kroppen avger lika mycket värme som den alstrar på grund av ämnesomsättningen (Metabolismen, "Met"). Överslagsmässigt kan antas att värmeavgivningen från en stillasittande person är ca 100 W (Ungefär som värmeavgivningen från en 100 W glödlampa eller ett stearinljus) men den förändras kraftigt vid olika aktiviteter.

Värmeavgivningen sker, dels genom värmeöverföring från huden till omgivande luft (konvektion), dels som strålning till omgivande ytor, samt slutligen, men i mindre omfattning, i form av värme- och fuktillskott till den luft vi andas. Värmeavgivningen via strålning är vanligen ungefär lika stor som den via konvektion och dessa båda värmeflöden är helt dominerande.

Fig. 3 Värmeavgivningen hindras av de kläder vi sätter på oss. Genom att ändra klädseln kan vi anpassa avkyllningen till den rådande omgivningstemperaturen och till aktuell aktivitet så att en någorlunda god balans uppnås. Finregleringen kan sedan överlätas till kroppens eget värmeregleringssystem.



Följande tabell visar samband mellan aktivitet, kläder och lämplig omgivningstemperatur för att en komfortabel balans skall föreligga (Ekvivalent temperatur*).

Tabell 1 Ekvivalent temperatur vid olika aktiviteter och med olika klädsel enligt Fanger. Tabellen gäller endast för lufthastigheter under 0,2 m/s.

AKTIVITET	KLÄDEDRÄKT			
	Gymnastikdräkt	Sommarklädsel (skjorta, kortbyxor)	Lätt inneklädsel vinter (tröja, byxor)	Varm inneklädsel vinter (kostym)
Liggande, vila	29 °C	27 °C	26 °C	24 °C
Sittande, avslappnad	28,5 °C	26 °C	25 °C	23 °C
Sittande, skolarbete	28 °C	24 °C	23 °C	21 °C
Stående, skolarbete	26,5 °C	23 °C	20 °C	17 °C
Gymnastik, dans	20 °C	15 °C	12 °C	8 °C

Den ekvivalenta temperaturen är vanligen densamma som den kännbara temperaturen vid termiskt välbefinnande. Den kännbara temperaturen påverkas även av luftrörelsen. Det känns kallare när det blåser. Detta beror på att konvektionen ökar vid ökad lufthastighet.

Om luftrörelsen är så låg att den inte har någon betydelse kan den ekvivalenta temperaturen anses lika med den operativa temperaturen. Den operativa temperaturen, som är en ofta använd enhet, är således enbart beroende av lufttemperatur (konvektion) och omgivande ytors temperatur (strålning).

Ole Fanger har i sin bok "Thermal Comfort"⁹ utförligt behandlat värmebalanser vid olika förhållanden och han redovisar där även luftrörelsens betydelse. Tabellen ovan är baserad på Fangers diagram.

Förhållandet mellan aktivitet och metabolism redovisas i följande tabell som hämtats ur Svenska Inneklimateinstitutets riktlinjer, R1¹⁰, och som svarar mot den standard som anges i Annex B, ISO 7730. Sorten W/m² avser värmeavgivning per m² kroppsytta, som för en fullvuxen person kan antas = 1,8 m².

Tabell 2

AKTIVITET	METABOLISM	
	W/m ²	Met
Vila	46	0,8
Sitta avslappnad	58	1,0
Kontorsarbete sittande	70	1,2
Stående, lätt aktivitet	93	1,6
Stående, aktivitet av typ hushållsarbete	116	2,0

Luftkvalitet

Luftkvalitetens inverkan på välbefinnandet och studieverksamheten ger inte en lika omedelbar effekt som temperaturen ger. En långvarig vistelse i dålig luft (för skollokaler vanligen luft där en hög koncentration av föroreningar som avges från människor förekommer) leder emellertid ofta till huvudvärk och trötthet. En av de enklast mätbara emissionerna är koldioxid och denna gas kan förutsättas ge en god indikation på koncentrationen även för övriga luftföroreningar från människor¹¹.

Den första som använde koldioxid som indikator på luftföroreningar från människor var Max von Pettenkofer som redan år 1858 anförde att luktintensiteten började nå obehaglig nivå när koldioxidhalten översteg 1 500 ppm. En liknande uppfattning framfördes några år senare av Elias Heyman som ansåg att luften var "dålig och otjänlig" när dess koldioxidhalt översteg 1 000 ppm¹⁶.

I dag har metoden att använda koldioxid som indikator för luftens renhet, i denna typ av lokal, fått en bred tillämpning. Socialstyrelsen har i sin författning SOSFS 1989:51 meddelat att de anser att sanitär olägenhet* föreligger när koldioxidkoncentrationen överstiger 1000 ppm i lokaler där människor stadigvarande vistas. Även Arbetskyddsstyrelsen använder koldioxidhalten som mått på luftkvaliteten i lokaler med stor personbelastning. I AFS 1993:5 anges under 3 § att: "I lokaler där luftföroreningar huvudsakligen uppkommer genom personbelastning skall eftersträvas att hålla koldioxidhalten under 1 000 ppm"¹³.

Lars Friberg och Hans Ronge framhåller i boken Hygien¹² att många luktämnen som härrör från människor är kemiskt instabila och snabbt bryts ned i luften till mindre luktande föroreningar. Ventilationsbehov enligt något luktkriterium kan därför inte grundas enbart på subjektiva bedömningar. Även den per person tillgängliga luftvolymen har således betydelse och denna åsikt framfördes också av Yaglou i början av 1930-talet¹⁷. Yaglou visade ett samband mellan erforderligt luftflöde och lokalvolym för samma luktintensitet.

I Allergitutredningen 1989¹⁴, anges i samband med luftflödeskrav att "Vi saknar kunskap om de samlade hälsoeffekterna, av de många uppmätbara förekommande ämnen vi har i inomhusluften". Det är dock enligt utredningen "nödvändigt med en radikal förbättring av luftkvaliteten inomhus".

För att understryka luftkvalitetens betydelse för hälsoförhållandena i skollokaler kan det vara motiverat att citera inledningen till kapitel 5 "Inomhusmiljö" i Allergitutredningens betänkande:

"Allergitutredningen konstaterar i sitt utredningsarbete alarmerande höga och ökande allergifrekvenser. Detta gäller i synnerhet barn. Vi vet att minst vart tredje skolbarn har eller har haft någon form av

**) Enligt Hälsoskyddslagen, SFS 1982:1080: "Med sanitär olägenhet avses i denna lag en störning som kan vara skadlig för människors hälsa och som inte är ringa eller helt tillfällig".*

allergi eller andra överkänslighetsbesvär. Förklaringar förefaller inte vara förändringar av ärftliga anlag eller ökning av i vår miljö naturligt förekommande allergen. Inte heller räcker, enligt utredningens mening, som förklaring förbättrad diagnostik och ökad uppmärksamhet hos såväl allmänhet som hälso- och sjukvården. Orsakerna måste sökas i föroreningar i vår miljö.”

I Folkhälsoinstitutets kunskapssammanställning ”Luften vi andas inomhus”, 1994¹⁵, belyses ytterligare den ökade förekomsten av allergier speciellt hos barn och att det föreligger ett tydligt samband mellan hälsobesvär och bristande ventilation.

Var det bättre förr?

Det kan vara av intresse att jämföra klimat- och luftkvalitetsförhållanden i skolor idag med vad som gällde för cirka 100 år sedan. I Nordiskt Medicinskt Arkiv 1880¹⁶ redovisar professor Elias Heyman erfarenheter från en undersökning han genomförde i Stockholms skolor. I Nikolai församlings folkskola uppmätte han en dag när utetemperaturen var ca 0°C följande värden på temperatur och koldioxidhalt:

Tabell 3

Tid	Temperatur °C	CO ₂ -halt, ppm
10.45	12	400 *
11.05	18	2 210
11.25	19	3 220
11.45	20	3 870

*Fönstren hade omedelbart före mätningen varit öppna under 15 minuter.

Även om det sedan dess har skett avsevärda förbättringar finns det fortfarande förhållanden som är mycket anmärkningsvärda. Följande värden har noterats av författaren till föreliggande skrift i samband med undersökningar av klimat och luftkvalitet i några skolor i Stockholmstrakten under 1988.

Lektionen hade inletts kl 08.55 och bevistades av 23 elever.

Utetemperaturen var omkring 0°C och CO₂-halten ute cirka 380 ppm.

Efter en halv timma (kl 09.25) var CO₂-halten vid frånluftdonet 2000 ppm. Temperaturen hade under samma tid stigit från 21 till 24 grader.

Ett annat exempel är från en samlingsal avsedd för 600 elever men vid det aktuella mättillfället hade cirka dubbelt så många elever fått tränga ihop sig. CO₂-halten var efter en halvtimme över 3 000 ppm (instrumentets skala räckte inte längre).

Av dessa uppgifter framgår det, att trots att det var dåligt 1988 var det ändå sämre hundra år tidigare. Under de senaste 5 åren har dock avsevärda förbättringar åstadkommit och i många kommuner har man idag kartlagt luftkvaliteten i skolorna. Detta material utgör sedan underlag för åtgärdsprogram. Ett exempel bland många är Hässleholms kommun som gjorde en kartläggning av skolorna 1994. I en rapport²⁰ ger man exempel på resultatet före och efter ombyggnad av en skola. Innan ombyggnad hade skolan enbart självdrag. Koldioxidhalten steg då kontinuerligt under dagen till cirka 2 500 ppm med en personbelastning på 20 elever. Efter ombyggnad med mekanisk till- och frånluft pendlade koldioxidhalten mellan 560 och 700 ppm med samma personbelastning.

Den sedan 1993 gällande obligatoriska funktionskontrollen^{18,19} kommer förhoppningsvis också att resultera i att sundare förhållanden uppnås och att ohälsosamma felaktigheter och brister omedelbart rättas till.



*Bild 1 .Så var det förr.
Uppvärmning enbart med
kakelugn som står längst bak.
Det stora klassrummet krävde
att elever och lärare var
varmt klädda.
Originalen i Stadsarkivet
(utlånat genom Stockholms
Skolmuseum).*

Den obligatoriska ventilationskontrollen (OVK) i skolor skulle enligt Boverkets föreskrifter genomföras för första gången under 1993 för att sedan upprepas vart annat år. En särskild förordning¹⁸ reglerade hur kontrollen skulle genomföras. Enligt denna förordning skall byggnadens ägare svara för att kontroll genomförs, dels innan ett ventilationssystem första gången tas i bruk, dels vid återkommande tillfällen under brukstiden. Kontrollen skall utföras av sakkunnig som fått godkännande, s.k. riksbehörighet av ackrediterat certifieringsorgan eller godkännande av kommunen, s.k. lokal behörighet. Om byggnadens ägare inte följer reglerna om funktionskontroll eller underlåter att avhjälpa påtalade brister, kan kommunen med stöd av bestämmelserna i 10 kap PBL bl.a. förelägga ägaren att vidta åtgärder och vid behov förena föreläggandet med vite. Det bör också påpekas att Miljö- och hälsoskydds nämnden i kommunen kan ingripa även med stöd av hälsoskyddslagen (1982:1080), om det föreligger "sanitär olägenhet". Detta även om ventilationsanläggningen godkänts enligt

OVK. Samma sak gäller vad avser Yrkesinspektionen där de agerar med stöd av arbetsmiljölagen och därmed tillhörande föreskrifter. Erfarenheten från den första kontrollomgången visar att stora brister i ventilationsutrustningens funktion ofta föreligger och att behovet av åtgärder är omfattande. I många fall kommer säkert behovet att genomföra åtgärder att kvarstå ända tills nästa kontrollomgång genomförs. Trots denna fördröjning av resultatet finns anledning att lovorda den obligatoriska ventilationkontrollens betydelse för förbättring av luftkvalitén i skolorna.

Ventilation och tekniska lösningar

Vid val av tekniska system är det viktigt att inte enbart se till investeringskostnaderna utan också beakta den livstidskostnad som systemet kommer att få. En billig investering kan t.ex. innebära att kostnaderna för underhåll och drift blir väsentligt högre än för ett system med högre investeringskostnad.

I detta sammanhang kan det vara motiverat att understryka behovet av skötsel och underhåll av ventilationsinstallationer. Systemen innehåller rörliga delar såsom fläktar, ventiler och spjäll liksom flöden av luft, värme och vatten. Alla dessa rörliga komponenter och flöden fordrar regelbunden översyn och skötsel för att en säker funktion skall upprätthållas.

Den utrustning som fordras för att styra det termiska klimatet är så starkt integrerad med ventilationsutrustningen att det är svårt att skilja på systemen för dessa båda funktioner. I det följande avsnittet behandlas de därför gemensamt.

Jämförelser av olika principiella lösningar

I detta avsnitt redovisas lösningarna som renodlade alternativ men naturligtvis kan det även förekomma kombinationer av flera alternativ lika väl som andra varianter av de system som redovisas.

Fläktdriven tilluft och frånluft (FT-system)

Med ett FT-system kan en bestämd ventilation upprätthållas oberoende av variationer i väder och vind. Detta möjliggörs genom att det finns fläktar som bestämmer luftflödet i både tillufts- och frånluftssystemen. Donen för till- och frånluft kan dessutom vara så utförda att de ger ett luftmotstånd som gör att luftflödet genom rummen inte påverkas så mycket av yttre förhållanden. Det är således möjligt att öppna fönster i ett rum utan att ventilationen påverkas i angränsande rum.

Luften tillförs i FT-system antingen genom deplacerande eller omblandande don. Vid deplacerande ventilation tillförs luften via lågimpulsdon vid golv. Avsikten är att skapa en ren zon där människor vistas och att få den förorenade luften att samlas vid taket. Frånluften tas ut genom don vid taket.

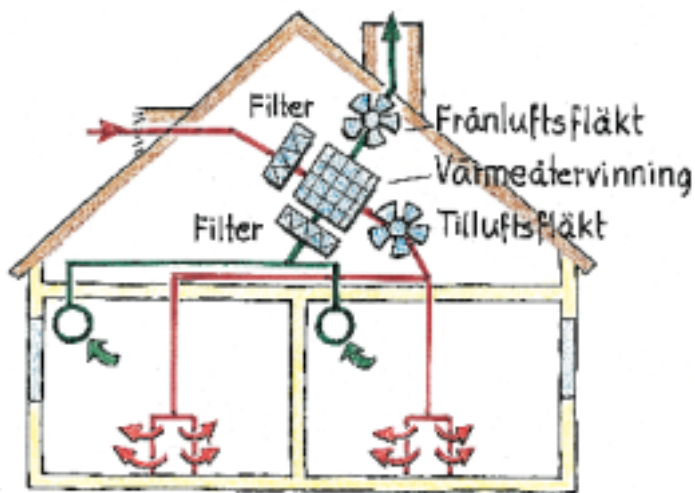
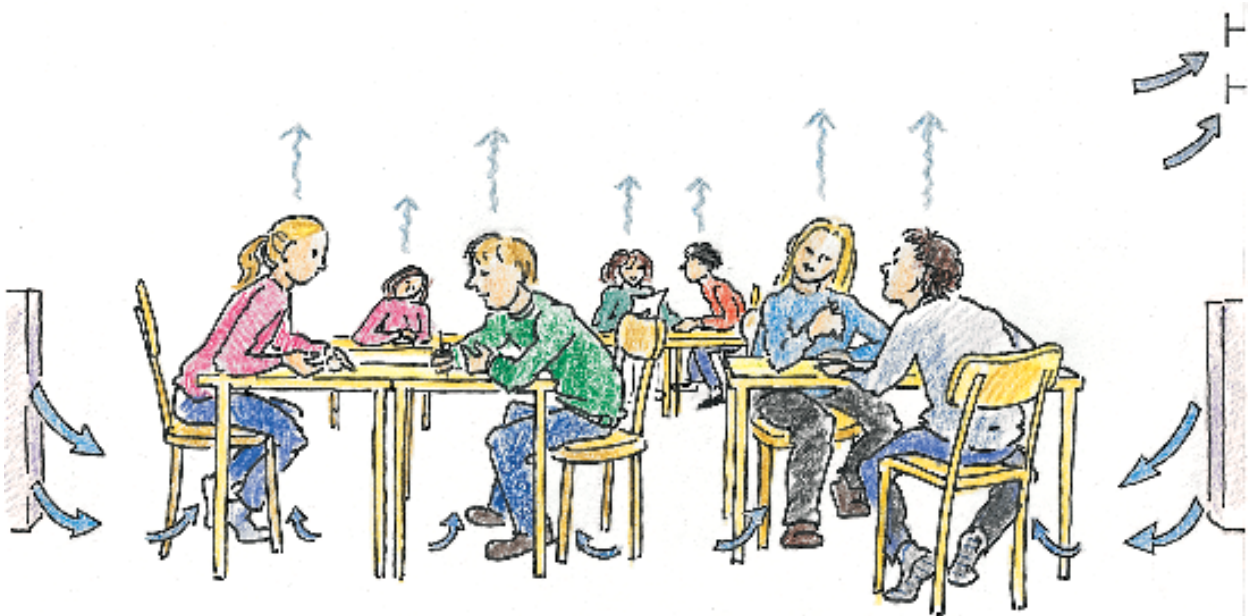


Fig. 4 Principskiss FT-system.

Tilluft via lågimpulsdon fungerar bra med några graders undertemperatur på tilluften under förutsättning att närmaste sittplats är ett par meter ifrån tilluftdonet. Alltför mycket skolväskor, sportväskor, ytterkläder, ytterskor m.m. på golvet kan orsaka att luftströmmen ifrån tilluftdonet störs och att det uppstår drag. En hylla för skolväskor m.m. vid entrédörren kan lösa problemet. Med begränsning av bagage på golvet fungerar spridningen av luften bra. Lufthastigheten bör inte överstiga 0,15 m/s. Toleransgränsen är högre för unga även om den mest önskade komfortabla temperaturen är lika för både unga och gamla⁹.

Fig. 5 Lokal med deplacerande system.



Omblandande system innebär att luften blåses in vid tak med tak- eller väggspredare. Principen bygger på att späda ut föroreningarna genom omblandning av luften. En förutsättning för en god funktion är att tilluftsdonen väljs med stor noggrannhet.

En under senare tid rätt så vanlig princip för tillförsel av värme och luft i skolor är att tillföra värmen med radiatorer på vanligt sätt under fönstren och luften via lågimpulsdon vid golvet intill någon vägg.

Radiatorerna förses med termostatventiler som stryker värmeförseln när temperaturen i lokalen stiger. En variant av detta är att byta ut radiatorerna mot varmt golv intill fönstren. Fördelen med ett varmt golv är att risken för skadegörelse blir mindre när det inte finns några radiatorer och termostatventiler.

Erfarenheten visar att samma luftflöde (ca 10 l/s och person) erfordras oavsett vilket inblåsningssystem som väljs. Även med ett deplacerande system blir omblandningen ovanför arbetsborden i det närmaste fullständig.

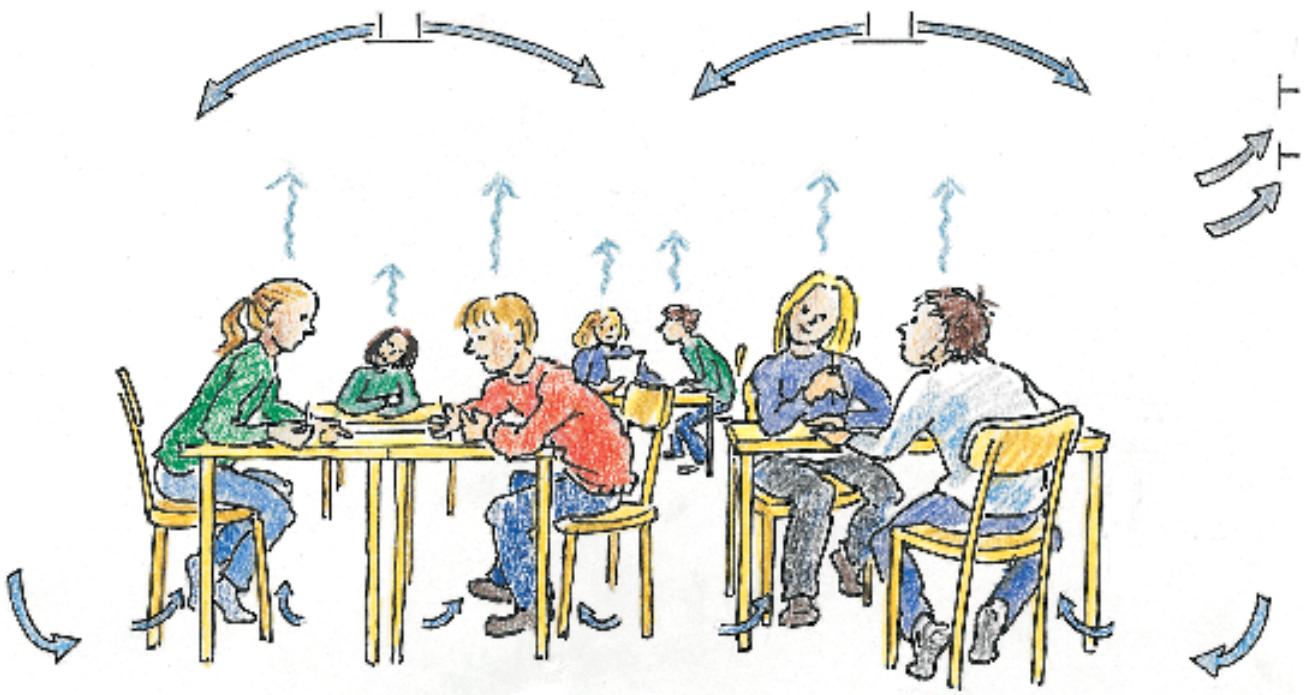


Fig. 6 Lokal med omblandande system.

Det ovan nämnda balanserade systemet med fläktdriven till- och frånluft ger frihet att välja plats för luftintaget. Är lokalerna t.ex. placerade intill en trafikerad gata eller dylikt finns det ofta inget annat alternativ än ett FT-system.

De stora luftflöden som av hygieniska skäl fordras för skollokaler är en god anledning till att förse ventilationssystemen med effektiva värmeåtervinningsutrustningar. Ett sätt att åstadkomma detta kan vara att utnyttja roterande (regenerativa) eller fasta (rekuperativa) värmeväxlare som tar värmen ur frånluften och tillför den till tilluften.

Regenerativa växlare likväl som rekuperativa fordrar att kanalerna för till- och frånluft finns intill varandra. För att systemet ska fungera tillfredsställande förutsätts att fläktarna är placerade så i förhållande till värmeväxlaren att det är ett övertryck på tilluftssidan varvid ett eventuellt läckage i växlaren orsakar att tilluft förs över till frånluftskanalen och inte tvärtom.

Med fläktstyrda luftflöden kan flödet genom lektionssalarna varieras och anpassas till den för tillfället rådande belastningen. En möjlig lösning är att utnyttja en timer som håller ventilationen i gång t.ex. ett par timmar efter att den blivit tillslagen. Risker är dock stora att man glömmer att sätta på ventilationen igen sedan den slagits av.

Enklast och fortfarande vanligast är att anpassa flödet till temperaturen på så sätt att flödet höjs när temperaturen stiger. När många människor kommer in i lokalen stiger temperaturen av den värme de avger och luftflödet ökar varvid överskottsvärme och föroreningar förs bort. En nackdel med denna princip är att om lokalen t.ex. tas i bruk under morgonen och har blivit alltför nedkyld under natten, så orsakar värmetrögheten i rummet att temperaturen och därmed luftflödet stiger alltför sakta varför luftkvaliteten blir dålig under förmiddagen.

En styrning med en koldioxidgivare som indikerar halten av föroreningar från personer i lokalen är en bättre lösning. Nackdelen är att givaren fortfarande är ganska dyr. Tillförlitligheten har visat sig god.

I samband med den upprustning av skolor som för närvarande pågår inom hela landet har flera fabriker av enhetsaggregat s.k. skolaggregat avsedda att placeras i skollokaler för förbättring av ventilationen presenterats. De är i första hand avsedda för förbättring av ventilationen i befintliga skolor men de förekommer även i nybyggen. Aggregaten tar in uteluft genom ett hål i ytterväggen, vanligen under ett fönster. Luften förvärms och blandas vanligen med cirkulationsluft och renas genom ett enkelt filter. Aggregaten är försedda med fläkt för att få ett luftflöde av 100-300 l/s.

Installation av enhetsaggregat kan ibland vara det enklaste alternativet varför det är bra att aggregaten kommer i marknaden. Nackdelar är att luftintagens plats inte kan väljas, att filtreringen blir dålig och att fläkten alstrar ljud som kan bli störande. Skötseln kan bli rätt omfattande eftersom det kan behövas många aggregat i en skolbyggnad, ibland flera i varje skolsal.

Fläktdrift endast för frånluften (F-system)

Så kallade F-system innebär att enbart frånluften drivs med fläkt och att tilluften tas in genom ventiler i fönster eller ytterväggar.

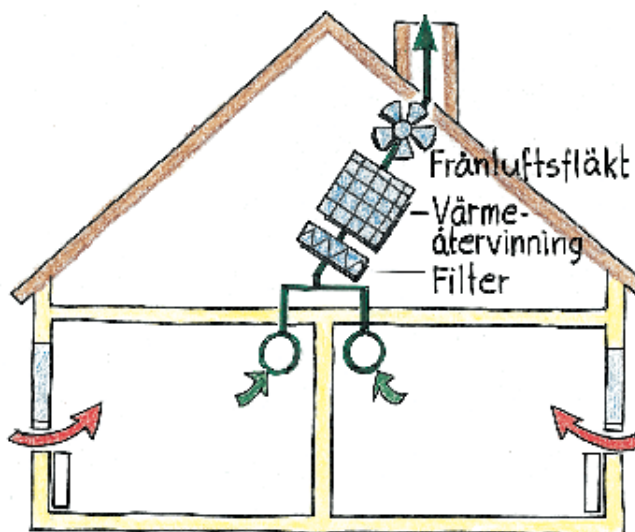


Fig. 7 Principskiss F-system.

För att F-system skall fungera tillfredsställande måste de vara noggrant dimensionerade. Utan fläktar för tilluften kan inga luftbehandlingsapparater med större luftmotstånd sättas in i tilluftssystemet. Det betyder att filter, värmare, värmeåtervinningsutrustning m.m. antingen får undvikas helt eller väljas för mycket låga luftmotstånd. En vanlig lösning är att tilluften tas in genom ventiler i ytterväggarna utan filtrering eller förvärmning. Naturligtvis kan mycket damm och andra föroreningar då följa med luften in.

Ett av problemen med dessa system är att det är svårt att placera tilluftdonen så långt från någon sittplats att inte obehaget av en kall luftström blir alltför störande. Detta har man ibland löst genom att luftströmmen får komma in intill (bakom) en radiator eller genom en konvektor. Det förekommer även att utrustning för filtrering av luften anbringas innanför luftintaget. Om motståndet blir för stort i tilluftsdonen kommer emellertid luften istället in genom springor kring dörrar och fönster på grund av det undertryck som uppstår i rummet.

Fördelarna med frånluftssystem i jämförelse med FT-system är en lägre installationskostnad och ett lägre underhåll för utrustningen. Det finns ingen risk för ljud från tilluftsfäktar men däremot ljud från "gatan" och visslande ljud från springor. Frånluftssystemet blir på grund av det låga motståndet i ventilerna känsligare för uteklimatets störningar såsom vind och temperatur.

Inga fläktar vare sig för tilluft eller frånluft (S-system)

Fortfarande förekommer det gamla skolbyggnader med självdragsventilation och det finns även exempel på nybyggnader med självdrag. Systemet baseras på att temperaturskillnaden mellan den varma inomhusluften och uteluften ger upphov till en termisk stigningskraft. Avluften tas ut genom kanaler (ofta byggda) mellan rummet och yttertaket.

Storleken på luftväxlingen och därmed luftkvaliteten varierar beroende på utomhustemperaturen samt vindens hastighet och riktning. För att få sådana system att fungera fordras dock någon form av skorsten, kanske förstärkt med en "dansare" med vilken vinden förstärker draget. De nackdelar som angivits för frånluftssystem blir ännu mer markerade med självdragssystem.

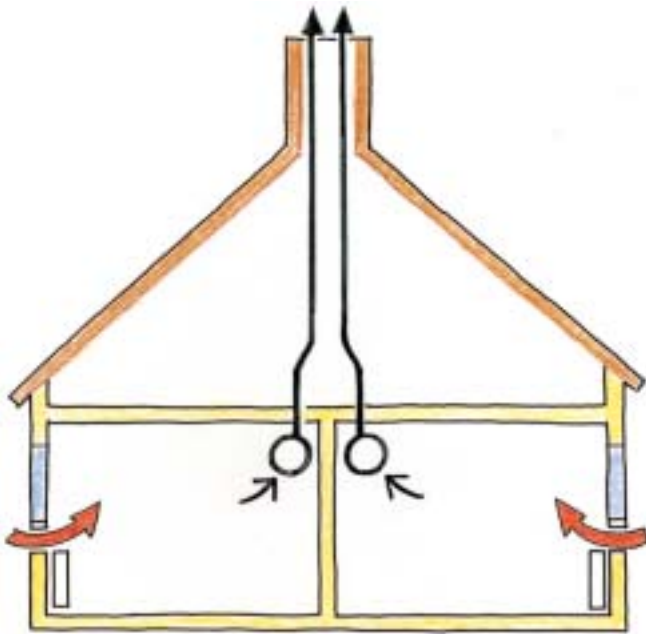


Fig. 8 *Principskiss S-system.*

Erfarenheter från skolor med självdragssystem anger att det är mycket svårt att få ett luftflöde genom lokalerna som alltid uppfyller grundläggande hygieniska krav. Under varma väderleksförhållanden när skorstensverkan är svag får fönstren öppnas för att förstärka ventilationen. En förutsättning är då att inte ljud utifrån är alltför störande. Vintertid när de termiska krafterna är som störst uppstår istället problem med drag.

För att förbättra förhållandena något har ett system utvecklats med termostatstyrda uteluftsventiler och s.k. förstärkt självdrag. Förstärkt självdrag innebär att en hjälpfläkt, som styrs av utetemperaturen, startar när det är varmt ute och självdraget är dåligt. Hjälpfläkten kompletterar då självdraget och ett visst frånluftsflöde kan upprätthållas.

I studielokaler där rumsvolymen per person är stor kan vädring under raster vara en betydelsefull förbättring för en i övrigt dålig ventilation. En accepterad ökning av koldioxidhalten över utenvån kan anses vara 600 ppm (totalnivå i lokalen ca 1 000), vilket kräver ca 10 l uteluft per person och sekund. Under en lektion som varar 40 minuter fordras då 24 m³ uteluft/person. Finns det ingen annan ventilation betyder det att det fordras ca 10 m² golvyta/person och en ordentlig genomvädring mellan varje lektionspass. Om lektionen varar 80 minuter fördubblas siffrorna. Fönstervädring kan ses som ett betydelsefullt komplement till annan ventilation.

Förhållanden vid stark sol och varm väderlek

Under den varma årstiden, när utetemperaturen är hög och solen lyser på någon fönsterfasad inträffar förhållanden som kan orsaka mycket höga innetemperaturer. Det är inte ovanligt att detta inträffar höst- och vårdagar under det normala skolåret. Även utan solinfall kan innetemperaturen i ett klassrum bli olämpligt hög om rummet är fullsatt och utetemperaturen är över 18 °C.

Förhållandena kan förbättras avsevärt genom att låta fläktarna gå med fullt varvtal under nätterna vilket innebär att byggnadsstommen och inredningen kyls ner av den kalla nattluften. Åtgärden kan utnyttjas såväl för till- och frånluftssystem som för rena frånluftssystem. Med självdrag blir effekten dålig.

Det finns goda skäl för att förse en skollokal med stora fönster vilket även framgår av exteriörer för de flesta befintliga skolbyggnader. Ur värmesynpunkt är det nödvändigt att förse solbelysta fönster med någon typ av solavskärmning. Bästa effekten uppnås om fönstren skuggas av träd eller markiser. Följande tabell visar värden för solvärmestillskott med olika solavskärmningar och fönsterutföranden:

Tabell 4

Typ av solavskärmning	Minskning av inkommande solvärme
2-glasfönster utan avskärmning	0 %
3-glasfönster utan avskärmning	10 %
3-glasfönster med invändig gardin	20 %
3-glasfönster med mellanglaspersienn	30 %
3-glasfönster med mellanglaspersienn och frånluft mellan glasen	80 %
3-glasfönster med reflekterande skikt	30-60 %
3-glasfönster med utvändig persienn	80 %
3-glasfönster med markis	85 %

Det är viktigt att reducera solinfallet så mycket som möjligt för att undvika alltför höga rumstemperaturer. Även för skollokaler som inte används från i början av juni till i slutet av augusti kan solinfallet bli en mycket störande klimatfaktor. Instrålad värme från sol, himmel och mark kan uppgå till 650 W/m^2 genom ett vertikalt 2-glasfönster under klara vår- och höstdagar. Effekten är beroende av på vilken breddgrad byggnaden är belägen, fasadens riktning, tid på året och tid på dagen. Fasader mot öster och väster kan utsättas för lika stora solinfall som söderfasader.

Som exempel väljes en lokal i Stockholmstrakten där fönster mot öster ger ett maximalt värmetillskott, 650 W/m^2 i mitten av maj klockan 07.00 på morgonen. Är fasaden riktad mot söder inträffar samma effekt i slutet av mars klockan 12.00 på dagen och på en västerfasad i slutet av maj mellan klockan 16.00 och 17.00. Det bör i sammanhanget observeras att utetemperaturer sannolikt är betydligt lägre i slutet av mars än vad den är i mitten av maj och att uteluften därför kan ge en kyleffekt som kompenserar solvärmets tillskottet i mars.

Det är sällan ekonomin tillåter att mekanisk kylutrustning installeras för kylning av skollokaler. Ofta används lokalerna endast tillfälligtvis under högsommaren och det är tämligen få vår- och höstdagar med så hög utetemperatur att kylning av tilluften erfordras för att få ner temperaturen i lokalerna till acceptabel nivå. Ofta räcker det att öppna fönstret för att öka luftgenomströmningen. Fönster på en solig fasad skall dock inte öppnas eftersom temperaturen utanför fönstren då kan vara mycket högre än den är inne.

Andra förutsättningar för fungerande ventilation

Även om en ventilationsanläggning fungerar när den tas i bruk måste den skötas och underhållas för att också fungera efter en tids användning. Den utredning som senare gav upphov till "Lagen om obligatorisk funktionskontroll av ventilationsanläggningar" visade dock att det har funnits stora brister i det sätt på vilket ventilationen har skötts.

För skollokaler finns regler om detta dels i den obligatoriska funktionskontrollen (Boverket) och dels i Arbetarskyddsstyrelsens författningssamling. Funktionskontrollen säger i korthet att en skolas ventilationssystem skall kontrolleras vart annat år samt att anslag om att kontrollen är utförd skall sättas upp på väl synlig plats i byggnaden. I Arbetarskyddsstyrelsens författningssamling finns bl.a. krav på fläktrummet storlek, på utbildning för den som sköter anläggningen samt att underhåll och kontroll skall dokumenteras skriftligt.

Målvärden

Målvärden temperatur

Tabell 5

Lokaltyp	Operativ temperatur °C		Temperaturskillnad Huvud-Fot °C	Max. lufthastighet i uppehållszon m/s
	Under uppvärmningssäsong	Utanför uppvärmningssäsong		
Klassrum	20±2	24,5 ± 1,5	2	0,15
Aula	20±2	24,5 ± 1,5	2	0,15
Slöjdsal	20±2	23 ± 2	3	0,2
Gymnastiksal	17±2	23 ± 2	3	0,3

Målvärden luftkvalitet

Tabell 6

Lokaltyp	Luftflöde ¹		CO ₂ -halt ² ppm	Formaldehyd ³ mg/l
	l/s,p	l/s,m ²		
Klassrum	10	6	1 000	0,02
Aula	10	12	1 000	0,02
Slöjdsal	12	6	1 000	0,02
Gymnastiksal	15	3	1 000	0,02

¹⁾ Luftflödet anges dels i liter per sekund och person, dels i liter per sekund och kvadratmeter golvyta.

²⁾ Koldioxidhalten avser den maximalt accepterade nivån och anges i ppm dvs. andelar per million luftandelar.

³⁾ Anger den maximalt accepterade halten av formaldehyd i luften.

De angivna kriterierna skall gälla inom det område i rummet som benämnes vistelsezon dvs. den del av rummet där människor vanligen vistas. Någon svensk standard som anger vistelsezonens begränsningar finns för närvarande inte. Inom det harmoniseringsarbete som pågår för att få en enhetlig europeisk standard har följande förenklade regler angivits och här föreslås att dessa rekommendationer tillämpas tills vidare.

Avstånd till golv, undre gräns	0,10 m
Avstånd till golv, övre gräns	1,80 m
Avstånd till ytter- och innerväggar	0,50 m
Avstånd till fönster, dörrar och radiatorer	1,00 m

Allmänna rekommendationer och bestämmelser

- Luftutbyteseffektiviteten bör inte vara lägre än 40 % i någon typ av lokal.
- Luftfiltren bör ha en avskiljningsgrad som inte är lägre än F 7 (tidigare beteckning F 85).
- Summan av till- och frånluftsfläktarnas effektbehov för att driva luften genom byggnaden bör inte vara högre än 2 500 W per m³/s.
- Buller från ventilations- och värmeinstallationer skall uppfylla de krav som anges i kapitlet om akustik.
- Vid nybyggnader och större ombyggnader skall uppmärksammas att en funktionskontroll skall genomföras innan ett ventilations-system första gången tas i drift. För skolanläggningar i drift skall dessutom en funktionskontroll genomföras vartannat år. Kontrollen skall genomföras av godkänd besiktningsman. Byggnadens ägare är ansvarig för att kontrollen genomförs. Ett anslag i entrén skall visa att kontrollen är genomförd.
- För upphandling av konsulttjänster finns tillämpbara bestämmelser benämnda ABK 87.
- För upphandling av entreprenader finns tillämpbara bestämmelser benämnda AB 92 (Allmänna Bestämmelser för Byggnads-Anläggnings- och Installationsentreprenörer).

Vad man särskilt bör tänka på!

- ✓ Att det alltid skall finnas tillräckligt mycket "ren" uteluft i lokalen och att den skall komma alla som vistas i lokalen tillgodo.
- ✓ Att det alltid och på alla uppehållsplatser skall vara en för verksamheten lämplig temperatur och att hänsyn därvid skall tas även till omgivande ytors temperatur.
- ✓ Att det inte behöver användas onödigt mycket energi för uppvärmning och ventilation, dvs. att ventilationen skall kunna anpassas till det för tillfället aktuella behovet.
- ✓ Att det inte är risk för obehagligt drag, dvs. att lufthastigheten i vistelsezonen inte är högre än 0,15 – 0,20 m/s.

- ✓ Att det inte förekommer störande ljud från ventilationsutrustningen.
- ✓ Att det inte vistas fler personer i lokalerna än vad de är avsedda för och därmed dimensionerade för.
- ✓ Att fönstren ska vara öppningsbara.

Ordförklaringar

Dansare

Skorstenshuv som vänder sig av vinden så att det alltid blir ett sug i skorstenen.

Deplacerande ventilation

Ventilation av ett rum genom tillförsel av luft i en zon av rummet varvid den i rummet befintliga luften trycks undan. Jämför kolvprincipen.

Ekvivalent temperatur

Den temperatur på luft och omgivande ytor som gör att värmeflödet från en människa är lika med den av människans ämnesomsättning alstrade värmen. Den ekvivalenta temperaturen kan vid komfortförhållanden anses vara lika med den kännbara temperaturen.

Entalpi

Anger energiinnehållet i exempelvis luft varvid hänsyn även tas till den kemiskt bundna energin. (Luft som innehåller mycket vattenånga har högre entalpi än torr luft vid en given temperatur.)

Entalpiverkningsgrad

Uttrycket förekommer bland annat i samband med värmeåtervinning ur varm luft och anger verkningsgraden för värmeväxlare när hänsyn tas till luftens och luftfuktighetens kemiska energiinnehåll.

Frånluftsfönster

Fönsterkonstruktion som anslutes till frånluftssystem. Med en persienn eller rullgardin i utrymmet mellan glaset kan en mycket effektiv avskärmning av solvärmen erhållas.

Koldioxidgivare

Mäter koldioxidhalten och ger signal till ett visarinstrument eller reglerdon.

Konvektion

Luft rörelse på grund av luftens uppvärmning mot en varm yta. Konvektion uppstår även omkring en människa. Omkring hälften av den värme människor avger bortföres via konvektionsflöden.

Konvektor

Värmeelement där värmen huvudsakligen avges via konvektionsströmmar.

Kännbar temperatur

Den temperatur som uppfattas av människan. Den påverkas av lufttemperatur och lufthastighet samt av omgivande ytors temperatur.

Lågimpulsdon

Tilluftsdon med så låg lufthastighet att inte någon betydelsefull rörelse (medejektering) av rumsluften uppstår.

Metabolism

Människans energiomsättning i kroppen (ämnesomsättning). Anges i Met och varierar med den fysiska aktiviteten. 1 Met motsvarar stillasittande.

Muskeltonus

Spänningen i en vilande muskel.

Ombländande ventilation

Ventilation av ett rum genom tillförsel av luft som snabbt blandas med den i rummet befintliga luften till en relativt homogen blandning.

Operativ temperatur

Den operativa temperaturen bestäms av luftens temperatur och omgivande ytors temperatur. När lufthastigheten är lägre än 0,2 m/s är den operativa temperaturen i stort sett densamma som den kännbara temperaturen.

ppm

parts per million. Anger exempelvis förekomsten av en gas i luft i antalet enheter som funktion av en million luftenheter.

Radiator

Värmeelement där värmen huvudsakligen avges via strålning.

Regenerativ värmeväxlare

Vid regenerativ värmeväxling uppvärms en kropp i t.ex. en varm luftström (frånluft) och flyttas sedan över till en kall luftström (tilluft) där den får avge sin värme. Roterande värmeväxlare är exempel på regenerativ värmeväxling.

Rekuperativ värmeväxlare

I en rekuperativ värmeväxlare överförs värme från den varma sidan (frånluften) till den kalla sidan (tilluften) genom att värmen leds genom väggen som skiljer de två medierna åt.

Skolaggregat

Ventilationsaggregat innehållande i varje fall tilluftsfläkt, filter och värmare, ibland även frånluftsfläkt, värmeåtervinningsutrustning och kylbatteri. Storleken är anpassad till behovet i en normal skolklass.

Skorstensverkan

Termisk luftström som uppstår genom att temperaturen inomhus och i skorstenen är högre än utomhus.

Temperaturgivare

Mäter temperaturen (termometer) och ger signal till ett visarinstrument eller reglerdon.

Termiska luftströmmar

Luftrörelse på grund av att luftens täthet förändras vid temperaturförändringar.

Termostatventil

Ventil i ett värmesystem som kombinerats med en termostat. Termostaten känner temperaturen i rummet och reglerar värmeflödet via ventilen vanligen så att rumstemperaturen skall hållas konstant.

Timer

Klocka som styr ett tidsförlopp. Exempelvis kan daglig tid för fläktdrift ställas in. Kan även användas för inställning av tillfällig drift under en bestämd tid.

Definition av lufttyper

Avluft
Luft som förs
till det fria.

Cirkulationsluft
Luft som cirkulerar inne i
ett rum eller
till rummet återförd från-
luft från samma rum.

Frånluft
Luft som förs
från rum.

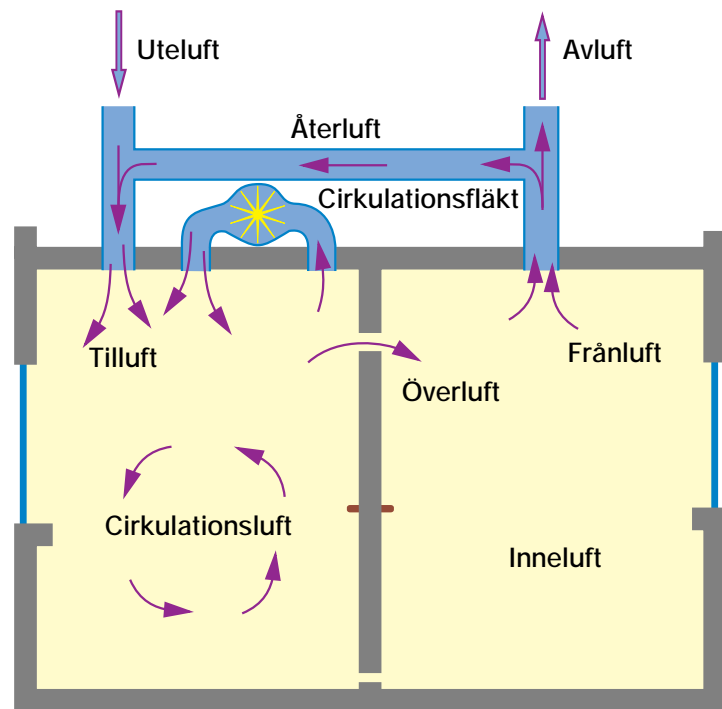
Inneluft
Luft i rum.

Tilluft
Luft som förs
till rum.

Uteluft
Luft i det fria.

Återluft
Luft som återförs
till grupp av rum
varifrån luften tagits.

Överluft
Luft som förs från
ett eller flera rum
till ett annat eller
andra rum.



Referenser

1. Persson, Ulf; Svarvar, Patrick och Ödegaard, Knut. Samhällsekonomiska kostnader avseende allergiska besvär för barn/vuxna i Sverige 1983-1993. IHE, Institutet för hälso- och sjukvårdsekonomi. Lund 1994.
2. Edström-Fors, Eva och Gunnarsson, Vivianne. Skolans kostnader, effektivitet och resultat. ESO, Expertgruppen för studier i offentlig ekonomi 1994.
3. Löfstedt, Börje. Byggforskningens Informationsblad, B8:1976.
4. Gulliksson, H. m.fl., Bra innemiljö i skolan. Innemiljöcentrum Växjö. Byggforskningsrådet T26:1992.
5. Wyon, David. Studies of children under improved noise and heat stress. *Ergonomics* 13, pp 598-612, 1970.
6. Wyon, David; Kok, R.; Leweis, M. and Meese G. Combined noise and heat stress effects on human performance. *Indoor Climate, Effects on human comfort, performance and health in residential, commercial and light-industry buildings.* pp 857-881. *Proceedings of the First International Indoor Climate Symposium in Copenhagen 1978.*
7. Fanger and Valbjörn. *Indoor Climate.* Danish Building Research Institut, Copenhagen 1978.
8. Hygge, Staffan. The Interaction of noise and mild heat on cognitive performance and serial reaction time. *Environmental International* vol.17, pp 229-234. 1991.
9. Fanger, P. Ole. *Thermal Comfort.* Danish Technical Press, Copenhagen 1970.
10. Klassindelade inneklimatsystem. Riktlinjer och Specifikationer. Svenska Inneklimatinstitutet, R1, 1991.
11. Södergren, David och Puntila, Antero. Behovsstyrd Ventilation. Pilotstudie där ventilationen styrs av koldioxidhalten i inomhusluften. BFR R67:1983.
12. Friberg, Lars och Ronge, Hans. Hygien. p 40. Scandinavian University Books, 1964.
13. Ventilation och Luftkvalitet. Arbetarskyddsstyrelsens föfattningssamling, AFS 1993:5.
14. Att förebygga ALLERGI/överkänslighet. Betänkande av allergiutredningen, SOU 1989:76.
15. Sundell, Jan och Kjellman, Max. *Luften vi andas inomhus.* Folkhälsoinstitutet 1994.

16. Heyman, Elias. Bidrag till kännedom om luftens beskaffenhet i skolor. Nordiskt Medicinskt Arkiv, Band 12. Nr 2, 1880.
17. Yaglou, C.P.; Riley, E.C.; Coggings, D.J. Ventilation requirements, Heating, Piping and Airconditioning. January 1936, p 65-76.
18. Förordning om funktionskontroll av ventilationssystem. SFS 1991:1273 och SFS 1994:1216.
19. Funktionskontroll av ventilationssystem. Boverkets allmänna råd 1995:4.
20. Luften i våra skolor – Kartläggning av luftkvaliteten i Hässleholms kommuns skolor, 94-05-25. Miljö- och hälsoskyddskontoret 1994.

Innehåll

Ljud	49
Hörseln	49
Ljudstyrka	49
Ljudmiljö	50
Vad kännetecknar god ljudmiljö?	50
Ljudmiljö i skolan	50
Intryck från besiktningar av undervisningslokaler	51
Planera för god ljudmiljö	52
Planlösning	52
Ljudisolering	52
Luftljudsisolering mellan rum 53, Luftljudsisolering i fasad 57, Stegljudsisolering mellan rum 59	
Installationsbuller	60
Rumsakustik	63
Efterklangstid 64, Ljudabsorbenter 66, Behov i olika lokaltyper 67, Möbler och inredning 69	
Handikappanpassning	69
Kontrollmätningar enligt standarder	70
Några sammanfattande råd	71
Ordförklaringar	72
Standarder	76
Referenser	77

FÖRKLARINGAR*

	<i>Fördjupning</i>
	<i>Målvärden</i>
Röd...	<i>Finns som motsvarande myndighetsföreskrifter</i>
Lila...	<i>Finns som allmänt råd till myndighetsföreskrifter</i>
Svart...	<i>Lämpliga mål</i>

(*Mer information under "Förklaringar", sid. 12)

För att göra texten lättläst finns inga direkta hänvisningar till standarder. När det anges att något sker enligt "standardiserad" metod finns i stället fullständig benämning och titel på aktuell standard under avsnittet "standarder".

Ändringar i ”Att se, höra och andas i skolan” - akustik

Akustik

Sid 54 - REDUKTIONSTAL

SS - ISO 717/1 ändras till SS-EN ISO 717-1.

Texten vid * ändras enligt följande:

De två första meningarna utgår. Den tredje meningen ändras till följande:

I standarden finns möjlighet att bland annat formulera krav i ett utvidgat frekvensområde, nämligen 50 - 5000 Hz. Kravet formuleras då med

Sid 55 - Text till tabell 1 (gäller även tabell 1 på sid 134)

BBR 94 ändras till BBR.

Sid 59 - STEGLJUDSNIVÅ

SS-ISO 717/2 ändras till SS-EN ISO 717-2

Texten vid * ändras enligt följande:

De två första meningarna utgår. Den tredje meningen ändras till följande:

I standarden finns bland annat möjlighet att formulera krav i ett utvidgat frekvensområde, nämligen 50 - 3150 Hz. Kravet formuleras då

Sid 59 - Text till tabell 5 (gäller även tabell 5 på sid 135)

BBR 94 ändras till BBR.

Sid 61 - Text till Tabell 6 (gäller även tabell 6 på sid 135)

BBR 94 ändras till BBR.

Sid 67 - Text till tabell 8

Gränser för olika absorptionsklasser enligt SS-EN ISO 11654.

Sid 70 - Kontrollmätningar enligt standarder

Texten till första punkten ändras till följande:

Luft- och stegljudsisolering kontrollmäts enligt SS-EN ISO 140-4 respektive SS-EN ISO 140-7.

Texten till sista punkten ändras till följande:

RASTI mäts enligt standard SS-EN 60268-16, 1998.

Sid 76 - Standarder

Tabellen justeras enligt följande:

Standard	Titel	Ref till rubrik/sidnr
SS 02 52 68 (SS 25258 efter revidering)	Byggakustik - Ljudklassning av utrymmen i byggnader - Vårdlokaler, undervisningslokaler, dag- och fritidshem, kontor och hotell	Luftljudsisolering mellan rum/55, Luftljudsisolering i fasad/57, Stegljudsisolering mellan rum/59, Installationsbuller/61, Efterklangstid/65, Ljudabsorbenter/67
SS-EN ISO 717-1	Byggakustik - Värdering av ljudisolering i byggnader och hos byggdelar - Del 1: Ljudisolering	Luftljudsisolering mellan rum/53
SS-EN ISO 717-2	Byggakustik - Värdering av ljudisolering i byggnader och hos byggdelar - Del 2: Stegljudsisolering	Stegljudsisolering mellan rum/59
SS-EN 20140-10	Byggakustik - Mätning av ljudisolering i byggnader och hos byggnadselement - Del 10: Laboratiemätning av luftljudsisolering hos små byggdelar	Luftljudsisolering mellan rum/53
SS 923551 T1	Golvmaterial - Klassificering	Stegljudsisolering mellan rum/59
SS-EN ISO 11654	Byggakustik - Ljudabsorbenter - Värdering av mätresultat och klassindelning	Ljudabsorbenter/66
SS-EN ISO 140-4	Byggakustik - Mätning av ljudisolering i byggnader och hos byggnadselement - Del 4: Fältmätning av luftljudsisolering mellan rum	Kontrollmätningar enligt standarder/70
SS-EN ISO 140-7	Byggakustik - Mätning av ljudisolering i byggnader och hos byggnadselement - Del 7: Fältmätning av stegljudsisolering hos golv	Kontrollmätningar enligt standarder/70
SS-EN ISO 16032	Byggakustik - Mätning av buller från installationer i byggnader - Teknisk metod	Kontrollmätningar enligt standarder/70
SS 02 52 64	Byggakustik - Mätning av efterklangstid i rum - Fältprovning	Kontrollmätningar enligt standarder/70
SS-EN 60268-16	Ljudanläggningar - Del 16: RASTI-metoden för mätning av taluppfattning i hörsalar	Kontrollmätningar enligt standarder/70
SS-EN 61672-1	Elektroakustik - Ljudnivåmätare - Del 1: Specifikationer	Ljudstyrka/49, 50

Sid 77 - Referenser

Referens 2 ändras till:

2. Boverkets byggregler, BBR (BFS 1993:57)

Akustik

*Av Christian Simmons,
Sveriges Provnings-
och Forskningsinstitut*

Ljud

Hörseln

Människan uppfattar ljud när tryckvariationer i luften får örats trumhinna att röra sig. Rörelserna i trumhinnan leds via mellanörats ben till vätskan i innerörats snäcka. Inuti snäckan finns nervceller som reagerar på tryckvariationerna och sänder elektriska signaler till hörselcentrum i hjärnan. Hörbara tryckvariationer i luften kan bildas av strängar eller stämband när musiker och sångare producerar njutbar musik. Tryckväxlingarna kan också bildas av roterande fläkthjul, virvlar i luftkanaler, blåsljud vid kanter på luftdon, rullande däck mot vägbana, steg (stötär) mot golv, stolskrap osv. Det senare uppfattar de flesta människor som störande ljud, buller.

Ljudstyrka

Storleken på tryckvariationerna, ljudtrycket, bestämmer ljudstyrkan. Eftersom människan kan uppfatta mycket stora variationer i ljudtryck används ett logaritmiskt mått, ljudtrycksnivån L , som anges i decibel (dB). Detta mått komprimerar måttstocken betydligt. De lägsta ljudtryck örat kan uppfatta motsvarar ungefär 0 dB; känsliga personer kan uppfatta så svaga ljud som -5, -10 dB. Gränsen för obehag går vid ca 110 dB och för smärta vid ca 130 – 140 dB.

Hur en människa upplever ett ljud bestäms, förutom av ljudstyrkan, också av ljudets tonhöjd och varaktighet. Tonhöjden, eller frekvensen, är antalet tryckvariationer per sekund och anges i Hertz (Hz). Människan kan, i unga år (yngre än ca 10 år), höra ljud med frekvenser mellan 20 Hz och 20 000 Hz. Örats känslighet varierar med frekvensen och är störst i området 2 000 – 6 000 Hz. Vid de lägsta frekvenserna är känsligheten särskilt låg vilket kräver att ljudtrycksnivån är hög för att ljud skall uppfattas. Observera dock att vid de lägsta frekvenserna är en människa samtidigt känsligare för en ökning av ljudstyrkan. För att den upplevda ljudstyrkan ska fördubblas

krävs normalt en höjning med 10 dB men vid mycket låga frekvenser (under 100 Hz) räcker det med 3 – 5 dB.

För att efterlikna örats egenskaper korrigeras det uppmätta ljudet med hjälp av standardiserade vägningsfilter i ljudnivåmätaren. De två vanligaste vägningsfiltren är A-, och C-filtren, där A-filtret används mest eftersom det har visat sig ge ett bra ensiffervärde för en enkel bedömning av bullrets negativa effekter. Mätresultatet anges då som A-vägd ljudtrycksnivå och betecknas L_A . Om ett ljud domineras av låga frekvenser (basljud, mullrande ljud) kan dock störningsrisken undervärderas med detta mått. Då bör även den C-vägd ljudtrycksnivån, L_C , kontrolleras (se tabell 6).

Dessa ensiffervärden ger emellertid inte en fullständig bild av hur människan uppfattar buller. Bullrets störningsgrad beror dels på dess karaktär, dels på om personen i fråga förstår varför det bullrar och vilken attityd personen ifråga har till aktuellt buller. Känsligheten för olika bullerstörningar varierar också starkt mellan olika individer och situationer.

Ljudmiljö

Vad kännetecknar god ljudmiljö?

Tystnad	man slipper buller från stolsskrap, bänklöck, apparater, ventilation, trafik och angränsande rum.
Upplevelse	akustiken i rummet stämmer med det visuella rumsintrycket, rummet känns varken "överdämpat" eller "överakustiskt".
Komfort	det känns lätt att tala i rummet och man hör vad som sägs utan ansträngning.

God ljudmiljö i undervisningsrum skapas med tillräcklig ljudisolering, tysta installationer (ventilationsanläggningar m.m.), rätt rumsakustisk dämpning och utformning samt möbler och teknisk utrustning som inte bidrar till onödig ljudalstring.

Ljudmiljö i skolan

Inläringen i skolan sker i hög grad genom hörseln och hörselminnet. En god ljudmiljö är därför nödvändig för en effektiv undervisning och för att elever och lärare skall kunna trivas och arbeta koncentrerat under en längre tid. Även om ljudmiljön är dålig i ett rum för teoriundervisning är det dock sällan eller aldrig risk för hörselskada. Det är heller inte omöjligt att göra sig hörd. Däremot medför högt bakgrundsbuller (t.ex. buller från ventilationsanläggningen, tra-

fikbuller), på grund av dess maskerande effekt, att det blir svårt för en elev att uppfatta vad läraren och andra elever säger. Plötsliga ljud verkar distraherande och vänder uppmärksamheten från den pågående uppgiften, till ljudkällan. Mer eller mindre konstant buller med låg nivå samt lågfrekvent ”dovt” buller kan ha en sömngivande effekt. Dessa faktorer leder, tillsammans eller var för sig, till att elevens koncentrationsförmåga minskar. Experimentella studier har visat att elever är speciellt känsliga för bullerpåverkan vid verbala uppgifter som läsning och skrivning.

Möjligheten att uppfatta tal eller att själv tala underlättas i en lokal med god rumsakustik, dvs. som är ”lagom dämpad” och i övrigt rumsakustiskt riktigt utformad. Kännedom om och tillämpning av grundläggande rumsakustik är således viktig både vid utformning och renovering av en undervisningslokal.

Särskild uppmärksamhet måste ägnas hörselskadade elever. Högt bakgrundsbuller och dålig rumsakustik försämrar deras möjlighet att uppfatta tal i högre grad än det gör för normalhörande¹. Det är också vanligt att elever som normalt har god hörsel då och då får tillfälliga hörselnedsättningar exempelvis vid besvär med luftvägarna. Det är inte säkert att dessa elever själva uppfattar att de hör sämre.

Intryck från besiktningar av undervisningslokaler

Många undervisningslokaler har dåliga akustiska egenskaper, ofta som ett resultat av bristande kunskaper vid planering och byggande. Om grundläggande kunskaper utnyttjas redan i ett tidigt skede kan fel och kostsamma efteråtgärder undvikas. Genom att utnyttja samlade erfarenheter och beprövade tekniska hjälpmedel kan ljudmiljön behandlas på ett effektivt, kreativt och tillförlitligt sätt redan i planerings- och projekteringskedet. Erfarenheter från återkommande besiktningar har visat att vanliga fel i undervisningslokaler är:

- Avsaknad av ljudabsorbenter.
- För många eller felplacerade ljudabsorbenter.
- Buller från fläktrum på grund av dåliga väggar och golv (bjälklag).
- Buller från installationer orsakat av felaktig dimensionering och eftersatt underhåll.
- Susande luftdon beroende på felaktigt tryck och flöde i luftbehandlingssystemet.
- Odämpade friskluftsventiler samt otäta fönster som försämrar ljudisoleringen ut mot trafikerade gator.

- Otäta dörrar, felaktigt utförda väggar, olämpliga (hårda) golvbeläggningar samt ibland alltför ”veka” bjälklag som försämrar luft- och stegljudsisoleringen mellan undervisningslokaler och mot korridorer. Detta är särskilt vanligt i skolbaracker.

Även förändrad verksamhet kan orsaka särskilda problem – rummet är från början inte anpassat efter den nya verksamheten, exempelvis om en vindsvåning görs om till fritidslokal eller en teorisal till musiksalsal.

Planera för god ljudmiljö

Planlösning

Verksamheternas placering i förhållande till varandra och till omgivningen avgör vilka konstruktioner som behövs för att klara ljudkraven. Fläktrum, slöjdsal, verkstad, gymnastiksal, hiss, trapphus m.m. behöver inte ljudisoleras på ett kostnadskrävande sätt om de kan placeras avskilt eller på annat sätt akustiskt gynnsamt i förhållande till lokaler där krav på god ljudmiljö ställs. Exempelvis kan korridorer, förråd eller andra för ljud okänsliga utrymmen utnyttjas som extra ljudavskärmning.

På motsvarande sätt kan trafikbuller avskärmas. Om detta av olika skäl inte är möjligt kan det vara nödvändigt med kraftiga vägg- och fönsterkonstruktioner för att klara ljudkraven. Det finns dock möjlighet att minska trafikbuller både inomhus och på skolgård genom att sätta upp bullerskärmar mellan väg och skolbyggnad. Man måste därvid vara medveten om att skärmdämpningen kan anses försumbar vid de ställen där man har fri siktlinje mot trafiken.

Ljudisolering

För att förhindra oönskad ljudöverföring mellan rum måste väggar och golv (bjälklag) ha ändamålsenliga ljudisoleringsegenskaper. Detta gäller såväl luft- som stegljudsisolering. Typiska luftljud är tal, musik, högtalarljud eller trafikbuller. Med stegljud menas sådana ljud som uppkommer när en ljudkälla verkar direkt mot ett golv (bjälklag), t.ex. steg från gående personer, föremål som tappas på golvet eller stolar som flyttas.

Vid nybyggnad ska sådana konstruktioner och produktkombinationer väljas som gör att uppställda målvärden i den färdiga byggnaden alltid klaras. Inför en ombyggnad bör man undersöka de konstruktioner som finns samt eventuellt mäta luft- och stegljudsisoleringen²⁴. Även om konstruktionerna ursprungligen gav tillfredsstäl-

lande ljudisolering så är detta ingen garanti för att ljudisoleringen fortfarande är god. Dels kan försämringar ha uppstått med tiden, exempelvis genom sättningsskador och åverkan dels kan kraven vid tiden för byggnadens tillkomst ha varit lägre än de målvärden som eftersträvas idag. Vidare kan det under byggnadens historia ha tillkommit konstruktioner och material som har monterats på ett från akustisk synpunkt felaktigt sätt. Det kan vara spruckna murade väggar, gipsväggar som inte dimensionerats och utförts riktigt eller ventilationskanaler som dragits genom rumsskiljande väggar utan ljuddämpare.

Fig. 1

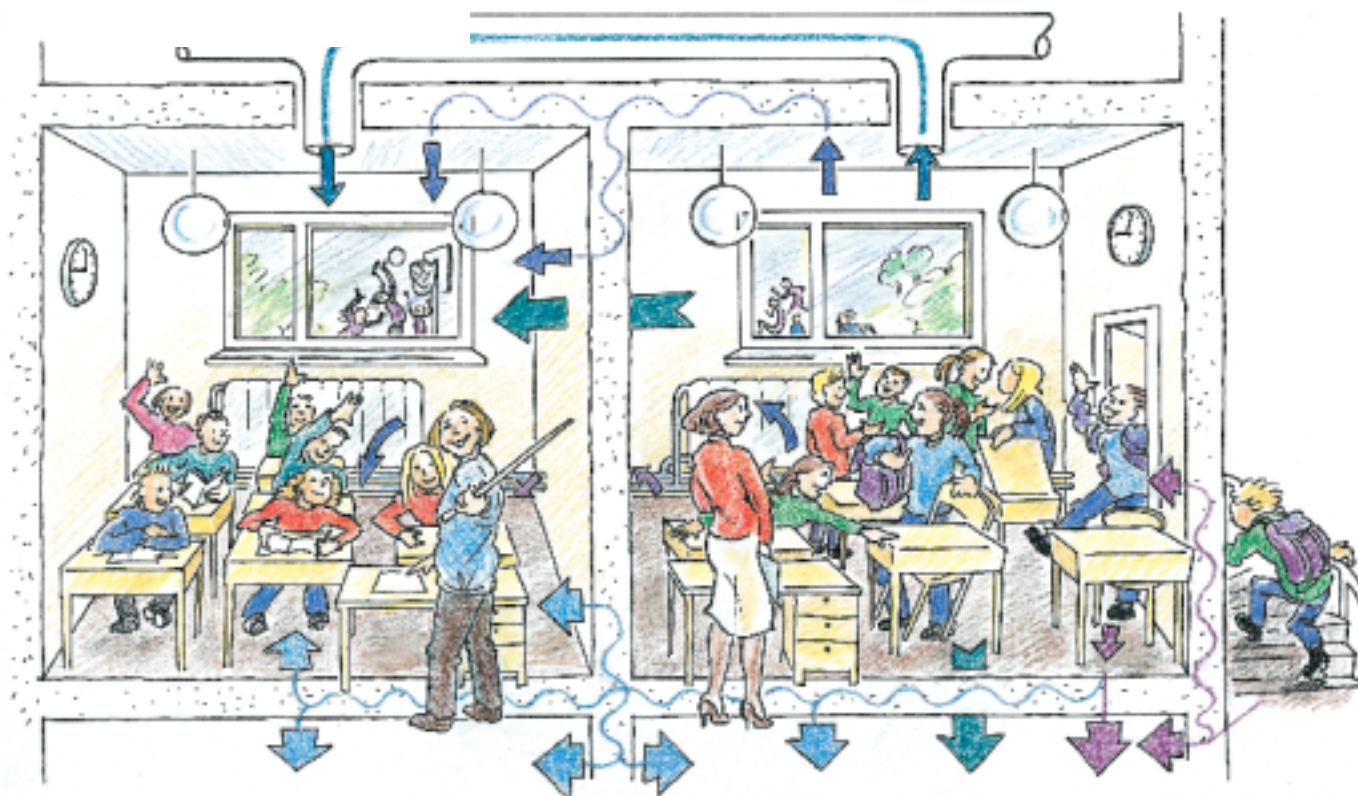
Ljudöverföringsvägar mellan rum.



Luftljudsisolering mellan rum

Som ett ensiffermätt på luftljudsisoleringen hos väggar och golv (bjälklag) används normalt det standardiserade begreppet vägt reduktionstal som anges i decibel (dB). Det betecknas med R_w om det beskriver ljudisoleringen hos en byggdel mätt i laboratorium och med R'_w (med primtecken: ´) om det beskriver ljudisoleringen mellan två rum i en färdig byggnad. Ju högre värde på reduktionstalet desto bättre luftljudsisolering.

När ljudisoleringen är mätt i laboratorium avser reduktionstalet enbart ljudöverföring genom den provade byggdelen (t.ex. en vägg).



I en färdig byggnad däremot påverkas reduktionstalet dels av ljud som överförs direkt genom bygdelen, dels av ljud som överförs via anslutande (flankerande) konstruktioner, se figur 1. Det är därför man skiljer på reduktionstal i laboratorium och i färdig byggnad. För att den sammantagna isoleringen i en byggnad inte skall bli sämre än för den valda bygdelen måste de flankerande konstruktionerna ha minst lika bra ljudisolering som bygdelen. Tunga bjälklag, murade och tätt putsade fasad- och korridorväggar har som regel tillräcklig isolering men bedömningen av de flankerande konstruktionerna kan behöva göras av akustisk expertis.

REDUKTIONSTAL

Vid mätning av reduktionstalet R (i byggnad R') bestäms skillnaden i ljudtrycksnivå mellan två rum när en ljudkälla placeras i det ena rummet. Till detta värde läggs en korrektionsterm i vilken skiljekonstruktionens area och mottagarummets absorptionsyta ingår. Eftersom reduktionstalet är olika för olika frekvenser måste man bestämma detta i minst 16 standardiserade frekvensband inom frekvensområdet 100 – 3 150 Hz. Resultatet presenteras ofta som en s.k. reduktionstalskurva.

När reduktionstalskurvan är känd så kan man utifrån denna bestämma det vägda reduktionstalet R_w eller R'_w (w för eng. "weighted") enligt standarden SS – ISO 717/1*. Vägt reduktionstal bestäms därvid med hjälp av en referenskurva som är utformad för att passa det mänskliga örats känslighet vilket innebär att högre krav ställs vid höga frekvenser än vid låga frekvenser. R_w och R'_w blir därmed, med några undantag (se nedan), representativa ensiffermått och det är nästan alltid dessa mått som redovisas i olika normer och produktspecifikationer för skiljekonstruktioner. Fönster, dörrar, friskluftsventiler m.m. kan dock anges med andra sammanfattningsvärden.

OBSERVERA

Tunga byggdelar av t.ex. betong eller tegel och lätta byggdelar, t.ex. regelväggar med gipsskivor, kan ha olika ljudisolerande egenskaper trots att de har identiska vägda reduktionstal, R_w . Normalt är tunga byggdelar bättre för att isolera mot ljud med låga frekvenser (t.ex. mullrande ljud från en fläkt). Runt fläktrum, apparatrum, verkstäder och andra rum där höga ljudnivåer vid låga frekvenser kan förekomma är det därför en "akustisk" fördel att använda tunga konstruktioner. Lätta regelväggar går att använda runt ett fläktrum men då måste dessa dimensioneras i varje enskilt fall med avseende på antal ytskikt och luftspaltens bredd. Fläktaggregat får aldrig stå nära (1m) en sådan lätt dubbelvägg. Undvik också infästningar för installationer i en sådan vägg.

* Denna standard revideras för närvarande. Den reviderade versionen finns idag bara som s.k. DIS (Draft International Standard) men kommer sannolikt under 1996 att ersätta nuvarande SS – ISO 717/1. I den nya standarden kommer att finnas möjlighet att bland annat formulera krav i ett utvidgat frekvensområde, nämligen 50 – 5 000 Hz. Kravet formuleras då med hjälp av en anpassnings-term, C_{x-x} , eller $C_{tr,x-x}$ där $x-x$ beskriver vilket frekvensområde som avses. Ett krav kan då exempelvis formuleras som $R'_w + C_{50-5000} = Y$ där Y är aktuell kravnivå och där tillägget med $C_{50-5000}$ förbättrar skyddet mot ljudöverföring vid låga frekvenser.

För att åstadkomma ändamålsenlig luftljudsisolering bör man planera för målvärden på R'_w enligt tabell 1. I olika specialfall kan dock avvikande värden väljas. Isoleringen kan exempelvis minskas när undervisningslokalen gränsar mot ett förråd eller annat tyst utrymme.

Tabell 1 Målvärden för luftljudsisolering, R'_w mellan undervisningsrum och andra rumskategorier. R'_w definieras i BBR94, kap 7.11.

Mellan undervisningsrum och:	Luftljudsisolering, R'_w (dB)
rum med krav på sekretess, talklinik, kurator, psykolog etc.	52
musik-, dramaundervisningsrum, samlingsal, fläktrum	60*
korridor	44 (35 för vägg med dörr)
undervisningsrum eller annat utrymme	48 40 för vägg med dörr (bör undvikas)

*Vid särskilt skydd mot lågfrekvent ljud (t.ex. basmusik, fläktbuller) rekommenderas $R'_w + C_{tr, 50-5000} \geq 60$ dB (se * i fördjupningsruta "reduktionstal"). Runt fläktrum kan det i vissa fall till och med vara motiverat att ställa krav i just de frekvenser som kommer att dominera bulleralstringen.

Praktiskt innebär målvärdena i tabell 1:

R'_w (dB)	normalt tal, kontorsmaskiner	högröstat samtal	skrik	högtalarljud, måttlig nivå	diskodunk
44					
48					
52*					
60					

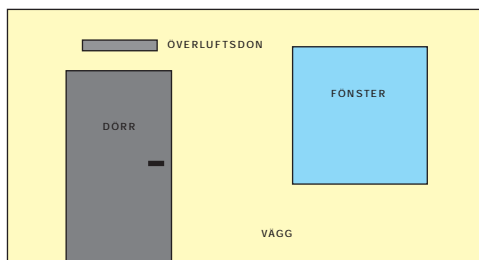
röd – hörs
grå – kan höras
vit – hörs inte

*Lämpligt ur sekretessynpunkt.

DÖRRAR För att underlätta val av dörr i vägg så kan ett standardiserat ljudklassningssystem för dörrar utnyttjas¹¹. Dörrklasserna i klassningssystemet är åtskilda i jämna 5 dB-steg. Den sämsta klassen i systemet är ljudklass 25 dB. Dörr kan i allmänhet väljas med en ljudklass som är 5 dB lägre än målvärdet.

Observera att mellan utrymmen som inbördes inte är underställda ett ljudkrav så kan man, om inget annat styr dörrvalet, välja en enkel och billig, oklassad dörr.

SAMMANSATT KONSTRUKTION



Vägg sammansatt av flera byggdelar.

Målvärden för luftljudsisolering enligt tabell 1 avser skiljeytter som antingen består av en enda byggdel (t.ex. en hel gipsvägg) eller är sammansatt av flera byggdelar (t.ex. en murad vägg med dörr, överluftsdon och fönster), se figur.

Om en skiljeyta består av en enda byggdel så ska denna ha det reduktionstal som anges i tabell 1. Om enbart laboratorievärdet, R_w , är angivet för byggdelen bör detta värde vara 3 – 5 dB högre än kravet i tabell 1.

Om en vägg är sammansatt av flera byggdelar så är det alltid den svagare delen, t.ex. en dörr eller ett fönster, som sätter en övre gräns för vilket reduktionstal, R_w , som kan uppnås. Ju större den "svagare" delen är i förhållande till väggens totala yta ju mer närmar sig det resulterande reduktionstalet det för den "svagare" delen. Om man önskar en dörr- eller fönsteröppning i en vägg eller om det är nödvändigt med någon form av genomföringsenhet i väggen samtidigt som reduktionstalet, R_w , ska vara oförändrat så måste detta beaktas vid dimensioneringen av väggen. Som exempel kan nämnas att en dörröppning i en vägg med krav $R_w = 48$ dB kan kräva en dörrsluss med två stycken dörrar för att inte sänka ljudisoleringen.

Glaspartier bör, om de upptar en stor andel av den totala väggytan, dimensioneras så att samma reduktionstal som för väggen erhålles. Detta kan klaras med två tunga enkelglas eller laminatglas med stor luftspalt. Alternativt används ett enkelglas och en s.k. isolerruta. Glastjocklek och luftspalt skall därvid dimensioneras för varje väggtyp.

VIKVÄGGAR Det kan vara praktiskt att använda vikkväggar för att på det sättet utnyttja lokalerna på ett mer flexibelt sätt¹². För att uppnå det reduktionstal som en tillverkare redovisar är det efter montering viktigt att väggarna sluter tätt överallt och att väggelementen kommer i rätt läge när väggen är stängd samt att lister och liknande inte skadats. Om underhållet blir eftersatt kan en försämring ofta märkas efter några års användning. Extra dörr i vikkvägg bör undvikas. Observera att flankerande konstruktioner även här kan påverka ljudisoleringen negativt. Detta är särskilt påtagligt när undertak och/eller övergolv (t.ex. parkett) passerar obrutna förbi väggen.

UTFÖRANDE Reduktionstal och anvisningar om utförande för olika produkter anges som regel av respektive tillverkare på marknaden, exempelvis^{13,14}. Utförandet är mycket viktigt för att uppnå de ljudprestanda som anges av tillverkarna. Om det finns genomföringar i t.ex. en vägg så måste tätningar mot dessa göras noggrant. Även mycket små springor och öppningar kan försämra ljudisoleringen

avsevärt hos en i övrigt bra väggkonstruktion. Dörrkarmar till ljudklassade dörrar måste tätas noggrant mot väggöppning och under trösklar. Till ljudklassade dörrar finns speciella monteringsanvisningar vilka måste följas för att dörren ska bli riktigt justerad så att dörrbladet hänger rakt och passar bra i karmen. I uppreglade lättväggar ska väggöppning för ljudklassade dörrar vara försedd med särskilda förstärkningsreglar. Vidare kan eldosor, kanaler etc. i väggkonstruktioner försämra ljudisoleringen drastiskt om de inte monteras rätt.

Luftljudsisolering i fasad

En fasadkonstruktion är ofta sammansatt av flera byggdelar, t.ex. vägg med fönster och eventuella friskluftsventiler. Den resulterande ljudisoleringen bestäms av de olika byggdelarnas egenskaper och ytor. Fönster, som i en undervisningslokal kan uppta stor del av fasadytan, och eventuella friskluftsventiler begränsar ofta fasadens reduktionstal. Val av fönster och friskluftsventiler i fasader exponerade mot en trafikerad väg måste därför ägnas särskild uppmärksamhet (se vidare fördjupningsruta nedan).

Erforderligt resulterande reduktionstal skall beräknas så att trafikbullernivåerna i rummet inte överskrider målvärdet, se tabell 2. Som tidigare nämnts kan kravet på fasaden minskas om utrymmen som inte är bullerkänsliga kan förläggas mellan fasaden och mer ljudkänsliga lokaler.

Tabell 2 Målvärde för dygnsekvivalent ljudtrycksnivå i olika skollokaler från trafik.

Rum	Högsta ljudtrycksnivå (dB)
Undervisningsrum för klass eller grupp	$L_A = 30$
Grupprum, bibliotek, personalrum, kontor, talklinik, kurator, hälsovård etc.	$L_A = 35$

VAL AV LJUDISOLERING HOS FÖNSTER^{11,16}

För att kunna bestämma erforderlig ljudisolering hos ett fönster vid projekteringen av en byggnad måste följande parametrar vara kända:

- A-vägd ljudtrycksnivå utanför fasaden
- Önskad A-vägd ljudtrycksnivå i rummet enligt tabell 2 ovan

Fönster kan därefter väljas med hjälp av ljudklassningstabell för fönster, se nästa sida.

Ljudklass i dB för fönster

Krav på A-vägd ljudtrycksnivå inne (dB)	A-vägd ljudtrycksnivå ute (dB), frifältsvärde *							
	54	59	64	69	74	79	84	89
30	25	30	35	40	45	50		
35		25	30	35	40	45	50	
40			25	30	35	40	45	50

Tabell 3

Tabellens värden förutsätter att fasadens reduktionstal $R_{w,fasad}$ är betydligt bättre än fönstrets reduktionstal $R_{w,fönster}$ ($R_{w,fasad} - R_{w,fönster} \geq 6$ dB). Fasadens ljudisolering får därvid inte försämrats av ventiler och andra genomföringsenheter. Det antas också att rummet är normalt möblerat samt att fönsterarean, $S_{fönster}$ är 2 m² per 10 m² ljudabsorptionsarea, A . Ljudabsorptionsarean beräknas enligt Sabines formel:

$$A = 0.16 \frac{V}{T}$$

V = rummets volym i m³

T = 0.6 s (enligt tabell 7, sid 65)

*Frifältsvärdet kan beräknas eller mätas:

Beräkning av frifältsvärdet görs enligt den s.k. nordiska beräkningsmodellen för trafikbuller²³. Beräkningen baseras på aktuella trafikflöden för angränsande gator och vägar och på byggnadens läge i förhållande till dessa. Uppgifter om trafikflöden kan vanligen lämnas av vägghållaren som kan vara kommunen eller vägverket.

Mätning kan antingen göras direkt i frifält (långt från reflekterande ytor) eller framför fasaden; 2 m framför eller tätt intill. Mätning 2 m framför fasaden ger 3 dB högre värde än frifältsvärdet $L_{A,ute,frifält}$ medan mätning tätt intill ger 6 dB högre värde. I dessa fall måste 3 resp. 6 dB dras ifrån de uppmätta värdena för att få $L_{A,ute,frifält}$.

Om fönstrets ljudisolering anges med annat värde än ljudklassen kan omräkning göras enligt nedanstående omvandlingstabell.

Omvandlingstabell

Klass (dB)	R_w (dB)	$R_{A,tr}$ (dB)	ΔL_A (dB)
25	27	22	26
30	33	28	32
35	38	33	37
40	43	38	42
45	48	43	47
50	53	48	52

Tabell 4

där

R_w = fönstrets vägda reduktionstal i laboratorium.

$R_{A,tr}$ = fönstrets vägda reduktionstal för trafikbuller i laboratorium. Detta värde motsvarar $R_w + C_{tr}$ enligt ISO/DIS 717 -1 (se * i fördjupningsruta "reduktionstal").

ΔL_A = ljudnivåskillnad ute - inne när utevärdet är mätt 2 m framför fasaden.

UTFÖRANDE Även i fasad är det naturligtvis mycket viktigt att otät- heter undviks mot genomföringar, fönsterkarmar och dörrkarmar.

Stegljudsisolering mellan rum

Som ett ensiffermätt på stegljudsisolering används det standardise- rade begreppet vägd normaliserad stegljudsnivå som anges i decibel (dB). Vägd normaliserad stegljudsnivå betecknas med $L_{n,w}$ om det är laboratorievärden som avses respektive med $L'_{n,w}$ om det är vär- den i färdig byggnad som avses. Ju lägre värde på stegljudsnivån desto bättre stegljudsisolering.

Man skiljer på laboratorievärden respektive värden i färdig byggnad av samma skäl som anfördes för luftljudsisolering. Se också figur 1.

STEGLJUDSNIVÅ

Vid mätning av normaliserad stegljudsnivå L_n (i byggnad L'_n) bestäms ljudtrycksnivån i ett angränsande utrymme när en standardiserad steg- ljudsapparat bankar på ett golv (bjälklag). Till detta värde läggs en kor- rektionsterm i vilken mottagarummets absorptionsyta ingår. Eftersom stegljudsnivån, precis som reduktionstalet, är olika för olika frekvenser måste man även här mäta i minst 16 olika standardiserade frekvensband inom frekvensområdet 100 – 3 150 Hz. Resultatet kan sedan presenteras som en stegljudsnivåkurva.

Utifrån stegljudsnivåkurvan kan man sedan, på ett likartat sätt som för reduktionstal, bestämma den vägda normaliserade stegljudsnivån, $L_{n,w}$ eller $L'_{n,w}$, enligt SS – ISO 717/2*.

* Denna standard är, liksom motsvarande standard för luftljudsisolering, på väg att revideras. Den reviderade versionen finns för närvarande som s.k. DIS (Draft International Standard). I den nya standarden kommer bland annat att finnas möjlighet att formulera krav i ett utvidgat frekvensområde, nämligen 50-3 150 Hz. Kravet formuleras då med hjälp av en anpassningsterm, $C_{1,x-x'}$, där $x - x'$ beskriver vilket frekvensområde som avses. Ett krav kan då exempelvis formu- leras som $L'_{n,w} + C_{1,50-2500} = Y$ där Y är aktuell kravnivå. Standarden kommer att ersätta nuvarande SS – ISO 717/2 sannolikt under 1996.

För att åstadkomma ändamålsenlig stegljudsisolering bör man planera för målvärden enligt tabell 5.

Tabell 5 Målvärde på stegljudsnivå, $L'_{n,w}$, i skollokaler definierat i BBR94, 7.11.

Rum	Stegljudsnivå, $L'_{n,w}$ (dB)*
Undervisningsrum för klass eller grupp och andra skollokaler	64

*För att vid lätta bjälklag få ett bättre skydd mot låga frekvenser kan målvärdet $L'_{n,w} + C_{1,50-2500} \leq 64$ dB användas (se * fördjupningsruta "Stegljudsnivå").

GOLV OCH GOLVBELÄGGNINGAR Tunga bjälklag (t.ex. betong) kla- rar normalt målvärdet om de förses med golvbeläggningar som ger mer än 15 dB sänkning av stegljudsnivån. Detta motsvarar minst klass 6 enligt ett för mattor standardiserat klassningssystem¹⁷. Golv- beläggningarna inverkar också på det ljud som uppstår i lokalen ex-empelvis vid flyttning av stolar och när man går över golvet. Hårda

beläggningar medför vanligen kraftigare ljudalstring än mjuka. Det kan därför vara befogat att välja mjukare golvbeläggningar både med tanke på det ljud som uppstår i lokalen och med tanke på stegljud till intilliggande lokaler.

Genom lätta bjälklag, t.ex. träbjälklag, kan lågfrekvent ljud (dun-sar) höras tydligt även om målvärdet är uppfyllt. Vid ombyggnad av äldre hus med träbjälklag, eller andra lätta bjälklag, är det ofta nödvändigt att planera så att fritidsverksamhet inte förläggs ovanför eller i direkt anslutning till lektionssal. Om man av någon anledning måste utnyttja sådana utrymmen för detta ändamål bör man utföra en s.k. flytande golvkonstruktion med mycket god stegljudsisolering (lågt värde på $L'_{n,w} + C_{I,50-2500}$) eller ett elastiskt upphängt tungt undertak. Gymnastiksal eller träslöjdsal bör inte placeras ovanför lektionssal, expedition eller annat arbetsrum även om byggnadens bjälklag är tunga.

TRAPPOR Trappor, avsatser och liknande bör läggas upp på elastiska mellanlägg för att minimera ljudöverföringen från trappa/avsats till stomme. Trappräcken bör därvid fästas i trappan eller i elastiska infästningar i väggen.

ÖVRIGT Man bör vara uppmärksam på att parkett på underlagsmatta kan ge en viss försämring av luftljudsisoleringen. Denna försämring kan mätas upp i samband med att stegljudsklassen kontrollmäts för produkten.

UTFÖRANDE Pågjutningar på äldre betongbjälklag måste alltid ha god vidhäftning, annars uppstår lätt onödigt störande ljud på grund av de håligheter som uppstår. När man utför flytande golvkonstruktioner (t.ex. träplattor som limmas samman och läggs på elastiska mellanlägg på "råbjälklaget") för att på det sättet uppnå särskilt god ljudisolering är det viktigt att övergolvet inte har någon mekanisk kontakt med "råbjälklaget". Detta fordrar ofta jämn yta på "råbjälklaget". Golvbeläggningar skall alltid läggas enligt tillverkarens anvisningar.

Installationsbuller

Buller från installationer, t.ex. ventilations- och kylanläggningar, är ett stort problem i skolbyggnader och kan störa undervisningen på ett sätt som inte kan accepteras. Vanligt är att vibrationer från exempelvis fläktar, hissar, motorer och kompressorer överförs till byggnadsstommen i vilken de fortplantas som s.k. stomljud till omgivande lokaler där det senare "strålar ut" som buller. Buller från ventilationsanläggningar alstras också i fläktar, i tvära kanalkrökar,

i spjäll och don. Bulleralstringen ökar med ökande lufthastighet i systemet.

För att minimera bullerstörningar från installationer i ett undervisningsrum bör man planera för målvärden enligt tabell 6.

Tabell 6 Målvärden för bullernivåer från installationer i skollokaler, definierade i BBR94, kap 7.12.

Rum	Högsta ljudtrycksnivå (dB)
Undervisningsrum för klass eller grupp	$L_A = 30$ $L_{A,max} = 35$ $L_C = 50$
Grupprum, bibliotek, personalrum, kontor, talklinik, kurator, hälsovård etc.	$L_A = 35$

ANM. Bjälklag, väggar etc. runt maskin- eller fläktrum bör dimensioneras så att ljudnivån hamnar minst 8 dB(A) under totalkravet. För buller som innehåller rena toner rekommenderas att L_A - värdet i tabellen minskas med 5 dB.

SAMMANLAGD LJUDNIVÅ Även om målvärdena på högsta ljudtrycksnivå från trafik och målvärdena för buller från installationer är uppfyllda så kan bullret i ogynnsamma fall samverka så att den sammanlagda ljudtrycksnivån överskrider respektive delkrav med upp till 3 dB. I dessa fall bör någon av bullerkällorna dämpas något så att den totala ljudnivån inte överskrider $L_A = 30$ dB.

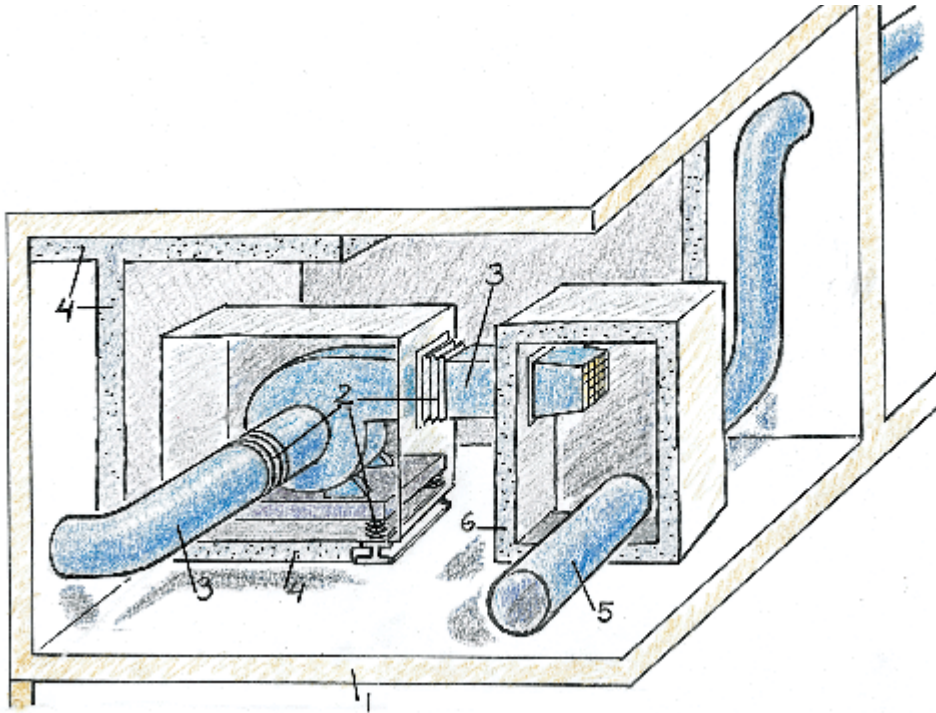
UTFÖRANDE För att undvika kostsamma kompletteringar i bruksskedet är det viktigt att vid upphandling och projektering ställa krav på att maskiner blir utförda och uppställda så att de inte överför vibrationer till byggnadsstommen. Vidare är det viktigt att eftersträva hög verkningsgrad hos ventilationssystemet bland annat genom rätt val av fläkt och en kanaldragning som ger jämn luftströmning och låga lufthastigheter. Detta bidrar till att minska bulleralstringen. Bra lösningar ger låga driftskostnader vilket ger en god totalekonomi.

PRAKTISKA LÖSNINGAR

Några viktiga punkter för att finna bra lösningar kan vara^{18,30}:
(Siffrorna i texten är hänvisningar till figur 2.)

- Golvet (bjälklaget) (1) i ett maskin- eller fläktrum bör vara tungt och styvt (t.ex. betong), och eventuella balkar ska dimensioneras för att kunna ta upp även dynamiska krafter från de maskiner som finns i rummet. Externa fläktrum på yttertak måste placeras med särskild hänsyn till underlaget.
- Rätt val av fläkt kan, med hänsyn till buller, vara att välja ett förhållandevis stort aggregat. Ett stort aggregat alstrar mindre ljud eftersom det inte behöver arbeta "lika hårt" som ett litet aggregat för att klara tryck och flöde. De ger dessutom större flexibilitet och högre verkningsgrad och därmed sannolikt lägre driftskostnader.

- För att minimera överföring av vibrationer ska maskiner vara uppställda på korrekt dimensionerade fjäderelement. Fläkt- och drivenhet i ventilationsaggregat skall vara isolerade från aggregatets ramverk med mjuka gummi- eller stålisolatorer (2). Anslutningarna till kanalerna ska göras med mjuka "stosar" som lätt kan ta upp rörelser (3). Kylrör och elkablar ansluts med elastisk slinga. Vidare ska fläkt och motor vara riktigt balanserade. Obalanser, skeva lagringar eller ojämn gång ger extra ljudstörningar samt ökat slitage.

Fig. 2 *Fläktrum*

- Ett fläktaggregat bör alltid placeras så att det är inspekterbart från alla håll samt så att det vid behov går att montera externa vibrationsisolatorer.
- Luftströmningen på fläktens in- och utloppssidor ska vara jämn, vilket innebär att skarpa kanalböjar ska undvikas nära fläkten. Fläktrummet bör därför ha sådana dimensioner att det medger raka kanaler i anslutning till fläkten (3).
- Fläktens utloppssida (och vid behov även inloppssidan) ska vara försedd med en riktigt dimensionerad ljuddämpare. Denna kan vara av typen expansionskammare (6) eller en s.k. baffelljuddämpare. Fläktrummet måste därför dimensioneras så att det finns utrymme att installera ljuddämpare.
- Fläktrum bör förses med 100 mm mineralullsskivor på en total yta motsvarande 75 % av takytan. Absorbenterna placeras i taket nära aggregatet och på de ena av två motstående väggar (på en lång- och en kortvägg). Under aggregatet placeras med fördel dessutom lösa skivor av tung mineralull, inkapslad antingen i väv eller armerad porös färg, i hela mellanrummet (4).
- Ofta är det en fördel att använda runda kanaler eftersom de i normala fall inte behöver extra ljudisolering (5)²². För stora dimensioner och vid

höga ljudkrav kan de dock behöva ljudisoleras (t.ex. kläs in med gipsskivor). Rektangulära kanaler är sämre och ger ofta störningar in i rum genom direktöverföring av ljud genom kanalväggarna. Störningarna kan dock begränsas genom att klä in eller bygga in kanalerna med gipsskivor och/eller tunga mineralullsplattor. Vidare bör man i möjligaste mån dra kanaler i utrymmen som inte är känsliga för ljud, t.ex. korridorer.

- Kanaler som dras mellan två rum som inbördes är underställt ett ljudisoleringskrav får inte försämra ljudisoleringen mellan rummen. För att undvika sådan överhörning kan kanalerna behöva kompletteras med ljuddämpare.
- För att ge extra absorption vid låga frekvenser kan tryck- och fördelningslådor kläs invändigt med tjock mineralull (6). Materialet skall då förses med rensbart ytskydd.
- Luftdon och reglerspjäll skall väljas så att gällande ljudkrav klaras med aktuella luftflöden. För att klara detta skall man tänka på följande:
 - Håll nere lufthastigheten i systemet.
 - Välj spjäll och don med låg egen ljudalstring (se produktblad).
 - Placera inte don och spjäll direkt efter kanalböjar.
 - Placera inte don nära spjäll.
 - Justera anläggningen för minsta möjliga tryckfall över don och spjäll.
 - Komplettera vid behov med en riktigt dimensionerad ljuddämpare mellan spjäll och don.
- Stora lågimpulsdon placerade i hörn ger sämre ljuddämpning vid låga frekvenser än små don som står mitt på vägg eller mynnar fritt. Detta kan dock motverkas med en riktigt dimensionerad ljuddämpare och/eller rätt val av aggregat och driftspunkt för detta.
- Val av rumsaggregat innebär att hela systemet, motor såväl som fläkt, befinner sig inne i undervisningslokalen. Det är därför särskilt viktigt att i dessa fall noggrant kontrollera (genom mätning) att deklarerade bullervärden inte kommer att överstiga de krav som ställs i den färdiga undervisningslokalen.
- För att inte bullernivån skall öka med tiden krävs att ventilationsanläggningen underhålls. Förhöjd bullernivå kan orsakas av:
 - Igensatta filter
 - Smuts i don och kanaler
 - Slitna lager och remmar
 - Läckage
 - Felställda spjäll och don
 - Åldrade vibrationsisolatorer

Rumsakustik

Rumsakustiken beskriver hur ljudet reflekteras och absorberas i ett rum. När en lärare talar nås eleverna dels av direktljud från lärarens mun dels av reflekterat ljud via rummets begränsningsytor och inredning. Direktljudet är viktigt för taluppfattbarheten och får inte skämmas. Tidiga reflexer av ljudet (t.ex. reflexer via en skrivtavla, sidväggar eller tak) ger "rumsintryck" och hjälper till att förstärka och förtydliga talet. Dessa reflexer är särskilt viktiga för platserna i bakre delen av ett rum där direktljudet är dämpat och delvis skärrat, t.ex. när läraren är vänd mot skrivtavlan. Sena reflexer eller efterklang

kan, om efterklangen blir påtaglig, försämra taluppfattbarheten eftersom ljudet är alltför fördröjt när det når åhörarens öron. Vissa äldre, stora järnvägs- och flygplatsterminaler är exempel på rum där efterklangen gör det svårt att överhuvudtaget uppfatta vad som sägs. Man hör bara att det sägs något.

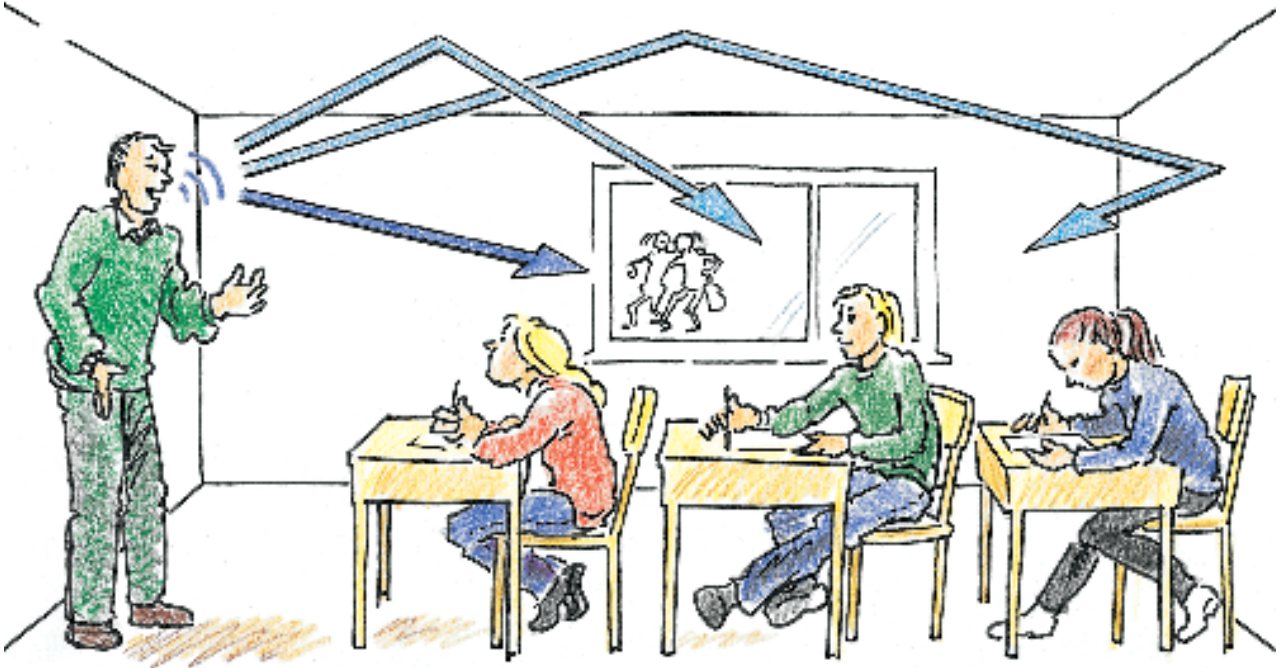


Fig. 3 Exempel på direktljud och reflexer.

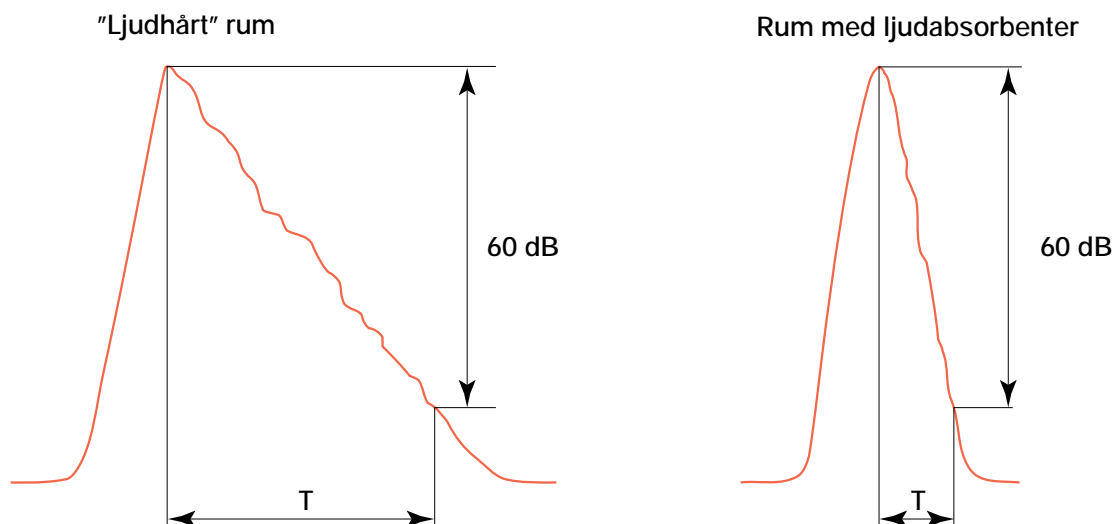
Rumsformen är väsentlig. Breda och stora rum (t.ex. skolor eller fritt möblerade s.k. landskap) försvårar uppfattningen av direktljudet för dem som sitter på främre sidoplatser, eftersom ljudet från föreläsarens mun inte innehåller lika mycket diskant (höga frekvenser) snett ut åt sidan som rakt fram. Om läraren talar från ett hörn (istället för att vara mitt i rummet) vänd mot åhörarna förbättras både direktljudet och de tidiga reflexerna markant. Följaktligen kan det ur akustisk synvinkel vara lämpligt att placera OH-projektor, kateder och skrivtavla nära rummets hörn istället för på mitten.

Efterklangstid

Efterklangstiden måste regleras med extra så kallade ljudabsorbenter, t.ex. i form av skivor i taket, skärmar mellan arbetsytor eller kraftiga gardiner. Målvärdet i tabell 7 avser efterklangstid vilket definieras som den tid det tar för ljudtrycksnivån att sjunka 60 dB från det att ljudkällan stängs av, se figur på nästa sida. Efterklangstiden (T) är

ett mått på hur mycket ljudabsorberande yta som finns i rummet i förhållande till dess volym. Ju större den ljudabsorberande ytan är desto kortare efterklangstid. I ett normalmöblerat bostadsrum är efterklangstiden cirka 0,5 sekunder medan den i en kyrka kan vara över 10 sekunder. Efterklangstider kan både beräknas och mätas med tillräcklig noggrannhet.

Fig. 4 Efterklangstid.



Tabell 7 Målvärde för längsta efterklangstid i undervisningsrum.

Rum	Efterklangstid (s)
Undervisningsrum för klass eller grupp	0.6*

*Avser medelvärdet av efterklangstiden i varje oktavband inom området 125 – 4000 Hz. Därtill gäller att maxavvikelse i oktavbanden inom 500 – 4 000 Hz inte bör överskrida [0.1 s] och i oktavbanden 125 och 250 Hz [0.15 s].

Rumsakustiska önskemål i ett undervisningsrum:

- Det är lätt att uppfatta vad läraren eller eleverna säger.
- Rummet är inte så dämpat att det känns som "att tala i en säck".
- Rummets efterklang innehåller inte ekon eller resonanser som ger föreläsaren konstig återföring respektive förvränger rösten.
- Det går att arbeta avskärmat i små grupper.
- Oundvikliga störmoment såsom viskningar och stolsskrap förstärks inte.

Önskemålen är delvis motstridiga. Mycket absorption i ett rum minskar bullret och förbättrar något för lyssnare nära talaren, men

gör det samtidigt mer ansträngande att tala i. I nästa avsnitt redovisas några absorberlösningar som är balanserade med hänsyn till målvärdet i tabell 7.

Som ett alternativ till krav på efterklangstid kan krav ställas på taluppfattbarheten med hjälp av ett s.k. RASTI-värde. Detta värde bestäms genom att en speciell testsignal sänds ut via en högtalare placerad exempelvis vid katedern. Signalen tas sedan emot av en mikrofon vid en bänkplats. Beroende på hur signalen har påverkats av ljudreflexer och bakgrundsbuller erhålls ett värde mellan 0 och 1 där 0 innebär mycket dålig och 1 mycket bra taluppfattbarhet. RASTI-värdena bör inte understiga 0,7 vid flertalet bänkplatser med källhögtalaren placerad på en eller flera normala lärarpositioner. Vid beräkning av RASTI-värden är det nödvändigt att använda kvalificerade datorprogram.

Ljudabsorbenter

Många saker kan fungera som ljudabsorbenter. Det kan vara särskilda produkter avsedda enbart för ljudabsorption eller exempelvis gardiner, skärmar, stoppade möbler och människor. Ett materials förmåga att absorbera ljud kan beskrivas med hjälp av absorptionsfaktorn α . α kan variera mellan 0 och 1 där 0 innebär att allt ljud som faller in mot en yta reflekteras och 1 innebär att allt ljud absorberas, dvs. inget ljud reflekteras. Hårda och täta väggar (t.ex. betong) reflekterar det mesta av ljudet, dvs. $\alpha \approx 0$, medan tjocka skikt av porösa material kan ha en absorptionsfaktor nära 1. α varierar också med frekvensen men dessa frekvensberoende värden vägs ofta ihop till ett sammanfattningsvärde α_w , enligt en standardiserad metod vilket underlättar val av absorbent för olika tillämpningar.

α_w kan vidare utnyttjas för att dela in ljudabsorbenter i olika klasser, också detta enligt en standardiserad metod. Denna klassning, se tabell nästa sida, är ett sätt att ytterligare underlätta val av material i t.ex. undertak. I produktkataloger^{19,20,21} finns ofta uppgifter om i vilken klass en viss absorbent inordnas och i vilket sammanhang den är lämplig för användning.

Avståndet mellan absorbent och bjälklag (hård yta) inverkar på ljudabsorptionen. Ju större luftutrymme är bakom absorbenten ju bättre blir absorptionen vid låga frekvenser. Bra absorption, dvs. kort efterklangstid, vid låga frekvenser är väsentlig för möjligheten att uppfatta tal. Det beror på att lågfrekventa störningsljud maskerar ljud med högre frekvens. Tunna skivor (mindre än 25 mm) av mineralull som monteras direkt mot ytan bakom, t.ex. ett hårt tak, ger ofta otillräcklig absorption för låga frekvenser. Om man exempelvis av utrymmesskäl inte har plats med luftutrymme bakom absorbenten så finns särskilda produkter som kan användas i dessa fall.

Tabell 8 Gränser för olika absorptionsklasser enligt SS 02 52 60.

Ljudabsorptionsklass	Krav
A	$w = 0.9 - 1.0$
B	$w = 0.8$
C	$w = 0.6 - 0.7$
D	$w = 0.3 - 0.5$
Oklassad	$w < 0.3$

Behov i olika lokaliteter

För rum där behovet av reflekterat ljud är litet, exempelvis korridorer och mindre grupprum räcker det att välja en produkt med ledning av w - värdet och krav på efterklangstid. Beräknat absorbentbehov i sådana rum redovisas i tabell 9.

Tabell 9 Absorbentbehov i enkla lokaler.

Rum	Absorbentbehov i % takyta
Grupprum, bibliotek, personalrum, uppehållsrum, terminalsalar etc.	90 % klass B
Korridor, trapphus	60 - 90 % klass B
Kontor, vilrum, talklinik, kurator, hälsovårdsrum etc.	40 % klass B

För undervisningslokaler där lärare och elever behöver kommunicera över större avstånd måste reflekterat ljud utnyttjas. Det kan då vara nödvändigt att göra en noggrannare planering för att klara de akustiska kraven.

Absorbenter måste utformas och placeras med hänsyn till rumsstorlek, rumsform och arbetsformer. I Figur 5 visas exempel på lämplig placering av absorbenter i undervisningsrum med traditionell möblering, dvs. då bänkar är jämnt fördelade och katedern är placerad framför väggen med skrivtavla. Om möblering och arbetsätt inte stämmer med detta traditionella möblerings- och arbetsätt kan det vara nödvändigt att placera absorbenterna annorlunda för att det skall fungera tillfredsställande.

Några grundprinciper som kan sägas gälla generellt i stora undervisningsrum är (se figur 5):

- Att takets mitt utförs helt eller delvis ljudreflekterande.
- Att takets kanter utförs ljudabsorberande.

- Att väggarna utförs ljuddiffuserande, dvs. så att de sprider ljudet i olika riktningar. Detta kan åstadkommas med hjälp av nischer, hyllor och skåp längs väggarna.



Fig. 5 Exempel på placering av absorbenter i tak.

Absorbenter i taket längs väggarna (eller på väggarnas övre del), speciellt i rummets bakre del, är alltid gynnsamt om rummet används för grupparbeten med arbetsbord utmed väggarna. Så kallade diagonalabsorbenter, se figur nedan, är mer effektiva än absorbenter som monteras parallellt med de hårda ytorna och med luftspalt. En god tumregel är att cirka 16 m² diagonalabsorbent ger samma effekt som 20 m² skivor i ett vanligt undertak med luftspalt.



Fig. 6 Exempel på montage av diagonalabsorbenter.

Om bänkarna i stället ställs upp i U-form eller gruppvis i rummet kan det vara en fördel att även takets mitt förses med absorbenter som har en viss grundabsorption vid lägre frekvenser men som ändå reflekterar de mer högfrekventa talljuden. Exempel på sådana basabsorbenter är slitsade gipsskivor eller perforerad plåt med en särskild akustikfilt eller specialbehandlade inkapslade mineralullsskivor.

När undervisningslokalen används för flera ändamål och därmed skall medge flexibel möblering är en lämplig kompromiss att använda dessa delvis reflekterande absorbenter på hela takytan. Likaså om takytan är ojämn till exempel lutar i sidled eller bryts upp av tvärgående balkar.

Möbler och inredning

Möbler kan avge mycket ljud, exempelvis när en elev drar en stol eller stänger ett bänkklock. Välj därför stabila möbler försedda med mjuka tassar. Mjuka mellanlägg är alltid bra att montera mellan ytor som inbördes ofta utsätts för slag eller skrap.

Uppställning av arbetsbord/bänkar i traditionellt rutnät ger vissa akustiska fördelar eftersom arbetsborden ger en viss ljudspridande verkan (ljuddiffussion) Uppställning i U-form eller möblering med få stora bord minskar ljuddiffussionen. I dessa fall kan det vara bra att öka ljudspridningen med hyllor och skåp längs väggarna.

Vid upphandling och inköp av "overheadapparater", diaprojektorer, datorer och liknande ska man tänka på att välja maskiner som ger låga ljudnivåer.

Högtalare som används i undervisning bör placeras med tanke på bästa ljudåtergivning. Bäst placering är ofta i rummets övre hörn (vid skrivtavlevägg) vänd snett nedåt mot rummets mitt. Observera att även högtalarens kvalitet har stor betydelse för den slutliga ljudåtergivningen.

Handikappanpassning

Lagstiftningen i Sverige föreskriver en integrerad ungdomsskola. Det är därför viktigt att den akustiska miljön är sådan att även elever med hörselhandikapp kan tillgodogöra sig undervisningen. Även om angivna målvärden i de flesta fall uppfyller de hörselskadades krav kan i speciella fall kraven på isolering, ljudnivå och efterklangstid behöva ställas högre.

Långa efterklangstider vid låga frekvenser försämrar möjligheten att uppfatta tal. Det beror på att lågfrekventa störningsljud maskerar de mer högfrekventa talljuden. Hörselskadade har större problem med detta än normalhörande. Vid anpassning av miljön till hörselskadade är det därför viktigt med akustiska åtgärder som ger bra ab-

sorption (och därmed kortare efterklangstid) i lågfrekvensområdet (se avsnittet om ljudabsorbenter). För lokaler där lärare och elever behöver kommunicera över större avstånd är det som tidigare nämnts också viktigt att ljudabsorbenter utförs och placeras så att de tidiga reflexerna tas tillvara för att förstärka talet och ge bra taluppfattbarhet även i lokalens bakre del.

Golvbeläggningen har stor betydelse för uppkomsten av störande bakgrundsljud exempelvis från fotsteg och stolar som flyttas. Hårda beläggningar medför vanligen kraftigare ljudalstring än mjuka. Eftersom hörselskadade är mer störda av bakgrundsbuller än normalhörande är valet av golvbeläggning viktigt vid anpassning av miljön. Uppgifter om golvmaterialens egenskaper kan normalt fås från tillverkarna av dessa.

Speciella krav måste ställas på lokaler där hörselskadade ska följa undervisningen med hjälp av teleslingor²⁸. För att en teleslinga ska fungera krävs att de elektromagnetiska bakgrundsstörningarna inte överstiger en viss fältstyrka. Det innebär att man i ett tidigt skede i planeringen måste ta hänsyn till hur de elektriska installationerna ska utföras och var maskiner och anläggningar som alstrar elektromagnetiska fält placeras.

Kontrollmätningar enligt standarder

Kontrollmätning är det enda säkra sättet att verifiera om föreskrivna ljudkrav är uppfyllda. Kontrollmätningar utförs enligt gällande standarder. Aktuella standarder kan rekvireras från Standardiseringskommissionen i Sverige, SIS.

Det är inte rimligt att kontrollmäta alla rum i en byggnad. En bra avvägning kan vara att kontrollmäta i minst 10 % av undervisningsrummen i en skolbyggnad, dock i minst tre undervisningsrum.

- Luft- och stegljudsisolering kontrollmäts enligt SS 02 52 54. Denna standard motsvarar i detta fall de internationella standarderna ISO 140 - 4 respektive ISO 140 - 7.
- Ljudnivåer kontrollmäts enligt SS 02 52 63 och då helst i möblerade rum med absorbenter monterade. Om detta inte är möjligt utförs en schablonmässig korrektion för annan absorption enligt SS 02 52 63 bilaga A punkt A3. Om krav på C-vägd ljudtrycksnivå (L_C) finns för aktuellt undervisningsrum så skall även denna nivå mätas, samtidigt som den A-vägda ljudtrycksnivån (L_A), i tillägg till standarden. Minst en mätplats skall då väljas 1.2 m över golv vid en elevplats belägen intill ett ventilationsdon och

en mätplats skall väljas i ett hörn enligt figur 1 i SS 02 52 63, punkt 6.1.1. Välj om möjligt ett hörn som inte ligger nära skåp, fönster eller dörr. Samtliga lokaler med fläktaggregat bör mätas.

- Efterklangstider i rum kontrollmäts enligt SS 02 52 64.
- RASTI mäts enligt standard IEC 268 – 16, 1988.

Några sammanfattande råd

Tänk på att

- ✓ ta hänsyn till buller från omgivningen exempelvis trafikbuller vid lokalisering av skolbyggnader och placering av bullerkänsliga utrymmen inom byggnaden.
- ✓ planera så att bullrande installationer och verksamheter inte placeras i direkt anslutning till ljudkänsliga utrymmen som lek-tionssalar, expeditioner och andra arbetsrum.
- ✓ inför en ombyggnad kontrollera om befintliga konstruktioner uppfyller uppställda målvärden. Om inte, måste kompletterande åtgärder vidtas.
- ✓ vibrerande aggregat måste ställas upp på korrekt dimensionerade fjäderelement och på ett underlag med tillräckligt stor styvhet och massa.
- ✓ fläktrum måste ha tillräckligt stora dimensioner så att plats finns för ljuddämpare samt för raka kanalanslutningar till fläkten.
- ✓ ett ventilationssystem med hög verkningsgrad dimensionerat för jämn luftströmning och låga lufthastigheter ger mindre buller och bidrar till lägre driftskostnader.
- ✓ planera för ett kontinuerligt underhåll av maskiner och installationer för att undvika att bullret ökar med tiden.
- ✓ vägg- och golvkonstruktioner, dörrar, fönster och ventiler ska vara rätt dimensionerade och utförda så att uppställda ljudkrav på trafik- och installationsbuller samt luft- och stegljudsisolering kan uppfyllas. Speciellt ska väggar till fläktrum och andra rum där lågfrekvent buller förekommer ha tillräcklig isolering vid låga frekvenser.

- ✓ undervisningslokalen ska vara försedd med rätt mängd och rätt sorts ljudabsorbenter, placerade så att tidiga ljudreflexer utnyttjas väl.
- ✓ välja möbler, golvbeläggning och apparater i lärosalen så att de avger så lite buller som möjligt.
- ✓ kontrollmätningar behövs för att verifiera att uppställda ljudkrav är uppfyllda.

Ordförklaringar

A-vägd ljudtrycksnivå, L_{pA} eller förenklat L_A

Vägt medeltal av ljudtrycksnivån inom det hörbara frekvensområdet mätt med vägningsfilter A. Anges i decibel (dB).

Absorptionsfaktor,

Förhållandet mellan den av ett material absorberade ljudeffekten och den mot materialet infallande ljudeffekten vid given frekvens och givna betingelser i övrigt. Värdet kan variera mellan 0 och 1 där 0 innebär att allt ljud som faller in mot ett material också reflekteras och 1 innebär att allt ljud absorberas i materialet dvs. inget ljud reflekteras.

Buller

Icke önskvärt ljud.

C-vägd ljudtrycksnivå, L_{pC} eller förenklat L_C

Vägt medeltal av ljudtrycksnivån inom det hörbara frekvensområdet mätt med vägningsfilter C. Anges i decibel (dB).

Decibel (dB)

Enhet för logaritmiska mått som exempelvis ljudtrycksnivå, reduktionstal och stegljudsnivå.

dB(A)

Enhet för ljudnivå mätt med vägningsfilter A.

dB(C)

Enhet för ljudnivå mätt med vägningsfilter C.

Efterklang

Kvardröjande ljudreflexer i ett rum som småningom tynar bort sedan ljudkällan upphört att verka.

Efterklangstid, T

Den tid det tar för ljudtrycksnivån att minska 60 dB efter det att en ljudkälla har stängts av. Varierar med frekvensen. Anges i sekunder (s).

Ekvivalent ljudtrycksnivå

Energibaserat tidsmedelvärde av ljudtrycksnivån för ljud vars styrka varierar med tiden.

Flankerande konstruktion

Konstruktion som ansluter till den aktuella konstruktionen.

Frekvens, f

Antal svängningsperioder per sekund. Anges i Hertz (Hz).

Isolator

Fjädrande element som sätts in mellan maskin och underlag för att begränsa överföring av vibrationer.

Ljudabsorbent

Material med förmåga att uppta ljudenergi. Minskar styrkan hos reflekterat ljud.

Ljudabsorption

Reducering av ljudenergin genom energiupptagning hos ett ämne.

Ljudnivå

Förkortat skrivsätt för (A- eller C-) vägd ljudtrycksnivå.

Ljudtryck, p

Skillnaden mellan momentana trycket i en punkt i ett ljudfält och det statiska trycket. (Storleken på tryckvariationerna hos ljudet.) Bestämmer ljudets styrka.

Ljudtrycksnivå, L_p eller förenklat L

Logaritmiskt mått på ljudets styrka baserat på ljudtrycket i förhållande till ett referensvärde ($2 \cdot 10^{-5}$ Pa). Anges i decibel (dB).

Luftljud

Ljud som från en ljudkälla avges till omgivningen via luften.

Luftljudsisolering

Minskning av luftljudsöverföring.

RASTI (RAPid Speech Transmission Index)

Objektivt mått på taluppfattbarheten i en lokal. Värdena kan ligga mellan 0 och 1 där 0 innebär mycket dålig och 1 mycket bra taluppfattbarhet.

Reduktionstal, R (i byggnad R')

Mått på luftljudsisolering. Skillnaden i ljudtrycksnivå mellan två rum när en ljudkälla placeras i det ena rummet; korrigeras för skiljekonstruktionens area och mottagarummets absorptionsarea. Betecknas med R om mätning utförts i laboratorium och R' om mätning utförts i färdig byggnad. Varierar med frekvensen. Anges i decibel (dB). Ju högre värde desto bättre luftljudsisolering.

Stegljud

Ljud som vid gång på bjälklag, trappa eller dylikt uppkommer i angränsande rum.

Stegljudsisolering

Minskning av stegljud.

Stegljudsnivå (normaliserad), L_n (i byggnad L'_n)

Mått på stegljudsisolering. Anger ljudtrycksnivån i ett visst rum när en standardiserad stegljudsapparat bankar på golvet i ett angränsande utrymme; korrigeras med hänsyn till mottagarummets absorptionsarea. Betecknas med L_n om mätning utförts i laboratorium och L'_n om mätning utförts i färdig byggnad. Varierar med frekvensen. Anges i decibel (dB). Ju lägre värde desto bättre stegljudsisolering.

Stomljud

Ljud som fortplantas via en byggnads stomme.

Vägd normaliserad stegljudsnivå, $L_{n,w}$ (i byggnad $L'_{n,w}$)

Ensiffermått på stegljudsisoleringen hos golvkonstruktioner för frekvenser mellan 100 och 3 150 Hz. Beräknas i förhållande till en viss referenskurva. Betecknas med $L_{n,w}$ om mätning

utförts i laboratorium och med $L'_{n,w}$ om mätning utförts i färdig byggnad. Anges i decibel (dB).

Vägningsfilter

Filter som anpassar mätinstrumentet till örats frekvensberoende känslighet. De två vanligaste filtren kallas A- och C-filtret. A-filtret ger stor dämpning vid låga frekvenser och liten dämpning vid höga frekvenser. C-filtret ger liten dämpning både vid låga och höga frekvenser.

Vägt reduktionstal, R_w (i byggnad R'_w)

Ensiffermätt på luftljudsisoleringen hos vägg- och golvkonstruktioner för frekvenser mellan 100 och 3150 Hz. Beräknas i förhållande till en viss referenskurva. Betecknas med R_w om mätning utförts i laboratorium och med R'_w om mätning utförts i färdig byggnad. Anges i decibel (dB).

Standarder

Standard	Titel	Ref till rubrik/sidnr
SS – ISO 717/1	Byggakustik – Värdering av ljudisolering i byggnader och av byggdelar – Del 1: Luftljudsisolering i byggnader och hos invändiga byggdelar	Luftljudsisolering mellan rum/53
SS – ISO 717/2	Byggakustik – Värdering av ljudisolering i byggnader och av byggdelar – Del 2: Stegljudsisolering i byggnader och hos invändiga byggdelar	Stegljudsisolering mellan rum/59
SS 81 73 06	Dörrar – Ljudisolering – Klassindelning	Luftljudsisolering mellan rum/55
SS 02 52 62	Byggakustik – Genomföringsenheter – Mätning av ljudisolering – Laboratorieprovning	Luftljudsisolering mellan rum/53
SS 92 35 51	Golvmaterial – Klassificering	Stegljudsisolering mellan rum/59
SS 02 52 60	Byggakustik – Ljudabsorbenter – Klassindelning	Ljudabsorbenter/66
SS 02 52 59	Byggakustik – Ljudabsorbenter – Värdering av mätresultat	Ljudabsorbenter/66
SS 02 52 54	Byggakustik – Mätning av ljudisolering i byggnader och hos byggnadselement – Internationell standards giltighet som svensk standard	Kontrollmätningar enligt standarder/70
SS 02 52 63	Byggakustik – Mätning av ljudnivå i rum – Fältprovning	Kontrollmätningar enligt standarder/70
SS 02 52 64	Byggakustik – Mätning av efterklangstid i rum – Fältprovning	Kontrollmätningar enligt standarder/70
SS – IEC 268, del 16	Sound system equipment – The objective rating of speech intelligibility in auditoria by the RASTI method	Kontrollmätningar enligt standarder/70
IEC 651	Sound level meters	Ljudstyrka/49, 50

Referenser

1. Crandell, C.C. Speech recognition in Noise by Children with minimal Degrees of Sensorineural Hearing Loss. Ear and Hearing Vol. 14 No. 3 1993. Williams & Wilkins Ed. USA.
2. Boverket BBR Byggregler 94. BFS 1993:57.
3. Kirzenstein, J. Rumsakustik i lyssningslokaler, särskilt i skolor. Rapport R23:1981. Byggforskningsrådet.
4. Kihlman, T. TA I. Kompendium i grundläggande teknisk akustik. TA II. Kompendium i byggnadsakustik. Chalmers Tekniska Högskola, avd. för teknisk akustik, Göteborg. Tredje upplagan 1985.
5. Ingemansson, S. och Elvhammar, H. Bullerbekämpning – Principer och tillämpning. Arbetarskyddsfonden 1977.
6. Det tysta huset. Cementa AB, JM Byggnads- och fastighets AB. Byggforskningsrådet T9:1991.
7. Landström, U. Arbetslivsinstitutet Umeå. Störande ljudeffekter, utvärdering, åtgärder. Prevab, Karlskrona 1991.
8. Gulliksson, H. m.fl. Innemiljöcentrum Växjö. Bra innemiljö i skolan. Byggforskningsrådet T26:1992.
9. Åkerlöf, L. Ljudguiden. Val av ljudkvalitet i byggnader. Byggforskningsrådet T12:1994.
10. Karlén, L. Akustik i rum och byggnader. AB Svensk Byggtjänst 1983.
11. Ottosson, B.; Bodlund, K. Val av ljudklassade byggnadsdelar. Golv, väggar, dörrar, fönster och undertak. Byggforskningsrådet T9:1990.
12. Andresen, G. Vägledning för val av ljudisoleringsprovade mobilväggar. Marknadsöversikt 1992. SP Swedish national testing and research institute. SP-INFO 1992:28.
13. Leca projekteringsanvisning 1994. AB Svensk Leca.
14. Gyproc Handbok 1991:2. Gyproc AB 1991.
15. Lydisolerende konstruksjoner. Anvisning 28. NBI Norges Byggeforskningsinstitut 1983.
16. Carlsson, C-A. Ljudisoleringstestade fönster. Marknadsöversikt 1989. SP Swedish national testing and research institute. SP-INFO 1992:15.

17. Stenhoff, A. Stegljudstestade golvbeläggningar för betongbjälklag. Marknadsöversikt 1992. SP Swedish national testing and research institute. SP-INFO 1992:15.
18. Billgren, G. m.fl. Lågfrekvent buller från ventilationsanläggningar. Tips om hur man undviker problem. KBS Byggnadsstyrelsen och Byggforskningsrådet T6:1993.
19. Undertak. Rockfon system och produkter för inredning. Produktkatalog. Rockwool Akustik och Interiör AB. Rekv. nr 496.
20. Undertak och inredningsakustik. Produktkatalog. Ecophon AB.
21. Produktkatalog. T-produkterna AB, Box 42013, 126 12 Stockholm.
22. Åkerlöf, L.; Larsson, P. Ljudisolering hos ventilationskanaler. Rapport R96:1990. Byggforskningsrådet.
23. Nordisk beräkningsmodell för trafikbuller. Naturvårdsverket PR 1979:1.
24. Sjö Dahl, E. Metoder för ljudisolering vid ombyggnad. Rapport R29:1992. Byggforskningsrådet.
25. Brådenmark, H. och Elvhammar, H. Hygienfrågor vid användning av ljudabsorbenter. Statens livsmedelsverk 1984. Beställs genom Livsmedelsbranschernas utbildningsorgan. Stockholm.
26. Plan och byggtermer 1994. Tekniska Nomenklaturcentralen. TNC 95.
27. Allmän akustik och elektroakustik. Akustisk ordlista. Svensk standard SEN 01 15 01.
28. Nordiska nämndens kravspecifikationer för installation av teleslingor.
29. Bygg Hörselvänligt. Hörselfrämjandets Riksförbund.
30. Björkman, K.; Blomqvist, S.; Nyman, H.; Thorselius, M. Råd om ljud i hus. SABO. Byggforskningsrådet.

Innehåll

Ljuskvalitet.....	81
Ljus och rumsutformning	82
Dagsljus	85
Dagsljusets betydelse	85
Dagsljusintag, fönsterutformning, dagsljusfaktor	86
<i>Storlek och antal 86, Orientering i väderstreck 87,</i>	
<i>Fönsterplacering 88, Utformning 89,</i>	
<i>Solavskärmning, mörkläggnings etc. 89</i>	
Belysning	91
Visuella och fotometriska begrepp.....	91
<i>Visuella begrepp 91, Fotometriska begrepp 91</i>	
Belysningens egenskaper	93
<i>Luminans, luminansfördelning och bländning 93,</i>	
<i>Ljusets riktning, kontrast och kontrastreduktion 95,</i>	
<i>Belysningsstyrka 96, Ljusets färgegenskaper 97,</i>	
<i>Flimmer, värme, ljud och UV-strålning 98</i>	
Belysningsprinciper	99
Undervisningslokaler – Exempel på lösningar	100
Standardlösning	102
Datorarbetsplatser	103
<i>Datorarbetsplatsens placering 103, Elbelysning 103</i>	
Belysning i korridorer	104
Handikappanpassning	106
Ljuskällor och ljusarmaturer	107
Ljuskällor	107
<i>Lysrör 108, Kompaktlysror och lysrörslampor 108,</i>	
<i>Glödlampor och halogenlampor 108</i>	
Ljusarmaturer	108
<i>Armaturens ljusegenskaper 109, Ekonomi, energi och underhåll 110,</i>	
<i>Produktkvalitet och utseende 110</i>	
Styrning, reglering och HF-drift	110
Energieffektiv belysning	112
Störningar EMF	112
Underhåll.....	113
Kontroll av belysning	113
Checklista för belysningskvalitet	114
Checklista för belysningsmätningar	116
Ordförklaringar	126
Referenser	132

FÖRKLARINGAR*

	<i>Fördjupning</i>
	<i>Målvärden</i>
<i>Röd...</i>	<i>Finns som motsvarande myndighetsföreskrifter</i>
<i>Lila...</i>	<i>Finns som allmänt råd till myndighetsföreskrifter</i>
<i>Svart...</i>	<i>Lämpliga mål</i>

(*Mer information under "Förklaringar", sid. 12)

Försättsblad till belysningsavsnitten i Att se, höra och andas i skolan

Handboken gavs ut 1996. Inom belysningsområdet har det hänt en del:

- Belysningsföreskrifterna i AFS 1991:8, Belysning, har ersatts av belysningsföreskrifterna i AFS 2000:42, Arbetsplatsens utformning.
- Inom standardiseringen har ett flertal belysningsstandarder arbetats fram och implementerats i Sverige. Bland annat SS-EN 12665:2002 Ljus och belysning – Grundläggande termer och kriterier vid specificering av belysningskrav och SS-EN 12464-1:2003 Ljus och belysning – Belysning av arbetsplatser- Del 1: Arbetsplatser inomhus.
- Ljuskulturs handbok från 1990 *Belysning inomhus. Rekommendationer och riktlinjer* har 2003 ersatts av *LJUS & RUM. Planeringsguide för belysning inomhus*.

Detta innebär att det i dag finns en svensk standard för olika begrepp, som inte fanns då handboken skrevs, liksom att det i dag finns en europeisk minimistandard för belysningsstyrkor och gränser för $R_{a-index}$ och UGR –värden som inte får understigas respektive överstigas.

De värden som anges i standarden för medelbelysningsstyrkan för varje arbetsuppgift avviker inte på något avgörande sätt från de målvärden som anges för belysningsstyrka eller bländning och färgåtergivning i handboken Att se, höra och andas i skolan.

Standarderna i sin helhet kan köpas från SIS Förlag AB. Tabellverk över belysningskrav från SS-EN 12464:1 Belysning av arbetsplatser inomhus finns även i Ljuskulturs handbok LJUS& RUM.

Dagsljus och belysning

Av Jan Ejhed,
KTH Belysningslära

Iskolan är ljusets uppgift bland annat att göra det lätt att se och utföra de arbetsuppgifter som förekommer och att bidra till en god arbetsmiljö som är stimulerande för arbetet.

Dagsljus och belysning utgör tillsammans ett pedagogiskt hjälpmedel som stöder undervisningen och underlättar inläringen. Exempelvis är synintryck extra viktiga för hörselskadade eftersom de helt eller delvis ersätter tal. Det råder stor enighet om att miljön är en viktig faktor, som påverkar inlärningsprocessen. En ljussättning som gör att man enkelt kan avläsa lärarens och elevens minspel underlättar kommunikationen i klassrummet och ger förutsättningar för samtal och diskussion medan ett mer dämpat ljus kan skärpa lyssnandet. Ett starkt kontrastrikt ljus kan under en viss tid stimulera och öka den egna arbetsinsatsen under exempelvis fysik- eller matematiklektionerna.

Inläring förutsätter motivation och den fysiska miljön kan bidra till denna genom att skapa arbetsro och koncentration eller öppenhet och nyfikenhet. Det går däremot inte att göra någon enkel schablonartad beskrivning av hur denna miljö ska vara utformad. Generellt gäller att miljön ska innehålla variationsmöjligheter som ger olika förutsättningar för undervisningen. Variation beroende på ämnesområde, gruppstorlek, undervisningsmetod, årstid, tid på dagen etc.

Ljuskvalitet

Med bra ljus i skolan menar vi dagsljus och belysning som tillgodoser krav på synbarhet, rumslighet och atmosfär.

Med *synbarhet* menas att ljuset ska vara av sådan art att det blir enkelt att utföra förekommande arbetsuppgifter. Här är det i första hand ett bra detaljseende som eftersträvas, förmågan att se bokstäver, tolka tecken och uppfatta detaljer.

Med *rumslighet* menas att ljuset ska medverka till att rummet omkring oss blir fattbart och begripligt. Lämplig omgivning och bakgrund underlättar detaljseendet och ökar koncentrationen i arbetet. Vi är också ständigt i behov av att kunna relatera vår kropp och våra

rörelser till den fysiska omgivningen och det är då nödvändigt att bland annat kunna göra riktiga avstånds-, riktning- och lägesbestämningar. Detta informationsflöde pågår normalt utan vår aktiva medverkan. Det är inte förrän omgivningen blir svår att tolka som vårt medvetande tas i anspråk och så länge det finns påtagliga rumsliga oklarheter är vi oförmögna att utföra koncentrerat tankearbete.

Med *atmosfär* menas den speciella stämning som i någon form finns i varje rum. Det som grundläggande kännetecknar god atmosfär är att vi känner trygghet och säkerhet. I väl fungerande miljöer kan belysningen bidra till hög komfort och välbefinnande. Utan en känsla av trygghet i rummet upplevs ljuset som otillfredsställande även om högt ställda krav på synbarhet och rumslighet är uppfyllda.

Atmosfären beskriver rummets psykologiska karaktär som är en sammanvägning av såväl ljusets kvalitet som rummets fysiska egenskaper.

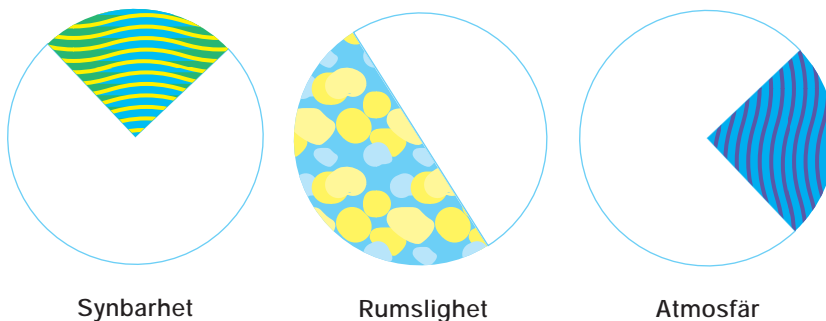


Fig 1

Begreppen synbarhet, rumslighet och atmosfär kan grafiskt beskrivas som cirkelsektorer. De tre begreppen påverkar varandra och en betoning av en egenskap ger effekter på de återstående två faktorerna.

Ljus och rumsutformning

Dagsljus och belysning är centrala delar av rumsutformningen. Genom att variera ljuset kan samma fysiska rum ges vitt skilda gestalter. Det är en medveten samordning mellan rummets material, färg, form, proportioner och dagsljusets respektive elbelysningens egenskaper som ger rummet dess gestalt och visuella kvaliteter. Det är också nödvändigt att tidigt i planeringen formulera en klar bild av slutresultatet, så att beslut om olika detaljlösningar verkar i samma riktning mot det förväntade slutresultatet.

I planeringssituationen inför en ombyggnad eller nyprojektering av en skola är det viktigt att diskutera och så tydligt som möjligt beskriva vad som är viktigt i det enskilda klassrummet.

Det kan exempelvis vara krav på flexibilitet, att det finns ett stort behov av att enkelt kunna förändra rummet och dess möblering. Kravet på flexibilitet minskar i praktiken möjligheterna att få bästa



FOTO: FRÅN BOKEN "RUM OCH LJUS"/ARKUS

Bild 1 Enkla, tydliga rum är önskvärda, eftersom utbildning och pedagogiskt arbete i sig är mångfasetterat. Enkla, begripliga rum ger ökad möjlighet till koncentration och underlättar tankeverksamhet och inläring. (Bildens visar ett klosterrum.)

synergonomiska belysningskvalitet och det är denna typ av avvägningar och distinktioner man har att ta ställning till i planeringen.

Skolarbete omfattar såväl stunder av koncentration, stillhet och tystnad för direkt inläring som möjligheter till dialog, samtal och diskussion. Belysningen är ett verksamt medel att styra det pedagogiska klimatet. Med ljuset är det ofta möjligt att initiera och aktivera eller motsatsen lugna ner en pågående aktivitet.

Belysningen ska också kunna anpassas till olika tekniska hjälpmedel som används alltmer i undervisningen. Datorer är ett exempel på ny teknik som under senare år påverkat villkoren för miljöutformningen. Bildens betydelse som pedagogiskt hjälpmedel har också ökat genom den tekniska utvecklingen. Hjälpmedel som TV, video, overhead, diabilder etc. är vanliga idag och förutsätter mörkläggningmöjligheter och styrning av ljuset för att fungera bra. Detta gäller naturvetenskapliga ämnen såväl som språk, bild och musik.

Belysningsanläggningen ska utföras så att den är enkel att underhålla. Belysningskvaliteten blir aldrig bättre än vad underhållet medger. Det är därför av största vikt att välja lösningar som kräver rimliga insatser för nödvändigt, framtida underhåll.

Detta är ekonomiska aspekter som tillsammans med krav på energieffektivitet i praktiken ger ramarna för belysningsanläggningens visuella kvaliteter. Höga krav på energieffektivitet får inte tas som förevändning för att acceptera lägre kvalitetskrav i andra avseenden.



Fig 2 En samordning av rummets material, färg, form och proportioner med egenskaperna hos dagsljuset och elbelysningen ger rummet dess gestalt och visuella kvalitéer.

Dagsljus

Dagsljusets betydelse

Dagsljuset ger grunden för skolans belysning. Lärosalar ska planeras så att dagsljuset under normala betingelser dvs. den ljusa delen av året och dygnet tillgodoser ljusbehovet och uppfyller höga krav på synbarhet, rumslighet och atmosfär.

Vårt behov av dagsljus beror bl.a. på att det styr flera viktiga biologiska funktioner i kroppen, så kallade icke-visuella effekter. Bland annat styrs vår vakenhet av två typer av hormon som påverkar insomning respektive vakenhet. Balansen dem emellan styrs via tallkörteln av mängden ljus i vår omgivning.

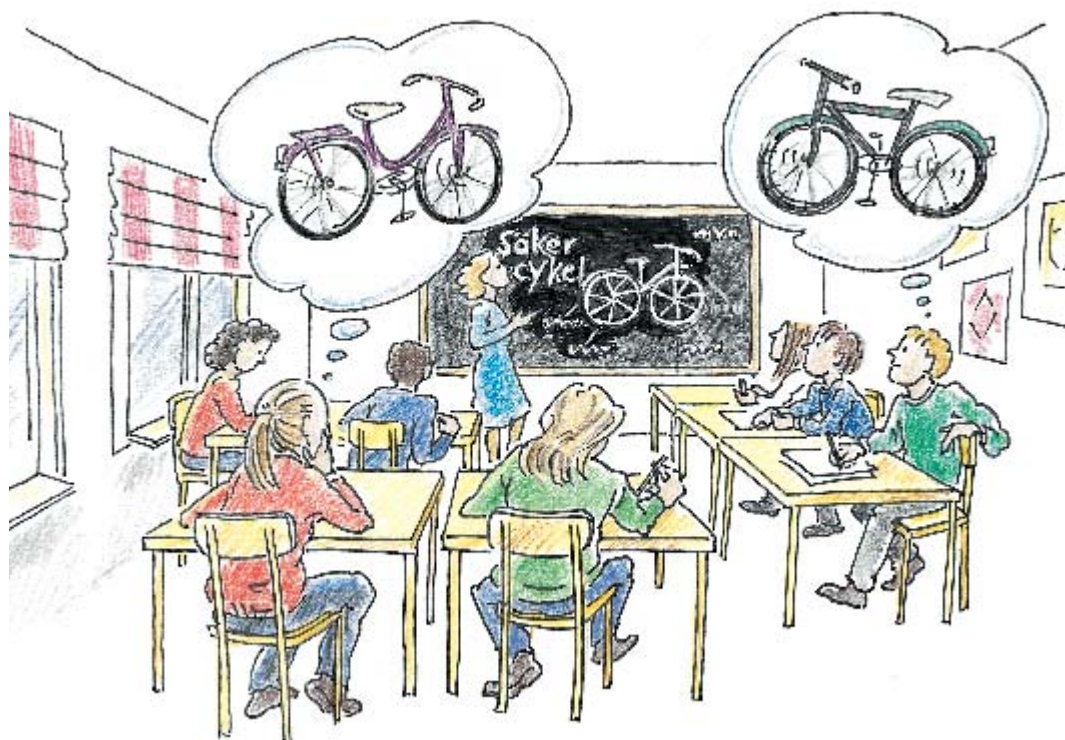


Fig 3 Du ser med hjärnan! Det är i hjärnan som tolkningen sker av den visuella information som du får via ögonen.

Vi är också beroende av dagsljuset för att kroppsrytmen ska ligga i fas med dygnsrytmen. Kommer kroppsklockan i otakt med dygnets timmar är det omöjligt att koncentrera sig och tillgodogöra sig undervisning. Dagsljus påverkar oss även psykiskt, stämning och humör är i högsta grad beroende av om solen skiner eller ej.

Utomhuskontakten ger oss också en mängd praktisk information om växlingar i väderlek, tid på dagen etc., som vi omedvetet är beroende av för att göra riktiga bedömningar och ställningstaganden. Enkla, praktiska saker som hur vi ska klä oss, om vi ska gå ut eller ej.

Information som vi tar för fullkomligt naturlig och självklar men som vi känner oss konstigt förvirrade utan.

Dagsljusintag, fönsterutformning, dagsljusfaktor

Det är fönsterutformningen som bestämmer dagsljusets karaktär och användbarhet inomhus i lärosalar. Det finns många exempel på slentrianmässig behandling av dagsljuset i skolor som gör att fönster blir störande och för den skull sätts igen. Grundläggande visuella krav har då inte tillgodosetts.

Fönsters primära funktion är att ta in dagsljus och att ge utsikt. De viktigaste faktorerna att ta hänsyn till vid fönsterutformning är följande:

Storlek och antal

Fönsterstorlek, antal och placering avgör hur mycket dagsljus det kommer in i rummet. Normalt strävar vi efter att ta in mycket dagsljus i lärosalar. Fönsterutformningen måste alltid göras med största omsorg, för att inte störningar ska uppstå i form av bländning, drag, kallras etc. Framför allt måste dagsljusöppningarna kompletteras med avskärningsanordningar för direkt solljus och även mörklägningsanordningar där sådana behövs.

Det är ytterst inte mängden dagsljus som är avgörande för kvaliteten utan behandlingen av ljuset. Fönsterstorlek, antal och placering påverkar också rumsutformningen och är ett sätt att skapa öppna eller slutna rum. Ur energisynpunkt är fönsterarean av stor betydelse för bestämning av byggnadens energibehov.

Dagsljusmängden i ett rum beskrivs av en dagsljusfaktor som anger förhållandet mellan dagsljusbelysningen inomhus och utomhus.



Fig 4 Några exempel på fönsterutföranden.



DAGSLJUSFAKTORN avser en viss punkt i ett rum och anger förhållandet mellan belysningsstyrkan i denna punkt i rummet och belysningsstyrkan utomhus under fri himmel. Förhållandet uttrycks i procent.

DAGSLJUSFAKTORN mätt halvvägs in i rummet från fönstret räknat samt en meter från sidovägg bör vara minst 1 %.

För undervisningslokaler med rumsdjup mindre än 6 – 8 m kan väggfönster oftast ge tillfredsställande dagsljus om fönsterglasarean uppgår till cirka 10 % av golvarean. Om dagsljuset avskärmas mer än 20° bör glasarean ökas. En förenklad metod för kontroll av fönsterglasarea finns i SS 91 42 01(1).

Orientering i väderstreck

Fönsters orientering i väderstreck har avgörande betydelse för ljuskaraktären i rummet. Norrvända fönster ger ett diffust himmelsljus som är det mest användbara arbetsljuset. Det ger minimala störningar, eftersom i princip inget direkt solljus kommer från norr.

Öster- och västervända fönster ger morgon- respektive eftermiddagssol, som i och för sig kan vara en kvalitet för rumsupplevelsen men som fordrar komplettering med avskärmning särskilt under höst och vår.

Södervända fönster ger den största mängden direkt infallande soljus. Detta kan skapa problem då det är ett bra arbetsljus som eftersträvas. Solavskärmningar är nödvändiga.

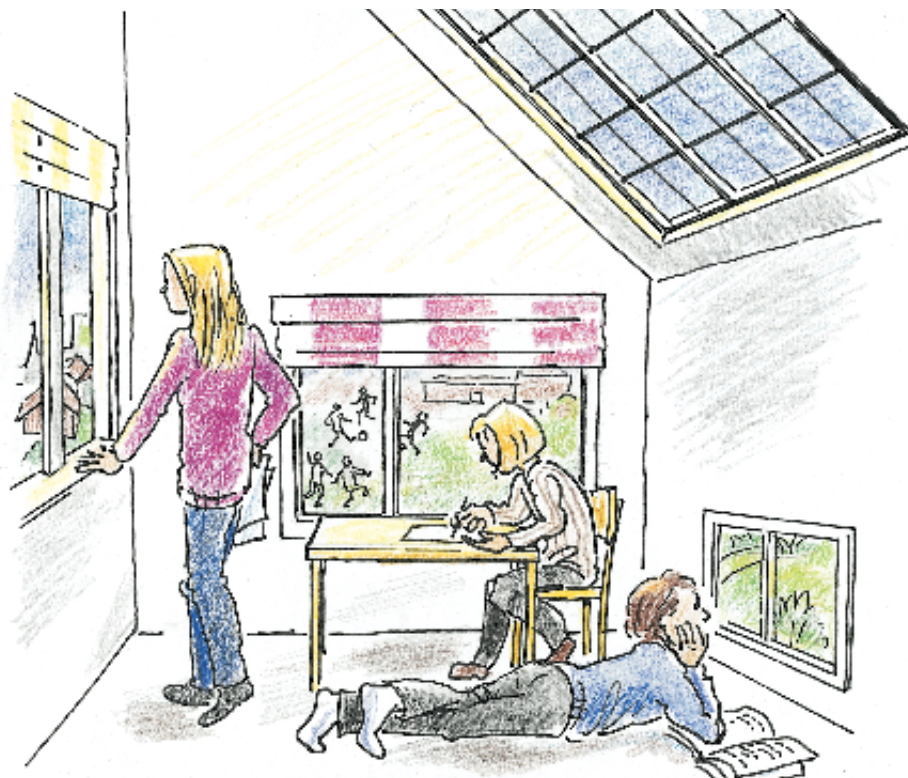


Fig 5 Exempel på fönsterplaceringar. En kombination av olika fönsterplaceringar är ofta en bra lösning.

Bästa ljusförhållanden fås i rummet då det är möjligt att kombinera ljus från olika väderstreck. De klassiska konstnärateljéerna, där det krävdes ett bra arbetsljus, utformades med stora, högt sittande, norrvända fönster som gav basbelysningen. Dessa kombinerades med mindre, lågt sittande fönster i något av de övriga väderstrecken för att få en kompletterande riktning och färg på ljuset i rummet.

Fönsterplacering

Fönstrens läge påverkar bland annat möjligheten till utblick och mängden ljus som kommer in i rummet.

Högt sittande fönster ger ett jämnt ljus även långt in i rummet. Takfönster och väggfönster ovanför ögonhöjd ger mycket begränsad utsikt och fungerar egentligen bara som ljusintag. Högt placerade fönster orsakar lätt bländning varför man i planeringen ska vara extra noggrann med kontrastutjämning och avskärmning för att undvika denna störning.

BRÖSTNINGSHÖJDEN på fönster bör anpassas så att sittande barn får fri utsikt.
Lämplig höjd är från 50 cm över golv. Kravet avser i första hand nybyggnad.

För att utsikten ska bli intressant ska fönstren sitta i ögonhöjd så att omgivande byggnader, landskap och helst även horisonten kan iakttas. Bra utsikt fordrar vanligtvis inga stora fönsterytor. Utsikten blir tvärtom ofta mer intressant genom små fönsteröppningar som ökar koncentrationen och ger en mer spännande utblick.

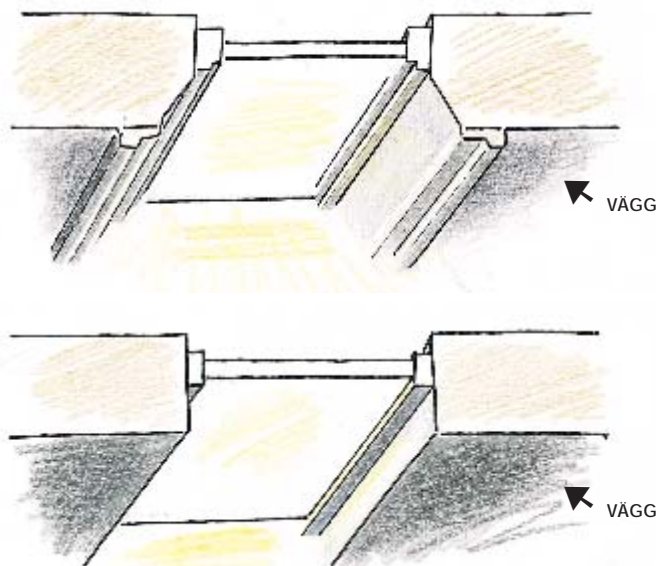


Fig 6 Fönstrets anslutning till omgivande rum påverkar rummets visuella kvaliteter. (Fönster sedda ovanifrån.)

Varje fönsterplacering har sina för- och nackdelar, en kombination av olika fönsteregenskaper är ofta en bra lösning.

Utformning

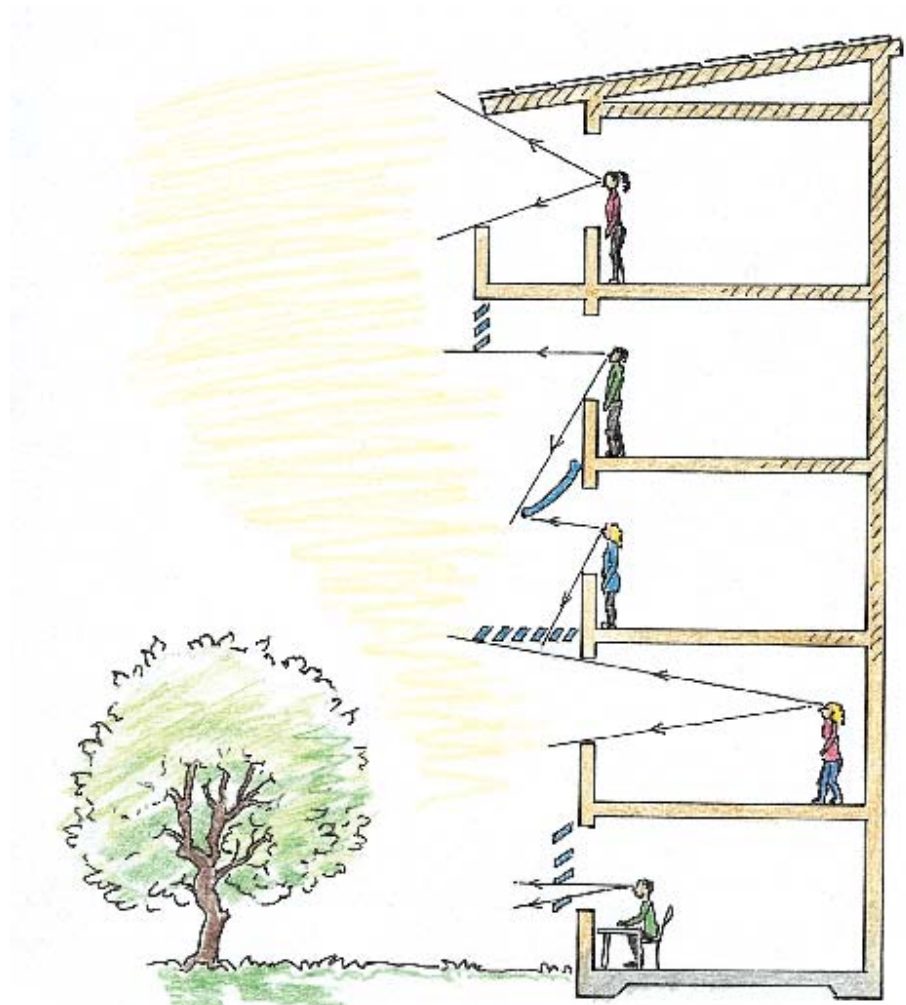
Fönsterutformning påverkas av en mängd faktorer som teknik, energi, ekonomi m.m. och planeringsarbetet omfattar val av fönstertyper, glassorter, infästningsdetaljer, avskärmningar, utformningen av omgivande nischer etc.

Det grundläggande syftet med fönster är att skapa goda visuella villkor. Det är därför viktigt att pröva de visuella konsekvenserna av den tekniska utformningen av fönstret, dess anslutning till omgivande rumsytor och eventuella avskärmningsanordningar.

Solavskärmning, mörkläggnings etc.

Visuella störningar beroende på dagsljuset är ofta orsakade av direkt infallande solljus. Det ska därför finnas möjlighet att skärma av sol-

Fig 7 Exempel på solavskärmningar.



ljuset helt eller delvis. Det finns en rad olika tekniska lösningar på detta problem.

Invändiga gardiner är det vanligaste sättet att avskärma solljuset. Gardinerna kan antingen vara hängande på vanligt sätt eller rullgardiner. Båda arrangemangen fungerar väl och är enkla att installera och sköta. Variationsmöjligheterna är stora genom att det är relativt enkelt att byta och variera textilierna. Olika manuella och motordrivna alternativ finns på marknaden. För mörkläggning finns speciella mörkläggningsgardiner som löper i gejdrar och utestänger ljuset effektivt.

Ett annat vanligt alternativ är ställbara persienner, invändiga eller mellan fönsterglasen. Även utvändiga persienner förekommer men är mer komplicerade att lösa tekniskt i vårt klimat.

Fasta lameller förekommer också men dessa har en mer begränsad verkan och fungerar normalt inte när de behövs som mest, höst och vår, då solljusets infallsvinkel är låg, under 30° .

Ställbara markiser av textil är ofta effektiva men fordrar kontinuerligt underhåll och skötsel.

Luckor av olika slag kan fungera bra både ut- och invändigt, men är trots detta en ganska ovanlig lösning på våra breddgrader.

De skiftande ljusförhållanden som vårt klimat och geografiska läge ger upphov till, gör att det finns stora fördelar med att installera solavskärmningar och mörkläggningsanordningar som enkelt kan varieras beroende på årstid och behov.

Det finns också glas med olika typer av beläggning som effektivt selekterar strålningen och utestänger solljus, värme eller över huvudtaget den del av spektret som inte är önskvärd. Nackdelen med denna typ av lösningar är att de inte går att variera beroende på årstid och verksamhet i klassrummet.

Fönster orienterade så att direkt solinfall erhålles skall ha någon form av solavskärmning.

Belysning

Visuella och fotometriska begrepp

Visuella begrepp

Den visuella upplevelsen som ljuset ger kan med stor nyansrikedom beskrivas med vanliga ord och bilder. Vi beskriver helt enkelt vad vi ser. I planeringen är det nödvändigt att strukturera orden och framför allt definiera dem så att betydelserna blir enhetliga.

Nedanstående sju visuella begrepp kan värderas på en skala som beskrivs av ord som är motsatspar. Denna metod kallas visuell utvärdering och ger möjlighet till kvantifiering av de olika begreppen. Den visuella utvärderingen kan göras i den färdiga anläggningen eller användas som beskrivningshjälpmedel i planeringsprocessen.

Upplevelsen, som de visuella begreppen beskriver, går inte att mäta med instrument och uttrycka i siffrvärden. De kan heller inte användas i förekommande beräkningsformler och inte heller instrumentellt kontrolleras i den färdiga anläggningen.

De visuellt grundade begrepp som normalt används för att beskriva ljusets egenskaper är följande:

Begrepp	Beskrivning	Bedömning
Ljusnivå	– om det är ljust eller mörkt i rummet och på arbetsplatsen	mörkt – ljust
Ljusfördelning	– hur ljuset är fördelat i rummet och på arbetsplatsen	jämn – varierad
Ljusfärg	– om ljusfärgen uppfattas varm, neutral eller kall.	varm – kall
Färg	– om färger i rummet och på föremål upplevs naturliga eller förvrängda	naturlig – förvrängd
Blandning	– om skillnaderna i ljushet är för stora i synfältet.	inte märkbar – besvärande
Skuggor	– om de är mjuka eller hårda	mjuka – hårda
Reflexer	– om de är intensiva eller diffusa	diffusa – intensiva

(ur Bättre belysning BFR -90)

Fotometriska begrepp

Stimulus för synsinnen är strålningsenergi (i spektralområdet cirka 380–780 nm). Denna kan kvantifieras genom mätning med s.k. ljusmätningssinstrument. Det är viktigt att komma ihåg att det inte finns något enkelt samband mellan kvantiteten strålning och våra

synupplevelser. Samma luktal kan beroende på sammanhanget ge upphov till vitt skilda upplevelser. Upplevelsen påverkas av rummets alla fysiska egenskaper, färg, form, material, proportioner, belysning etc. Den ljusstrålning som träffar näthinnan bär information om alla dessa förhållanden. Via näthinnan överförs denna information till olika syncentra i hjärnan där den tolkas till synupplevelser.

De fotometriska begreppen beskriver ljusstrålning i fysikaliska avseenden. I planeringssammanhang används dessa begrepp för att formulera krav och normer som anger nivåer och förhållanden, som instrumentellt kan kontrolleras i efterhand.

De vanligaste fotometriska grundade begreppen är följande:

Belysningsstyrka, E anges i lux och är strålmängd per ytenhet.

Luminans, L anges i candela /m² och är ett fysikaliskt mått på en ytas ljushet. Det är den reflekterade eller emitterade strålningen per ytenhet, som mäts.

Kontrast, K är förhållandet mellan ett föremåls luminans (L_f) och dess bakgrundsluminans (L_b) uttryckt som

$$K = \frac{L_f - L_b}{1/2(L_f + L_b)}$$

Kontrastreduktion anges i procent och är ett mått på ljusets förmåga att återge kontrasten mellan föremål eller tecken och bakgrund.

Spektral energifördelning strålning inom våglängdsområdet 380 – 780 nanometer ger upphov till synförmåelser. För dagsljus är strålningsenergin relativt jämnt fördelad över hela spektret. För glödlampor är spektret kontinuerligt men förskjutet mot det långvågiga området. Urladdningslampor såsom lysrör, kompaktylsrör etc. har diskontinuerligt spektrum, som ger sämre färgegenskaper.

Ra-index är ett tal mellan 0 och 100 som anger en ljuskällas förmåga att återge färg. Dagsljus och glödljus har Ra 100.

Färgtemperatur anges i Kelvin, K och är ett fysikaliskt mått som beskriver ljuskällans ljusfärg. Färgtemperaturområdena är ungefär 3 000 K för varmtöat, 4 000 K för neutralt samt 5 000 K för dagsljuslikt.

Reflektansfaktor är ett mått på en ytas förmåga att reflektera det mot ytan infallande ljuset. Reflektansfaktorn anges normalt i procent.

Flimmer som är beroende av frekvensmodulationen förekommer hos urladdningslampor med induktiva förkopplingsdon, som förmedlar växelspanningens periodicitet 50 Hz. Med högfrekvensdrift är frekvensen cirka 30 kHz och inget flimmer kan uppfattas. Dagsljus och glödljus ger inte heller upphov till flimmer.

Belysningens egenskaper

Belysningens viktigaste egenskaper med visuell anknytning är:

- Luminans och luminansfördelning.
- Bländning, skuggor och reflexer.
- Ljusets riktning mot arbetsytor och synobjekt.
- Kontrast och kontrastreduktion.
- Belysningsstyrka.
- Ljusfärg och färgåtergivning.

För att erhålla en god belysning måste flera av dessa faktorer samverka. I många fall är även egenskaperna beroende av varandra varför man inte kan lösa något kvalitetskrav oberoende av de andra.

Ovanstående kvalitetsegenskaper utgör grunden såväl vid belysningsplanering som vid bedömning och kontroll av färdiga anläggningar. Dessutom ska eliminering av oönskade störningar i form av värmestrålning, flimmer, ljud eller UV-strålning ingå i arbetet.

Luminans, luminansfördelning och bländning

Luminansfördelningen i synfältet /arbetsområdet och i rummet är av stor betydelse både för seendet och rumsuppfattningen.

Seendet försvåras då föremålet man betraktar är mörkare än omgivningen, men det är inte heller bra om det är alltför ljust i förhållande till omgivningen.

Luminansfördelningen *i synfältet* är beroende av armaturernas placering och ljusfördelning, olika ytors reflexionsegenskaper och inte minst om man ser ljuskällorna eller armaturernas lysande ytor.

Luminansfördelningen *i rummet* bestäms av ljusets riktning och ljusflödets storlek tillsammans med de belysta ytornas placering och ljusreflekterande egenskaper, dvs. belysning och interiörens färger.

Ögats synskärpa ökar med tilltagande luminans hos synobjektet upp till en viss övre gräns för att sedan minska på grund av bländning. Var gränsen ligger beror på omfältets luminans (ögats adaptationstillstånd). Ljusbehovet ökar med åldern på grund av olika förändringar i ögat .

LUMINANS

För lysande ytor, exempelvis en ljuskälla, beror luminansen på ljuskällans ljusstyrka i riktning mot betraktarens öga och den lysande ytans storlek i samma riktning.

För belysta ytor beror luminansen på det infallande ljusets riktning, belysningsstyrkan på ytan och ytans ljusreflekterande egenskaper.

NORMALT SYNFÄLT

Det normala synfältet är definierat som ett område vertikalt ca 50 grader över och ca 70 grader under horisontalplanet genom ögat. Horisontellt omfattar synfältet 90 grader åt vardera sidan.

ÖGATS ADAPTION

Luminansernas medelvärde i synfältet bestämmer ögonens adaptations-tillstånd. Adaptionen till rådande luminans tar viss tid, längre ju lägre medelluminansen är.

LUMINANS

Luminansen undantaget armaturraster och fönster, inom det normala synfältet vid skolarbete bör ej överstiga 1 500 cd/m². Målvärde är att den ej överstiger 500 cd/m².

Maximal luminans inom det normala synfältet mätt mot armaturraster bör ej överstiga 3 500 cd/m². Målvärde är att den ej överstiger 2 000 cd/m².

LUMINANSFÖRDELNING

Ljuset bör vara fördelat på ett lämpligt sätt inom det egentliga arbetsområdet. Man brukar tala om infält, omfält och yttre synfält. Det motsvarar synobjektet – läroboken, området runt omkring – arbetsbordet samt omgivningen – golv, väggar och tak i rummet.

LUMINANSFÖRDELNING

Luminansfördelningen mellan infält, omfält och yttre synfält bör vara i storleksordningen 5:3:1.

Bländning uppstår vid stora luminansskillnader i synfältet. Ögonen utsätts för starkare ljus än de är inställda för. Hur starkt man upplever bländningen är bland annat beroende av bakgrundsluminans och bländkällans luminans, utbredning och läge i synfältet. Upplevelsen av bländning är även tidsberoende. Kortvarigt kan man klara en starkare bländning. Men under en längre tid kan även en till synes måttlig bländning bli mycket besvärande.

Bländning kan begränsas på flera sätt, exempelvis genom:

- Lämplig armaturplacering.
- Val av armatur med effektiv avskärmning och lämplig ljusfördelning.

BLÄNDNING

Som mått på bländningsgrad anges ofta ett s.k. bländtal. Bländtalet 10 betyder knappt förnimbar bländning, 15 betyder liten risk för bländning, 24 däremot anger att det är risk för obehaglig bländning.

Angivna värden på bländtal är medeltal enligt NB-metoden. En beskrivning av metoden finns i boken, NB-metoden – beräkningar av allmänbelysningar inomhus. (Ljusa 1986.)

Inom CEN/TC 169 pågår utveckling av den så kallade UGR-metoden (The unified glare rating formula method).

BLÄNDTAL FÖR SKOLOR

Bländtalet i huvudsaklig arbetsriktning bör vara högst ca 17, vinkelrätt mot inre sidovägg högst ca 19 och mot bakre vägg och fönstervägg högst ca 22 enligt rekommendationer från Skolöverstyrelsen i *Skolhushandboken* 1979.

I lektionsrum, laboratorier, slöjd- och bildsalar rekommenderas bländtal 21 för vanliga förutsättningar och 18 för krävande förutsättningar. För korridorer gäller 24 respektive 21.

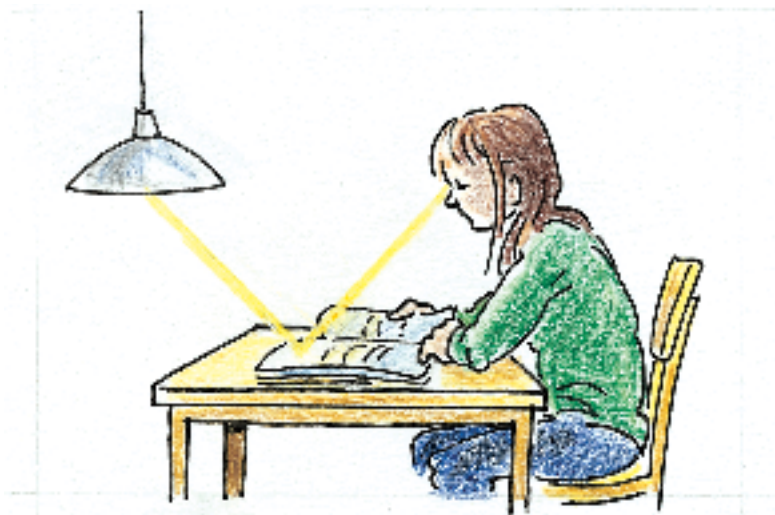
Se Ljuskulturs riktlinjer och rekommendationer, *Belysning inomhus* 1990.

Ljusets riktning, kontrast och kontrastreduktion

Ljusets riktning och dess grad av hårdhet eller mjukhet påverkar formuppfattning, skuggbildning och kontrast. Ljus från olika riktningar ger mjuka skuggor som underlättar formseendet.

Ofta orsakar armaturer irriterande reflexer på arbetsytorna. Dessa reflexer försämrar kontrasten och därmed försvåras synarbetet. I många fall är det fördelaktigt att ljusriktningen är ungefär vinkelrät mot betraktningsriktningen.

Fig 8



Ögat uppfattar skillnader i ljushet och skillnader i kulör. Kontrast kan man skapa genom att ge synobjektet en annan kulör eller annan luminans än bakgrunden. För att få en god synkomfort är det viktigt att kontrastgivningen är så hög som möjligt, vilken är beroende av ljusets riktning.

Kontrasten är beroende av tre faktorer:

- Ljusets riktning mot det betraktade föremålet.
- Betraktningsriktningen i förhållande till ljusriktningen.
- Det betraktade föremålets reflexionsegenskaper.

Skillnaden mellan verklig uppmätt kontrast och maximalt möjlig

kontrast vid optimala belysningsförhållanden kallas kontrastreduktion. För normala arbetsuppgifter bör kontrastreduktionen inte vara större än 15 %. I undervisningslokaler som klassrum är det på grund av den fria möbleringen svårt att uppnå god kontrast på alla arbetsplatser.

REFLEKTANSFAKTOR

Reflektansfaktorn uttrycks som en faktor som varierar mellan 0 och 1. Vid 0 absorberas allt ljus och vid 1 reflekteras allt ljus. Reflektansfaktorn kan också uttryckas i procent.

BESTÄMMNING AV REFLEKTANSFAKTOR

Genom mätning med universalljusmätare kan reflektansfaktorn bestämmas. På den yta där faktorn ska bestämmas mäts dels luminansen, dels belysningsstyrkan i medljus.

$$\text{reflektansfaktor} = \frac{\text{luminansen } x}{\text{belysningsstyrka}}$$

MEDELREFLEKTANSFAKTORER

Medelreflektansfaktorerna på rumsytor väljs så att klassrum och korridorer upplevs ljusa. Bänkar bör ha en högre medelreflektansfaktor än golvet. Medelreflektansfaktorerna bör ha följande värden:

tak	0,7 – 0,8
fönstervägg, snickerier	0,8
innervägg	0,5 – 0,7
gavelvägg	0,3 – 0,4
golv	0,3

KONTRASTREDUKTION MÄTNING

Noggrann kontrastmätning görs med speciellt kontrastmätningssinstrument (Brüel & Kjær) och kontrastreduktionen uttrycks i procent.

Kontrastmätning kan också göras med en luminansmeter, på arbetsbordet mäts under ideala ljusförhållanden en matt svart och en matt vit yta. Denna maximala kontrast ges värdet 100 (egentligen 98). Därefter mäts samma svart/vita ytor under rådande ljusförhållanden och relationen mellan den maximala kontrasten och den verkliga belysningsituationen uttrycks i procent.

KONTRASTREDUKTION

Kontrastreduktionen inom läsfältet bör ej överstiga 25 %.

På grund av att verksamheten i klassrum är mer rörlig än på kontor kan ej kontorets krav (15 %) gälla i skolmiljö.

Belysningsstyrka

Belysningsstyrka är ett mått på hur mycket ljusstrålning som träffar en yta uttryckt i lumen/m² (lux). Belysningsstyrka kan mätas med instrument. Den är ett mått på kvantitet och säger inget om belysningens kvalitet i övrigt. Eftersom ljusbehovet ökar med åldern kan exempelvis lärarens arbetsplats förses med extra platsbelysning.

BELYSNINGSSTYRKA, MÄTFÖRUTSÄTTNINGAR

Läsfältet är definierat till en yta 297 x 420 mm (A3) på arbetsbänken. Studier av arbetet i ett klassrum visar att det krävs en belysning över hela läsfältet som ej får underskrida det angivna värdet.

DRIFTVÄRDE

Driftvärdet beräknas genom att nyvärdet multipliceras med bibehållningsfaktorn (β). Riktvärde för bibehållningsfaktorn är 0,8 vid beräkning av driftvärde för fullfärgslysrör. Detta innebär att nyvärdet är 25 % högre än driftvärdet.

BELYSNINGSSTYRKA

Angivna belysningsstyrkor avser alltid driftvärden.

HORISONTALBELYSNING

Medelbelysningen på läsfältet bör vara minst 500 lux.

Allmänbelysningens medelvärde, 85 cm över golv, bör uppgå till minst 300 lux i klassrum och 150 lux i korridorer.

Medelbelysningsstyrkan bör i normalfallet vara högst 1 000 lux.

Förhållandet i belysningsstyrka mellan läsytor och omgivande närliggande ytor bör ej överstiga 2:1. Tillskott från extra platsbelysning ingår ej i detta.

VERTIKALBELYSNING

Den vertikala medelbelysningsstyrkan på skrivtavlan bör vara minst 500 lux.

Målvärde är 1 000 lux.

Vertikal belysningsstyrka i ansiktshöjd, 120 – 180 cm över golv bör vara minst 200 lux.

Förhållandet mellan högsta och lägsta belysningsstyrka bör vara högst 3:1.

Ljusets färgegenskaper

Ljus kan upplevas som varmt, neutralt eller kallt. Eftersom strålningen i sig är osynlig så är det ljusstrålningens samspel med rummets färger som man upplever. Olika ljuskällor har strålning med olika spektral sammansättning och alltså olika förmåga att återge föremåls färger. Vårt färgseende anpassar sig till belysning och rummets färgskala så att ett vitt papper upplevs som vitt både i dagsljus och i glödljus.

För att kunna bedöma hur en ljuskälla återger färger måste man känna till:

- Ljusfärg
- Färgåtergivningsförmåga
- Belysningsstyrka
- Ögats färgadaptation vid betraktningstillfället

LJUSFÄRG är den mest synbara egenskapen hos en ljuskälla. Så ser lampan ut när den lyser och så upplevs ljuset som varmt eller kallt på samma sätt som vi upplever färger. Ljusfärgen redovisas fysikaliskt som färgtemperatur och enheten är Kelvin (K).

Låg nivå betyder varmtonat ljus och hög nivå innebär mer dagsljuslikt ljus.

under 3 500 K	varmtonat ljus
3 500 K – 4 500 K	vitt, neutralt ljus
över 4 500 K	kallt, dagsljuslikt ljus

FÄRGÅTERGIVNING är en mycket viktig kvalitetsfaktor när det gäller belysning av människor och miljöer. Färgåtergivningsindex, Ra, anger ljuskällans förmåga att återge färger inom sin temperaturklass. Den vanliga glödlampan som brukar betraktas som referensljuskälla har Ra-värdet 100 därför att den liksom dagsljuset har ett kontinuerligt spektrum och återger färger på ett naturligt sätt.

Man kan endast jämföra Ra-index för ljuskällor med samma färgtemperatur.

Vid Ra-index över 90 behöver man i allmänhet inte befara störande färgskiftningar. Har ljuskällan däremot Ra-index under 70 blir många färger dåligt eller felaktigt återgivna.

FÄRGTEMPERATUR

Ljuskällornas färgtemperatur bör vara mellan 2 700 K och 4 000 K.

FÄRGÅTERGIVNING

Ra-index bör vara minst 80 i alla undervisningslokaler och korridorer som används i samband med undervisning.

På arbetsplatser med krav på noggrann färgbedömning är det extra viktigt att ljuskällor med färgåtergivningsindex Ra över 90 används, exempelvis vid undervisning i bild, textilslöjd och laborationer.

Flimmer, värme, ljud och UV-strålning

Ljusflödet från ljuskällor som drivs med växelspanning varierar i takt med nätfrekvensen. Vid 50-periodig ström varierar flödet 100 gånger på en sekund, vilket är på gränsen till vad ögat kan uppfatta. Känsligheten för flimmer är störst i det perifera seendet. Flimmer kan undvikas genom att armaturer förses med driftdon av högfrekvenstyp.

Flimmer

Belysning skall ej ge upphov till synligt flimmer.
Högfrekvensdrift bör därför väljas.

Strålningsvärmens kan bli hög inom begränsade områden om man använder armaturer med riktat koncentrerat ljus. Detta bör man beakta vid planeringen. Strålningsvärmens minskar om man använder lågenergiteknik.

Armaturer som avger störande ljud ska inte användas.

Ljuskällor avger olika men små mängder UV-strålning. I normalfallet utgör strålningen inget problem men kan för vissa personer på grund av medicinering eller annan överkänslighet skapa problem. UV-strålningen ska i dessa fall elimineras i möjligaste mån.

Belysningsprinciper

Belysning av lokaler kan utföras enligt följande tre huvudprinciper.

ALLMÄNBELYSNING, som innebär att armaturerna placeras jämnt över hela lokalen så att en jämn belysningsnivå erhålls i rummet. Enbart allmänbelysning uppfyller sällan alla de krav som man ställer på god arbetsbelysning, dvs. rätt ljusriktning, rätt belysningsstyrka, bländfritt ljus etc.

PLATSORIENTERAD ALLMÄNBELYSNING, som innebär att armaturerna placeras med hänsyn till arbetsplatsernas läge. Ljuset kan ges rätt infallsvinkel och risken för bländning och olämpliga skuggor minskar. En nackdel är att möbleringsfriheten begränsas.

ALLMÄNBELYSNING MED TILLSATSBELYSNING, som innebär att takarmaturerna är placerade med hänsyn till rummets möblering och att arbetsplatserna kompletteras med platsbelysning. Denna princip ger stora möjligheter till anpassning och uppfyller höga krav på bra arbetsbelysning.

Allmänbelysningen kan principiellt ha följande tre utföranden:

- *Direktverkande belysning*, hela ljusflödet är nedåtriktat mot arbetsytorna.
- *Indirekt verkande belysning*, hela ljusflödet riktas uppåt och reflekteras mot taket ner på arbetsplatserna.
- *En kombination av direkt och indirekt belysning*, vilket ger största möjligheterna till anpassning av arbetsplatserna.

Det är krav på olika kvalitetsaspekter, som ska ligga till grund för valet av belysningsprincip. Ofta är det flera kvalitetskrav med motstridiga innehåll som ska sammanjämkas till en harmonisk helhetslösning.

Ljuskvalitén i lärosalar ökar om det finns tillgång till flera typer av belysning som kan anpassas till undervisningssituationen.

Tänk då på att det finns inte *en* lösning för belysning i lärosalar. Resultatet är beroende av olika prioriteringar, ambitionsnivå, ekonomiska resurser etc. Varje lärosal ska oberoende av valet av belysningsprincip uppfylla grundläggande visuella krav på synbarhet, rumslighet och atmosfär.

Undervisningslokaler –
Exempel på lösningar med kommentarer



Fig 9 Placera direktverkande armaturer vid sidan av bänkarna, eftersom den största kontrastreduktionen normalt är rakt under armaturen.

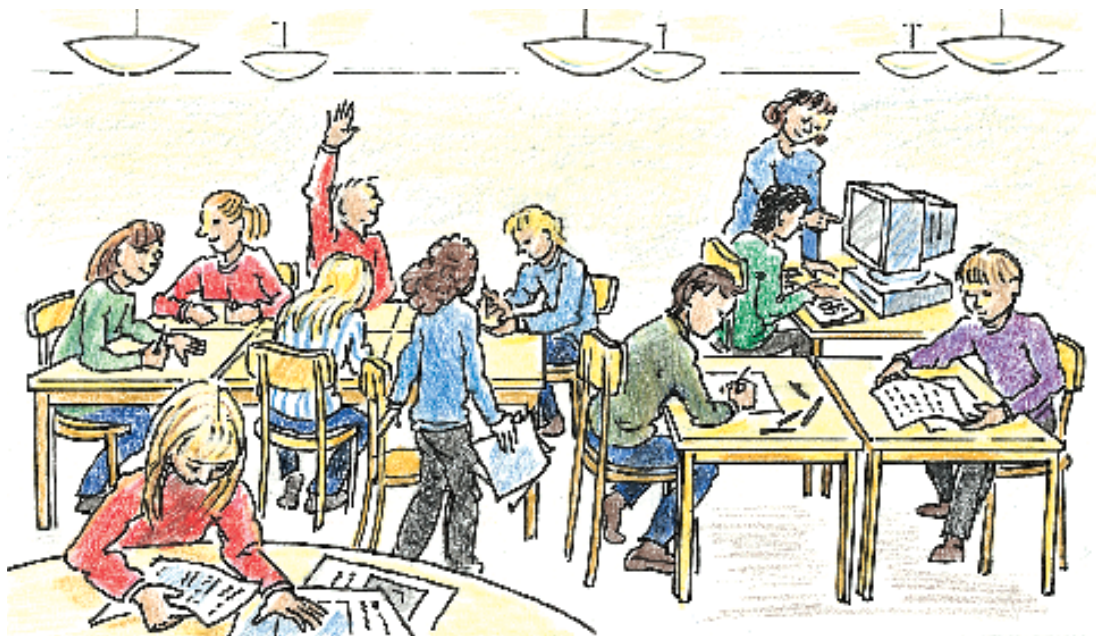


Fig 10 Att belysa skrivtavlan är ett sätt att öka koncentrationen och rikta hela gruppens uppmärksamhet åt ett visst håll. Ögat dras automatiskt till det ljusaste området i synfältet.



Fig 11 Att belysa väggar och tak, är ett effektivt sätt att med relativt begränsad ljusmängd ge känsla av ett ljust rum. En medveten fördelning av ljuset i rummet är grunden för goda synförhållanden. Viss runtomspredning av ljuset är normalt en fördel. Använd väl avskärmad armatur med "normal" ljusdistribution. Avancerad reflektorteknik och effektivitet ställer krav på mer stationära arbetsplatser än vad som normalt förekommer i skolsalar. Avancerad reflektorteknik ökar också risken för bländning, om armaturen placeras fel.

Fig 12 Indirekt belysning eller uppljus ger ett jämnt diffust ljus över hela lärosalen. Stor möbleringsfrihet är den kanske väsentligaste fördelen med denna belysningsprincip. Ljusförhållandena blir i stort likvärdiga i hela rummet. Komplettering med direktverkande ljus är ofta önskvärd för att undvika en känsla av monoton, som annars lätt kan bli fallet.



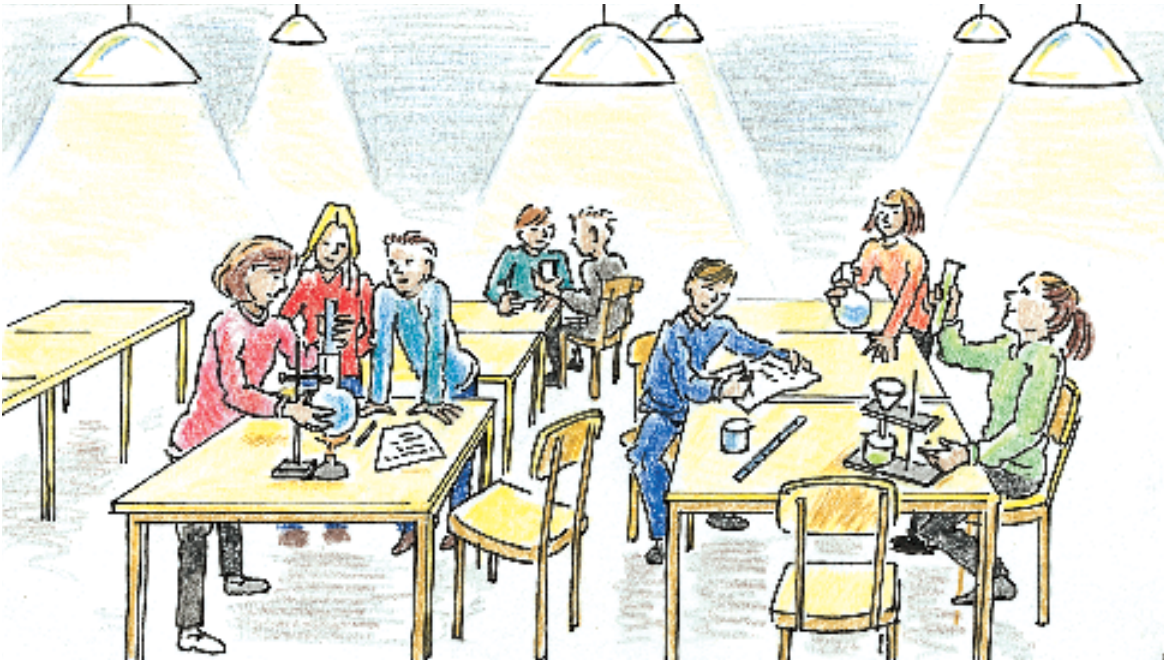


Fig 13 *Armaturlösning med direktverkande ljusfördelning ger, om den är rätt placerad, de bästa synbetingelserna på arbetsbordet. I ett klassrum är det dock nästan oundvikligt att några platser får ljusfall från fel håll med kontrastreduktion i arbetsmaterialet som följd.*

Standardlösning

En belysningslösning, som ska uppfylla kraven på synbarhet, rumslighet och atmosfär i klassrum bör innehålla följande delar:

- Allmänljus, en kombination av upp- och nedåtriktat ljus med varierande upptändnings- och fördunklingsmöjligheter.
- Tavelbelysning på skrivtavlan som även bör fungera för belysning av kartor, planscher etc.
- Belysning av väggar, gärna med punktljuskarakteristik för att öka variationen i rummet.
- Kompletterande platsbelysning vid speciella arbetsplatser kan monteras på bänkar, på väggar eller i tak.

Datorarbetsplatser

I dagens skola används allt fler tekniska hjälpmedel i undervisningen. Datorer är redan nu vanligt förekommande hjälpmedel som snabbt kommer att öka i antal och nyttjas i allt fler ämnen.

Datorer med bildskärm ställer speciella krav på belysning och rumsutformning. I allt väsentligt bör samma kvalitetskrav gälla för arbetsplatser i skolor som exempelvis för arbetsplatser på kontor.

Datorarbetsplatsens placering

Det är viktigt att vara noggrann med hur bildskärmen placeras i rummet. Den ska inte stå mot yttervägg så att fönster utgör bakgrund till bildskärmen. Den motsatta placeringen med fönstret bakom användaren kan också orsaka besvär eftersom fönstret då kan speglas i skärmen. Den bästa placeringen är vanligtvis att placera arbetsplatsen i rummets inre del och vinkelrätt mot fönsterväggen. För att mildra effekten av solljus och olämpligt dagsljusinfall bör fönsteröppningar kompletteras med solavskärmningar i form av ställbara persienner eller gardiner som kan dras för vid behov.

Elbelysning

Eftersom bildskärmen är lysande krävs för bildskärmsarbete något lägre belysningsstyrka än vid vanligt skolarbete. 300 lux allmänbelysning är ett riktvärde som används på kontor och som också är relevant i skolsammanhang. Det är alltså en fördel om allmänbelysningen i klassrummet kan fördunklas eller tändas upp sektionvis. För att kunna läsa på omkringliggande arbetsmaterial är det lämpligt att komplettera med ställbar platslampa.

Den vanligaste störningen är att armaturer speglar sig i bildskärmen och reflexerna gör det svårt eller omöjligt att läsa på skärmen. För att undvika detta är det viktigt att armaturen placeras rätt i förhållande till arbetsplatsen. Inga lysande armaturer ska vara belägna i området bakom användaren och inte heller några i synfältet framför användaren. Genom val av armatur med lågluminanta bländskydd kan negativa effekter mildras eller helt elimineras.

Ett vanligt sätt att lösa problemen med reflexer i bildskärmar är att arbeta med uppåtriktat, indirekt ljus. Denna lösning ger i princip ett helt diffust ljus som tillåter en friare placering av bildskärmsarbetsplatserna i rummet. Uppljuset ställer dock krav på takets utformning eftersom taket används som reflektor. Uppljusarmaturen ska placeras på tillräckligt avstånd (minst ca 50 cm) från taket, för att undvika ljusfläckar med hög luminans. Vid datorarbetsplatser med uppåtriktat ljus är platsbelysning en nödvändig komplettering.

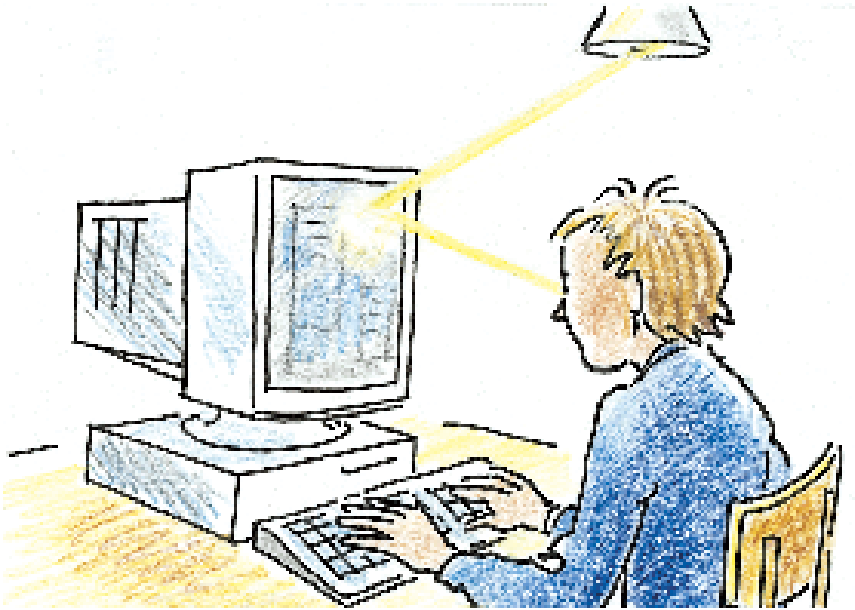


Fig 14 Reflexen uppstår genom det geometriska förhållandet mellan öga, bildskärm och ljuskälla.

Åtgärder vid reflexer i bildskärmen:

- Vrid eller flytta på bildskärmen så att reflexen försvinner.
- Möblera om, vrid eller flytta hela bildskärmsarbetsplatsen.
- Släck eller koppla ur den eller de ljusarmaturer som orsakar reflexen.
- Byt bländskydd.
- Byt eller ta bort störande armatur.

De första åtgärderna är enkla och kan utföras utan medverkan av fackman medan de senare fordrar medverkan av elektriker. Arbetsgången är att börja med enkla åtgärder som man kan utföra själv och som inte kräver någon medverkan av fackman.

Belysning i korridorer

Belysningen i skolkorridorer ska möjliggöra snabb, enkel och säker förflyttning. Detta underlättas av bra belysning, som gör det lätt att observera dörrpartier, trappor, hissar, riktningförändringar i korridoren etc. Enkel orientering och kommunikation förutsätter också att belysningen i korridoren samordnas med färgsättning och materialval. Ansikten och personer som man möter ska vara lätta att känna igen, jackan ska vara enkel att hänga upp och hitta och man ska inte i onödan behöva riskera att snubbla på väskor och andra föremål.

Korridoren bör ha en belysning, som är jämnt fördelad, bländfri och av tillräcklig styrka i både vertikal och horisontell riktning.

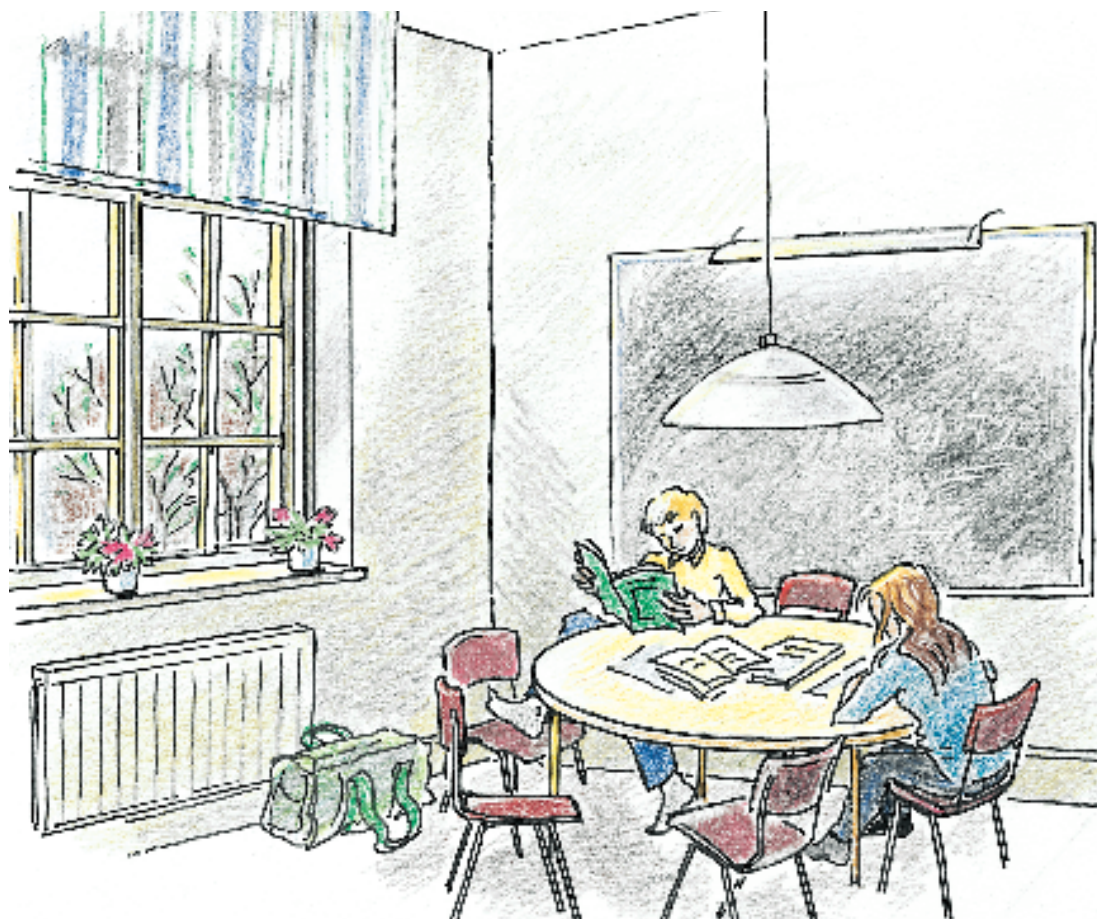


Fig 15 Breda korridorer och korridorändar kan utnyttjas som uppehållsrum för elever, pausutrymmen och grupparbetsplatser. Utrymmena blir mer användbara om korridorbelysningen varieras och anpassas till möbleringen. Exempelvis kan komplettering ske med väglampor eller pendlade lampor över bord.

Det känns naturligt om ljusnivån är något lägre i korridoren än i angränsande lärosalar. En separat städbelysning underlättar arbetet.

Armatuurval och armaturplacering kan utnyttjas för att betona huvudstråk och ange riktningar, för att underlätta orientering och förtydliga vissa funktioner. Korridorbelysning kan med fördel innehålla flera armaturtyper med olika funktion. Takmonterade lampor kan t.ex. kompletteras med väl avskärmade väglampor.

Korridoren är också en plats för att förmedla information av olika slag. Anslagstavlor, affischer och konstverk kan med fördel framhävas genom särskild belysning.

Korridorer utnyttjas också som förvaringsutrymme med bland annat inredning för ytterkläder och skåp för elever att förvara sina tillhörigheter i. Belysningen ska utformas så att man kan se i skåpen och att olämpliga slagskuggor inte uppstår.

Korridorbelysningen har vanligtvis långa brinntider och ur underhålls- och energiaspekter är raka lysrör eller kompaktlysror en lämplig ljuskälla för allmänbelysningen. För att minska brinntider och spara energi är det en bra investering att styra belysningen via när-

varodetektor så att ljuset släcks automatiskt då ingen rörelse förekommer i korridoren. Det har visat sig vara en fördel att inte släcka ljuset helt utan låta cirka 10 % (ca 20 – 30 lux) lysa för att visa att verksamhet pågår.

Generellt bör lysrörsarmatur i korridorer liksom i övriga utrymmen i skolor utrustas med HF-drift för att få bättre ljuskvalitet och lägre energiförbrukning.

Handikappanpassning

Vi har en lagstiftning i Sverige, som föreskriver en integrerad ungdomsskola, vilket innebär att även elever med olika handikapp deltar i undervisningen. Detta ställer både krav på miljön som helhet och på möjligheterna till individuell anpassning. Handikappanpassning gör normalt även miljön mer lättillgänglig för alla. En bra vertikalbelysning t.ex. underlättar hörande och samtal för både hörselskadade och normalhörande. Belysningen är av avgörande betydelse för tillgängligheten av den fysiska miljön och strävan ska vara att göra tydliga och "begripliga" rum.

Detta förutsätter en samordning mellan rummets form, materialval, färgsättning och belysning. Kontrasterna i rummet ska tydligt beskriva rummets avgränsningar och funktion. Enklast åstadkommer man detta genom att ge golv och tak en avvikande färg mot väggarna och i vissa fall kan orienteringen underlättas genom att exempelvis fasadväggen får en egen färgnyans. Även dörrar och gångstråk kan förtydligas genom materialval och färgsättning. Syftet ska vara att genom logisk uppbyggnad göra miljön enkelt tolkningsbar och begriplig.

Personer med handikapp kan också behöva speciell utrustning såsom datorer och bildskärmar. Synhandikappade behöver ofta förstärkning av belysningen i form av platsanpassad belysning. Detta krav ska tillgodoses genom att installationer förbereds så att olika typer av kompletteringar är möjliga att göra på ett enkelt sätt.

BELYSNINGSPÅSÄTTNING

Belysningsinstallationen ska utföras så att den ej stör hörsel- och syn- tekniska hjälpmedel.

Belysningsanläggningen ska uppfylla gällande bullerkrav för skolmiljö.

Elinstallationen ska utföras så att tillsatsbelysning lätt kan anslutas.

Ljuskällor och ljusarmaturer

Ljuskällor

Valet av ljuskälla är grunden för belysningsanläggningens kvalitet. Ljuskällors egenskaper är av två slag, sådana som beskriver ljusets visuella egenskaper och sådana som beskriver ekonomiska samt energi- och driftsmässiga förhållanden.

Begrepp som beskriver ljuskällans optiska egenskaper är:

- Färgåtergivning
- Ljusfärg
- Spektral energifördelning

Kännedom om dessa data, som anger ljuskällans förmåga att återge föremåls färger, är till hjälp i den praktiska planeringen men ger ändå en begränsad information. Om det är möjligt bör dessa uppgifter kompletteras med praktiska prov med förekommande material och riktig färgsättning.

Begrepp som beskriver ljuskällans ekonomiska, energi- och driftsmässiga egenskaper är ljusflöde, effekt, ljusutbyte och livslängd.

<i>Ljusflöde</i>	anger mängden ljusstrålning som lämnar ljuskällan och har enheten lumen (lm).
<i>Effekt</i>	anges i watt (W) och är den energi som per tidsenhet förbrukas av själva ljuskällan.
<i>Ljusutbyte</i>	är ljuskällans verkningsgrad och redovisar ljusflödet i förhållande till effekten, lumen/watt (lm/W).
<i>Livslängd</i>	för glödlampor och halogenlampor är ett medelvärde på brinntiden medan den för urladdningslampor och lysrör anges som ekonomisk livslängd.

Ljuskällor delas in i två huvudgrupper nämligen glödlampor (temperaturstrålare) och urladdningslampor.

I glödlampan upphettas en metalltråd när strömmen passerar och i urladdningslampan är det elektriska urladdningar i en gasblandning som ger upphov till strålning.

De krav som ställs på belysningen i skolor leder ofta till att lämpligaste ljuskälla för basbelysning är lysrör, antingen vanliga raka med effekterna 18, 36 och 58 watt eller kompaktlysror som finns i många former och utföranden med effekter från 5 watt och uppåt.

Temperaturstrålare, glödlampor och halogenlampor, har på ett generellt plan bättre visuella ljusegenskaper men lågt ljusutbyte och kort livslängd begränsar användningsmöjligheterna. I praktiken kan glödljus användas för speciella synuppgifter, som exponeringsbelysning och för att tillgodose speciella ljuskra.

Lysrör

Det raka lysröret har högsta ljusutbyte, längsta livslängd och relativt sett lägsta inköpspris. Värmestrålningen är väsentligt lägre än glödlampans.

Lysrören finns i tre kvalitetsklasser, enkelfärg, fullfärg och fullfärg special. I skolor ska minst fullfärgsrör användas (Ra 80 – 85) och för speciella tillämpningar fullfärg special.

Raka lysrör finns med ljusfärg från 2 700 K till 6 000 K. Vanligast förekommande är så kallade varmvita lysrör ca 3 000 K.

Med HF-drift (högfrekvensdrift) kan lysrören regleras steglöst och fördunklas. Nackdelen med lysrör är att de genom sin form ger begränsade möjligheter till utformning av armaturen.

Kompaktlysror och lysrörslampor

Kompaktlysroren är principiellt samma typ av ljuskälla som raka lysrör men mer kompakta till sin form. Detta möjliggör en mer varierad armaturutformning.

De vanligast förekommande kompaktlysroren är av typerna 2-, 4- eller 6-stavs.

Kompaktlysror av bra kvalitet har i stort sett lika bra egenskaper som konventionella raka lysrör. De längre kompaktlysroren med fyrstiftssockel kan utrustas med HF-drift och även ljusregleras. Kompaktlysroren har högre luminans än konventionella lysrör vilket också medför skärpta krav på avskärmning.

Glödlampor och halogenlampor

Glödlampor finns i många olika utföranden och för olika behov. Glödlampans ljusutbyte är lågt (ca 10 lumen/W) och den bör därför användas där dess högre kvalitet är befogad, exempelvis som koncentrerad platsbelysning. Medellivslängden för standardlampor är ca 1 000 timmar.

Halogenglödlampan är en utveckling av glödlampan. Den finns för vanlig nätspänning 230 V men är i inredningssammanhang vanligt förekommande i lågvoltutförande 12 V. Den ger ungefär dubbelt så mycket ljus som en vanlig glödlampa och har 2-3 gånger längre medellivslängd. Genom ljuskällans lilla format kan armaturen göras liten. Lampan kan ge ett koncentrerat riktat ljus lämpligt som effektbelysning. Dess spektralfördelningskurva liknar vanliga glödlampors och färgtemperaturen är ca 3 000 K.

Ljusarmaturer

Utgångspunkten för valet av armaturtyp är dels vilken ljuskälla som ska användas dels vilket "arbete" armaturen skall göra. Exempelvis allmänbelysning, tavel- eller väggbelysning, exponeringsbelysning etc.

På motsvarande sätt som vid beskrivningen av ljuskällornas egenskaper kan uttrycken delas in i kategorierna visuella ljusegenskaper respektive driftsegenskaper som ekonomi, energi och underhåll. Därutöver tillkommer egenskaper som produktkvalitet och utseende.

Armaturens ljusegenskaper

Ljusfördelningen beskriver hur armaturen fördelar ljuset uppåt, nedåt eller runtomspridande. Armaturen kan också ha symmetrisk eller asymmetrisk ljusfördelning. Dessa egenskaper beskrivs i standardiserade ljusfördelningsdiagram.

Fig 16 Bilden visar ljusarmaturer som har grupperats efter sättet de riktar ljuset uppåt respektive nedåt.
 Direktstrålande,
 90 – 100 % ljus nedåt.
 Övervägande direktstrålande,
 60 – 90 % ljus nedåt.
 Övervägande indirekt strålande,
 10 – 40 % ljus nedåt.
 Indirekt strålande,
 0 – 10 % ljus nedåt.

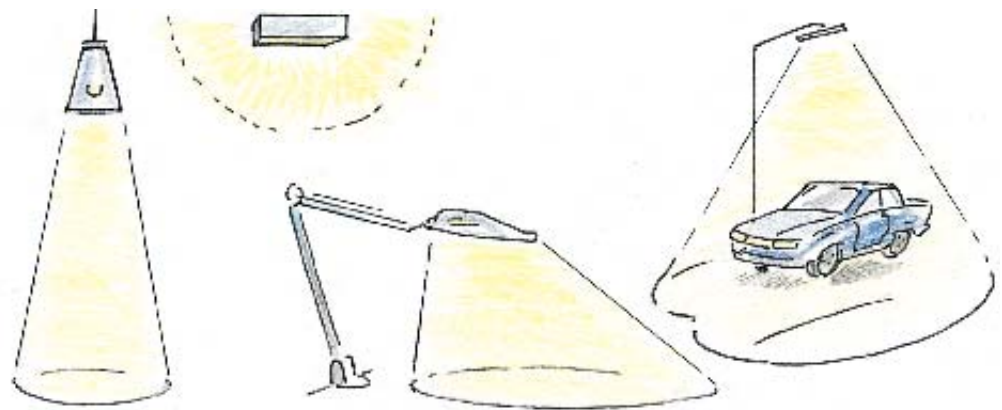
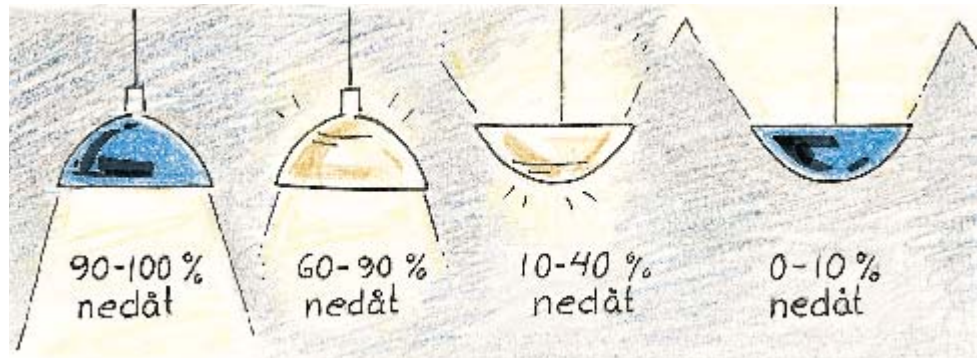
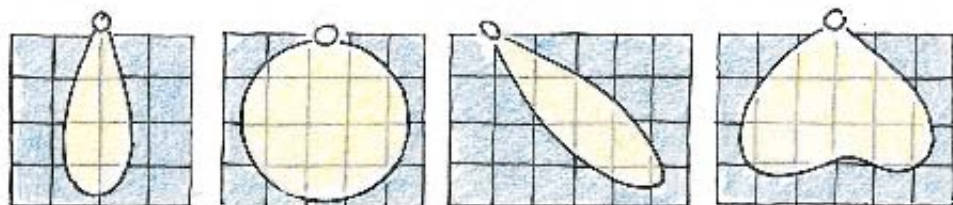


Fig 17 Bilden visar ljusfördelningskurvor för några olika sorters ljusarmaturer.
 Symmetrisk smalstrålande,
 symmetrisk bredstrålande,
 asymmetrisk samt
 symmetrisk vingformig.



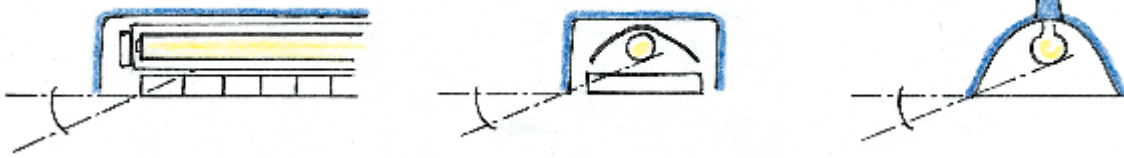


Fig 18 Bilden visar avskärningsvinkel för lysrörsarmatur parallellt med och vinkelrätt mot längdriktningen samt för en lampskärm med glödljus.

Avskärmningen är kanske den viktigaste egenskapen att bevaka för att uppnå goda synvillkor. Skälet är att ljuskällornas effektivitet ökat väsentligt under senare år och därmed också ljuskällornas egenluminans. Detta har tillsammans med effektivare reflektorutformning fått till följd att risken för bländning har ökat. Armaturens avskärningsvinkel och övriga avbländningsegenskaper ska alltid beaktas vid valet av armatur.

Ekonomi, energi och underhåll

Verkningsgraden anger hur stor del av ljuskällans ljusflöde som kommer ut ur armaturen, uttryckt i procent. Denna egenskap har i många anläggningar fått en alltför dominerande betydelse eftersom den är enkel att kalkylera och påverkar direkt kostnaderna för belysningen. Ofta är det emellertid så att en något mindre effektiv armatur har en bättre avskärmning och ger därmed också bättre synvillkor. Belysningen blir totalt sett syneffektivare och därmed också billigare trots en lägre verkningsgradsfaktor. Problemet måste analyseras i sitt sammanhang.

Driftsegenskaper och servicebehov som beskriver typ av förkopplingsdon för lysrör, åtkomlighet vid ljuskällebyten och även behovet av och möjligheterna till rengöring. På sikt är det underhållet av anläggningen som avgör dess belysningskvalitet.

Produktkvalitet och utseende

Förutom att armaturen ska ge ljus av rätt kvalitet så är den en produkt med storlek, form och färg som även i detta avseende påverkar miljön. Överensstämmer inte armaturens utseende med miljön som helhet, uppfattas ofta även ljuset som dåligt.

Det är viktigt att samordna, anpassa och kompromissa för att uppnå en optimal lösning i varje enskild anläggning.

Det är av stor betydelse för helheten, att förutom tekniska och underhållsmässiga aspekter på material och konstruktion, även välja en materialkvalitet som står i samklang med övrigt material i rummet.

Styrning, reglering, HF-drift

Vid studier av belysning i skolor har det framkommit att ett entydigt krav både bland lärare och elever är att enkelt kunna förändra

och anpassa belysningen i lärosalen till olika undervisningssituationer.

Förutom denna rent pedagogiska aspekt så är ljusreglering även ett effektivt sätt att spara energi. Ny teknik, elektroniska förkopplingsdon i lysrörsarmaturer har förutom andra fördelar även gjort det möjligt att steglöst reglera ljuset från lysrörsarmaturer.

Behovet av reglering är betingat av flera orsaker:

- Först och främst är det att få en anpassning till undervisningssituationen, typen av lektion, gruppstorlek, behovet av hjälpmedel som overhead, video, dator etc.
- En andra aspekt är möjligheten att anpassa elbelysningen till dagsljuset beroende på årstiden och tiden på dagen.
- En tredje aspekt är energi- och kostnadsbesparing genom automatisk släckning då ingen utnyttjar lärosalen.

Erfarenheterna av de nya styr- och reglersystemen är begränsade men vissa tendenser går att urskilja:

- Lärare och elever känner sig ofta manipulerade av automatiska system som de ej själva kan påverka, exempelvis konstant ljushållning i relation till dagsljuset.
- Automatisk släckning via närvarodetektorer uppfattas som positivt och medverkar till att minska energiuttaget.
- Styrning via klocka, månadsvis eller årsvis och ibland även kombinerat med ljusrelä är befintlig teknik som kan användas för centralhallar och utomhus. Den fungerar dock inte i den lilla enheten som klassrummet utgör.

Ett övergripande problem i lärosalar är att det saknas enhetlighet vad gäller utformning av knappar, rattar och paneler för att styra ljuset. Exempel finns på anläggningar med bra styrsystem som inte kommer till användning på grund av att knappatserna är obegripliga och endast kan förstås av den utbildade teknikern. En samordning, förenkling och standardisering är nödvändig.

REGLERING AV BELYSNING

- Belysningens ljusnivå bör vara varierbar och omfatta reglerområdet cirka 10 – 100 %.
- Belysningen bör där så krävs vara reglerbar ned till någon procent av belysningsanläggningens högsta ljusflöde.
- Regleringen av ljusnivå bör även innefatta ett enkelt sätt att erhålla en normal belysningsnivå.

Energieffektiv belysning

Grunden för energieffektiv belysning är en medveten planering. Genomförs denna på ett kunnigt sätt minskas inte bara energiförbrukningen utan möjligheter finns också för att öka belysningsanläggningens visuella kvaliteter. I planeringen finns möjligheter att genom samordning mellan rummets fysiska egenskaper, verksamhetens krav och belysningens utformning göra energivinster.

Ny teknik i form av effektivare ljuskällor, mer utvecklade belysningsarmaturer och lysrörsarmaturer med elektroniska driftdon minskar i väsentlig grad den installerade effekten för belysningen.

Högfrekvensdriften i sig ger en besparing på i storleksordningen 20 – 25 % jämfört med konventionella driftdon. Ljuskällornas livslängd ökas härvid med cirka 20 % och HF-driften ger möjlighet till steglös ljusreglering.

Även den effektivaste belysningsanläggning drar mycket energi om den får lysa i onödan. Därför är handhavandet av största betydelse så att drifttiderna begränsas till de tider då lokalerna utnyttjas. Detta sker både genom information och rutiner för manuell släckning och installation av utrustning för automatisk släckning, närvarodetektorer, tidur etc.

HÖGFREKVENSDRIFT, INSTALLERAD EFFEKT OCH ENERGIFÖRBRUKNING

- Om man bl.a. vill minska den installerade effekten bör högfrekvensdrift väljas.
- Belysningsanläggningen bör vara utrustad med automatisk släckfunktion.

Störningar EMF

Elektriska installationer och utrustningar ger upphov till elektriska och magnetiska fält (EMF). För att minska EMF bör elinstallationer utföras på sådant sätt att fälten i görligaste mån begränsas.

För belysningsinstallationer kan därvid följande viktiga åtgärder vidtas:

- Anslut fasledare rätt i ljusarmaturer.
- Jorda ljusarmaturer (observera att platsbelysningsarmaturer med flat stickpropp ej är jordade).
- Välj 2-polig brytning av platsbelysningsarmatur.
- Välj bländskydd av metall med galvanisk förbindning med jord.
- Undvik, speciellt av installationstekniska skäl, lysrörslampor och högfrekvensdon som saknar övertonsfilter.

Underhåll

Ljus kvalitén i skolans lokaler bestäms i praktiken av hur belysningsanläggningen sköts och underhålls. Allt eftersom tiden går samlas smuts på fönster, ljusarmaturer och väggytor. När lamporna blir äldre minskar deras effektivitet, plastmaterial gulnar av ålder och reflektorers ljusspridning kan förändras och effektiviteten minskar.

Om rutiner för ett reguljärt underhåll utarbetas och följs kan bland annat beräknade ljusflödesnedgångar i anläggningen minimeras. Underhållet har stor betydelse för såväl kostnad som energiförbrukning och bör behandlas redan när en ny anläggning planeras. I planeringsskedet kan man underlätta framtida skötsel genom val av lämpliga material och utföranden. Ur underhållssynpunkt är det fördelaktigt att välja ljuskällor med lång livslängd. Glödlampor och halogenglödlampor måste i en anläggning bytas efter hand som glödtråden brinner av och ljuskällorna slocknar.

Urladdningslampor slocknar inte och livslängden anges till den tidpunkt då det totala ljusflödet minskat med cirka 30 %. Då bör ett gruppbyte genomföras dvs. samtliga ljuskällor byts på en gång.

Vid upprättandet av underhållsplanen för belysningsanläggningen ska specificeras:

- Typ av ljuskällor så att de uttjänta ersätts av ljuskällor med identiska prestanda.
- Tidsintervallet för gruppbyten då exempelvis samtliga lysrör byts samtidigt.
- Rutiner för rengöring och inspektion.
- Behovet av hjälpmedel, stegar, lyftanordningar etc.
- Hur utbytta ljuskällor ska hanteras, genom kontakt med lokala Miljö- och hälsoskyddskontoret.

Kontroll av belysning

Belysningens syfte är att ge goda villkor för skolarbete och uppfylla visuella krav som kan formuleras i termer av synbarhet, rumslighet och atmosfär.

Det är därför naturligt att börja belysningskontrollen med en visuell utvärdering som behandlar de visuella begreppen ljusnivå, ljusfördelning, ljusfärg, färg, bländning, skuggor och reflexer. (Se formulär sid 116 – 117.)

Med den visuella utvärderingen som grund kan de fotometriska mätningarna begränsas till att omfatta de situationer där den visuella utvärderingen indikerar problem av någon art. Om resultatet av den

visuella utvärderingen och mätdata pekar i samma riktning är det en bra grund för snabba direkta åtgärder. Går resultaten däremot i olika riktningar är det lämpligt med en mer ingående analys så att eventuella åtgärder verkligen får avsedda effekter. Detta är ett arbete som ofta kräver tid för diskussion och eftertanke.

- Belysningsstyrka:** Det allmänna ljuset mäts horisontellt (på arbetsytan) och vertikalt (på skrivtavlan).
- Luminanser :** Max- och minvärden mäts i synfältet (armatur, tak, vägg, golv, skrivtavla, arbetsyta och arbetsmaterial).
- Kontrastreduktion:** Mäts på arbetsplatserna. (Förutsätter tillgång till instrument som är relativt ovanliga.)

Mätningarna görs enligt fastställt formulär, se sid 118 – 125.

Checklista för belysningskvalitet

✓ **Elinstallation**

Elinstallation skall underlätta framtida komplettering med tillsatsljus och platslampor.

✓ **Funktion**

Belysningen ska skapa goda synförhållanden och underlätta synarbetet i alla skolans lokaler.

✓ **Helhet**

Belysningen måste samordnas med rummets utformning och karaktär. Exempel på faktorer som styr valet av belysning i rummet är bl.a. dess färgsättning, takhöjd och dagsljusförhållanden.

✓ **Kommunikation**

Kommunikation mellan människor underlättas i hög grad av god vertikalbelysning som framhäver ansikte och minspel.

✓ **Möbleringsfrihet**

Fast möblering förekommer inte längre. Klassrummet har blivit ett "grupprum" med flera parallella användningssätt – från lågstadium på dagen till vuxenundervisning på kvällen.

✓ Pedagogiskt hjälpmedel

Belysningen ska vara ett pedagogiskt hjälpmedel som stöder undervisningen och underlättar inläringen.

✓ Planering

Planera alltid belysningen i samråd med dem som ska arbeta i lokalerna och med dem som har ansvar för drift och underhåll.

✓ Styrning och reglering

Tändning, släckning och styrning måste vara utformat så att både lärare och elever lätt kan utnyttja systemet. När man tänder i rummet ska exempelvis normalbelysningen vara förinställd.

✓ Tekniska hjälpmedel

Nya tekniska hjälpmedel, bildskärm, video, overhead och dia-projektor ställer speciella krav på belysningens utformning och armaturens placering.

✓ Variationsmöjligheter

Belysningen måste kunna varieras beroende på undervisningens art, tiden på dagen, väderleksförhållanden, elevernas antal och ålder samt deras behov av arbetsro.

VISUELL UTVÄRDERING

Skola *OLLE OLSSONSSKOLAN, OSTAD*
 Rum *701 B* Dat *2/1-92* Tid *16.30* Sign

BEGREPP	Beskrivning (Skala 1-5)	Värdering (Skala 1-5)
LJUSNIVÅ	Ljust <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Mörkt	Bra <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Dåligt
LJUSFÖRDELNING	Varierad <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Jämn	Bra <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Dåligt
SKUGGOR	Mjuka <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Hårda	Bra <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Dåligt
REFLEXER	Diffusa <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Intensiva	Bra <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Dåligt
BLÄNDNING	Obefintlig <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> Obehaglig	Bra <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Dåligt
LJUSFÄRG	Varm <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Kall	Bra <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Dåligt
FÄRGER	Naturliga <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Förvrängda	Bra <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Dåligt

ÖVRIGA IAKTAGELSER

- *LJUSNIVÅ; LAGOM*

- *LJUSFÖRDELNING; OMOTIVERAT OJÄMN PÅ BORDET*

- *KONCENTRATION MOT SKRIVTAVLA*

- *REFLEXER; PÅTAGLIGA I BLANKA MATERIAL*

- *SKUGGOR; FÖRVIRRANDE GENOM SIN KOMPLEXITET*

- *BLÄNDNING; VISS INSYN I ARMATUR VERKAR SYNFÖRSVÅRANDE*

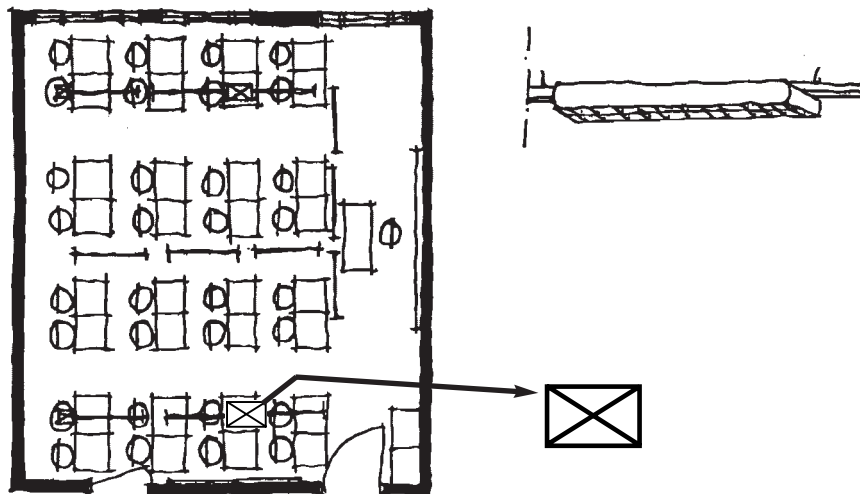
- *LJUSFÄRG OCH FÄRG ; OK*

- *ARMATUR MITT EMOT SKRIVTAVLA SAKNAS*

RUM/BELYSNING/INREDNING

Skola OLLE OLSSONSSKOLAN, OSTADRum KLASSRUMDat 921211

Sign



PÅ PLANEN REDOVISAS:

*Armaturlacering*Fabrikat SIEMENSTyp DVS CAPELLA HFBestyckning 2x36Bländskydd AL LAMELLLjusfördelning DIREKTVERKANDE M. UPPLJUSGLÖDLJUS MEDPRISMASKIVA 2X40W*Dörr- och fönsterlägen**Rumsytor*Golv GRÅ PLASTMATTA REFLEKTANS 35%Väggar VITA REFLEKTANS 87%Tak VITT M. SYNLIGT BÄRVERKSnickerier FURU REFLEKTANS 50/60 %Övrigt DÖRRAR, GRÅ REFLEKTANS 40%*Möblering*Bord BOKLAMINAT, STÅLSTATIVStolar VINRÖDA STÅLSTATIVSkrivtavla WHITEBOARD, BEIGEÖvrigt GRÅ ANSLAGSTAVLA*Rumsmått*Längd 8.30 meterBredd 7.10 meterHöjd 2.65 meterBygg- och renov. år. HT-92

RUM/BELYSNING/INREDNING

Skola

Rum Dat Sign

PÅ PLANEN REDOVISAS:

Armaturlacering

Fabrikat

Typ

Bestyckning

Bländskydd

Ljusfördelning

.....

Möblering

Bord

Stolar

Skrivtavla

Övrigt

*Dörr- och fönsterlägen**Rumsytor*

Golv

Väggar

Tak

Snickerier

Övrigt

Rumsmått

Längd

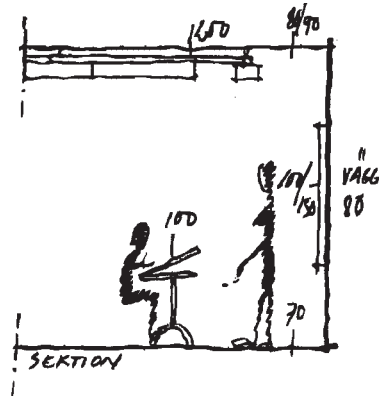
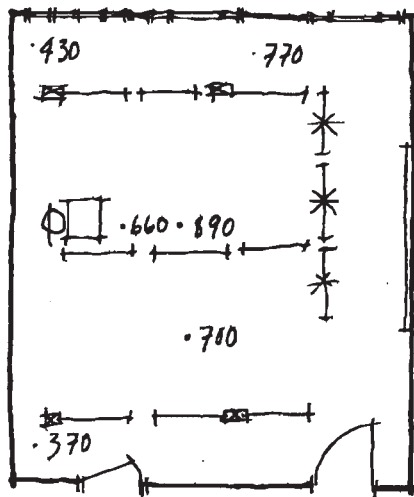
Bredd

Höjd

Bygg- och renov. år.

LJUSMÄTNINGAR

Skola OLLE OLSSONSSKOLAN, OSTAD
 Rum KLASSRUM Dat 921211 Sign



X EJ UPPLJUS

PÅ PLANEN REDOVISAS:

Belysningsstyrka

Horisontellt 75 cm över golv

E_{\min}	370 LUX
E_{\max}	890 LUX
E_{med}	ca 700 LUX
Jämnhet	42 %

Belysningsstyrka

Vertikalt

Sittande elev	300/500 LUX
Stående lärare.....	520 LUX

Luminans

Läsfält	230 cd/m^2
Bord	100 cd/m^2
Golv	70 cd/m^2
Tavla	100/150 cd/m^2
Vägg	80 cd/m^2
Tak	80 - 1 200 cd/m^2
Armatyr.....	30° 2 000 cd/m^2
	45° 6-7 000 cd/m^2
	60° 10 000 cd/m^2

LJUSMÄTNINGAR

Skola

Rum Dat Sign

PÅ PLANEN REDOVISAS:

Belysningsstyrka

Horisontellt 75 cm över golv

 E_{\min} E_{\max} E_{med}

Jämnhet

Belysningsstyrka

Vertikalt

Sittande elev

Stående lärare.....

Lumonans

Läsfält

Bord

Golv

Tavla

Vägg

Tak

Armatyr

LJUSMÄTNINGAR

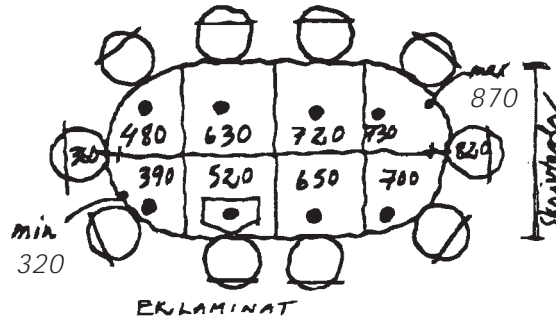
Skola OLLE OLSSONSSKOLAN, OSTADRum 701 BDat 2/1-92Tid 15.40

Sign

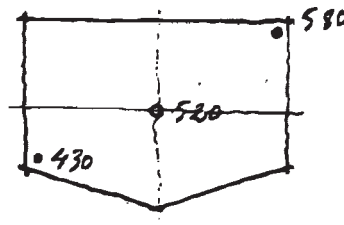
BELYSNINGSSTYRKA I LUX

Arbetsbord E_h ($h = \text{horisontellt}$) E_{\min} 320 lux E_{\max} 870 lux E_{med} lux

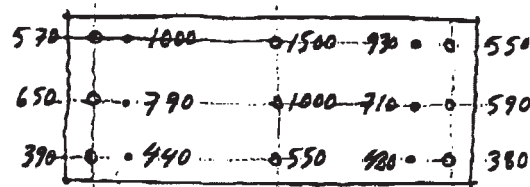
Jämnhet

 E_{\min} / E_{\max} 37 %Läsfält E_h ($h = \text{horisontellt}$) E_{\min} 430 lux E_{\max} 580 lux E_{med} lux

Jämnhet

 E_{\min} / E_{\max} %Skrivtavla E_v ($v = \text{vertikalt}$) E_{\min} 380 lux E_{\max} 1 500 lux E_{med} lux

Jämnhet

 E_{\min} / E_{\max} %

STÖRNINGAR

Reflexer ARMATURERNA SPEGLAS I BLANKA MATERIAL. TAKARMATUR SPEGLAS I SKRIVTAVLASkuggor FLERDIMENSIONELLA FÖRVIRRANDEArmatur Dåligt avskärmda, besvärande insyn mot ljuskällan i vissa lägen. tavelarmatur väl avskärmd, räcker ej på breddenÖvrigt STOR VARIATION I BELYSNINGSSTYRKA PÅ ARBETSBORDET

LJUSMÄTNINGAR

Skola

Rum Dat Tid Sign

BELYSNINGSSTYRKA I LUX

Arbetsbord E_h ($h = \text{horisontellt}$) E_{\min} lux E_{\max} lux E_{med} lux

Jämnhet

 E_{\min} / E_{\max} %*Läsfält E_h ($h = \text{horisontellt}$)* E_{\min} lux E_{\max} lux E_{med} lux

Jämnhet

 E_{\min} / E_{\max} %*Skrivtavla E_v ($v = \text{vertikalt}$)* E_{\min} lux E_{\max} lux E_{med} lux

Jämnhet

 E_{\min} / E_{\max} %

STÖRNINGAR

Reflexer

Skuggor

Armatyr

Övrigt

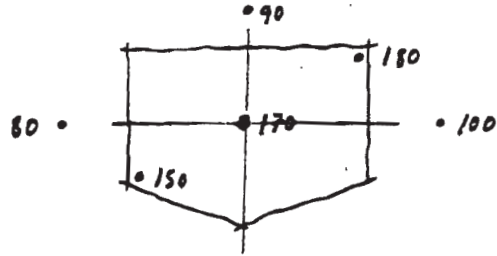
LJUSMÄTNINGAR

Skola OLLE OLSSONSSKOLAN, OSTAD
 Rum KLASSRUM Dat 2/1-92 Tid 16.00 Sign

LUMINANS (markera mätposition)

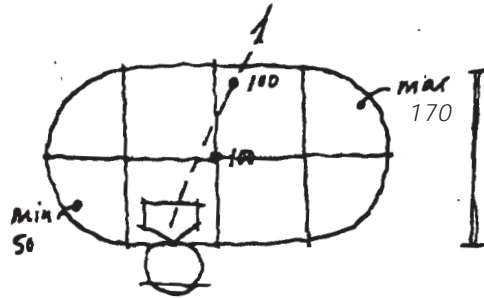
Läsfält

L_{cent} 170 cd/m^2
 L_{min} 150 cd/m^2
 L_{max} 180 cd/m^2



Arbetsbord

L_{min} 50 cd/m^2
 L_{max} 170 cd/m^2
 L_{med} cd/m^2



Jämnhet

L_{min} / L_{max} %

OMGIVNING VÄGG

L_{min} 60 cd/m^2
 L_{max} 100 cd/m^2
 L_{med} cd/m^2

TAK

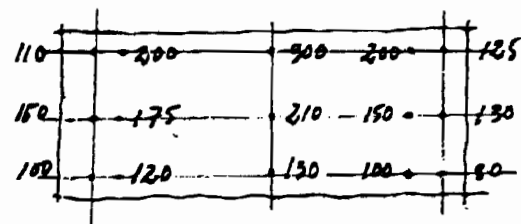
L_{min} 60 cd/m^2
 L_{max} 460 cd/m^2
 L_{med} cd/m^2

ARMATUR

L_{min} 75 cd/m^2
 L_{max} 3000/7500 cd/m^2
 L_{med} cd/m^2

SKRIVTAVLA

L_{min} 80 cd/m^2
 L_{max} 300 cd/m^2
 L_{med} cd/m^2



Jämnhet

L_{min} / L_{max} %

STÖRNINGAR

Reflexer
 Skuggor
 Armatur
 Övrigt

LJUSMÄTNINGAR

Skola

Rum Dat Tid Sign

LUMINANS (markera mätposition)

*Läsfält*L_{cent} cd/m²L_{min} cd/m²L_{max} cd/m²*Arbetsbord*L_{min} cd/m²L_{max} cd/m²L_{med} cd/m²

Jämnhet

L_{min} / L_{max} %

OMGIVNING VÄGG

L_{min} cd/m²L_{max} cd/m²L_{med} cd/m²

SKRIVTAVLA

L_{min} cd/m²L_{max} cd/m²L_{med} cd/m²

Jämnhet

L_{min} / L_{max} %

STÖRNINGAR

Reflexer

Skuggor

Armatyr

Övrigt

TAK

L_{min} cd/m²L_{max} cd/m²L_{med} cd/m²

ARMATUR

L_{min} cd/m²L_{max} cd/m²L_{med} cd/m²

Ordförklaringar

Absorberat ljus

Det ljus som inte reflekteras eller transmitteras av ett material.

Adaption

Synsinnets anpassning till olika ljusförhållanden.

Baffel

Del av belysningsarmatur för att motverka bländning. I regel förekommer dessa i spotlights och downlights som mattlackerade svarta ringar.

Bajonettfattning

Glödlampssockel med 2 tappar för fastsättning av glödlampor i lamphållaren.

Belysningsstyrka

Betecknas E. Enheten är lux som motsvarar lumen/m². E på en yta är det mot ytan infallande uppmätta ljusflödet per m² av ytan.

Bländning

Orsakas av en i synfältet lysande yta vars ljushet överstiger ögats adaptationsförmåga.

Bländskydd

Samlande beteckning för anordning för att förhindra bländning. Vanligt är olika typer av rutraster, bafflar eller lamellbländskydd.

Dagsljusfaktor

Betecknas vanligen D och anges i %. D anger hur stor del av det totala dagsljuset från en jämnmulen himmel som når in till en given punkt i ett rum.

Detaljseende

Också kallat centrala seendet. Inom en synvinkel av ca 2° har vi förmågan att se skarpt och urskilja fina detaljer. Jämför omgivningsseende.

Diffust ljus

Ljus som givits en spridning i olika riktningar genom diffuse-
rande material (t.ex. opaliserande glas, tyg eller plast).

Dimmer

Ljusregulator.

Direkt ljus

Ljus som erhålls direkt från en belysningsarmatur utan att ha
reflekterats mot tak eller väggyta.

Downlight

Reflektorarmatur som lyser rakt ned. I regel fast armatur för
montering på eller infälld i tak.

Driftdon

Samlande begrepp för utrustning, erforderlig för tändning av
lysrör.

Ekonomisk livslängd

Anges för gasurladdningslampor. Beräknas genom begreppet
ljusförlust, som är produkten av slocknade lampor och ljus-
nedgången. Ekonomiska livslängden brukar motsvara en ljus-
förlust av 30 %.

Enkelfärgslysrör

Enkel färgåtergivning, Ra-index under 80. Tidigare standard
eller normallysrör.

Flimmer

Vid konventionell lysrörsdrift med nätfrekvensen 50 Hz kan
flimmer upplevas. Med högfrekvensdrift, som har frekvensen
ca 30 kHz, kan inget flimmer upplevas.

Fullfärgslysrör

Full färgåtergivning, Ra-index 80 och däröver. Tidigare
3-bandsrör.

Fullfärgslysrör special

Extra nyanserad färgåtergivning. Ra-index 90 och däröver.
Tidigare 5-bandslysrör.

Färgtemperatur

Ett mått som beskriver ljuskällans ljusfärg. Färgtemperatur mäts i Kelvin (K). Ju lägre färgtemperatur desto varmare ljus.

Färgåtergivningningsindex (Ra)

Anger ljuskällans förmåga att återge färger jämfört med en ideal ljuskälla (temperaturstrålare) med samma färgtemperatur. Index för en ideal ljuskälla är 100. Glödlampa och dagsljus är exempel på ideala ljuskällor.

Gradient

Övergång i ljushet eller färg utan markant gräns.

Gränslinje

Mer eller mindre skarpa gränser mellan kontrasterande ytor.

Halogenlampa

Glödljuslampor vars prestanda förbättrats genom användning av halogengas. Används bland annat i lågvoltlampor.

HF

Högfrekvensdrift. Elektroniska HF-don kan ersätta lysrörsarmaturers konventionella driftdon.

Indirekt ljus

Belysning där det mesta ljuset erhålls efter reflexion mot tak eller väggyta.

Kalljusreflektor

Reflektor med egenskap att inte reflektera ljuskällans värmestrålning lika mycket som ljusstrålningen.

Kontinuerligt spektrum

Visar inga kraftiga skillnader i intensitet mellan intilliggande våglängder. Det alstras vanligen av en glödande kropp som solen eller tråden i en glödlampa. I vilket våglängdsområde maximum ligger beror på den glödande kroppens temperatur.

Kontrast

I detta sammanhang upplevda skillnader i ljushet eller färg.

Ljusflöde

Betecknas Φ (uttalas fi). Enheten är lumen (lm).

Ljushet

En subjektiv uppfattning av hur en ljus yta ser ut i sitt sammanhang. Den tekniska termen luminans avser uppmätt strålningsflöde från en yta. Detta har dock ingen direkt motsvarighet i den ljushet vi upplever subjektivt.

Ljusb mängd

Betecknas Q . Enheten är lumentimme. Q är produkten av ljusflödet och den tid under vilken ljuset utsändes.

Ljusstyrka

Betecknas I . Enheten är candela. Med I i en viss riktning avses ljusflödet per rymdvinkelenhet i denna riktning.

Ljusstyrning

En ny teknik som gör det möjligt att styra elbelysningen i relation till dagsljus, närvarofrekvens etc.

Ljusutbyte

Anges i lumen per watt. Ljusutbytet är förhållandet mellan givet ljusflöde och förbrukad effekt.

Luminans

Betecknas L . Enheten är candela per m^2 . L hos en yta är förhållandet mellan ytans ljusstyrka i en riktning mot betraktaren och ytans projektion på ett plan vinkelrätt mot betraktningsriktningen.

Lågvoltlampor

Samlande begrepp på ljuskällor för 6, 12 eller 24 volt spänning.

Medellivslängd

Anges för ljuskällor. Med medellivslängd avses den tid efter vilken 50 % av ett större antal lampor har slocknat.

Närvarodetektor

Se rörelsedetektor.

Omgivningsseende

Också kallat perifert seende. Cirka 170° synfält, inom vilket vi ej urskiljer små detaljer eller skarpa gränslinjer. Detta seende utgör huvuddelen av våra synintryck. Jämför Detaljseende.

Omkringstrålare

Belysningsarmatur som strålar ljus i alla riktningar.

Reflektans

Ett mått på hur en yta reflekterar ljus. Förhållandet mellan reflekterad och infallande strålning under de givna förhållandena. En vit yta har teoretisk reflektans 1, en svart 0.

Reflektor

Del av belysningsarmatur avsedd att rikta ljuset i olika vinklar. Reflektorer för ljusarmaturer utföres i regel av blank metall eller av förspeglat glas.

Reflexbländning

Bländning orsakad av reflexer med stor kontrast.

Reflexionsfaktor (π)

(), () och ()^{*} för en yta är förhållandet mellan reflekterat, reflexionsfaktor (), transmitterat, transmissionsfaktor () respektive absorberat ljusflöde, absorptionsfaktor () och mot ytor vinkelrätt infallande ljusflöde.

*
– uttalas pi
– uttalas delta
– uttalas alfa

Rörelsedetektor

Sensor som registrerar rörelser i rummet och kan installeras så att den tänder och släcker ljuset.

Sidljus

Ljus som kommer från sidan. Viktigt för att skildra volymer och texturer .

Synfält

Området som vi kan se framför oss med fast blickpunkt.

Synskärpa

Förmåga att urskilja små detaljer.

Transformator

Utrustning för att ändra den elektriska spänningen. En transformator är nödvändig vid användandet av lågvoltslampor.

Transmitterat ljus

Ljus som har passerat genom mer eller mindre ljusgenomsläppligt material.

UV-strålning

Ultraviolet strålning. Elektromagnetisk strålning med kortare våglängd än den för synligt ljus.

Wallwasher

Downlight med assymetrisk reflektor. Monteras lodrätt i tak nära vägg. Ger ljus på vägg och golv.

Watt

Mått på effekt. Även joule/s.

Våglängd

Avståndet längs en periodisk vågs utbredningsväg mellan två succesiva punkter i vilka fasen överensstämmer, t.ex. mellan två på varandra följande maximipunkter.

Referenser

1. Starby, Lars. Belysningshandboken. Ljuskultur. Stockholm 1992.
2. Belysning inomhus. Rekommendationer och riktlinjer. Ljuskultur 1990.
4. Löfberg, Hans Allan. Räkna med dagsljus. Statens institut för byggnadsforskning. Gävle 1987.
5. Ejhed; Ottosson; Persson. Belysning i skolor. NUTEK, kansliet för effektivare energianvändning. Stockholm 1994.
6. Bra innemiljö i skolan. Byggforskningsrådet. Förlagshuset Gothia. Göteborg 1992.
7. Ejhed; Liljefors. Bättre belysning. Byggforskningsrådets rapport 1990. Stockholm.
8. God og energirigtig skolebelysning. Lys og Optik, Lyseteknisk Selskab och Energistyrelsen. Forlaget Kommuneinformation. København 1991.
9. Ejhed, Jan. Kvalitets- och energiaspekter på belysning i undervisningsrum. Turebergsskolan Sollentuna. NUTEK, KTH-A Belysningslära. Stockholm 1992.
10. Ljus och seende i arbetslivet. Arbetarskyddsnämnden 1993.

Sammanställning av målvärden

Denna sammanställning av målvärden har gjorts för att underlätta jämförelser och kontroll. Det är dock viktigt att man vid tillämpningen av denna sammanställning är medveten om att det i anslutning till tabellerna i texten finns en del synpunkter kring målvärdena som inte redovisas i sammanställningen. Det finns därför anledning att använda sammanställningen med viss försiktighet. Målvärdena är skrivna av författarna och ska därför inte ses som myndighetsregler.

Termiskt klimat, luftkvalitet och ventilation

Målvärden temperatur

Lokaltyp	Operativ temperatur °C		Temperatur-skillnad Huvud-Fot °C	Max. lufthastighet i uppehållszon m/s
	Under uppvärmnings-säsong	Utanför uppvärmnings-säsong		
Klassrum	20 ± 2	24,5 ± 1,5	2	0,15
Aula	20 ± 2	24,5 ± 1,5	2	0,15
Slöjdsal	20 ± 2	23 ± 2	3	0,2
Gymnastiksal	17 ± 2	23 ± 2	3	0,3

De angivna kriterierna skall gälla inom det område i rummet som benämnes vistelsezon dvs. den del av rummet där människor vanligen vistas. Någon svensk standard som anger vistelsezonens begränsningar finns för närvarande inte. Inom det harmoniseringsarbete som pågår för att få en enhetlig europeisk standard har följande förenklade regler angivits och här föreslås att dessa rekommendationer tillämpas tills vidare.

Avstånd till golv, undre gräns	0,10 m
Avstånd till golv, övre gräns	1,80 m
Avstånd till ytter- och innerväggar	0,50 m
Avstånd till fönster, dörrar och radiatorer	1,00 m

Mätvärden luftkvalitet.

Lokaltyp	Luftflöde ¹		CO ₂ -halt ² ppm	Formaldehyd ³ mg/l
	l/s,p	l/s,m ²		
Klassrum	10	6	1 000	0,02
Aula	10	12	1 000	0,02
Slöjdsal	12	6	1 000	0,02
Gymnastiksal	15	3	1 000	0,02

¹) Luftflödet anges dels i liter per sekund och person, dels i liter per sekund och kvadratmeter golvyta.

²) Koldioxidhalten avser den maximalt accepterade nivån och anges i ppm dvs. andelar per million luftandelar.

³) Anger den maximalt accepterade halten av formaldehyd i luften.

Akustik

Mellan undervisningsrum och:	Luftljudsisolering, R'_w (dB)
rum med krav på sekretess, talklinik, kurator, psykolog etc.	52
musik-, dramaundervisningsrum, samlingsal, fläktrum	60*
korridor	44 (35 för vägg med dörr)
undervisningsrum eller annat utrymme	48 40 för vägg med dörr (bör undvikas)

*Vid särskilt skydd mot lågfrekvent ljud (t.ex. basmusik, fläktbuller) rekommenderas $R'_w + C_{tr}$, 50 - 5000 \geq 60dB (se * i fördjupningsruta "reduktionstal"). Runt fläktrum kan det i vissa fall till och med vara motiverat att ställa krav i just de frekvenser som kommer att dominera bulleralstringen.

Rum	Högsta ljudtrycksnivå (dB)
Undervisningsrum för klass eller grupp	$L_A = 30$
Grupprum, bibliotek, personalrum, kontor, talklinik, kurator, hälsovård etc.	$L_A = 35$

Tabell 1 Mätvärden för luftljudsisolering, R'_w mellan undervisningsrum och andra rumskategorier. R'_w definieras i BBR94, kap 7.11.

Tabell 2 Mätvärde för dygnsekvivalent ljudtrycksnivå i olika skollokaler från trafik.

Tabell 5 Mätvärde på stegljudsnivå, $L'_{n,w}$, i skollokaler definierat i BBR94, 7.11.

Rum	Stegljudsnivå, $L'_{n,w}$ (dB)*
Undervisningsrum för klass eller grupp och andra skollokaler	64

1) För att vid låga bjälklag få ett bättre skydd mot låga frekvenser kan mätvärdet $L'_{n,w} + C_{1,50-2500} = 64$ dB användas (se * fördjupningsruta "Stegljudsnivå").

Tabell 6 Mätvärden för bullernivåer från installationer i skollokaler, definierade i BBR94, kap 7.12.

Rum	Högsta ljudtrycksnivå (dB)
Undervisningsrum för klass eller grupp	$L_A = 30$ $L_{A,max} = 35$ $L_C = 50$
Grupprum, bibliotek, personalrum, kontor, talklinik, kurator, hälsovård etc.	$L_A = 35$

ANM. Bjälklag, väggar etc. runt maskin- eller fläktrum bör dimensioneras så att ljudnivån hamnar minst 8 dB(A) under totalkravet. För buller som innehåller rena toner rekommenderas att L_A - värdet i tabellen minskas med 5 dB.

Tabell 7 Mätvärde för längsta efterklangstid i undervisningsrum.

Rum	Efterklangstid (s)
Undervisningsrum för klass eller grupp	0.6*

1) Avser medelvärdet av efterklangstiden i varje oktavband inom området 125 – 4000 Hz. Därtill gäller att maxavvikelse i oktavbanden inom 500 – 4 000 Hz inte bör överskrida [0.1 s] och i oktavbanden 125 och 250 Hz [0.15 s].

Dagsljus och belysning

DAGSLJUSFAKTORN mätt halvvägs in i rummet från fönstret räknat samt en meter från sidovägg bör vara minst 1 %.

För undervisningslokaler med rumsdjup mindre än 6 – 8 m kan väggfönster oftast ge tillfredsställande dagsljus om fönsterglasarean uppgår till cirka 10 % av golvarean. Om dagsljuset avskärmas mer än 20° bör glasarean ökas. En förenklad metod för kontroll av fönsterglasarea finns i SS 9142 01(1).

BRÖSTNINGSHÖJDEN på fönster bör anpassas så att sittande barn får fri utsikt.

Lämplig höjd är från 50 cm över golv. Kravet avser i första hand nybyggnad.

Fönster orienterade så att direkt solinfall erhålles skall ha någon form av solavskärmning.

LUMINANS

Luminansen undantaget armaturraster och fönster, inom det normala synfältet vid skolarbete bör ej överstiga 1 500 cd/m². Mätvärde är att den ej överstiger 500 cd/m².

Maximal luminans inom det normala synfältet mätt mot armaturraster bör ej överstiga 3 500 cd/m². Mätvärde är att den ej överstiger 2 000 cd/m².

LUMINANSFÖRDELNING

Luminansfördelningen mellan infält, omfält och yttre synfält bör vara i storleksordningen 5:3:1.

BLÄNDTAL FÖR SKOLOR

Bländtalet i huvudsaklig arbetsriktning bör vara högst ca 17, vinkelrätt mot inre sidovägg högst ca 19 och mot bakre vägg och fönstervägg högst ca 22 enligt rekommendationer från Skolöverstyrelsen i *Skolhushandboken* 1979.

I lektionsrum, laboratorier, slöjd- och bildsalar rekommenderas bländtal 21 för vanliga förutsättningar och 18 för krävande förutsättningar. För korridorer gäller 24 respektive 21.

Se Ljuskulturs riktlinjer och rekommendationer, *Belysning inomhus* 1990.

MEDELREFLEKTANSFAKTORER

Medelreflektansfaktorerna på rumsytor väljs så att klassrum och korridorer upplevs ljusa. Bänkar bör ha en högre medelreflektansfaktor än golvet. Medelreflektansfaktorerna bör ha följande värden:

tak	0,7 – 0,8
fönstervägg, snickerier	0,8
innervägg	0,5 – 0,7
gavelvägg	0,3 – 0,4
golv	0,3

KONTRASTREDUKTION

Kontrastreduktionen inom läsfältet bör ej överstiga 25 %.

På grund av att verksamheten i klassrum är mer rörlig än på kontor kan ej kontorets krav (15 %) gälla i skolmiljö.

BELYSNINGSSTYRKA

Angivna belysningsstyrkor avser alltid driftvärden.

HORISONTALBELYSNING

Medelbelysningen på läsfältet bör vara minst 500 lux.

Allmänbelysningens medelvärde, 85 cm över golv, bör uppgå till minst 300 lux i klassrum och 150 lux i korridorer.

Medelbelysningsstyrkan bör i normalfallet vara högst 1 000 lux.

Förhållandet i belysningsstyrka mellan läsytor och omgivande närliggande ytor bör ej överstiga 2:1. Tillskott från extra platsbelysning ingår ej i detta.

VERTIKALBELYSNING

Den vertikala medelbelysningsstyrkan på skrivtavlan bör vara minst 500 lux.

Målvärde är 1 000 lux.

Vertikal belysningsstyrka i ansiktshöjd, 120 – 180 cm över golv bör vara minst 200 lux.

Förhållandet mellan högsta och lägsta belysningsstyrka bör vara högst 3:1.

FÄRGTEMPERATUR

Ljuskällornas färgtemperatur bör vara mellan 2 700 K och 4 000 K.

FÄRGÅTERGIVNING

Ra-index bör vara minst 80 i alla undervisningslokaler och korridorer som används i samband med undervisning.

På arbetsplatser med krav på noggrann färgbedömning är det extra viktigt att ljuskällor med färgåtergivningsindex Ra över 90 används, exempelvis vid undervisning i bild, textilslöjd och laborationer.

Flimmer

Belysning skall ej ge upphov till synligt flimmer.

Högfrekvensdrift bör därför väljas.

BELYSNINGSINSTALLATION

Belysningsinstallationen ska utföras så att den ej stör hörsel- och syn- tekniska hjälpmedel.

Belysningsanläggningen ska uppfylla gällande bullerkrav för skolmiljö.

Elinstallationen ska utföras så att tillsatsbelysning lätt kan anslutas.

REGLERING AV BELYSNING

- Belysningens ljusnivå bör vara varierbar och omfatta reglerområdet cirka 10 – 100 %.

- Belysningen bör där så krävs vara reglerbar ned till någon procent av belysningsanläggningens högsta ljusflöde.

- Regleringen av ljusnivå bör även innefatta ett enkelt sätt att erhålla en normal belysningsnivå.

HÖGFREKVENSDRIFT, INSTALLERAD EFFEKT OCH ENERGI FÖRBRUKNING

- Om man bl.a. vill minska den installerade effekten bör högfrekvensdrift väljas.

- Belysningsanläggningen bör vara utrustad med automatisk släckfunktion.