

NR 2002:4

Belysning och hälsa

– en kunskapsöversikt med fokus på ljusets modulation,
spektralfördelning och dess kronobiologiska betydelse

*Monica Sandström,¹ Ulf Bergqvist,² Rickard Küller,³ Thorbjörn Laike,³
Allan Ottosson⁴ och Roger Wibom²*

1. Programmet för teknisk yrkeshygien, Arbetslivsinstitutet, Umeå
2. Avdelningen för kvalitet, människa, teknik, Linköpings universitet
3. Avdelningen för miljöpsykologi, Institutionen för arkitektur, Lunds universitet
4. Institutionen för byggd miljö, Högskolan i Gävle

ARBETE OCH HÄLSA | VETENSKAPLIG SKRIFTSERIE

ISBN 91-7045-636-4 ISSN 0346-7821 <http://www.niwl.se/>



Arbete och Hälsa

Arbete och Hälsa är en av Arbetslivsinstitutets vetenskapliga skriftserier. Serien innehåller arbeten av såväl institutets egna medarbetare som andra forskare inom och utom landet. I Arbete och Hälsa publiceras vetenskapliga originalarbeten, doktorsavhandlingar, kriteriedokument och litteraturöversikter.

Arbete och Hälsa har en bred målgrupp och ser gärna artiklar inom skilda områden. Språket är i första hand engelska, men även svenska manus är välkomna.

Instruktioner och mall för utformning av manus finns att hämta på Arbetslivsinstitutets hemsida <http://www.niwl.se/>

Där finns också sammanfattningar på svenska och engelska samt rapporter i fulltext tillgängliga från och med 1997 års utgivning.

ARBETE OCH HÄLSA

Redaktör: Staffan Marklund
Redaktion: Mikael Bergenheim, Anders Kjellberg, Birgitta Meding, Bo Melin, Gunnar Rosén och Ewa Wigaeus Tornqvist

© Arbetslivsinstitutet & författare 2002
Arbetslivsinstitutet,
112 79 Stockholm

ISBN 91-7045-636-4
ISSN 0346-7821
<http://www.niwl.se/>
Tryckt hos Elanders Gotab, Stockholm

Förord

Arbetsmiljöverket (dåvarande Arbetarskyddsstyrelsen) har till Kriteriegruppen för fysikaliska riskfaktorer vid Arbetslivsinstitutet framfört en begäran angående en sammanställning av tillgängliga forskningsresultat vad gäller eventuella hälso- och störningseffekter förknippade med olika typer av belysning. Av begäran framgår att sammanställningen ska fokuseras på följande områden; *ljusets spektralfördelning*, *ljusets modulationsgrad* och därmed flimmer, samt *ljusets kronobiologiska betydelse*.

Kunskapsöversikten har sammanställts av med dr. Monica Sandström, Programmet för Teknisk Yrkeshygien, Arbetslivsinstitutet, Umeå (sammankallande), dr med vet. Ulf Bergqvist och universitetsadj. Roger Wibom, Avdelningen för Kvalitet, Människa, Teknik, Linköpings Universitet, Linköping (tidigare Enheten för Arbetshälsa, Arbetslivsinstitutet, Solna), prof. Rikard Küller och docent Thorbjörn Laike, Avd för Miljöpsykologi, Institutionen för Arkitektur, Lunds Universitet, prof. Allan Ottosson, Institutionen för Byggd miljö, Högskolan i Gävle. Med föreliggande rapport har expertgruppen fullföljt uppdraget.

Dokumentet har godkänts av kriteriegruppen bestående av:

Prof Lage Burström, Arbetslivsinstitutet, Umeå

Prof Kjell Hansson Mild, Arbetslivsinstitutet, Umeå

Prof Ingvar Holmér, Arbetslivsinstitutet, Solna

Prof Bengt Järholm, Umeå Universitet

Prof Anders Kjellberg, Arbetslivsinstitutet, Solna

Prof Ulf Landström, Arbetslivsinstitutet, Umeå

Prof Ronnie Lundström, Arbetslivsinstitutet, Umeå

Under slutredigeringen av detta arbete avled dr Ulf Bergqvist, en av expertgruppens medlemmar. Dr Bergqvist var med sina stora kunskaper inom detta område en ovärderlig tillgång för expertgruppen. Vi vill därför tillägna den föreliggande rapporten vår vän och kollegan dr Ulf Bergqvist.

Monica Sandström

Sammanställande i expertgruppen

Innehåll

1. Uppdraget	1
1.1 Expertgruppens sammansättning	1
1.2 Precisering av uppdraget	1
1.3 Avgränsningar	2
2. Inledning	3
3 Ljus och seende	4
3.1 Ljus som fysikalisk faktor	4
3.2 Synsinnet	5
3.3 Flimmer, visuellt och icke visuellt	6
4. Några ljustekniska begrepp	7
5. Tekniska förutsättningar – olika ljuskällor	9
5.1 Temperaturstrålare	9
5.1.1 Glödlampor	9
5.1.2 Halogenlampor	9
5.2 Gasurladdningslampor	10
5.2.1 Lysrör, kompaktlysrör och lysrörslampor	10
5.2.2 Induktionslampor	11
5.2.3 Kvicksilverlampor	11
5.2.4 Metallhalogenlampor	12
5.2.5 Natriumlampor	12
5.3 Lysdioder	12
5.4 Mikrovågsbelysning	13
5.5 Bildskärmar	14
5.5.1 Katodstrålebaserad skärmar	14
5.5.2 Flytande kristallskärmar	14
6. Spektralfördelning och färgåtergivning	16
7. Ljusmodulation	18
7.1 Ljusmodulation från bildskärmar	19
7.2 Ljusmodulation från belysningar	20
7.2.1 Temperaturstrålare	20
7.2.2 Gasurladdningslampor	20
8. Belysningens betydelse för perception och hälsa	22
8.1 Flimmer	22
8.1.1 Åldersvariation i flimmerkänslighet	22

8.1.2. Dyslexi och flimmerkänslighet	23
8.1.3. Flimmerkänslighet hos elöverkänsliga	23
8.1.4. Inverkan av intoxication på flimmerkänslighet	25
8.1.5. Övrig flimmerpåvekan	25
8.2. Ljusets spektralfördelning	26
8.2.1 Lysrör av dagsljusstyp kontra annan lysrörstyp	27
8.2.2 Spektralfördelningens påverkan på synfunktionen	27
8.2.3 Olika fysiologiska och symtomreaktioner på spektralfördelningen	28
8.2.4 Spektralfördelningens betydelse för inläring	29
8.2.5 Spektralfördelningens inverkan på sinnesstämning	29
8.2.6 Kommentarer	30
8.3 Ljusets kronobiologiska betydelse	31
8.3.1 Störningar i dygnsrytmen	32
8.3.2 Årstidsvariationer	32
8.3.3 Belysning och andra miljöfaktorer	33
8.3.4 Individuella skillnader	34
8.3.5 Sammanfattning	34
9. Bildskärmen som arbetsredskap och ljuskälla	35
9.1 Perceptuella aspekter	35
9.1.1 Uppbyggnad av text och bild	35
9.1.2 Luminanser i bildskärmens bildyta	35
9.1.3 Tidsvariation i luminans och struktur	36
9.1.4 Avslutning	37
9.2 Bildskärmsarbetets art	37
9.3 Bildskärmsarbete – inverkan på ögon och synfunktioner	39
9.3.1 Bildskärmsarbete – omgivande belysning	40
9.3.2 Bildskärmsarbete – flimmer och jitter	42
10. Rekommendationer och riktlinjer	44
10.1 International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)	44
10.2 International Commission on Illumination	45
10.3 American Conference on Governmental and Industrial Hygienists (ACGIH)	46
10.4 International Organization for Standardization	46
11. Slutsatser	47
12. Sammanfattning	48
13. Summary	51
14. Referenser	54

1. Uppdraget

Kriteriegruppen för fysikaliska riskfaktorer vid Arbetslivsinstitutet, ALI, beslöt vid sammanträdet den 26 februari 1999 att låta sammanställa tillgängliga forskningsresultat vad gäller eventuella hälso- och störningseffekter förknippade med olika typer av belysning. Till grund för detta uppdrag ligger den förfrågan som inkommit till kriteriegruppen från Arbetsmiljöverket, tidigare Arbetarskyddsstyrelsen. En expertgrupp tillsattes med uppdrag att utföra uppdraget. Expertgruppen avlämnar härmed resultatet av detta uppdrag.

1.1 Expertgruppens sammansättning

Med Dr. Monica Sandström, Programmet för Teknisk Yrkeshygien, Arbetslivsinstitutet, Umeå (sammanställande),

Dr Med Vet. Ulf Bergqvist, Avdelningen för Kvalitet, Människa, Teknik, Linköpings Universitet, Linköping (tidigare Enheten för Arbetshälsa, Arbetslivsinstitutet, Solna),

Prof. Rikard Küller, Avd för Miljöpsykologi, Institutionen för Arkitektur, Lunds Universitet,

Docent Thorbjörn Laike, Avd för Miljöpsykologi, Institutionen för Arkitektur, Lunds Universitet,

Prof. Allan Ottosson, Institutionen för Byggd miljö, Högskolan i Gävle,

Universitetsadj. Roger Wibom, Avdelningen för Kvalitet, Människa, Teknik, Linköpings Universitet, Linköping (tidigare Enheten för Arbetshälsa, Arbetslivsinstitutet, Solna).

1.2 Precisering av uppdraget

Något tidigare svenskt kriteriedokument avseende hälso- och störningseffekter av belysning med fokus på flimmer och färgspektra som Arbetsmiljöverket (tidigare Arbetarskyddsstyrelsen) efterfrågar finns inte. Av det skälet innehåller föreliggande dokument även en grundlig teknisk beskrivning av olika belysningar och ljusarmaturer i olika former.

Vidare är de tekniska principer som är av betydelse ur såväl perceptiva som ur hälsoaspekt, definierade och beskrivna. Ljusets kronobiologiska betydelse har under senare år alltmer uppmärksamats vid belysningsplanering varför ett avsnitt ägnas åt denna viktiga frågeställning.

Ur en miljöaspekt kan inte belysning/ljuskällor isoleras från det arbete som ska utföras i aktuell miljö, varför exempelvis bildskärmen som är både ljuskälla och arbetsredskap beskrivs utifrån dess tekniska princip, men avhandlas både utifrån dess funktion som arbetsredskap och ljuskälla.

1.3 Avgränsningar

Uppdraget innefattar inte ultraviolett (UV)-strålning från olika belysningskällor. Detta behandlas separat i ett kriteriedokument avseende UV-strålning och hälsa (94). Uppdraget innefattar inte heller frågor rörande de elektriska och magnetiska fälten som emitteras från ljuskällor.

När det gäller effektsidan berörs ljus som terapiform samt effekter av ljus och belysnings-situationen på arbetsprestationen endast marginellt. Likaledes tas t ex betydelsen av ljusets spektralfördelning på färgåtergivning inte upp till närmare diskussion. I denna viktiga fråga hänvisas istället till olika standardverk för en beskrivning, t ex IES Lighting Handbook (64). Kognitiva processer diskuteras enbart i samband med spektralfördelningens eventuella inverkan.

2. Inledning

Synergonomiska aspekter på arbetsplatsers utformning är föremål för vissa bestämmelser och rekommendationer såväl i Sverige som internationellt. God synergonomi är en förutsättning för optimal och korrekt informationsöverföring. En dålig ljusmiljö på arbetsplatsen kan få ett antal olika konsekvenser. Förutom effekter på ögats förmåga att uppfatta olika synobjekt kan ögonbesvär och –trötthet, olika symtom som härrör från muskelbelastning, allmän trötthet, huvudvärk men även olycksfall till följd av felaktiva ljusförhållanden förekomma.

Forskningen inom området har intensifierats under de sista 20 åren inte minst till följd av att två tredjedelar av oss idag arbetar vid bildskärm, ett arbetsredskap som i sig även är en ljuskälla. Detta har inneburit att diskussionerna fokuseras på ljusets egenskaper och dess påverkan på människa utifrån ytterligare fysikaliska aspekter. In minst har bildskärmen och lysrörsbelysning uppmärksammas som en källa till amplitudmodulerat ljus – flimmer, vilket i sig kan ha en fysiologisk påverkan. Flimrets visuella effekter är känt sedan länge, men under de senast årtiondet har forskningen även pekat på att icke visuella effekter kan förekomma.

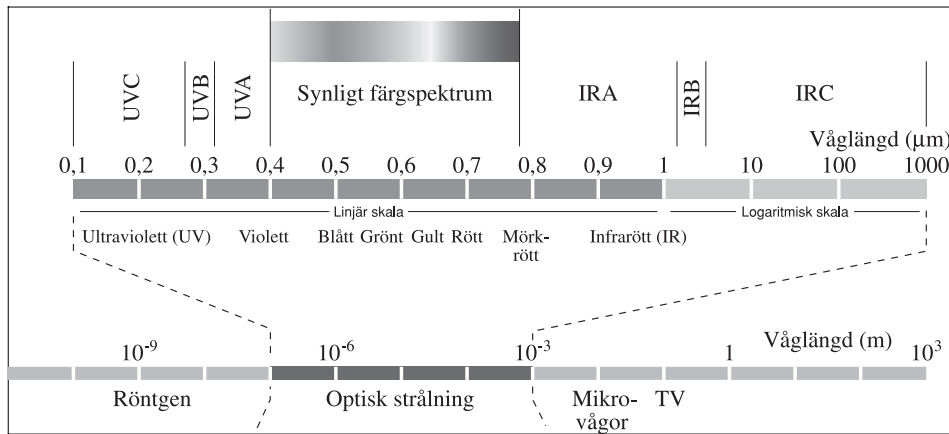
God ljusmiljö på arbetsplatsen kan emellertid inte bara ses som en del i den fysikaliska utformningen för att ett arbete ska kunna utföras, det finns också en estetisk dimension, vilket i sin tur kan påverka vårt välbefinnande och inte minst biokemiska processer i kroppen.

Hur det synliga ljuset uppträder och vilka effekter denna strålning har är beroende på hur ljuset genereras. En genomgång av de tekniska förutsättningarna, dvs beskrivning av olika ljuskällor och belysningsarmaturer kommer därför att vara en viktig del i den föreliggande arbetet. På samma sätt kommer de termer och begrepp som är av betydelse för den visuella sinnesupplevelsen samt de perceptuella aspekterna på denna att behandlas.

3 Ljus och seende

3.1 Ljus som fysikalisk faktor

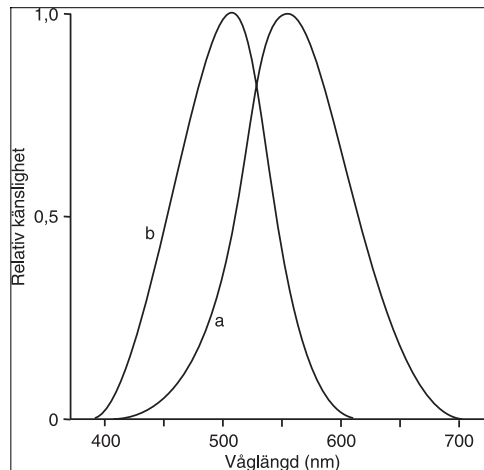
Det synliga ljuset är ur fysikalisk mening en del av den optiska strålningen, som även innefattar ultraviolett (UV) och infraröd (IR) strålning och som sträcker sig våglängdsmässigt från 100 nm till 1 mm. Som tidigare nämnts avhandlas i denna skrift endast synligt ljus, vilket definieras som elektromagnetisk strålning i våglängdsområdet mellan 400 och 780 nm definierat av CIEs (International Commission on Illumination) (se figur 1) (63). Någon egentlig skarp gräns finns inte mellan UV och synligt ljus och ibland anges 360 eller 380 nm som nedre gräns.



Figur 1. Det elektromagnetiska spektret.

Den infallande ljusstrålens energiinnehåll beskrivs primärt genom den infallande effekttätheten i W/m^2 (tillsammans med durationen i exponeringen). Detta exponeringsmått beskriver dock inte särskilt väl den biologiska effekten av ljus, eftersom denna varierar kraftigt med våglängden. Detta hanteras normalt genom att de olika våglängderna viktas med avseende på den biologiska effekt som avses. Olika sådana viktningsfunktioner behövs, beroende på vilken biologisk effekt som avses. I avsnittet om rekommendationer och riktlinjer (kap. 10) beskrivs en sådan viktningsfunktion som är relevant för en viss typ av skada, s.k. blåljusskada.

Det synliga ljusets visuella effekter (dvs vår förmåga att uppfatta ljuset) är även det starkt våglängdsberoende, och beskrivs av kurvor över den spektrala känsligheten. För bestämning av denna känslighetskurva utgår man i princip från den våglängd där ögats känslighet är störst och viktas övriga våglängder gentemot denna våglängd. För ett mörkeradapterat ögat ligger den maximala känsligheten vid 508 nm, medan vid ljusa förhållanden vid 555 nm. Internationellt standardiserade känslighetskurvor V_λ och V'_λ visas i figur 2 (36).



Figur 2. Ögats spektrala känslighetskurva vid (a) mörker- respektive (b) ljusadaptation (enligt CIE).

3.2 Synsinnet

Ögat, som är mottagaren för det fysikaliska stimulus som ljusstrålningen utgör, är ett mycket avancerat instrument för synergonomisk bedömning, bland annat ska det kunna hantera variationer i ljusintensiteter på upp till tio miljarder gånger. Receptorerna i näthinnan omvandlar ljusets strålningsenergi till elektriska signaler som förs vidare till hjärnans syncentra där tolkningsprocessen sker. Informationen sätts där också in i ett större sammanhang av tidigare lagrad information. Detta betyder bland annat att en rad individfaktorer spelar en avgörande roll både när det gäller visuella som icke visuella effekter av ljus och är därför viktiga parametrar att inkludera för en korrekt effektanalys.

Då det synliga ljuset (400-780 nm) träffar ögat passerar det hornhinnan, kammarvätskan, linsen och glaskroppen för att slutligen nå näthinnan. Observera att av den övriga optiska strålningen, dvs UV- och IR-strålning, kan endast en mycket liten andel nå näthinnan utan absorberas i tidigare passerade strukturer som hornhinna, lins och glaskropp (62). Genom kemiska processer omvandlas ljussignalen i näthinnan till en elektrisk signal för att via synnerven nå hjärnans syncentra där signalen tolkas och slutligen ger en synupplevelse.

Näthinnan har två typer av ljuskänsliga receptorer (tappar och stavar) som omvandlar ljussignalen till en elektrisk signal. Man skattar att totala antalet receptorer i näthinnan är ca 130 miljoner. Tapparna (ca 8 miljoner) svarar för vår förmåga att urskilja färger och kan indelas i tre grupper beroende på våglängdkänslighet. Tapparna är lokaliserade tätt, centralt på näthinnan, i gula fläcken. Tapparna kräver hög ljusintensitet, ger hög spatial information och är de receptorer som i hög utsträckning är aktiva i dagsljus. Stavarna däremot stimuleras av låga ljusintensiteter, och är därmed de som svarar för mörkerseendet. Kort kan sägas att tapparna står för den analyserande delen av seendet vid bra ljusförhållanden (fotopiskt seende $> 3 \text{ cd/m}^2$), medan övriga receptorer står för det perifera seendet, och mörkerseendet (skotopiskt seende, $< 0,1 \text{ cd/m}^2$) och därmed också vår rumsuppfattning och förändringar i rörelse

och ljus. Boyce anger i *Human Factors in Lighting* den senare gränsen till 0,001 cd/m² (27). Området mellan 0,1 och 3 cd/m² beskrivs som skymningsseende (mesopiskt seende).

3.3 Flimmer, visuellt och icke visuellt

Vår upplevelse av ljusmodulation (en periodisk variation i ljusstyrka med tiden) kallas flimmer och är således i princip visuellt, dvs. vi kan detektera det med vårt synsinne. En viktig fråga är dock om vi även påverkas av ljusmodulation som vi inte visuellt uppfattar, t ex när den har en tillräckligt hög frekvens för att tolkas av oss som ett kontinuum. Vi har här valt att kalla detta för icke visuellt flimmer (uttrycket sublimat flimmer används ibland).

Gränsen mellan visuellt och icke visuellt flimmer beror, som diskuteras i senare avsnitt, på en rad faktorer som beskriver ljusexponeringens karakteristik, andra externa omständigheter och individfaktorer. Den kritiska flimmerfrekvensen (på engelska Critical Flicker Fusion eller Critical Flicker Frequency, CFF) är ett sätt att beskriva denna gräns. Metoden innebär att testpersonen exponeras för ett flimrande ljus med en viss frekvens som gör att ögat uppfattar det som flimrande, varefter frekvensen ökar tills ljuset uppfattas som ett kontinuerligt ljus. Den frekvens vid vilken detta sker kallas CFF. Normalt sänker man sedan frekvensen för att bestämma vid vilken frekvens som det visuella flimret återuppstår – man kan då tala om upp- och nedåtgående flimmer.

Försöksbetingelserna är här av mycket stor betydelse. En viktig faktor är att människans förmåga att detektera flimmer är lägre i det centrala än i det perifera seendet, vilket gör att den ljusa ytans utsträckning och placering i förhållande till synriktningen kan kraftigt inverka på resultaten. Exponeringskammarens utformning och belysning i övrigt, hur ljuspulsen genereras, ljuspulsens form och inte minst vilken färg, dvs. våglängd och efterlysningstid pulsen har är andra omständigheter som kan göra att CFF-värdena varierar. Detta medför stora svårigheter att jämföra absolutvärdet för CFF mellan olika studier.

CFF används i studier som ett mått på graden av centralnervös påverkan. Som tidigare sagts påverkas CFF av en rad yttre stimuli varför det kan vara svårt att tolka resultaten och specifikt relatera förändringar i CFF till exempelvis mental trötthet (9; 90; 102). En sänkning av CFF innebär en ökad mental trötthet.

Flimmer beskrivs mer i detalj nedan, avseende:

- vissa tekniska förhållanden som ger upphov till olika ljusmodulation (kap. 7.1-7.2),
- individers förmåga att detektera flimmer eller på andra sätt påverkas av flimmer (kap. 8.1) i allmänhet, och
- individers reaktion på flimmer vid bildskärmar (kap. 9.3.2).

4. Några ljusstekniska begrepp

För att korrekt kunna beskriva en artificiell ljuskällas egenskaper och hur den uppfattas av vårt öga listas här några storheter, enhet och samband som är viktiga att känna till. För att ta hänsyn till ögats förmåga att uppfatta ljus används inom belysningstekniken de s.k. fotometriska storheterna för att beskriva den strålning som emitteras. Dessa fotometriska storheter definieras så att de tar hänsyn till ögats spektrala känslighet, dvs. storheterna viktas med avseende på den spektrala känsligheten hos ett ljusadapterat öga enligt figur 2.

Grundenheten för ljus är *candela* vilken enhet dock är svårare att förstå än den härledda enheten *lumen*. Detta innebär att enheten för ljusflöde ("ljuseffekt") lumen kan relateras till enheten för strålningsflöde (effekt) watt (W) på följande sätt. Vid våglängden 555 nm (gulgrönt ljus) motsvarar 1 W ett ljusflöde av 683 lumen (lm). Vid andra våglängder resulterar samma utstrålade effekt (i W) i lägre ljusflöden (och lägre visuella intryck).

Ljusflöde: den ljusmängd som en ljuskälla avger per tidsenhet. Enheten för ljusflöde är lumen (lm).

Ljusutbyte: är förhållandet mellan ljusflödet (i lm) från en ljuskälla och den effekt (i W) som förbrukas av ljuskällan. Enheten för ljusutbytet är lm/W. Enligt ovan blir ljusutbytet beroende av våglängden (den spektrala fördelningen av ljuset). Ljusutbytet blir dock mycket lägre än optimala 683 lm/W dels på grund av att ljuskällor har ett brett våglängdsspektrum och dels på de energiförluster som uppstår vid själva ljusalstringen och i nödvändiga driftsdon mm. Ljusutbytet från en vit ljuskälla är idag högst ca 100 lm/W.

Ljusmängd: är produkten av ljusflödet och den tid under vilket ljuset sänds ut. Enheten för ljusmängd är lumensekund (lms), men i praktiken används vanligen den större enheten lumentimme (lmh).

Belysningsstyrka: är kvoten mellan det ljusflöde som infaller mot ett ytelement och ytelementets storlek. Enheten för belysningsstyrka är lux (lm/m²).

Ljusstyrka: är ljusets intensitet från en ljuskälla i en viss riktning. Enheten för ljusstyrka är candela (cd). 1 cd = 1 lumen/sterradian.

Reflektans (reflektansfaktor): är förhållandet mellan det ljusflöde som reflekteras från en yta och det mot ytan infallande ljusflödet. Enheten för reflektans är dimensionslös (procent).

Luminans: är en ytas ljusstyrka per ytenhet i en bestämd riktning. Enheten för luminans är candela per kvadratmeter (cd/m²). För lysande ytor som t.ex. en ljuskälla eller ljusarmatur beror luminansen på ljuskällans, eller ljusarmaturens ljusstyrka i riktning mot betraktarens ögon och den lysande ytans storlek i samma riktning. För en ljusreflekterande yta gäller detsamma, men luminansen påverkas dels av ytans reflektionsegenskaper och dels av belysningsstyrkan på ytan.

Luminansfördelning: är förhållandet mellan synobjektets, omfältets och det perifera synfältets luminanser. Luminansfördelningen beror på ytornas reflexionsegenskaper (reflektans, glans, struktur, färg), ljusets infallsvinkel, belysningsstyrkefördelning mm. Det kan också

användas för att beskriva luminansförhållandet mellan två sekventiellt betraktade synobjekt.

Kontrast: är subjektivt sett skillnaden (luminans, färg, mm) mellan två närliggande ytor.

Objektivt sett är det en storhet definierad på olika sätt för att t ex beskriva relativa luminansskillnader.

Bländning: är då det för betraktaren förekommer synobehag (obehagsbländning) eller nedsättning av förmågan att se detaljer eller föremål (synnedsättande/försvårande bländning) förorsakade av olämplig luminansdistribution eller luminansnivå eller genom förekomst av extrema kontraster i rum eller tid.

Korrelerad färgtemperatur: är temperaturen på en Planck-strålare (svart kropp) vars upplevda färg närmast liknar den hos ett givet stimulus (den undersökta ljuskällan) vid samma ljus-
het och under specificerade betraktningförhållanden. Enheten för korrelerad färgtemperatur är kelvin (K). Vanligen används endast termen färgtemperatur vilket egentligen är inkorrekt.

Färgåtergivning: är en ljuskällas inverkan på hur färgen hos ett föremål uppfattas jämfört med hur färgen uppfattas då föremålet belyses med en referensljuskälla. Ljuskällor med färgåtergivningsindex överstigande 80 anses ge god färgåtergivning.

(CIE 1974 allmänna) färgåtergivningsindex: är medelvärde av CIE 1974 speciella färgåtergivningsindex för en uppsättning av åtta färgtestprover. För varje färgprov jämförs provet belyst under den aktuella ljuskällan belysning under en referensljuskälla. Högsta färgåtergivningsindex är 100.

Ljusmodulation: är en spatial (i rummet) eller temporal (i tiden) periodisk variation vad gäller ljusstyrkan från en ljuskälla eller ett synobjekt. I denna översikt diskuteras främst ljusmodulation i tiden. Med flimmer avses den fysiologiska betydelsen av denna temporala ljusmodulation (se kap. 3.3).

5. Tekniska förutsättningar – olika ljuskällor

Elektriska ljuskällor har, om man bortser från båggljuslampor mm, funnits i drygt 120 år. I början förekom endast *temperaturstrålare*, dvs ljuskällor som producerade ljus genom att en glödtråd upphettades till en så hög temperatur att den glödde. Denna typ av ljuskälla var ganska ineffektiv ifråga om att omvandla elektrisk energi till ljus. Temperaturstrålaren har successivt förbättrats och används idag i mycket stor utsträckning inom nästan alla användningsområden. Temperaturstrålarna är dock betydligt mindre effektiv än senare ljuskällor utvecklingar där ljuset alstras genom att en elektrisk ström leds genom en gasblandning och genererar en gasurladdning. Det finns många olika typer av ljuskällor där ljuset produceras i en gasurladdning. En gemensam beteckning för denna typ av ljuskällor är (*gas*)urladdningslampor.

Artrikedomen bland ljuskällor är synnerligen omfattande. Det är därför ej meningsfullt att här ge någon detaljerad redovisning av prestanda. Vissa uppgifter har medtagits, för detaljuppgifter hänvisas till ljuskälletillverkarnas kataloger.

5.1 Temperaturstrålare

5.1.1 Glödlampor

Den idag mest vanliga ljuskällan är, trots den begränsade verkningsgraden, glödlampan. Den används i stor utsträckning i bostäder, restauranger, hotell, butiker, teatrar mm. I arbetslokaler är däremot glödlampan mindre vanlig idag. Anledningen är ekonomisk. Det låga ljusutbytet ger höga belysningskostnader. Värmeproduktionen måste kanske kylas bort. Livslängden är kort vilket ökar underhållskostnaden

Den moderna glödlampan har en glödtråd av wolfram vilken upphettas till ca 2 500 °C vilket gör att glödlampsljuset blir lätt gultonat och uppfattas som varmt. Lampans blåandel är liten och dess rödandel stor. Glödlampan avger minimalt med långvågig UV-strålning.

De vanligaste glödlamporna för allmänbruk har ljusutbyten i området 10-15 lm/W och livslängden 1 000 timmar.

5.1.2 Halogenlampor

För snart 50 år sedan utvecklades en ny teknik där glödlampans normala gasblandning utbyttes mot en halogengas, i början användes jod men senare brom. Fördelarna var flerfaldiga. Halogenlampans glödtråd kunde belastas till högre temperatur än i glödlampan och därmed göras effektivare, dvs ges högre ljusutbyte, men ändå ges förbättrad livslängd. Ljuset blev vitare genom att glödtrådstemperaturen höjdes. En stor fördel var också att halogenlamporna kunde göras betydligt mindre än motsvarande glödlampor. Litenheten gör halogenlamporna betydligt mer lämpade för reflektorarmaturer än de utrymmeskrävande glöd-

lamporna. Ofta är halogenlampor sammanbyggda med glasreflektorer vilka inte sällan har värmetransmitterande reflektorskikt som kraftigt minskar IR-innehållet i det från lampan utgående ljusknipet.

Halogenlamporna blev genom sin litenhet mycket hetare än glödlampor vilket medförde att lampkolven måste göras av kvartsglas. Detta hade den negativa effekten att glödtrådens begränsade produktion av långvågig UV-strålning släpptes igenom med vissa negativa yrkeshygieniska följder. En uppblossande debatt om detta på 80-talet ledde dock till att lamp-tillverkare tvingades utveckla ett UV-blockerande kvartsglas vilket eliminerade problemet.

Halogenlampor tillverkas framför allt för låga lampspänningar (12V är vanligt förekommande) och har ofta ljusutbyten i området 10-25 lm/W och livslängden 2 000 timmar. Artrikedomen är betydande.

5.2 Gasurladdningslampor

Urladdningslampor är en grupp lampor som alstrar ljuset i en gasurladdning. Man kan indela dessa lampor efter den ljusalstrande gasen: kvicksilverlampor med lågt ångtryck (lysrör, kompaktlysrör, lysrörslampor och induktionslampor), kvicksilverlampor vid högt ångtryck, metallhalogenlampor samt natriumlampor vid lägre och högre ångtryck. Samtliga gasurladdningslampor kräver någon form av elektriskt förkopplingsdon, externt eller inbyggt, för sin tändning och drift.

5.2.1 Lysrör, kompaktlysrör och lysrörslampor

En kvicksilverurladdning vid lågt ångtryck producerar stark UV-strålning med framför allt våglängden 254 nm. Denna strålning omvandlas då den träffar ett lyspulverskikt på urladdningskammarens insida till strålning inom det synliga våglängdsområdet. Genom olika lyspulverval kan olika ljuskaraktärer (viss korrelerad färgtemperatur och med beteckningar som t ex varmvitt, vitt, dagsljus) och färgåtergivningsegenskaper (färggivningsindex och med beteckningar som enkelfärg, fullfärg och fullfärg special) åstadkommas. Det synliga ljuset från ett lysrör kommer uppskattningsvis till 95 procent från lysröret, resten kommer från själva gasurladdningen.

Vanligaste lysrörstypen i Sverige är idag fullfärg (färgåtergivningsindex över 80) varmvit (korrelerad färgtemperatur ca 3 000 K).

Beroende på den geometriska utformningen kan lysrörgruppen indelas i 1) linjära lysrör med externa driftdon och som är den vanligaste ljuskällan för allmänbelysning på arbetsplatser, 2) kompaktlysrör med externa driftdon och som är en senare utveckling som används för allmänbelysning, platsbelysning mm samt 3) lysrörslampor med inbyggda driftdon och som framför allt används i bostäder och är ett effektivare alternativ till glödlampor.

Lysrör kräver som tidigare nämnts driftdon för sin drift. Magnetiska driftdon dominerar och finns grovt uppskattat till 95 procent av befintliga lysrörsanläggningar. Under 1990-talet har det blivit allt vanligare att installera lysrörsbelysning med elektroniska driftdon vilket ökar

systemeffektiviteten med ca 20 procent. Nätspänningens 50 Hz likriktas och omvandlas i elektroniska driftdon till högre frekvens, ofta av storleksordningen 30-40 kHz, för matning av lysrören.

UV-strålningen från lysrör för allmänbruk absorberas mycket effektivt av lysrörets glashölje. En specialanvändning av lysrör används för bakteriedödande ändamål. Glashöljet görs i sådana lampor av kvartsglas som släpper igenom UV-strålning. Där sådana speciallysror används, t ex sjukhus och biologiska laboratorier, måste rigorösa säkerhetsregler finnas.

Lysrör är mycket energieffektiva ljuskällor med ljusutbyten som maximalt är ca 100 lm/W. Livslängden är hög och mer än 15 000 timmar kan nås vid elektronisk drift. En nackdel är att lysrör är beroende av kvicksilver vilket är ett miljögift man helst vill slippa. De alternativ till kvicksilver som idag är kända har mycket låga ljusutbyten och är därför ej aktuella. Ljuskällertillverkarna söker dock intensivt efter en acceptabel kvicksilverersättning.

Kompaktlysroren är oftast U-formade och har egenskaper liknande de linjära lysrörens. Driftdonen kan liksom hos de linjära lysrören vara magnetiska eller elektroniska. Eftersom kompaktlysroren endast funnits 20-25 år kan man gissa att förekomsten av elektroniska don i befintliga belysningsanläggningar kan vara 20-30 procent. En fördel med kompaktlysroren är som namnet anger storleken vilket ger förbättrade möjligheter vid formgivning av ljusarmaturer. Kompaktlysroren tillverkas i stor utsträckning med lägre lampeffekter än vad som är vanligt med vanliga linjära lysrör.

Den huvudsakliga marknaden är som glödlampersättning och då främst i bostäder. Ljusutbytet är vanligen 50-60 lm/W.

5.2.2 Induktionslampor

Induktionslampan är en kvicksilverlampa med lågt ångtryck. Den skiljer sig dock kraftigt från lysröret genom att den är elektrodlös och genom att en i lampan inbyggd antenn skapar ett magnetfält med hög frekvens inne i lampan. Detta medför att en ström uppstår i gasblandningen varefter UV-strålning alstras och omvandlas till synligt ljus i ett lypulver på samma sätt som i lysröret. Driftfrekvensen i lampan är av storleksordningen några MHz. Avsaknaden av elektroder ger mycket höga livslängder. För de på marknaden vanligaste förekommande induktionslamporna uppger tillverkaren frekvensen 2,65 MHz och en livslängd på mer än 60 000 timmar.

Induktionslampor ger samma ljusfärger som motsvarande lysrör och används med fördel i lokaler där underhåll är förknippat med höga underhållskostnader.

5.2.3 Kvicksilverlampor

När trycket i kvicksilverånga höjs väsentligt och ett övertryck skapas förändras gasurladdningens spektrum betydligt. UV-strålningen koncentreras till 365 nm och den synliga strålningen blir betydande. Ljuset från urladdningen saknar rödandel vilket kompenseras genom att den långvågiga UV-strålningen i ett lypulver omvandlas till framför allt långvågig synlig strålning. Huvuddelen av lampans ljus kommer dock direkt från gasurladdningen.

Kvicksilverlampor tillverkas för effekter från 50 W till någon kW. Ljusutbytet rör sig om 50-60 lm/W. Lamporna används idag främst för belysning i industrier och på vägar. Det finns en tydlig tendens till att byta kvicksilver mot högtrycksnatriumlampor eftersom de senare har betydligt större ljusutbyte än de förra, med ekonomiska fördelar som följd.

Kvicksilverlampan har en variant, blandljuslampan, som är mindre vanlig. Denna lampa har en inbyggd glödtråd som nödvändigt förkopplingsdon vilket gör att lampans ljus blir en kombination av kvicksilver- och glödlampsljus.

5.2.4 Metallhalogenlampor

Metallhalogenlampor är högtryckslampor där gasurladdningens kvicksilver kompletterats med andra grundämnen som t ex dysprosium och scandium. Härigenom kan sådana ljuskällor ge ljus med såväl mycket goda färgåtergivningsegenskaper som mycket höga ljusutbyten. Egenskaperna är oftast starkt fabrikkantspecifika till skillnad från de ljuskälletyper som tidigare behandlats. De används där större lampeffekter krävs t ex idrottsanläggningar från vilka TV-sändning förekommer eller tryckerilokaler där färgåtergivning är viktig. Mindre lampeffekter används ofta i butiker för exponering av produkter. Lampeffekter finns från 50 W till flera kW.

5.2.5 Natriumlampor

Natriumlampor finns av två olika typer som kallas lågtrycks- resp högtrycksnatriumlampor. Detta beskriver relationen även om båda typerna egentligen är lågtryckslampor.

Lågtryckslampan genererar sitt ljus nästan uteslutande vid 590 nm. Ljuset är monokromatiskt gult vilket utesluter färgseende. Lamptypen används idag av olika skäl huvudsakligen på större motorleder där den obefintliga färgåtergivningen spelar mindre roll eftersom fordonsbelysningen är tillräcklig.

Högtryckstyperna finns i olika utföranden och med en viss färgåtergivningsförmåga eftersom natriumånga får ett breddat spektrum när ångtrycket i en gasurladdning ökas. Högtryckslamporna används i stort för applikationer där tidigare kvicksilverlampor var det valda alternativet, dvs i industrier och vägar. Färgåtergivningen är vanligen sämre än hos kvicksilverlampor men belysningsekonomin är betydligt bättre på grund av högre ljusutbyte och längre livslängd. Vissa typer av högtrycksnatriumlampor har god färgåtergivningsförmåga på bekostnad av livslängd och ljusutbyte. Sådana lampor används i t ex butiker för varuexponering.

5.3 Lysdioder

Lysdioder har funnits i drygt 30 år. Användningsområdena har i början varit för indikering på instrumentpaneler mm. Senare har lysdioder börjat användas i informationsskyltar mm och speciellt sedan datatekniken möjliggjort goda styrmöjligheter. Från början fanns enbart röda

lysdioder tillgängliga till rimliga priser vilket i hög grad begränsade användningsmöjligheterna. Sedan några år tillbaka kan dock lysdioder tillverkas i olika kulörer.

Ett mycket stort användningsområde för lysdioder är idag trafiksignaler, där utbytet av gamla signaler sker i mycket snabb takt. Fördelarna är många: ljuset blir starkare vilket ger ökad trafiksäkerhet, energiförbrukningen minskar med 85 procent, livslängden ökar 15-20 gånger jämfört med glödlampor, underhållskostnaderna minskar kraftigt. Ett annat attraktivt användningsområde är nödljusskyltar där det finns många fördelar, inte minst säkerhetsmässigt, att vinna med lysdiodteknik.

Det ovan nämnda gäller specialapplikationer. Det som ljusbranschen idag ser som en hägrande möjlighet är att kunna använda lysdioder för vanliga belysningsändamål. För att detta ska kunna bli aktuellt måste man dock utveckla lysdioder med vitt ljus och goda färgåtergivningsegenskaper. Ljuskälla- och lysdiodfabrikanter investerar därför idag kraftigt på utvecklingen av vita lysdioder med stark optimism men med vetskapen om att utvecklingen kommer att ta lång tid.

Det finns två olika utvecklingsvägar. Den ena är att skapa vitt ljus med en blandning av lysdioder med tre olika färger på samma sätt som i en televisionsapparat. Den andra vägen är att utveckla en lysdiod baserad på en emissionsvåglängd som i ett lyspulver omvandlas till ett vitt ljus. Det senare alternativet är att föredra. Det är sannolikt att sådana lysdioder kommer att ha emissionsmaximum i UV-området eller möjligen i det violetta våglängdsområdet.

Bedömare från den japanska industrin har angett att det på mycket lång sikt kan vara möjligt att nå ljusutbyten på uppemot 120 lm/W för vitt ljus. Målet för år 2010 är att minst 50 lm/W ska ha uppnåtts. Bland annat detta är orsaken till det mycket stora intresset från belysningsbranschen eftersom man ser mycket stora framtidsmöjligheter. Det ska också påpekas att man vid 50-60 lm/W har nått lika långt som dagens lysrörslampor men utan användning av det miljöfarliga kvicksilvret.

5.4 Mikrovågsbelysning

I mitten av 1990-talet introducerades i Sverige med starkt Nutek-stöd en amerikansk ljuskälla som arbetade i mikrovågsområdet. Den ljusalstrande substansen var svavel, driftfrekvensen 2,45 MHz, lampeffekten 1 000 W, ljuset lätt gröntonat och ljusutbytet ca 100 lm/W vilket var i paritet med de mest effektiva lysrören. Svavellampan var mycket omskriven i Sverige och ett tiotal demonstrationsanläggningar byggdes i olika typer av verksamheter som t ex sjukhus-entré, postterminal, industri, fryshus, galleria, T-banestation, och flygplats. Det var en misslyckad satsning beroende dels på dålig belysningsekonomi, dels på kvalitetsbrister.

Ljuskälletillverkaren fortsätter utvecklingsansträngningarna med inriktning på specialapplikationer. Det är idag omöjligt att säga om vi i en framtid kan förvänta oss mikrovågsljuskällor för allmänna belysningsändamål.

5.5 Bildskärmar

Bildskärmen är som tidigare påpekats inte bara ett arbetsredskap utan även är en ljuskälla, som användaren direkt exponeras för på ett tämligen kort avstånd och under långa arbetspass. De synergonomiska krav som ställs på bildskärmen bör därmed också vara höga både i dess egenskap som ljuskälla och som synobjekt (3; 117). Beroende på den teknik som används för att åstadkomma en bild på skärmen kommer operatören att exponeras för ljus med olika synergonomiska egenskaper och är därmed en viktig faktor ur arbetsmiljöaspekt.

CRT-tekniken (Eng: Cathode Ray Tube, katodstrålerör) är inte bara den äldsta utan fortfarande den vanligast använda tekniken för bildskärmar, även om bildskärmar baserade på andra tekniker, främst LCD (Eng: Liquid Crystal Display, flytande kristallskärmar) används i ökande utsträckning. Nedan följer en kort beskrivning av dessa två vanligast använda bildskärmsteknikerna.

5.5.1 Katodstrålebaserad skärmar

Principen för en CRT-skärm bygger på att en elektronstråle med hög hastighet utsänds från en i bildrörets bakre del belägen katod (därav namnet) och träffar det fosforskikt som bildrörets insida är belagd med. Elektronernas rörelseenergi överförs till fosfor varvid denna exciteras och en lysande punkt skapas.

För att bygga upp en bild på skärmen används ett antal sådana punkter/ bildelement (pixel). På en bildskärm som ska kunna återge flera färger innehåller varje pixel i sig tre punkter eller linjer med grundfärger rött, grönt och blått. Skärmens upplösning är beroende på hur många sådana pixlar som bildytan byggs upp av. En högupplösande skärm med stor bildyta kan ha upp till 2 000 x 1 400 pixel.

För att presentera tecken på valfri plats på skärmen sveper elektronstrålen i ett linjesystem horisontellt över skärmen från vänster till höger sett från operatören. Ett sådant svep tar ca 15 μ s, med en återgångstid på ca 1,5 μ s. För att täcka hela skärmen med linjer behövs också ett vertikalt svep. Hela bilden på skärmen ska förnyas med en viss frekvens, den s k bildfrekvensen. Tekniskt ("hårdvarumässigt") kan den vanligtvis ligga mellan 70 och 100 Hz, där det högre värdet avser nya bildskärmar. Man har dock kunnat notera att mjukvaran i vissa applikationer styrt ned bildfrekvensen till lägre värden, t ex omkring 60 Hz.

Detta system av linjer som ska åstadkommas på skärmen styrs med hjälp av magnetisk avlänkning via spolkpaket placerade på bildröret. Vidare krävs för att ett tecken ska formas att elektronstrålen omväxlande släcks och tänds med mycket snabba förlopp i nanosekundskalan.

5.5.2 Flytande kristallskärmar

Det finns flera olika tekniker som utvecklats för s k platta skärmar, både för portföljdatorer och större skärmar för fasta uppkopplingar på t ex kontor. Den teknik som har utvecklats mest och även marknadsmässigt fått störst genomslag är den s k flytande kristalltekniken, LCD-skärmar. Den används nu i de flesta bärbara datorer. Principen för denna teknik bygger på att

skärmen byggs upp av s k vätskekristaller (som varken är en vätska eller en kristall) vilka är optiskt aktiva. Detta betyder att om de passerar av polariserat ljus så vrids ljusets polarisationsplan. Vanligt ljus som är en elektromagnetisk vågrörelse är inte polariserat, dvs riktningen är obestämd. När ljus passerar en polarisator, passerar endast den del av ljusstrålningen som har samma polarisationsplan som polarisatorn. Om det polariserade ljuset ska kunna passera ytterligare ett polarisationsplan så måste den ha samma polarisationsriktning som den först passerade polarisatorn. Är polarisatorn vriden 90° absorberas ljuset i stället. Genom att ömsom utsätta vätskekristaller för ett elektriskt spänningsfält respektive inget fält så vrids polarisationsplanen så att det ömsom uppstår ljusa respektive mörka punkter på skärmen. Det elektriska fältet skapas i korsningen mellan två ledningar i ett rutnät på detta sätt kan enskilda punkter (pixlar) adresseras.

6. Spektralfördelning och färgåtergivning

Olika ljuskällor kan avge ljus vid olika våglängder inom det synliga spektrumet, och även annan optisk strålning (UV- och IR-strålning). Vissa ljuskällor av typ urladdningslampor alstrar primärt ljus i vissa diskreta våglängder som delvis (för t ex lysrör) kan ligga inom UV-området. Genom sekundära processer i lysröret omvandlas denna strålning till ett mer kontinuerligt ljus i den synliga delen av spektrat. Beroende på vilket lyspulver som används kan man få fram olika spektralfördelningar. Ljusutbytet kan typiskt uppgå till 100 lm/W. Den s k natriumlampen avger dock allt ljus inom ett smalt våglängdsområde kring 589 nm (gult ljus). Den har ett högt ljusutbyte, över 200 lm/W. Från ett glödljus (glödlampa) avges ljus i ett kontinuerligt spektrum, men med ett mycket lågt ljusutbyte, typiskt omkring 10 lm/W, bl a beroende på stora värmeförluster. Ljuset från en glödlampa har en mer dominerande inslag av rött ljus än dagsljuset.

Spektralfördelningen från en bildskärm av katodstrålerörstyp bestäms av den eller de fosforer som används. Vid moderna skärmar av flerfärgstyp kan spektralfördelningen varieras för att kunna återge olika färgnyanser.

Spektralfördelningskurvan visar grafiskt hur en ljuskälla fördelar sin strålning över det synliga frekvensområdet. I figur 3 visas spektralfördelningen för olika belysningstyper.

En ljuskällas färgåtergivande egenskaper kan beskrivas med angivelse av färgtemperatur i grader kelvin (K), färgåtergivningsindex R_a samt en spektralfördelningskurva. Se vidare definitioner i kapitel 4.

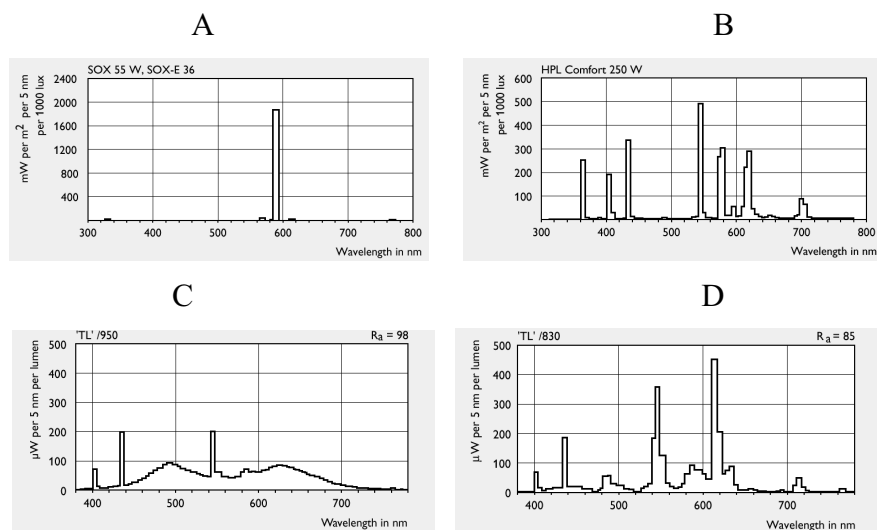
Färgtemperaturen innebär att man jämför ljuskällan med en svartkroppsstrålare som uppvärms till en viss temperatur. Färgtemperaturen är den temperatur där svartkroppstrålaren och ljuskällan har samma (visuella) färg. Kallt blåaktigt ljus har hög färgtemperatur medan en varm/rödaktig ljusfärg har låg färgtemperatur. Begreppet överensstämmer alltså inte med vad vi vanligtvis förknippar med låg respektive hög temperatur. Exempelvis har en vanlig glödlampa en färgtemperaturen på ca 700 K medan en mulen himmel har ca 6 500 K.

Färgåtergivningsindex R_a redovisar källans förmåga att återge färger och anges i en skala från 0 till 100. $R_a = 0$ innebär att vi inte med ljuskällans hjälp kan avgöra vilken färg ett givet objekt har, medan $R_a = 100$ indikerar en perfekt färgåtergivning.

Bestämning av såväl färgåtervinningsindex som spektralfördelning sker idag hos fabrikanterna varifrån dessa uppgifter kan hämtas. Något egentligt behov att mäta detta i fält finns således inte. Den spektrofotometriska metod som visar ljusets spektralfördelning anges i den internationella standarden *CIE publication 17.4/1987* (35). Detsamma gäller för färgåtervinningsindex, (34).

Färgåtergivningen, färgtemperaturen och spektralfördelningen hos olika ljuskällor har en avgörande roll för vår förmåga att rätt kunna identifiera olika färger i de miljöer där dessa

ljuskällor används. De data som finns när det gäller hur detta direkt påverkar människan i form av hälsa och välbefinnande återges nedan i kapitel 8.2. Vi har dock i denna sammanställning inte tagit upp färgperceptionens betydelse för arbetets utförande, även om detta indirekt skulle kunna påverka välbefinnande.



Figur 3. Spektralfördelningen från olika ljuskällor. I figuren visas A) låg trycks natriumlampa, B) högtryckskviksilverlampa, C) lysrör av dagsljusstyp samt D) lysrör av typen varmvit. (Philips lighting 2000.)

7. Ljusmodulation

Ljusmodulation innebär en periodisk variation av en ljuskällas luminans (se figur 4). Vår upplevelse av ljusmodulation i tiden kallas flimmar och kan vara visuellt, dvs vi kan detektera det med vårt synsinne eller det kan vara icke visuellt (se definitionen ovan kapitel 3.3).

Modulationsgraden beskriver omfattningen ("graden") av denna variation och definieras enligt Brundrett (30) som

$$[(L_{\max} - L_{\min}) / (L_{\max} + L_{\min})] \times 100\%$$

där L_{\max} = maximala luminansen (cd/m²)
 L_{\min} = minimala luminansen (cd/m²)

För att se hur stor modulationen vid en specifik frekvens, t ex 100 Hz är så måste Fourierkoefficienterna för den uppmätta ljusstyrkan eller luminansen beräknas, dvs ljusstyrkan uppdelas i en summa av cosinus och sinustermer:

$$h(t) = A_0 + \sum_{i=1}^m A_i \cdot \cos \omega_i t + \sum_{i=1}^m B_i \cdot \sin \omega_i t$$

där $m \Rightarrow$ oändligheten

$$\omega_i = 2\pi \cdot f_i \quad (\text{rad/s})$$

$$f_i = f_g \cdot i \quad (\text{Hz})$$

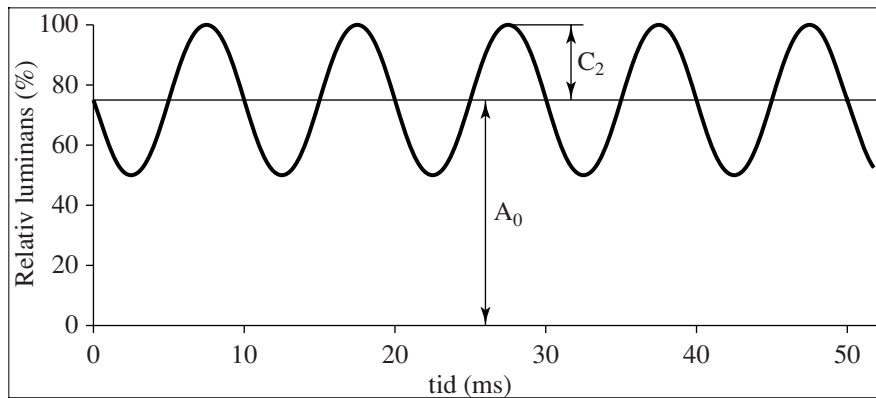
f_g = grundfrekvensen, här 50 Hz (vid ljuskällor som drivs direkt av normal strömförsörjning), eller lika med bildfrekvensen (för bildskärmar av katodstrålerörstyp).

Alternativt kan $h(t)$ skrivas som en summa av cosinustermer med en viss fasförskjutning φ_i :

$$h(t) = A_0 + \sum_{i=1}^m C_i \cdot \cos (\omega_i t + \varphi_i)$$

Om signalen endast består av en sinusformad del med frekvensen 100 Hz överlagrad på en konstant signal så innebär det att 100 Hz modulationen kan beräknas direkt ur den uppmätta signalen enligt:

$$100 \text{ Hz modulation} = \frac{C_2}{A_0} \cdot 100 \% \quad \text{se figur 4.}$$



Figur 4. Sinusformad ljusvariation med frekvensen 100 Hz.

Ljusmodulation till följd av olika tekniker som används för att alstra ljuspunkter beskrivs nedan för de två vanligaste källorna; bildskärm och lysrör.

Någon standardiserad metod för mätning av ljusmodulation i fält finns inte utarbetad idag men med tanke på de diskussioner som förs bl a i denna rapport finns ett visst behov av att en sådan metod och portabel utrustning utvecklas. Den metod som forskningsmässigt har använts innebär användande av fotometer (typ Hagner mod. S2) med anpassad spektralkänslighet till ljusverkningsgradfunktionen V_λ och kopplad till oscilloskop. Databehandling och beräkningar sker sedan enligt formler och figur ovan (14). För definitioner se vidare *CIE publication 17.4/1987* (33).

7.1 Ljusmodulation från bildskärmar

En katodstrålebaserad bildskärm har i varje enskild punkt normalt 100 procent ljusmodulation synkront med bildväxlingsfrekvensen. För vissa mindre vanliga, långsamma fosforer kan modulationen vara mindre än 100 procent. Ljusvariationen har en grundfrekvens som är lika med bildfrekvensen, men ljuspulsen har ett utseende som starkt avviker från sinusform – vilket leder till högre CFF för denna typ av stimulering. Om bildväxlingen har tillräckligt hög frekvens, omkring 72-75 Hz, så upplever de flesta individer bildskärmens bildyta som flimmerfri trots att bilden i sig har en 100 procentig modulationsgrad. Det finns dock en betydande individvariation i denna känslighet för flimmer, se vidare nedan. Problemet med flimmer vid bildskärmar är mer påtagligt vid skärmar med positiv polaritet (dvs skärmar med mörk text mot ljus bakgrund) beroende på högre medelluminans.

En bildskärm utsätts också normalt för ett infallande ljus från omgivande ljuskällor, som återreflekteras. På grund av denna reflekterade luminans kan ljusmodulationen ofta bli lägre än 100 procent, trots att det från skärmen emitterade ljuset uppvisar 100 procent modulation. Det finns dock exempel på interaktion mellan bildskärmens emitterade ljus (med en viss ljusmodulation) och ett reflekterat ljus som också är ljusmodulerat, med resultat av ett mycket påtagligt flimmer. Ett liknande fenomen är när en bildskärm med 70 Hz bildfrekvens visas i en TV med 50 Hz bildfrekvens, då uppkommer på grund av interferens en mycket påtaglig ljusmodulation med frekvensen 20 Hz.

För bildskärmar som konstrueras enligt andra tekniker (t ex LCD-teknik) är skärmen i sig ingen ljuskälla och därigenom ingen källa till periodisk ljusvariation. Förekomst av ljusmodulationen är avhängigt av den ljuskälla som används (inbyggd eller extern). I de flesta fall betyder detta att sådana skärmar kan betraktas som flimmerfria.

7.2 Ljusmodulation från belysningar

7.2.1 Temperaturstrålare

När en glödlampa drivs med vanlig 50 Hz nätspänning avger den ett sinusformat pulserande ljus med den dubbla frekvensen 100 Hz. Ljusmodulationen varierar dock med glödtrådens tjocklek. En glödlampa för nätspänning med låg effekt har tunn glödtråd vilken kyls lättare än om glödtråden är tjock som vid högre lampeffekt. Följden blir att ljusmodulationen ökar med minskande märkeffekt för det fall att lampmärkspänningen är densamma. Jämförs två glödlampor med samma märkeffekt gäller att ljusmodulationen minskar med minskande märkspänning.

Ovanstående resonemang om ljusmodulation hos glödlampor gäller även för halogenlampor. Eftersom halogenlampor framförallt tillverkas för låga lampspänningar – 12 V är vanligt – innebär detta tjocka glödtrådar och därmed låg ljusmodulation.

7.2.2 Gasurladdningslampor

Ljusmodulationen hos lysrör som drivs med 50 Hz drivspänning (gäller i Europa, i USA är drivspänningen 60 Hz) har i huvudsak fyra komponenter (4; 30; 135):

100 Hz helrörsvariation, vilket innebär att varje halvperiod av nätspänningen orsakar en urladdning i röret som ger ett pulserande ljus med frekvensen 100 Hz. Ljusets variation beror på lyspulvrets sammansättning (fosforns tidskonstant) samt lysrörets driftsdon.

50 Hz helrörsvariation som beror på den skillnad som föreligger mellan de två elektroderna i lysröret och som uppstår vid tillverkningen. Det resulterar i en större ström genom lysröret vid en av nätspänningens halvperioder. Detta resulterar i en ljusvariation på 50 Hz över hela röret.

50 Hz rörändsvariation som beror på att den ena elektroden i bland fungerar som anod och ibland som katod. Urladdningen i katodens närhet kommer inte att uppföra sig som i övriga delar av röret och en högre ljusmängd avger i katodens närhet. Detta medför en 50 Hz ljusvariation vid lysrörsändarna.

100 Hz färgvariation som beror på att ljuset har ett våglängdsberoende. Om man mäter ljuset inom vissa våglängder kommer man att se en våglängdsberoende tidsvariation där det blå ljusets intensitet varierar mer än ljus från den röda delen. Detta beror på att fosfor i lyspulvret har en större tidskonstant i den röda delen av spektrumet än i den blå delen. Dessa ljusvariationer beror i sin tur av det totala ljusets variationer.

Lysrör kan också drivas med s k högfrekvensdon, vilket leder till att ljusmodulationen får en grundfrekvens av omkring 30-50 kHz. Denna frekvens ligger långt över CFF för denna typ av ljusstimulus, och ett sådant lysrör kan därför betraktas som flimmerfritt. Man kan dock registrera en svag 100-periodig ljusmodulation som härrör från likriktningen i de elektroniska driftdonen.

Flimmerförhållandena för kompaktlysror är ungefär desamma som för linjära lysror. Den tillverkas dock nästan uteslutande med inbyggda elektroniska driftdon vilket ur flimmersynpunkt är mycket positivt.

Modulationen för kvicksilverlampor blir i det närmaste +/- 100 procent eftersom ljuset från gasurladdningen dominerar kraftigt. Någon drift med elektroniska driftdon finns ej tillgänglig varför flimmer från kvicksilverlampor ej kan åtgärdas.

Blandljuslampan som är en kombination av kvicksilverlampa och glödljus har något lägre modulationsgrad än en ren kvicksilverlampa.

Ljuset i metallhalogenlampor genereras endast i gasurladdningen vilket medför att ljusmodulationen i denna typ av belysning i det närmaste är 100 procent.

För natriumlampan gäller detsamma dvs att endast gasen genererar ljuset och därmed blir ljusmodulationen också i det närmaste 100 procent. I högtryckslampan glöder visserligen brännkammaren men detta påverkar ljusmodulationen endast marginellt.

Andersson och medarbetare (4) genomförde 1994 laboriemätningar av modulationsgraden hos olika typer av belysning och fann att glödlampor, beroende på effekt, låg i intervallet 10-22 procent. För halogenglödlampor var motsvarande intervall 2-6 procent. Enkelfärgslysröret uppvisade en modulationsgrad på ca 20 procent medan fullfärgslysröret gav en högre modulation, 30-40 procent. Med högfrekvensdon minskade modulationsgraden till ca 1 procent. Kompaktlysror gav med konventionella driftdon en modulationsgrad på 44 procent medan högfrekvensvarianten låg på 2-7 procent. Urladdningslamporna uppvisade som förväntat höga värden, 52-100 procent.

8. Belysningens betydelse för perception och hälsa

Människor påverkas av och upplever omvärlden på olika sätt. Vi är också olika känsliga för störningar i miljön. Orsakerna till detta är många. Som exempel kan nämnas genetiska skillnader, skillnader beroende av tidigare erfarenheter, men också skillnader i upplevelse beroende på olika omständigheter i livet. Under olika utvecklingsfaser kan vi också vara mer känsliga för miljöstörningar. En organism i utveckling är ibland mer känslig vilket innebär att en störning kan påverka utvecklingen negativt och leda till kroniska problem. Ålder är en annan faktor som i sitt naturliga förlopp ger förändringar vilket kan leda till att påverkan av miljöfaktorer förändras. Det finns också skillnader i vår känslighet beroende av situationella faktorer såsom hög stress i arbetet (hög arbetsbelastning) svåra livsomständigheter (flykt, separation etc), sjukdom, vakenhet, etc.

Detta avsnitt vill belysa grupper av människor som i högre grad än andra kan tänkas vara i riskzonen för att påverkas negativt av arbetsplatsbelysningen och då främst av flimmar. Dessutom diskuteras möjliga allmänna effekter av spektralfördelningen hos ljuset från ljuskällor. I kapitel 9 diskuteras specifikt bildskärmsarbete.

8.1 Flimmar

8.1.1 Åldersvariation i flimmar-känslighet

Barns synsystem genomgår en mycket snabb utveckling från fyra till sju års ålder. Redan vid fyra år är den temporala kontrastkänsligheten och även CFF vid höga frekvenser (blått ljus) fullt utvecklad medan grovskärpan och även den temporala kontrastkänsligheten vid låga frekvenser (rött ljus) dröjer till sex års ålder. Man menar att det temporala seendet utvecklas snabbare än det spatiala (47).

Då synseendet utvecklas mycket snabbt hos barn finns det skäl anta att barn också är mer känsliga för olika typer av belysning. Det har visat sig att vissa grupper av barn är mer känsliga än andra. Redan Coleman m fl (37) visade i en studie att autistiska barn blev mer oroliga när belysningen var flimrande. Man jämförde två situationer, en där belysningen bestod av lysrör och en där den bestod av glödlampor. Mer oroliga beteenden konstaterades när barnen befann sig i lysrörsbelysningen. I Japan drabbades man 1997 av den så kallade ”Pokemon”-effekten. Ett barnprogram visade en pulserande röd ljuskälla och flera människor, de flesta barn, drabbades av epileptiska anfall (116).

Barn som ägnar lång tid åt videospel eller sitter och arbetar vid dator uppvisar mer ögonvärk. Mer än 4 000 barn undersöktes med avseende på bildskärmsarbete och videospel. Det visade sig att barnen hade fler ögonrörelser när de satt vid videospel, men ögonvärken var lika omfattande i båda situationerna. Barnens CFF påverkades av arbetet i bägge situationerna. Det tycktes finnas en gräns vid 60 minuter, och besvären ökade påtagligt vid 120 minuters arbete. Författarna drog slutsatsen att tiden vid dator eller videospel bör begränsas

till 60 minuter för att undvika skadliga effekter (92). CFF-förändringen inkluderas av författarna i motivationen för tidsbegränsning, men hänvisar inte specifikt till flimmerexponering.

Känsligheten för flimmer är klart åldersberoende och minskar med stigande ålder. Skillnaden mellan serier med ökande respektive minskande flimmerfrekvens (hysteresis) skiljer sig också signifikant med stigande ålder vilket kan härledas till en minskad känslighet hos CNS (41). Även åldersrelaterade sjukdomar som Alzheimer's sjukdom påverkar vissa visuella funktioner, såväl färgdiskrimination och stereoskärpa som kontrastsensitivitet påverkas negativt. Emellertid har man inte kunnat finna att CFF förändras av denna sjukdom (39). Orsakerna bör snarare ligga i primära visuella och associations-cortex än i retina eller den optiska nerven (40).

8.1.2. Dyslexi och flimmerkänslighet

Orsaken till dyslexi vill man lägga i synsystemet och då i en specifik magnocellulär celltyp som spelar en viktig roll för synupplevelsen av bokstäver. Utvecklingen av dessa magnocellulära celltyperna är genetiskt ofullständig hos dyslektiker (115). Emellertid visar andra studier inga skillnader mellan dyslektiska barn och barn med normal förmåga att läsa. Barnard m fl (6) fann t ex inga skillnader mellan barn med dyslektiska besvär och en normalgrupp avseende flimmerkänslighet. För en litteraturgenomgång hänvisas till Greatrex m fl (53).

8.1.3. Flimmerkänslighet hos elöverkänsliga

Problemet med elöverkänslighet eller elkänslighet som Socialstyrelsen föredrar att kalla det började kring mitten av 1980-talet när flera som jobbade vid bildskärm kände av besvär i form av hetta och rodnad i ansiktet som de satte i samband med närheten till bildskärmen. Under den senare delen av 1980-talet kom de första rapporterna om att man även kände av andra elektriska apparater och att besvären nu även innefattar symtom av neurastenisk karaktär som huvudvärk, trötthet, koncentrationssvårigheter och hjärtklappning.

De symptom som beskrivs av elöverkänsliga omfattar både symptom från huden och en mer divergent symptombild som omfattar huvudvärk, trötthet, koncentrations- och minnes-svårigheter samt yrsel. Hudbesvär är vanligast hos de som arbetar vid bildskärmar, medan de generella symtomen är mer relaterade till närhet till elektrisk utrustning i allmänhet. Symptomen är sällan specifika och förekommer även i andra grupper, och därför finns idag heller inga vedertagna kriterier för diagnossättningen elöverkänslighet.

I ett antal provokationsstudier i Sverige och utomlands har man inte lyckats finna någon korrelation mellan elöverkänsligas exponering för elektronmagnetiska fält och symptomförekomst (för en översikt se (13)). Detta har i sin tur resulterat i att forskningen har sökt andra vägar att förstå elöverkänslighetsproblematiken.

Studier av personer med elöverkänslighet tyder på att de har en aktiveringsgrad av det autonoma (självständiga) nervsystemet som skiljer sig från den hos besvärsfria personer.

Hjärtrytm, blodtryck och temperaturreglering är några kroppsfunktioner som är kopplade till det autonoma nervsystemet (88; 89; 124; 130).

Gruppen elöverkänsliga anger vidare att förutom bildskärmen är lysrör den vanligast förekommande källan till besvär (71; 122). En gemensam emissionsfaktor för dessa två källor är förutom elektromagnetiska fält även modulerat ljus av olika frekvenser. I ett antal studier genomförd vid Arbetslivsinstitutet i Umeå har elöverkänsliga individer studerats med avseende på hjärnans funktionella tillstånd och den centrala känsligheten för just ett amplitudmodulerat ljus. Detta har karaktäriserats med hjälp av kvantitativt EEG, Steady-state Visual Evoked Potentials (SVEP), psykofysiska tester och CFF (88; 89; 113).

Studierna visade att amplituden på SVEP, vid stimulering med modulerat ljus, som förväntat sjönk med ökande frekvens hos såväl elöverkänslighetsgruppen som hos symptomfria kontroller. Genomgående förekom dock en högre amplitud hos de elöverkänsliga i jämförelse med kontroller i det testade frekvensområdet 30-70 Hz. Amplitudminskningen med ökande frekvens var lika för de båda grupperna.

Studierna indikerar en ökad känslighet för flimrande ljus i frekvensbandet 30-70 Hz hos elöverkänsliga, vilket visade sig som en ökad amplitud av EEG synkronisering såväl som i högre värden på CFF. Ett högre värde på CFF betyder att gruppen med synsinnet kan följa flimret högre upp i frekvens. Det kan också noteras att de flesta personerna i både patient- och kontrollgruppen visar en distinkt respons (mätt som SVEP) för bildskärm med bildfrekvens på 60 Hz och positiv polaritet.

Den skillnad mellan patientgruppen och kontrollgruppen som framkom vid de neurofysiologiska testerna var visserligen liten betraktat på gruppnivå, men den heterogenitet som fanns i patientgruppen visar på att det för vissa patienter och vissa parametrar fanns en påtaglig avvikelse från normaldata. Generellt sett så indikerar data en tendens till sympatisk dominans i den autonoma regulationen som i sin tur associeras med en hyperresponsivitet för ett antal externa faktorer där ljusmodulation är en av dessa faktorer.

En liknande provokationsstudie med modulerat ljus men med en annan försöksuppsättning har genomförts på Arbetslivsinstitutet i Solna med 14 elöverkänsliga och 14 kontrollpersoner utan dylika besvär (132). Studien genomfördes i en ambulerande buss, specialbyggd för ändamålet. Här genererades exponeringen från kommersiellt tillgängliga lysrör med antingen förkopplingsdon av konventionell typ eller högfrekvensdon. Detta medförde att ljusspektrum och ljusstyrkan var identiska vid såväl aktiv som inaktiv ("sham") exponering medan modulationsgrad (37 respektive 1 procent) var den faktor som varierade. Subjektiv skattning av välbefinnande och ljusupplevelse samt alfaaktivitet i EEG användes som mått på respons. Försöket omfattar fyra test om vardera 15 minuter med slumpvis hög respektive lågmodulerat ljus. Det sammantagna resultatet av de tre parametrarna välbefinnande, ljusupplevelse och alfaaktivitet visade hos flertalet elöverkänsliga ett samband med ljusmodulation, något som saknades bland referensgruppen. Hög modulationsgrad skattades av elöverkänsliga som sämre vad gäller välbefinnande ($P < 0,001$) och ljusupplevelse ($P < 0,01$) samt gav en högre alfaaktivitet ($P < 0,05$) jämfört med kontrollpersonerna.

Denna studie visar samma trend som de tidigare nämnda att som grupp betraktat är elöverkänsliga känsligare för icke visuellt flimmer än motsvarande kontrollgrupper.

8.1.4. Inverkan av intoxication på flimmerkänslighet

Pearson och Timmy (98) visade att alkoholkonsumtion påverkar flimmerkänslighet. Vid ett alkoholintag motsvarande 0,6 promille visade det sig att vid höga temporala frekvenser reducerades flimmerkänsligheten 2,5 gånger mer än vid lägre temporala frekvenser. Med högre alkoholkoncentration i blodet uppvisades högre nedgång vid höga och låga spatiala frekvenser. Orsaken tycks inte ligga i ögonrörelserna utan i djupare neurofysiologiska förändringar. I en annan studie undersökte man om matintag kunde minska effekterna av alkohol (91). Det visade sig att flimmerkänsligheten var något högre efter matintag men den kom inte upp i samma nivåer som i nyktert tillstånd.

Även intag av psykofarmaka tycks ha en inverkan på flimmerkänsligheten. Barn med beteendestörningar behandlades med chlorpromazin, varvid nedgång i flimmerkänslighet kunde beläggas efter intag (21).

Sammanfattningsvis pekar intoxication i riktningen att känsligheten för flimmer minskas dvs en minskad vakenhet. I motsats till detta kan nämnas att en kall avrivning med kallt vatten och därefter en våt handduk över nacken i en minut ökade CFF signifikant efter tio minuter och denna förhöjda nivå fanns kvar efter en halvtimme (44). CFF skulle i detta fall vara ett mått på en ökad vakenhet.

8.1.5. Övrig flimmerpåvekan

Rey och Rey (103) visade redan 1963 att arbete under 50 Hz-belysning (=100 Hz flimmer) medförde en sämre reaktionstid och ökat antal fel i lästest i jämförelse med arbete under flimmerfri belysning. Ett antal jämförande studier har sedan genomförts där omväxlande belysning med HF-don respektive konventionella don har använts men där övriga ljusparametrar har konstanthållits i syfte att studera betydelsen av ljusmodulation och därmed icke visuellt flimmer för såväl symtomförekomst som olika visuella test. I en tvärsnittsstudie av Wilkins och medarbetare (136) installerades slumpvis ny belysning med HF-don respektive med konventionella don på en stor kontorsarbetsplats. Studien visade att förekomsten av rapporterad huvudvärk och ögonbesvär halverades i lokaler med HF-don. I en studie av Veitch och McColl (127) jämförandes utfallet av synfunktionstest samt skattning av besvär efter en timmes test i ett rum med belysning med HF-don alternativt konventionella don men med i stort samma spektralfördelning på ljuset. Trots att studien endast begränsade sig till 48 försökspersoner fann man ett sämre resultat av testet (Langdolt ring test) i belysning med konventionella don. Den största skillnaden förelåg när testmaterialet hade den lägsta luminanskontrasten. Författarna spekulerar i huruvida det icke visuella flimret kan uppfattas som ett "brus" i den neurala aktiviteten.

Berman och medarbetare (20) visade i en omfattande studie att personer, som exponerades för 100 procent modulerat ljus genererat från lysrör med matningsfrekvens från 47,5 till 72,5 Hz, uppvisar en retinal respons (mätt med elektroretinografi, ERG), som är synkron med den aktuella modulationsfrekvensen, ända upp till maximal modulationsfrekvens, dvs 145 Hz. Vid stroboskopgenererat stimulus kunde en synkron signal detekteras upp till 162 Hz. Studien

visar i överensstämmelse med tidigare studier (49; 114) att flimmer över detektionsgränsen (som anges av CFF) kan detekteras i ERG. Författarna spekulerar i huruvida detta kan direkt kopplas till en neuronal aktivitet i retina eller om det är andra strukturer i det visuella systemet som aktiveras samt om det kan kopplas till huvudvärk och ögonbesvär som Wilkins i sin studie fann var associerat med flimmer från lysrörsbelysning (136).

Küller och Laike (79) fann en skillnad i respons mellan personer med hög respektive låg CFF vid olika belysningsförhållanden. De testade i en laboratoriestudie 39 personer vid tre tillfällen för belysning med hög respektive låg modulationsgrad samt ett träningsstillfälle. Studien innefattade registrering av EEG, CFF, EKG, registrering av symtom, samt ett numeriskt lästest. Ingen generell skillnad i utfall förelåg vid de olika testsituationerna, men när den grupp som uppvisade höga CFF utvaldes fann man en minskad alfaaktivitet, högre läshastighet samt fler registrerade fel vid belysning med hög modulationsgrad jämfört med låg modulationsgrad. Dessa förändringar kan tolkas i termer av förhöjd stress. Studien visade att inte alla testpersonerna påverkades av det modulerade ljuset, utan att det kan finnas speciellt känsliga subgrupper. Detta är i överensstämmelse med de diskussioner som förts vid studier av elöverkänsliga (13; 88; 113; 132). Studien visade att ca 40 procent av försökspersonerna tillhörde denna sensitiva grupp och att de vidare var något yngre, rökte mindre, drack mindre alkohol samt var allmänt mer engagerade. Någon skillnad i förekomst av huvudvärk och ögonbesvär som Wilkins (136) fann i sin fältstudie fanns inte, men förklaringen kan ligga i den korta exponeringstiden på 3 timmar.

Två studier från 1960-talet (101; 123) visade på en kortikal respons som karaktäriserades med hjälp av kvantitativ EEG, s.k. Steady State Visual Evoked Potential (SVEP) vid exponering för amplitudmodulerat ljus. Med alltmer förfinade tekniker har responser i nivåer över CFF detekteras (30; 32). Stroboskopteknik med höga luminanser användes i försöken. Se vidare bildskärmsavsnittet kap.9.3.2.

8.2. Ljusets spektralfördelning

Huruvida belysningens spektralfördelning är av avgörande betydelse för perceptuella och kognitiva processer har diskuterats flitigt alltsedan 1970-talet. Framförallt har frågeställningen varit huruvida en belysning med en spektralfördelning motsvarande dagsljus (fullfärgslysrör) är att föredra framför ljus med annan spektralfördelning. Den grundläggande tankegången för diskussionen har varit att dagsljus i sig är att föredra framför artificiellt ljus när det gäller såväl arbetsprestation, sinnesstämning som direkt hälsopåverkan (126). Vidare har dagsljus varit den huvudsakliga källan till belysning för människan under den tid vi funnits på jorden. Därmed skulle våra fysiologiska processer fungera optimalt vid dagsljusexponering (61; 119; 140). Det finns vissa svagheter i teorin som antar att seendet och fysiologiska processer, som är influerade av ljusstyrkan, är optimerade vid dagsljusförhållanden och att vi inte har förmågan att adaptera till andra förhållanden (128). Man kan jämföra med andra adaptionsmöjligheter och begränsningar t ex till olika temperaturförhållanden.

8.2.1 Lysrör av dagsljusstyp kontra annan lysrörstyp

Någon internationellt definierad beteckning av lysrörstyper finns inte varför det kan vara vissa problem vid jämförande studier av belysningars effekter på olika perceptiva och fysiologiska effektmått. Boyce (28) definierade lysrör av dagsljusstyp som en belysning som emitterar ljus i alla delar av det synliga ljusets frekvensspektrum samt en del även inom UVA delen av spektret. Det har en färgtemperatur ≥ 5000 K och ett R_a index ≥ 90 . Som jämförelse har s k ”varmvita” lysrör en färgtemperatur på ca 3 000 K och vanliga ”kallvita” ca 4 000 K där båda typerna kan ha ett R_a index som varierar från 50 och uppåt.

De flesta jämförande studier av spektralfördelningens betydelse för olika effektmått kan i princip delas in i två huvudgrupper: dels speciella testrum i laboratoriemiljö där försökspersonen vid olika tillfällen utsätts för varierande ljusförhållanden och dels fältförsök där grupper av personer (i t ex klassrum eller kontor) på samma sätt utsätts för olika ljusförhållande och då oftast under längre perioder. I första fallet är effektmåtten av mer akut karaktär, och kan utgöras av en neurofysiologisk respons, utförande av vissa arbetsuppgifter, läsförståelse mm. Fältstudier på gruppnivå diskuterar däremot oftare upplevelsen och olika symtom.

Hur människan visuellt uppfattar sin omgivning och hur synsinnet fungerar i belysningar med olika våglängder är beroende på synsystemets uppbyggnad. Dagsljusseendet, dvs det fotopiska systemet med tappar som receptorer, är avhängigt på en funktion som har sitt maxvärde vid 555 nm, medan mörkerseendet, det skotopiska systemet med i huvudsak stavar som receptorer, har en maximal respons vid 508 nm (se vidare kap. 3.1). Det betyder att vid låga ljusstyrkor uppfattas blått ljus som starkare än rött, medan vid dagljusbelysning föreligger det omvända.

8.2.2 Spektralfördelningens påverkan på synfunktionen

Vid Lawrence Berkeley National Laboratory i Kalifornien (USA) har en forskargrupp under ledning av S M Berman studerat hur ljuset spektralfördelning bör vara beskaffat för att optimera seendet. De visade bl a att pupillens diameter är avhängigt av ljusmängden som tillförs det skotopiska systemet även vid ljusstyrkor som vi normalt har i vår inomhusmiljö (16). Samtidigt leder minskad pupilldiameter till en ökad upplösning. Därmed skulle en optimering av seendet ske om ljuskällan har en stark emission omkring 508 nm i kombination med ljusemission i det fotopiska spektret. Belysningar som spektralt skulle kunna liknas med fullfärgslysror skulle därför enligt dessa studier vara att föredra. I två senare studier (18; 19) av såväl yngre som äldre deltagare genomfördes Langedrots ringtest vid olika belysningar där förhållandet mellan skotopiska/fotopiska luminanserna varierade kraftigt. I ena fallet dominerade det röd/rosa delen av spektret medan i andra fallet dominerade blå/grönt ljus. Kontrasten mellan skärm, där uppgiften presenterades, och omgivningen varierade, men var förhållandevis låg i alla test, från 15-30 procent och uppåt. Ett bättre resultat erhöles oavsett spektralfördelning med ökade kontrastförhållanden. Vidare visade det sig att resultaten av testen var genomgående bättre i belysning med en ökad skotopisk spektralfördelning. I en senare studie

(17) fann man att även läsförståelsen ökade när pupillstorleken minskades och kontrollerades genom att belysningen innehöll en större andel av skotopiska delen av spektret.

Fotios och medarbetare (52) visade också att en ökad visuell prestation erhöles om belysningen innehöll en större andel i den blå delen av spektret. Küller och Wetterberg (81) fann i en laboratoriestudie med 33 försökspersoner att ett lästest utfördes signifikant bättre i belysning av dagsljusstyp i jämförelse med varmvit belysning, men att läsbarhet subjektivt bedömdes som bättre i den varmvita belysningen. Vare sig läsbarheten eller synupplevelsen påverkades av ändringar i belysningsstyrkan (450-1700 lux) i rummet.

Spektralfördelningens betydelse för synfunktion, exempelvis synskärpa har utförts av ytterligare ett antal laboratorier med olika försöksdesign men några klara samband mellan synfunktion och spektralfördelning har man inte funnit (54; 57; 127). Inte heller i en laboratoriestudie av Veitch (125) utförd på 104 testpersoner och där också förväntanseffekten var inkluderad som en parameter fann man någon effekt.

Det finns som tidigare nämnts ett antal faktorer som skulle kunna förklara skillnaderna i utfall. En möjlig orsak kan vara det 100/120 Hz flimmer som beror på en högre andel blått ljus i dagsljuslysrör. Wilkins (134) respektive Veitch och McColl (127) har visat att detta kromatiska flimmer påverkar synfunktionen. Det är oklart om det föreligger sådana skillnader i kromatiskt flimmer mellan de olika studierna att detta skulle kunna bidra till de olika utfallen. Vidare så förstärks skillnaderna i modulationsgrad om konventionella driftsdon använts.

8.2.3 Olika fysiologiska och symtomreaktioner på spektralfördelningen

Spektralfördelning och dess inverkan på syntrötthet, dimsyn, ögonirritation och andra symtom relaterade till vårt visuella system har rapporterats i ett antal artiklar. I den tidigare nämnda studien av Küller och Wetterberg (81) studerades även neurofysiologiska och endokrina responser av fullfärgslysrör kontra varmvita lysrör under kontrollerade laboratorieförhållanden. Hjärtfrekvensvariabiliteten användes som ett mått på autonoma nervsystemets påverkan där hypoteser har framförts att hjärtfrekvensen ökar vid kortikal stimulering (48). Ingen påtaglig skillnad mellan de två lysrörstypen kunde urskiljas vad gäller såväl de fysiologiska som endokrina parametrarna. Däremot förelåg som förväntat en skillnad i respons när det gäller belysningsstyrka. Studien visade på en minskad delta-aktivitet i EEG vid hög belysningsstyrka vilket indikerar en ökad vakenhet. De skattade visuella symtomen skilde sig något till varmvit belysningens fördel, men skillnaden var inte signifikant. Veitch och McColl (127) fann inte heller någon skillnad i symtomskattning när belysning av fullfärgstyp jämfördes med kallvit belysning.

CFF har som tidigare nämnts använts som ett mått på trötthet. Någon klar bild av huruvida CFF också är ett mått på syntrötthet föreligger inte i litteraturen. Enligt Boyce (27) kan trötthet delas in i två huvudgrupper, fysisk och mental trötthet, där vi i första fallet talar om en väl förstådd företeelse exempelvis en muskels uttröttnings, som när det gäller det visuella systemet temporärt skulle kunna mätas som en längre ackommodationstid (109). Mental trötthet däremot är kopplade till centrala processer i det sensomotoriska systemet. Enligt Boyce skulle

test av reaktionstid liksom CFF vara ett mått på detta senare trötthetsfenomen. Den övergripande beteckningen syntrötthet har i ett antal studier undersökts med upprepade mätningar av CFF. Maas (90) fann vid intraindividella jämförelser av CFF en statistiskt säkerställd sänkning i lokaler med fullfärgslysrör jämfört med kallvit lysrörsbelysning. O'Leary (96) fann i en studie att CFF sänktes påtagligare för hyperaktiva barn efter ett par veckors vistelse i fullfärgsbelysning jämfört med kallvit belysning. Uppgifter om ljusmodulationen och därmed flimmer saknas i studierna. Starka indikationer på att flimmer har betydelse för syntrötthet och därmed indirekt påverkan på CFF gör att det är svårt att dra några slutsatser av dessa studier (79; 127; 136).

8.2.4 Spektralfördelningens betydelse för inläring

Fältstudier på barn visar att tillräcklig belysningsstyrka är en viktig faktor för barns koncentrationsförmåga, inläring och samarbete (75; 80). Huruvida ljusets spektralfördelning också är en faktor av betydelse har studerats i ett antal fältstudier. Landrus och Larkin (84) studerade effekten av tre typer av lysrör (varmvita, kallvita och av dagsljusstyp) på inläring, synupplevelse, hälsa och frånvaro hos tre skolklasser i en kanadensisk elementärskola. Belysningen installerades slumpvis i klassrummen och test av varje belysning pågick i fyra veckor. Uppgifter insamlades via frågeformulär från både elever och lärare och via observationer. Ingen skillnad förelåg vad gäller inläring, hälsa eller frånvaro. Däremot visade sig att elevernas skattning av välbefinnande var signifikant högre för perioder med varmvit lysrörsbelysning jämfört med kallvita. Samtliga tre lärare ansåg att lysrören av dagsljusstyp gav för starkt ljus och gjorde dem trötta. Det finns enligt författarna inget i studien som talar för ett byte till lysrör av dagsljusstyp i elementärskolor. Ytterligare tre fältstudier med liknande försöksuppläggning har inte funnit något samband mellan inläring och belysningens spektralfördelning (50; 56; 142).

Fältstudier utförda på universitetsstudier har inte funnit att utförande av kognitiva uppgifter påverkas av belysningens spektralfördelning. Vare sig elevernas eller lärarnas bedömning av uppmärksamhet, inläring, och uppförande påverkades (8). Laboriestudier där studenter utförde olika kognitiva test visade inte heller att ljusets spektralfördelning har någon inverkan på testresultatet (50). Boray (24) använde i sitt test såväl matematiska som grammatiska uppgifter i en laboriestudie, men fann ingen skillnad i resultat mellan varmvit, kallvit och belysning av dagsljusstyp.

8.2.5 Spektralfördelningens inverkan på sinnesstämning

En hypotes som prövats i de flesta tidigare omnämnda studierna är att sinnesstämningen påverkas positivt av belysning av fullfärgstyp, baserat på likheten med dagsljus. Att en god sinnesstämning påverkar kognitiva funktioner är känt inom socialpsykologin (65) och om den ställda hypotesen är riktig skulle effekten av ljusets spektralfördelning på sinnesstämning kunna visas med kognitiva tester.

Ett antal studier har dock inte kunnat verifiera hypotesen. Baron (7) genomförde ett laboratorietest med fyra olika belysningar, varav en var fullfärgslysrör. Två belysningsstyrkor testades. Vare sig sinnesstämning eller utförande av olika kognitiva test uppvisade någon positiv korrelation med belysning av fullfärgstyp. Däremot fann man som andra studier visat en viss korrelation till belysningsstyrkan.

Veitch (125) testade i en väl kontrollerad laboratoriestudie effekter av kallvita lysrör kontra fullfärgslysrör (skillnader i modulationsgrad ej kända) på 104 män och lika många kvinnor. Sinnestämning och upplevelse undersöktes via enkät och vissa kognitiva test genomfördes. Studien skiljer från tidigare studier såtillvida att även den information (positiv, negativ eller ingen information alls) som försökspersonerna fick inför försöket togs med som en parameter. Man kunde på så sätt även studera och justera för en eventuell förväntanseffekt. Studien kunde inte påvisa någon betydelse av den information som föregick testet vare sig på sinnesstämning, upplevelse eller utförande av de olika testerna. Utfallet skiljde sig inte heller vad gäller lysrörstyp.

8.2.6 Kommentarer

Att utföra kontrollerade studier där allt annat än ljusets spektralfördelning konstanthålls har visat sig vara svårt. En faktor är de förväntanseffekter som kan uppstå när en förändring i den fysikalisk miljö genomförs och som kan vara svår att kontrollera för (128). Vidare kan nya parametrar av betydelse upptäckas som senare visat sig vara av betydelse för utfallet. Här nedan nämns några parametrar som kan inverka på utfallet.

UVA emissionen kan vara en inte alltid kontrollerad faktor av betydelse vid jämförande studier. Troligen är andelen UVA högre för lysrör av dagsljustyp än för andra lysrörstyper, men mätningar har sällan utförts. Däremot kan man anta att skärmning med glas eller plast-raster i de flesta studier bör ha eliminerat den faktorn (137).

En viktig faktor när artificiell dagsljusbelysning jämförs med naturligt dagsljus är den naturliga variation i färgtemperatur som dagljuset uppvisar på grund av väderlek, årstidsvariation och inte minst dygnsvariation. Vidare är dagljuset betydligt intensivare än något artificiellt ljus. På våra arbetsplatser talar vi i termer av 500 lux, men utomhus diskuterar vi storleksordningen 50 000 lux. Omfattande studier har visat att tillgång till dagsljus har betydelse för såväl perceptiva processer som vårt välbefinnande (75) och därmed en viktig faktor att inkludera i analysen. Oavsett om jämförande studier har skett i laboratorium eller i fält är interaktionen med dagsbelysning, dvs. huruvida studierna är utförda i fönsterlösa lokaler eller ej av betydelse.

Den kanske viktigast faktorn som kan påverka jämförelsen mellan belysningar med olika ljusspektra är om kontroll för ljusets amplitudmodulation föreligger. Elektroniska don som minimerar modulationen hos lysrör är en ganska ny teknik, varför studier genomförda tidigare än 1990-talet oftast inte kontrollerats för visuellt/icke visuellt flimmer (4; 100). Används konventionella don kommer modulationsgraden att variera starkt mellan olika ljusrörstyper (4; 135). Som diskuteras i avsnitt 8.1, kan detta påverka såväl neurofysiologiska som visuella system. Det påverkar också läsförmågan och kan öka risken för huvudvärk (79; 134; 136).

En annan fråga man kan ställa sig är huruvida det föreligger könsskillnader vad gäller betydelsen av ljusets spektralfördelning kontra prestation och välbefinnande. Knez har i ett antal studier undersökt bland annat färgtemperaturens betydelse (72-74). Resultatet antyder att det förelåg skillnader mellan kvinnor och män i preferens för olika färgtemperatur. Detta i sin tur påverkade känsloläget som i sin tur kunde påverka prestationen. Resultaten visar att det kan finnas ett indirekt samband mellan preferens för färgtemperatur, känsloläge och indirekt på prestation, men som Knez själv påpekar är den teoretiska beskrivningen av vad som händer inte fullständig. Veitch (129) har också studerat effekter av olika typer av lampor, men inte funnit några signifikanta skillnader mellan könen. Emellertid tycks män och kvinnors preferenser skilja sig åt samt att kvinnor är något känsligare än män för högre belysningsstyrkor. Få studier har gjorts avseende människor med olika psykiska åkommor. Ett undantag är dock Kellner och medarbetare (69) som studerade patienter med agorafobiska eller ångestbesvär med avseende på belysningsupplevelse. Dessa patienter upplevde behaglig belysning vid betydligt lägre belysningsnivåer än friska kontroller. Orsakerna till detta vet man ännu inte. Belysningens spektralfördelning och dess betydelse för välbefinnande, upplevelse och prestation hos olika känsliga grupper i samhället har egentligen inte studerats varför det inte går att dra några generella slutsatser om detta.

8.3 Ljusets kronobiologiska betydelse

Trots att man inom forskarsamfundet under lång tid känt till ljusets icke-visuella effekter på människan, är det först under senare tid som dessa börjat uppmärksammas inom belysningsplaneringen. Under livets utveckling på jorden har solljuset med sitt karakteristiska spektrum och sin dygnsvariation haft en avgörande betydelse. Som en följd av detta uppvisar människan en dygnsrytm på cirka 24 timmar som bland annat innefattar sömn och vakenhet, kroppstemperatur, ämnesomsättning och hormonproduktion samt fluktuationer i uppmärksamhet och beteende (78).

Styrningen av dessa funktioner beror på inre processer framför allt i nervsystemet och det endokrina systemet vilka vanligen benämns ”den biologiska klockan”. Det är naturligtvis viktigt att denna klocka är i takt med soldygnet och för att detta skall fungera styrs klockan framför allt av tillgången till dagsljus (5; 131). Detta sker huvudsakligen genom att ljuset som träffar ögat därefter via retino-hypotalamiska nervbanor påverkar de suprachiasmatiske kärnorna och tallkottkörteln (epifysen) (29). Enligt de senaste rönen tycks ljusets styrning av den biologiska klockan ske framför allt under gryningen då mörker övergår till ljus och under skymningen då ljus övergår i mörker. Därför blir dagens längd och människans exposition för dagsljus men även tillgången till artificiell belysning av stor betydelse för den biologiska klockans funktion (42).

I tallkottkörteln produceras ett speciellt sömnhormon – melatonin – som tycks vara av central betydelse för att förmedla ljusstimuleringen både vad gäller dygnsrytm och årstidsvariation (se nedan). En teori härom framlades redan på 1960-talet och sedan dess har man i talrika studier funnit att melatonin produceras nästan uteslutande på natten under förutsättning

att det är tillräckligt mörkt. Normalt påbörjas produktionen av melatonin i skymningen och når en topp på natten för att åter minska tidigt på morgonen (5; 139). Forskning har visat att melatonin direkt eller indirekt påverkar en rad viktiga hormoner i hypofysen, sköldkörteln och binjurarna. Kortisolproduktionen i binjurebarken, som är av betydelse för att mobilisera människans fysiska och mentala resurser, uppvisar även den en markant dygnsrytm med höga värden under dagen och låga på natten då behovet är mindre. Något tillspetsat kan man säga att dagens aktivitet domineras av kortisol och nattens vila av melatonin (104). Även flera andra hormoner uppvisar en tydlig dygnsrytm. Ny forskning tyder på att melatonin är av stor betydelse även för människans immunförsvar (55).

8.3.1 Störningar i dygnsrytmen

Den biologiska klockan riskerar att drabbas av störningar i samband med skiftarbete, ofta med stark sömnhet och koncentrationssvackor under natten och den tidiga morgonen som följd och med en kraftigt ökad olycksrisk. På längre sikt kan skiftarbete även medföra ökad risk för bland annat mag-tarm- och hjärt-kärlsjukdomar. Den främsta anledningen till problemen är att skiftarbetare i huvudsak bibehåller sin vanliga dygnsrytm och således måste prestera maximalt "när kroppen sover" (143). Studier under senare år visar att höga belysningsstyrkor på natten åtminstone delvis kan motverka sådan trötthet. Det har till och med utvecklats belysningsystem för nattarbete som simulerar dygnets ljusa timmar. Varje sådant artificiellt system måste emellertid ses i ett större sammanhang och kommer inte att fungera bra om inte den skiftarbetande ges möjlighet till ostörd vila och sömn under mörka förhållanden på dagen. Även sociala faktorer, som möjlighet att umgås med familjen, måste härvid vägas in (25; 31; 42; 45; 51).

Även flygresor över flera tidzoner kan leda till allvarliga kronobiologiska störningar. Den etablerade dygnsrytmen kan inte förändras mer än en eller ett par timmar per dygn, och därför erfordras ofta flera dagar eller till och med någon vecka innan individen hunnit anpassa sig till soldygnet på ankomstorten. Den plötsligt uppkomna skillnaden mellan den biologiska klockan och soldygnet kallas vanligen för "jet lag". Försök har gjorts att underlätta anpassningen till nya tidzoner både med hjälp av ljusbehandling och oralt intagande av melatonin. Ett datorprogram har också utvecklats med vars hjälp man kan beräkna när ljusbehandlingen bör sättas in för att bli mest effektiv. Det är ännu för tidigt att uttala sig om utfallet av dessa försök (26; 60; 110).

8.3.2 Årstidsvariationer

Forskning under senare år visar att produktionen av vissa hormoner uppvisar en årstidsvariation hos människor som lever långt norr eller söder om ekvatorn (121). Detta tycks vara fallet för både melatonin och kortisol. Vad gäller melatonin har man funnit att produktionen under sommaren sker tidigare på dygnet än under vintern (5; 139). Beträffande kortisol har svensk forskning visat att utsöndringen på morgonen minskar under hösten och vintern för att

åter skjuta i höjden redan i slutet av februari, sannolikt som ett resultat av att dagens längd då börjar öka. I andra klimatzoner tycks andra typer av årstidsvariation förekomma (82).

De avvikelser från en mera normal dygnsrytm, som hos många sker under den mörka årstiden, kan bland annat ta sig uttryck i trötthet, sömnsvårigheter, nedstämdhet och kroppsliga besvär av skilda slag. De främsta orsakerna både till vintertrötthet och så kallade höst- och vårdepressioner antas vara minskningen av antalet dagsljusstimmar med åtföljande fasförskjutning hos den biologiska klockan. Dessa sjukdomstillstånd kallas med en engelsk fackterm "seasonal affective disorder" (SAD) eller, om det rör sig om mildare besvär, "sub-SAD". På norra halvklotet drabbas många människor av vintertrötthet under perioden november till februari medan hösttrötthet (oktober-november) och vårtrötthet (mars-maj) är betydligt mindre vanliga. Ett kännetecken hos dessa tillstånd är att de hos en person ofta återkommer år från år (107). Förekomsten av SAD och sub-SAD har kunnat dokumenteras i många olika studier, på norra halvklotet i bland annat Alaska, Danmark, England, Finland, Island, Norge, Saudiarabien, Schweiz, Skottland, Sverige och de centrala delarna av USA, och på södra halvklotet under deras vinter i Antarktis, Argentina, Australien och Sydafrika (77).

Man har även funnit andra slags årstidsvariationer, som på olika sätt kan tänkas sammanhänga med brist på dagsljus, nämligen i koncentrations- och samarbetsförmåga, allmänt hälsotillstånd, kroppstillväxt, födelsetal, samt förekomsten av självmord och våld. Vad gäller hälsotillståndet ökar sjukskrivningarna i allmänhet på vintern i nordligt belägna länder, vilket kan tänkas bero på en mängd olika faktorer, förutom brist på dagsljus även kyla, inomhusvistelse med högre exposition för smittämnen och minskad fysisk aktivitet (82; 99; 105; 106; 108; 120).

Med hjälp av ljusbehandling på morgonen eller kvällen har det visat sig möjligt att korrigera en felaktig dygnsrytm till exempel vad gäller sömnmönstret. Ljusbehandling på hösten och vintern tycks kunna motverka trötthet och depression under dessa årstider. Det råder dock delade meningar om vid vilken tid på dygnet denna behandling bör sättas in för att vara mest effektiv. Det finns också belägg för att regelbunden vistelse utomhus i naturligt dagsljus kan vara ett bra alternativ till ljusbehandling mot SAD (10; 31; 43; 83; 85; 118; 138).

8.3.3 Belysning och andra miljöfaktorer

Många av ljusets biologiska och psykologiska effekter tycks sammanhänga med både ljuskällans karaktär och ljusmiljön i stort. Otillräcklig eller i övrigt dålig belysning inomhus påverkar både känsloläget, stressnivån och arbetskapaciteten. Belysningens styrka och fördelning i rummet är viktiga liksom tidpunkten för expositionen och hur länge den pågår. Inomhus är både dagsljuset genom fönster och den artificiella belysningen viktiga, och det är troligt att det blir en samlad effekt av ljuset från samtliga ljuskällor. Även ljusets spektrala sammansättning kan tänkas spela in, men om detta råder ännu stor osäkerhet (22; 76; 79; 128). Det är emellertid inte bara ljuset som påverkar de biologiska rytmerna utan även andra faktorer har visat sig spela in, såsom temperatur och klimat, livsstil och sociala faktorer (59; 93). Det kan inte heller uteslutas att elektriska och magnetiska fält kan ha en viss påverkan, även om detta inte kunnat påvisas.

Vistelse i fönsterlösa eller i övrigt mörka miljöer kan förvärra symptomen vid SAD och sub-SAD och bidra till trötthet, kraftlöshet och affektiva störningar. Inomhus är ljusförhållandena mer statiska och varierar mindre än utomhus, något som kan försvåra synkroniseringen av den biologiska klockan med soldygnet, särskilt under senhösten och vintern då föga ljus når in genom fönstren. Ny forskning har visat att besvären mildras för dem som arbetar nära ett fönster eller i väl upplysta lokaler (76). I underjordiska lokaler är de yttre förhållandena likartade dygnet runt och det finns knappast någon skillnad mellan olika årstider. Alla slags variationer vad gäller belysning och temperatur saknas liksom utsikten genom fönster. Detta leder till att årsrytmen hos de som arbetar under jord blir mindre utpräglad och att skillnaden mellan sommar och vinter minskar både vad gäller känsloläge och hormonproduktion (82).

8.3.4 Individuella skillnader

Man har funnit skillnader i det kronobiologiska systemets funktion såväl mellan olika individer som mellan olika grupper. Det är stor skillnad mellan de som lever nära respektive långt ifrån ekvatorn – årsvariationen liksom risken för att drabbas av SAD ökar med latituden både norr och söder om ekvatorn. SAD är också betydligt vanligare hos kvinnor än hos män. Även vissa personlighetsdrag tycks öka risken för att en person skall drabbas av SAD (68). Hos många blinda människor uppstår svårigheter med att få den biologiska klockan att gå rätt, och även äldre personer med grå starr befinner sig i riskzonen, i synnerhet om de vistas mest inomhus. Behandling med oralt intag av melatonin har i dessa fall visat sig framgångsrik (86).

8.3.5 Sammanfattning

Alla människor har en dygnsrytm på cirka 24 timmar som omfattar sömn och vakenhet, kroppstemperatur och ämnesomsättning och regleras av inre processer – ”den biologiska klockan”. Klockan synkroniseras med soldygnet genom dagsljuset, framför allt på morgonen och kvällen. För personer som vistas inomhus är det viktigt att ha tillgång till dagsljus genom fönster särskilt under vinterhalvåret. Avsaknad av fönster liksom vistelse i mörka lokaler kan få negativa konsekvenser för välbefinnandet och arbetsförmågan. Allt slags synligt ljus, såväl naturligt som artificiellt, tycks kunna påverka den biologiska klockan, men starkt ljus är effektivare än svagt, och vitt ljus eller dagsljus fungerar sannolikt bättre än färgat ljus. En viktig förutsättning inomhus är att det är ljust i hela rummet och inte enbart i det centrala synfältet.

Vid nattarbete tenderar den biologiska klockan att bibehålla sin normala rytm, vilket kan medföra extrem sömnighet och ökar risk för olyckor. Dessa negativa effekter kan åtminstone delvis motverkas av hög belysningsstyrka under natten. Den biologiska klockan hinner inte heller anpassa sig vid snabb förflyttning med flyg över flera tidzoner. Denna ”jet lag” kan eventuellt förkortas med hjälp av ljusstimulering vid lämpliga tidpunkter. I länder långt från ekvatorn kan den biologiska klockan drabbas av allvarliga störningar under vinterhalvårets korta dagar. Denna årstidsrelaterade affektiva störning, som kännetecknas av trötthet, nedstämdhet och sömnproblem, kan lindras genom ljusbehandling, bättre belysning inomhus eller vistelse utomhus i dagsljus.

9. Bildskärmen som arbetsredskap och ljuskälla

Tolkningen av en bild eller text kan ses som en kombination av två processer, dels perception och detektion av de komponenter som ingår och som är viktiga för förståelsen av informationen, dels själva förståelsen av bilden eller texten. Den senare, kognitiva, processen berörs inte här. En mer detaljerad beskrivning av bildskärmen som ett synobjekt och arbetsredskap kommer att redovisas i ett dokument från Expertgruppen för Ergonomisk Dokumentation (14).

9.1 Perceptuella aspekter

I detta avsnitt redogörs kort för några perceptuella aspekter av främst text såsom den presenteras på en bildskärm. Denna beskrivning bygger väsentligen på de definitioner som återfinns i ISO 9241:3 (66) samt (12).

9.1.1 Uppbyggnad av text och bild

Hit hör variabler som teckenstorlek, radavstånd och eventuella avsteg från rätlinjighet, typsnitt m m. Grundförutsättningarna för dessa variabler är bildobjektets egenskaper, för datorn en kombination av hård- och mjukvara, samt, för vissa av dem, även avståndet mellan synobjektet och ögat.

Med några undantag som främst har att göra med den begränsade upplösningen i datorgenererad text är i princip dessa text- och bildelement gemensamma för dator- och på andra sätt genererad text eller bild. Dessa undantag är:

Upplösning: den minsta adresserbara detaljen (bildelement) i avbildade objekt på bildytan.

Aktiv yta: den andel av bildytan som utsänder ljus när alla bildelement är aktiverade.

Teckenformat: antalet horisontella och vertikala bildelement i den matris som bygger upp en enskild versal.

En annan viktig skillnad mellan en datorgenererad text och den som finns i tryckt material som en bok är att avståndet till den senare oftast lätt kan varieras. I situationer med nedsatt korrektionsförmåga kan svårigheter uppkomma att kompensera för liten text. Förekomst av andra suboptimala avvikelser är ofta högre vid datorgenererad text. Detta gäller kanske främst icke-lineariteter och avvikelser från ortogonalitet.

9.1.2 Luminanser i bildskärmens bildyta

Luminanser och därtill hörande parametrar är viktiga vad gäller perceptiva aspekter på bildskärmgenererad text i jämförelse med tryckt text. Vissa av dem diskuteras här, eftersom de är av betydelse för bl a flimmerupplevelsen och inverkan av den omgivande belysningen.

Bildpolaritet; förhållande mellan luminansen hos föremål och bakgrund. I normal text samt flertalet moderna skärmar används oftast s k positiv polaritet, dvs att texten är mörkare än bakgrunden ("ljus" skärm).

Luminans i ljusa ytor; detta är luminansen från en aktiverad ("ljus") yta på skärmen, dvs summan av bidragen från den från skärmen emitterade luminansen och den från omgivningen reflekterade luminansen. I tryckt text motsvaras denna normalt av luminansen på bakgrunden (ej texten), och består där helt av reflekterat ljus.

Luminanskontrast; förhållandet mellan luminanser i ljusare (L_h) och mörkare (L_l) delar av bildytan, definierat som kontrastkvot (L_h/L_l) eller kontrastmodulation $((L_h - L_l)/(L_h + L_l))$. Normalt avses dessa förhållanden ytor som man avser att perceptivt särskilja, t ex bakgrund mot tecken. Vid en för hög andel infallande ljus mot skärmen på grund av olämplig placering av skärm i relation till andra ljuskällor, kan luminanskontrasten bli för låg. Detta är en större problem vid skärmar med negativ polaritet ("mörka skärmar").

Medelluminans; detta är ytmedelvärdet av luminansen från en större yta (åtminstone 1 procent av den aktiva bildytan). I denna kan således både tecken/text/ bild och bakgrund ingå.

Luminansbalans; kvoten mellan medelluminanser hos den betraktade ytan och dess omedelbara omgivning, eller mellan sekventiellt betraktade ytor.

Bländning och reflexer; ett tillstånd där obehag och/eller minskning i möjlighet att detektera viktiga föremål och detaljer uppkommer på grund av en olämplig fördelning eller variation av luminanser, eller på grund av extrema variationer i dessa i tid och rum.

I princip kan dessa variabler definieras för både en bildskärmsgenererad text och andra texter. Även här utgör begränsningar i teknik och svårigheter med placering av en bildskärm faktorer som gör att suboptimala förhållanden oftare uppkommer vid bildskärmen.

9.1.3 Tidsvariation i luminans och struktur

De grundläggande tidsvariationer som främst är relevanta för bildskärmar är ljusmodulation, efterlysningstid samt jitter.

Ljusmodulation; som av bildskärmsanvändaren uppfattas som flimmer avhandlas i kap. 7.1.

Efterlysningstid; är tiden för minskning av den emitterade luminansen från aktiv nivå till tio procent av denna nivå när ett område inte längre aktiveras. En lång efterlysningstid leder till en suddighet vid rörliga bilder eller kvarvarande bild när den inaktiveras.

Jitter; en icke avsedd horisontell och/eller vertikal rörelse av bildelement i ett synobjekt.

Denna rörelse hos det studerade objektet på skärmen kan dels uppstå på grund av låg teknisk kvalitet, men också på grund av att den katodstrålebaserade bildskärmen i sig är känslig för yttre magnetfält.

Dessa variabler förekommer främst vid datorgenererad text, och oftast framförallt vid bildskärmar baserade på s k katodstrålerörsteknik. I en äldre undersökning (11) från 1988 obser-

verades att 11 procent av de som arbetade vid bildskärm observerade flimmer när de primärt betraktade objekt vid sidan av skärmen, medan 5 procent även noterade flimmer när de direkt betraktade skärmen. Detta hänger samman med att detektion av flimmer i högre grad sker i det perifera synfältet. Ljusmodulation är även ett problem vid andra former av ljuskällor, inte bara vid bildskärmar. Detta diskuteras i mer detalj i andra avsnitt.

9.1.4 Avslutning

Ett ögas förmåga att uppfatta en text eller bild på en bildyta, t ex på en datorgenererad sådan, kan således beskrivas av ett stort antal variabler. Perceptionsforskningen har i många fall visat på betydelsen av dessa för att korrekt uppfatta tecken/symboler och läsa text. Bland de mer centrala är teckenstorlek, avstånd mellan tecken, ord och rader, typsnitt samt kontrast. Andra faktorer kan – i vissa fall – starkt störa denna perception eller på andra sätt påverka operatören, hit hör t ex reflexer, kantskärpa och flimmer.

Majoriteten av dessa variabler kan sannolikt beaktas på samma sätt oavsett om de uppkommer vid en datorgenererad bild eller i tryckt text. Vad som för flera av dem kan skilja sig är att suboptimala förhållanden oftare kan uppstå vid datorgenererad bild än vid tryckt text, t ex på grund av tekniska begränsningar i datorkonstruktionen. Några problemvariabler är dock mer eller mindre unika för bildskärmsgenererad text till skillnad från tryckt text, hit hör främst flimmer och andra tidsvariabla faktorer.

9.2 Bildskärmsarbetets art

Bildskärmsarbete är inte någon enhetlig beskrivning av en viss arbetssituation, bildskärm används numera i en stor andel av alla arbetstyper i dagens arbetsliv. Man har sedan tidigare särskilt ett antal huvudtyper av bildskärmsarbetsuppgifter (133), dessa innefattar:

Inmatningsarbete: där arbetet primärt består av överföring av information till datorn via någon form av styr- eller inmatningsdon. Två typexempel är inmatning av siffermaterial från listor eller formulär, respektive inmatning av text från en förlaga. Ögat riktas i första hand mot den förekommande informationskällan (manuskript, listor), den totala blicktiden mot skärmen är begränsad och intermittent, men blickväxling mellan skärm och manus kan var hög, speciellt för inmatning av kodat material.

Uttag av data från skärm: där det typiska arbetet består i att söka och läsa information på skärmen. Ett typexempel är besvarande av telefonförfrågning angående telefonnummer eller tidtabellsuppgifter. Den totala blicktiden mot skärm är normalt hög, medan blickväxlingsfrekvensen ofta kan bli lägre än för inmatningsarbete.

Interaktivt arbete: med dator utgör i princip en kombination av dessa två arbetstyper ovan i ett kort tidsperspektiv, dvs att den typiska arbetscykeln innehåller element av bägge. Författande eller redigering av text är typiska exempel. Både den totala blicktiden och blickväxlingsfrekvensen varierar med arbetets art.

I formell logisk mening täcker dessa tre alternativ all användning av bildskärm i arbete och fritid. Av flera skäl finns det dock anledning att särskilja ett antal speciella typer av användningar: Konstruktions och ritarbete vid dator, dvs Computer Assisted Design (CAD) eller Manufacturing (CAM), programmeringsarbete, övervakningsarbete, interaktiva sysselsättningar med kort tidscykel, t ex i form av animerade spel samt användande av handhållna datorer för kort kontroll/datauttag m m. Förutom vid intermittent användning av handhållna datorer är blicktiden ofta hög, och blickväxlingsfrekvensen låg.

En genomgång av de bildkvalitetsvariabler som redovisas ovan ger vid handen att många av dessa är av betydelse främst vid betraktelse av skärm, och således kan suboptimala förhållanden här främst spela roll för arbetstyper som är beroende av detektion och har längre tider med blicken riktad mot skärm. I tabell 1 redovisas denna analys för tre typer av faktorer som speciellt tas upp i denna rapport – inverkan av den omgivande belysningen, förekomst av ljusmodulation (flimmar) och spektralfördelningen.

Tabell 1. Betydelsen av olika arbetstyper för vissa ljus- och belysningsförhållanden vid bildskärmarbetsplatser

	Belysnings och ljusförhållande			
	Omgivande belysning		Ljusmodulation	Spektralfördelning
Perceptiv variabel	Luminans-balans	Kontrast	Flimmar	Färgupplevelse
Relevant skärmtyp	Alla skärmtyper		CRT-baserad skärm	Alla skärmtyper
Relevant polaritet	Negativ	Negativ ^{a/}	Positiv	Bägge ^{c/}
Relevant blickvariabel	Blickväxlingsfrekvens	Total blicktid	Blicktid perifert från skärm ^{b/}	Total blicktid
Primärt relevanta arbetstyper	Inmatning	Datauttag CAD/CAM Övervakning Spel	Inmatning ^{b/}	Datauttag CAD/CAM Övervakning Spel

^{a/} Mörka skärmar är mer känsliga för påverkan av reflekterat ljus på kontrasten.

^{b/} Bygger på antagandet att många bildskärmar har bildväxlingsfrekvens som är marginellt anpassat för att vara flimmarfri, och att detektion av flimmar därför främst uppträder i det perifera seendet.

^{c/} Beroende på typ av effekt.

Denna teoretiska analys ger således vid handen att ljussättningen i rummet (genom påverkan på luminansbalansen) och flimrande skärmar är viktiga faktorer främst för inmatningsarbete vid skärm. Infallande ljus mot skärmen och spektralfördelningen borde vara av primärt intresse för arbetstyper som datauttag, CAD/CAM, spel och övervakning. För andra typer av

arbetsuppgifter vid bildskärm som interaktivt arbete, programmering och användning av handhållna datorer varierar blickarbetet, och någon liknande generalisering kan ej göras.

Det bör påpekas att dessa beskrivningar inriktas på arbetsuppgifter, en individs totala arbetssituation kan innefatta en kombination av flera sådana. Användning av bildskärm utgör också ofta endast en del av den totala arbetssituationen.

9.3 Bildskärmsarbete – inverkan på ögon och synfunktioner

I diskussionen och forskningen om eventuell påverkan av bildskärmsarbete på ögonen finns det skäl att skilja på tre olika typer av möjlig inverkan: 1/ uppkomst av ögonbesvär eller ögontrötthet, 2/ uppkomst av ögonskador eller -sjukdomar samt 3/ påverkan på vanliga förändringsprocesser som ögats ”naturliga” åldrande och närsynthet.

I slutet av 1970-talet initierades frågan om bildskärmsarbete leder till ögonskador, främst då grå starr eller grumlingar i ögats lins. Några epidemiologiska studier genomfördes i bland annat Italien, Sverige, Canada och USA – utan att man kunde finna några egentliga belägg för en ökad risk för uppkomst av linsgrumlingar. Den mest omfattande av dessa studier genomfördes för ett antal år sedan på Italienska televerket (23). I en del av dessa undersökningar studerades även en del andra ögonsjukdomar – även här utan belägg för att dessa var vanligare hos bildskärmsarbetande individer.

En annan typ av påverkan har även diskuterats, nämligen om bildskärmsarbete påverkar ”vanliga” förändringsprocesser av typ uppkomst av närsynthet (myopi) respektive ålderssynthet (hyperopi). Även här har några studier genomförts, bland annat i Sverige, och även här utan att man kunnat finna några belägg för en sådan påverkan. Samma sak tycks enligt en nyligen genomförd svensk studie även gälla den närliggande frågan om närsynthet vid närarbete – några säkra belägg för en sådan koppling har man inte kunnat se (95). Det bör dock påpekas att arbete vid bildskärm knappast kan klassas som extremt närarbete.

I kontrast till denna avsaknad av belägg för samband mellan skador eller permanent förändring av ögat och dess synfunktioner, så har ett antal studier från olika länder funnit klara belägg för samband mellan omfattning av bildskärmsarbete och vissa ögonbesvär som sveda, gruskänsla i ögat, rödögdhet, klåda och upplevelse av ljuskänslighet respektive torrhet (15). Andelen individer som rapporterar ögonbesvär är stort – beroende på hur frågan ställs (t ex om även enstaka lätta övergående besvär tas med eller ej) kan förekomsten variera mellan 15 och 70 procent av de tillfrågade. Det föreligger också klara skillnader i besvärsförekomst mellan män och kvinnor, kvinnor har genomgående rapporterat mer ögonbesvär än män.

Orsakerna kan – i princip – sökas i flera aspekter av bildskärmsarbete; bildkvaliteten på skärmen, synobjektens placering, den omgivande miljön – främst belysningen, arbetets krav på synfunktion/synarbete, stress, samt individuella förutsättningar, framförallt glasögon. Betydelsen av betraktelsevinkel, betraktelseavstånd och synkorrigering är sedan länge kända synergonomiska faktorer av betydelse för bildskärmsarbete (för en nyligen publicerad översikt se Aarås och medarbetare (2)).

Det finns även orsaker till ögonbesvär som inte kan kopplas till arbetet – ett exempel är de besvär som många upplever i samband med en allmän infektion, ett annat är att krav på synintensiv verksamhet även förekommer i privatlivet. Men vad som framgår av dessa studier är att förekomsten blir högre vid bildskärmsarbete än vid andra jämförbara verksamheter – ett tecken på att denna arbetssituation innehåller faktorer som bidrar till ögonbesvär. Identifikation av sådana faktorer är en nödvändig förutsättning för prevention och intervention. För en vidare genomgång av detta hänvisas till en kommande rapport från Expertgruppen för Ergonomisk Dokumentation (14). Framställningen här koncentreras till de faktorer som specifikt efterfrågats i detta uppdrag – inverkan av belysning och därmed sammanhängande frågor om inverkan av flimmer och ljusets spektralfördelning.

9.3.1 Bildskärmsarbete – omgivande belysning

När det gäller interaktion mellan bildskärmsarbete och omgivande belysningsparametrar är förekomst av bländning den faktor som i en rad studier har visat på samband med synergonomiska problem och bör minskas eller helst undvikas. Vid en bildskärm är det relevant att främst diskutera följande bländningsproblem:

- Infallande ljus från en stark ljuskälla (belysningsarmatur, fönster) kan direkt nå ögat och ändra ögats adaptation från det läge som är optimalt för synuppgiften (obehagsbländning).
- Infallande ljus kan reflekteras i skärmen och minska den kontrast som är nödvändig för att urskilja relevanta detaljer på bildytan (besvärsbländning).
- En förhöjd ljusintensitet kan nå t ex ett manuskript, och ge en kraftig luminansskillnad mellan manuskript och bildskärm om denna är mörk.

De två senaste problemen uppträder främst vid s k mörka skärmar (negativ polaritet), medan det första problemet mer har att göra med att man i många situationer måste lyfta blicken till bildskärmen och därigenom ökar risken att andra starka ljuskällor kommer in i synfältet.

En belysningsteknisk metod för att minska flera av dessa problem är att införa s k indirekt belysning, dvs en ljusarmatur som emitterar ljuset uppåt mot taket, och ger en mer spridd ljusspridning i rummet. Indirekt belysning minskade ögontrötthet och fokuseringsproblem och är enligt vissa undersökningar att föredra (58). Yearout och Konz (141) visade i en studie att försökspersoner föredrog en kombination av direkt och indirekt belysning, men att luminansen på arbetsdokumentet är av betydelse och inte får överstiga ca 1 000 cd/m² om situationen synergonomiskt ska upplevas som tillfredställande. Resultaten är dock svåra att tolka eftersom man vid testsituationen endast studerades manuskriptluminanser mellan 190 och 2 360 cd/m². Studien kan därför endast uttala sig om luminanspreferenser inom detta område (med resultatet att individerna föredrog luminanser inom den lägre delen av det undersökta intervallet) – ingen utvärdering jämfört med lägre luminanser gjordes. Dessutom användes i studien skärmar med negativ polaritet, varför jämförelsen med dagens situation med skärmar med positiv polaritet är oklar.

Ottosson och Wibom (97) undersökte 183 personer/arbetsplatser med kontors och bildskärmsarbete för att utvärdera olika belysningssystem och dess kvalitet med avseende på

ögonbesvär och ljusupplevelse. Detta gjordes genom mätningar och enkäter före och efter ombyggnad med olika belysningsssystem. För system med kombinationen upp och nedljust orienterat till arbetsplatsen halverades ögonbesvärerna (ögonbesvärindex minskade från 3,49 till 1,65, $p=0,01$) och med ljusupplevelseindex 1,56 (skala 1-5 där 1= mycket bra till 5 = mycket dålig).

Belysningsssystem med helblanka reflektorbländskydd visade på en dubbling av ögonbesvärerna (ögonbesvärindex ökade från 2,12 till 5,04, $p=0,04$) och med ljusupplevelseindex 2,56. Belysningsssystem med enbart uppåtriktat ljus gav ljusupplevelseindex 2,75 vilket var det sämsta index i undersökningen och med oförändrade ögonbesvär. Studien visade vidare på att luminanser i synfältet $>500 \text{ cd/m}^2$ ökade risken för ögonbesvär.

Förutom dessa bländningseffekter är det väsentligt att undersöka om andra utformningar av belysningsplaneringar och placeringar kan påverka bildskärmsarbets utförande, upplevelsen av arbetet, effektiviteten, synupplevelsen osv. Är exempelvis indirekt ljus att föredra framför direkt ljus eller är en kombination att föredra? I två större laboratoriestudier har nyligen dessa frågor närmare utretts.

Veitch (129) lät tre lokala belysningsexperten arrangera belysning på nio i övrigt identiska fönsterlösa bildskärmsarbetsplatser. Frågeställningen var dels eventuella samband mellan "ljuskvalitet" (designers' light quality, DLQ som den uppfattas av belysningsexperterna) å ena sidan och symtom, arbetsprestation, synupplevelse och sinnesstämning å andra sidan, och dels effekten av olika energiuttag (lighting power density, LPD) på dessa förhållanden. Vid låga energiuttag användes genomgående lysrör med elektronisk last medan konventionella don användes vid höga energiuttag. Vid hög ljuskvalitet användes en kombination av direkt och indirekt belysning, medan vid låg ljuskvalitet användes endast direkt belysning med raster av prismatyp. Totalt ca 300 personer deltog i studien där grupper om 33 personer testades i en av de nio arbetsstationerna under en dag.

Studien gav tyvärr inga enkla samband och entydiga svar angående belysningskvalitets betydelse för någon av de uppmätta parametrarna. Ingen klar korrelation förelåg t ex mellan indirekt belysning och utfallet på de olika testvariablerna. Ingen skillnad förelåg heller mellan de nio grupperna efter genomgången åtta timmars pass vad gäller synskärpa utom för en parameter, konventionella kontra elektroniska don. Grupperna som vistats i arbetsrummen med elektroniska don gav ett signifikant bättre testresultat. Det fanns inte heller något samband mellan LPD och testresultat. Låg LPD medförde inte ett sämre utförande av de olika testen, en sämre upplevelse av belysningssituationen eller en sämre sinnesstämning. Studien visade med andra ord att belysning som är energibesparande är kompatibel med en bra ljuskvalité. Den säkraste slutsatsen författarna drar av studien är att elektroniska don genomgående gav ett bättre resultat på de flesta av de testade variablerna. En möjlig förklaring skulle enligt författarna vara det lågfrekventa flimmer som uppstår med konventionella don och som Wilkins (134) har visat ger en störning i ögats sackad rörelse. Trots att inga klara samband mellan belysningen placering (direkt/indirekt) och utfall på testen förelåg förordar författarna en kombination av direkt/indirekt belysning.

I en nyligen genomförd studie i USA har belysningens betydelse för utförande av vanligt förekommande kontorsarbete inkluderade bildskärmsarbete undersökts (46). Studien genom-

fördes i tre identiska fönsterlösa rum med olika belysningar, men där luminansen på skrivbord, dokumenthållare och bildskärm var i stort lika. Luminansförhållandet till omgivningen varierade dock beroende på bl a indirekt belysning i ett av rummen. Totalt 15 personer genomförde var sin arbetsdag i samtliga rum samt en inledande testdag. Förutom testpersonerna som bestod av utifrån kommande kontorsarbetare skattades belysningskvaliteten av belysningsexperter och ytterligare en grupp utan kunskap i belysningsfrågor. Det visade sig att alla tre grupperna genomgående skattade rummet med indirektbelysning som bättre i alla avseende. Skillnaden i skattning var betydligt mer påtaglig för experterna jämfört med de övriga grupperna. Med andra ord verkade belysningsexperter vara mer känsliga för skillnader i belysning jämfört med noviser på området.

Arbetsuppgifterna under testet bestod i huvudsak av inmatningsuppgifter med avbrott varje timme för ett batteri av kognitiva tester. I slutet av dagen besvarades formulär om sinnesstämning, symtom och upplevelsen av arbete och lokalen. Olika ljusförhållanden inverkar inte vare sig på utförande av inmatningsuppgiften eller de kognitiva uppgifterna och inte heller påverkades sinnesstämningen eller vakenheten.

Noteras kan också att i studien av Veitch (129) rapporterade 64 procent att de upplevde problem med bländning oavsett ljusplanering medan i den senare studien (46) var planeringen sådan att bländning inte förekom.

I en interventionsstudie bland kontorsarbetare av Aarås och medarbetare (1) minskade ögonbesvären signifikant genom att belysningsstyrkan i lokalen ökade från 300 till 600 lux. Luminansen på väggar och tak ökade också från ca 30 till 80 cd/m². Vid två arbetsplatser utfördes belysningsåtgärder, medan en tredje arbetsplats fungerade som kontroll. Vid uppföljning efter 3,5 och 6 år förelåg fortfarande en skillnad i skattning av ögonbesvär.

9.3.2 Bildskärmsarbete – flimmer och jätter

Berman och medarbetare (20) visade i en omfattande studie (tidigare refererad i kap. 8.1.5) att personer som exponerades för bildskärmsflimmer uppvisade en retinal respons (mätt med elektroretinografi, ERG) som var synkront med den aktuella bildfrekvensen. Signalen kunde följas upp till 76 Hz bildfrekvens under normala luminansförhållanden på bildskärmen. Författarna spekulerar i huruvida detta kan kopplas till huvudvärk och ögonbesvär bland bildskärmsarbetare på samma sätt som Wilkins i sin studie fann att dessa symtom var associerat med flimmer från lysrörsbelysning (136).

Lyskov och medarbetare (87) använde samma teknik som tidigare använts vid stroboskopstimulering (30; 32; 113) för att studera huruvida flimmer från bildskärmen, med samma teknik, kunde detekteras med hjälp av SVEP. Exponeringen skedde med två olika luminanser på skärmen, 65 cd/m² respektive 6 cd/m², samt med två olika inställningar av bildfrekvensen, 60 respektive 72 Hz. Tretton försökspersoner deltog i studien. En signifikant ökning av SVEP-amplituden kunde registreras vid exponering för bildskärm med 60 Hz bildfrekvens jämfört med 72 Hz. Detsamma gällde ökning av luminansen samt en interaktion mellan bildfrekvens och luminans, dvs hög luminans och låg bildfrekvens gav den högsta amplituden på SVEP. Med hög medelluminans (ljus bakgrund med mörk text) och med en bildfrekvens på

72 Hz (en vanlig förekommande situation vid bildskärmsarbete) kunde en klar SVEP amplitud registreras hos fem av de tretton försökspersonerna. Studien visar att en påverkan av flimmer över CFF nödvändigtvis inte bara kan hänföras till det perifera visuella systemet utan också innefattar hjärnans syncentra.

Jitter på bildskärmen kan, som redan påpekats ovan, påverkas av ett extern magnetfält. Beroende på frekvensen hos detta magnetfält och vilken bildrepetitionsfrekvens skärmen har kan bilden antingen uppfattas som suddig (rörelsen har hög frekvens) eller som en uppfattbar rörelse i bilden (111; 112). Detta kan medföra svårigheter att utföra arbetsuppgifterna vid bildskärmen (70) och som i sin tur kan leda till synbesvär (38).

10. Rekommendationer och riktlinjer

10.1 International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP)

Den internationella strålskyddskommissionen för icke-joniserande strålning (The International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, ICNIRP) är en oberoende organisation som utnyttjas av bland annat WHO och EU för att utvärdera den vetenskapliga kunskapen om hälsoeffekter av icke-joniserande strålning (UV, synligt ljus, IR, laser, elektromagnetiska fält/EMF och ultraljud), samt – baserat på denna kunskap – ge förslag till riktlinjer för begränsning av exponering. ICNIRP är formellt en stiftelse (placerad i Tyskland) bestående av 14 medlemmar som väljs utifrån sina vetenskapliga kvalifikationer.

ICNIRP gav år 1997 ut s k hälsobaserade rekommendationer för begränsning av bredband icke-koherent optisk strålning i våglängdsområdet 380–3000 nm (62), dvs synligt ljus och de mer kortvågiga delarna av infraröd strålning (IRA och IRB). ICNIRP har även gett ut liknande rekommendationer för ultraviolett strålning (dvs optisk strålning med våglängder mellan 100 och 400 nm) samt för koherent strålning (laser).

I det synliga området (400-780 nm) avses dessa rekommendationer ge ett skydd mot:

- termisk skada på näthinnan,
- s k blåljusskada på näthinnan (fotoretinit),
- brännskador på hud, samt
- skador på hud i samband med fotosensitiserande reaktioner.

För hudpåverkan krävs antingen mycket höga nivåer eller samtidig inverkan av vissa kemikalier (t ex i föda eller i mediciner). Diskussionen nedan inriktas därför främst på ögonskador (retina) av termisk eller blåljuskaraktär.

För termisk påverkan tycks det föreligga en tröskleffekt, så att den lokala temperaturen när skada sker bör överstiga åtminstone 45 °C (eller högre vid kortare exponeringstider eller belysning av mindre områden). Detta förklaras av att vid lägre temperaturer förmår omgivande vävnad leda bort värmebelastningen innan skada uppstår. För termisk påverkan på näthinnan är ljus (och infraröd strålning) av våglängder mellan 380 och 1400 nm av intresse. Termisk påverkan på retina är relativt sällsynt, och kräver speciella förhållanden som ljusblixt från en xenonlampa, kärnvapenexplosion eller laser.

För blåljusskada föreligger s k reciprocitet, dvs dosen kan beskrivas som en produkt av dosraten (intensiteten) och exponeringstiden, vilket leder till att även måttliga exponeringar kan bidra till uppkomst av en skada. Ljus av våglängder mellan 380 och 550 nm är relevanta för denna typ av inverkan. Skador uppkomna då ett oskyddat öga betraktar solen är av blåljuskaraktär.

För utvärdering av blåljusskada gäller följande formler (62):

$$L_B \cdot t = \sum L_\lambda \cdot B(\lambda) \cdot t \cdot \Delta\lambda \leq 1,0 \text{ MJm}^{-2}\text{sr}^{-1}$$

för exponeringstider under 10 000 sek ($\approx 2,8$ timmar) (1), och

$$L_B = \sum L_\lambda \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda \leq 100 \text{ Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}$$

för längre exponeringstider (2).

L_B är den effektiva radiansen hos ljuskällan viktad för blåljusskada, t är exponeringstiden, L_λ är den spektrala radiansen, $B(\lambda)$ är en viktningfunktion för blåljusskada enligt ICNIRP (62), och $\Delta\lambda$ är den spektrala upplösningen. Blåljusfunktionen $B(\lambda)$ har sitt maximum vid 440 nm, och ger enbart små bidrag (1 procent eller lägre) för våglängdsområden under 385 och över 545 nm.

Den maximala exponeringstiden t_{\max} kan således beräknas ur

$$t_{\max} = 1,0 \text{ MJm}^{-2}\text{sr}^{-1} / L_B \quad (3)$$

För små ljuskällor (som upptar en betraktningvinkel mindre än ca $0,6^\circ$), är kraven lägre. Det finns även speciella viktfunctioner som gäller för individer utan ögonlins (s k afakier) och som även kan användas vid riskbedömning för små barn (under två år), med en ögonlins som släpper igenom något mer UV än linsen hos vuxna. Denna viktning tar ökad hänsyn till ljus under 440 nm, och även till långvågig UV (över 300 nm).

En praktisk tumregel är att ljuskällor som avger s k vitt ljus, och som ger upphov till en exponering under $10\,000 \text{ cd/m}^2$ så föreligger inte något behov att genomföra någon noggrannare spektral utvärdering enligt formlerna (1) – (3) ovan. Samma enkla tumregel kan också appliceras på ofiltrerat ljus från glödljuskällor, lysrör och båg ljuskällor.

För vidare detaljer, se ICNIRP (62) eller www.icnirp.de.

10.2 International Commission on Illumination

Den internationella kommissionen för belysning (CIE, International Commission on Illumination) är en internationell professionell sammanslutning av belysnings- och ljuse experter. Man ger ut standards, tekniska rapporter och forskningsöversikter i relevanta områden. CIE är en teknisk, vetenskaplig och kulturell stiftelse med sitt huvudkontor i Wien. CIE har accepterats av ISO (International Standards Organization) som expertorgan inom detta område.

För närvarande pågår arbetet med en standard för lampor och belysningssystem (CIE DS 009.1 - 2000), som bygger på de allmänna rekommendationer som tagits fram av ICNIRP (se ovan). Se vidare www.cie.co.at/cie.

10.3 American Conference on Governmental and Industrial Hygienists (ACGIH)

The American Conference of Governmental Industrial Hygienists är en sammanslutning av experter verksamma inom yrkeshygien främst inom USA. Målsättningen är att främja arbetsmiljön vad gäller risker och hälsa genom utbildning och informationsspridning. Organisationen ger bl a ut listor över sk TLV-värden (Threshold Limit Values) som kan utnyttjas som förslag och underlag för gränsvärden av andra, bl a myndigheter, företag och andra organisationer. Se vidare www.acgih.org.

Dess kommitté för fysikaliska faktorer ger årligen ut en uppdaterad lista över TLV-värden för olika fysikaliska faktorer, bl a för ljus och infraröd strålning. Dessa överensstämmer med de rekommendationer som angivits av ICNIRP (se ovan).

10.4 International Organization for Standardization

Den internationella standardiseringsorganisationen (ISO) är en världsomspännande sammanslutning av nationella standardiseringsorgan från 130 länder. Det är en icke-regeringsbunden organisation som bildades 1947, och har sitt säte i Geneve i Schweiz (www.iso.ch).

Målsättningen är att utveckla standardisering och relaterade aktiviteter i ett internationellt perspektiv för att underlätta internationellt utbyte av varor och tjänster, och för att utveckla samarbete inom olika aktiviteter; intellektuellt, vetenskapligt, tekniskt och ekonomiskt. ISOs arbete resulterar i internationella överenskommelser som publiceras som internationella standarder. Inom Europa arbetar CEN (European Committee for Standardisation) som kan ta över ISO-standarder och göra dessa till bindande standarder för EUs medlemsländer.

Inom ISO utarbetar man f n en grupp standarder (ISO 9241) som tar upp olika ergonomiska synpunkter på bildskärmsarbete med huvudtiteln "Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs)". Hitintills (2001) har 17 olika delar publicerats. Arbetet pågår med ytterligare delar, bland annat avseende bildskärmar baserade på annan teknik än CRT.

Av dessa är främst 9241:3 (Visual display requirements) (66) och 9241:7 (Requirements for display with reflections) (67) av betydelse här. I dessa delar ställs vissa krav beträffande olika bildskärmsvariabler som instabiliteter (flimmer och jitter), luminanser och reflexkänslighet m m. En närmare genomgång av dessa krav presenteras i dokumentet från Expertgruppen för Ergonomisk Dokumentation (14).

11. Slutsatser

- Det finns skäl påstå att det icke visuella flimret från lysrör påverkar, inte alla människor, men speciella grupper, de mer sensitiva. Någon fullständig förklaringsmodell till varför vissa (även fullt friska) uppvisar en starkare respons på flimmer finns inte, men uppenbart är att den väckning av centrala nervsystemet "arousal" som sker kan ge de negativa effekterna. Icke visuellt flimmer kan uppträda som en ospecific stressor och därmed leda till symptom. Det finns idag mycket som talar för en negativ påverkas av icke visuellt flimmer och därför finns all anledning att som en försiktighetsprincip installera belysning av högfrekvenstyp
- Tillgång till dagsljus som sådan har i ett stort antal studier visat sig ha betydelse för hälsa, välbefinnande och prestation och bör ingå i en belysningsplanering för att utnyttjas på bästa sätt.
- Studier av belysning med spektralfördelning motsvarande dagsljus har inte på ett övertygande sätt kunna verifiera att olika synfunktioner, prestation, hälsa eller välbefinnande skulle påverkas positivt av denna belysning i jämförelse med annan typ av belysning. Notera dock att färgupplevelsen och därmed sammankopplade arbetssituationer är inte medtagna i denna analys av spektralfördelningens betydelse.
- Individer som arbetar mycket vid bildskärm rapporterar genomgående ökad förekomst av olika symptom på ögonbesvär. Förklaringar till detta kan sökas i ett antal olika förhållanden vid bildskärmsarbete, bildkvalitet på skärmen, placering av skärm och olika ljuskällor, arbetets art samt individens behov av synkorrigering. Uppkomst av detekterbart flimmer på bildskärmen antas vara en viktig sådan faktor som sannolikt är mer påtagbar vid inmatningsarbete, där blicken ofta är riktad strax bredvid skärmen.
- Bildskärmar med positiv polaritet har ett flertal synergonomiska fördelar, men en nackdel är den ökande flimmertendens som uppkommer hos katodstrålebaserade skärmar. För att motverka detta bör bildväxlingsfrekvensen vara hög. I vissa fall kan programvaran styra ner bildväxlingsfrekvensen och detta bör då åtgärdas i inställningen.

12. Sammanfattning

Sandström M, Bergqvist U, Küller R, Laike T, Ottosson A och Wibom R. *Belysning och hälsa – en kunskapsöversikt med fokus på ljusets modulation, spektralfördelning och dess kronobiologiska betydelse*. Arbete och Hälsa 2002:4.

Föreliggande dokument ger en sammanställning av tillgängliga forskningsresultat avseende hälso- och störningseffekter av olika ljusalstrande källor. Arbetet fokuseras på tre aspekter; *ljusets spektralfördelning*, *ljusets modulationsgrad* och därmed flimmar, samt *ljusets kronobiologiska betydelse*. Hur det synliga ljuset uppträder och vilka effekter denna strålning har är beroende på hur ljuset genereras. En genomgång av de tekniska förutsättningarna, dvs beskrivning av olika ljuskällor och belysningsarmaturer är därför en viktig del i det föreliggande arbetet. På samma sätt avhandlas de termer och begrepp som är av betydelse för den visuella sinnesupplevelsen samt de perceptuella aspekterna på denna.

Det synliga ljuset är ur fysikalisk mening en del av den optiska strålningen, som även innefattar ultraviolett (UV) och infraröd (IR) strålning. I denna skrift avhandlas endast synligt ljus, vilket definieras som elektromagnetisk strålning i våglängdsområdet mellan 400 och 780 nm definierat av CIEs (International Commission on Illumination).

Spektralfördelning

Olika ljuskällor kan avge ljus vid olika våglängder inom det synliga spektrumet, och även annan optisk strålning (UV-, IR-strålning). Vissa ljuskällor av typ urladdningslampor alstrar primärt ljus i vissa diskreta våglängder som delvis (för t ex lysrör) kan ligga inom UV-området. Genom sekundära processer i lysröret omvandlas denna strålning till ett mer kontinuerligt ljus i den synliga delen av spektrat. Beroende på vilket lyspulver som används kan olika spektralfördelningar erhållas.

Spektralfördelningen från en bildskärm av katodstrålerörstyp bestäms av den eller de fosforer som används. Vid moderna skärmar av flerfärgstyp kan spektralfördelningen varieras för att kunna återge olika färgnyanser.

Spektralfördelningskurvan visar grafiskt hur en ljuskälla fördelar sin strålning över det synliga frekvensområdet.

I ett stort antal fältstudier och laboriestudier har betydelsen av ljusets spektralfördelning för såväl perceptuella som kognitiva processer studerats. Framförallt har frågeställningen varit huruvida en belysning med en spektralfördelning motsvarande dagsljus (fullfärgslysrör) är att föredra framför ljus med annan spektralfördelning. Litteraturgenomgång av den omfattande forskningen med denna frågeställning har inte kunnat ge något entydigt svar vare sig när det gäller synfunktion, prestation, hälsa eller välbefinnande.

Ljusmodulation

Vår upplevelse av ljusmodulation (en periodisk variation i ljusstyrka med tiden) kallas flimmer och är således i princip visuellt, dvs vi kan detektera det med vårt synsinne. När frekvensen är tillräckligt hög tolkas det av oss som ett kontinuum. Vi har här valt att kalla detta för icke visuellt flimmer.

Modulationsgraden hos olika belysningar varierar kraftigt beroende på hur ljusets genereras, och kan i vissa fall vara 100 procent. Så kallad högfrekvensbelysning, exempelvis lysrör som drivs med högfrekvensdon leder till att ljusmodulationen får en grundfrekvens på ca 30-50 kHz och kan därmed betraktas som flimmerfri.

Om en bildskärm av katodstråletyp har tillräckligt hög bildfrekvens uppfattas den som flimmerfri trots att bilden i sig har en 100 procentig modulationsgrad. Flytande kristallskärmar kan i princip betraktas som flimmerfria.

En genomgång av studier avseende icke visuellt flimmer från lysrör visar att vissa känsliga grupper påverkas negativt av flimret. Någon förklaringsmodell till varför vissa (även fullt friska) uppvisar en starkare respons på flimmer finns inte, men uppenbart är att den väckning av centrala nervsystemet "arousal" som sker kan ge de negativa effekterna. Uppkomst av detekterbart flimmer på bildskärmen antas vara en viktig faktor för uppkomst av bildskärmsrelaterade symptom och är sannolikt mer påtagbart vid inmatningsarbete, där blicken ofta är riktad strax bredvid skärmen. För att motverka detta bör bildväxlingsfrekvensen vara hög.

Ljusets kronobiologiska betydelse

Människan har en dygnsrytm på cirka 24 timmar som bland annat innefattar sömn och vakenhet, kroppstemperatur, ämnesomsättning och hormonproduktion samt fluktuationer i uppmärksamhet och beteende. Styrningen av dessa funktioner beror på inre processer, framför allt i nervsystemet och det endokrina systemet, vilka vanligen benämns "den biologiska klockan". Trots att man inom forskarsamfundet under lång tid känt till ljusets icke-visuella effekter på människan, är det först under senare tid som dessa börjat uppmärksammas inom belysningsplaneringen.

"Den biologiska klockan" synkroniseras med soldygnet genom dagsljuset, framför allt på morgonen och kvällen. En genomgång av litteratur på området visar att för personer som vistas inomhus är det viktigt att ha tillgång till dagsljus genom fönster särskilt under vinterhalvåret. Avsaknad av fönster liksom vistelse i mörka lokaler kan få negativa konsekvenser för välbefinnandet och arbetsförmågan. Allt slags synligt ljus, såväl naturligt som artificiellt, tycks kunna påverka den biologiska klockan.

Slutsats

Genomgången av den vetenskapliga litteraturen på området kan sammanfattas i följande punkter:

- Det finns idag mycket som talar för en negativ påverkan av icke visuellt flimmer och därför finns all anledning att som en försiktighetsprincip installera belysning av högfrekvenstyp.

- Tillgång till dagsljus har i ett stort antal studier visat sig ha betydelse för hälsa, välbefinnande, och prestation och bör ingå i en belysningsplanering för att utnyttjas på bästa sätt.
- Studier av belysning med spektralfördelning motsvarande dagsljus har inte på ett övertygande sätt kunnat verifiera att olika synfunktioner, prestation, hälsa eller välbefinnande skulle påverkas positivt av denna belysning i jämförelse med annan typ av belysning.
- Uppkomst av detekterbart flimmer på bildskärmen antas vara en av många faktorer som kan ge ögonbesvär. För att motverka detta bör bildskärmens bildväxlingsfrekvensen vara hög.

Nyckelord: flimmer, bildskärm, ljuskälla, dygnsrytm, ögonbesvär, den biologiska klockan, dagsljus, perception.

13. Summary

Sandström M, Bergqvist U, Küller R, Laike T, Ottosson A and Wibom R. *Lighting and health – a review of the state of knowledge of light with focus on spectral power distribution, degree of modulation and chronobiological impact*. *Arbete och Hälsa* 2002:4.

This document reviews the state of knowledge concerning health- and disturbance effects of different light sources. The paper focus on three aspects of light: spectral power distribution, degree of modulation, and thereby flicker, and chronobiological impact. How visible light appears and the effect of the radiation is dependent on how the light is generated. Therefore, a technical description of the different light sources is an important part of this work. Similarly, conceptions and terms of importance for the visual function and perception of light are described.

In physical terms, visual light is a part of the optical radiation, which also includes ultra-violet light (UV) and infrared light (IR). In this paper, only visible light defined as electromagnetic radiation in wavelengths from 400 to 780 nm, defined by CIE (International Commission on Illumination), is included.

Spectral power distribution

Different light sources emit light at different wavelengths within the visible part of the spectrum as well as in other parts of the optical radiation (UV-, IR-radiation). Discharge lamps produce primary light in certain distinguished wavelengths that partly are in the UV range. Through secondary processes in the fluorescent tube, the UV radiation converts into continuous light in the visual part of the spectrum. Depending on the type of phosphor used in the tube, different spectral power distribution (SPD) will appear.

SPD from a cathode-ray tube based video display unit (VDU) screen is defined by the phosphor that has been used. SPD of modern multicolour screens varies to be able to produce different colour tones.

The SPD-curve show graphically how a light source distributes the radiation in the visible frequency range.

In a large number of field- and laboratory studies the impact of SPD on visual function, performance, health or well-being have been studied. The investigations have primarily focused on whether artificial light with a SPD equivalent to daylight is superior to light with other SPD. The review of the actual research in this area has not been able to give a distinct answer to that question.

Light modulation

Our experience of light modulation (a periodic fluctuation of luminance) is called flicker and is in principle visual, i.e. we can detect it with our visual system. When the frequency of the flicker is high enough, it is interpreted by us as a continuum.

The degree of modulation varies between different light sources depending how the light is generated, and can sometime be up to 100 per cent. So called high frequency light, for example fluorescent tubes with high frequency gear, has a fundamental frequency of 30-50 kHz and can be classified as a flicker free light source.

If a cathode-ray tube based VDU screen has a refresh rate high enough, the picture on the screen appears flicker-free even though the picture has 100 per cent degree of modulation. Liquid crystal screens are in principal flicker-free.

A review of studies concerning non-visual flicker from fluorescent tubes indicate that certain sensitive persons are affected negatively by the flicker. There is no existing explanatory model as to why certain people (even, sometimes, healthy people) show a stronger response to non-visual flicker compare to controls. It is however obvious that the arousal of the central nervous system might give negative effects.

The appearance of detectable flicker on the VDU screen might be a factor of importance for the appearance of VDU related symptoms and is probably more pronounced during data input, when the eyes are focused beside the screen. To counteract this the refresh rate should be high.

The impact of light on chronobiology

The circadian timing system of humans is synchronized to the 24-hour day and includes, for instance sleep, awakens, body temperature, metabolism, hormone production as well as fluctuations in awareness and behaviour. The control of these functions and processes are driven by the nervous and endocrine system and is commonly called “the biological clock”. Although the non visual effects of light on humans have been known for a long time it is only during the last few years is has been included in light planning.

The biological clock is synchronized with the rhythm of the sunlight, especially in the morning and evening. A review of the literature show that for people who are indoor it is of importance to have access to daylight through window especially during wintertime. Being in windowless rooms or being in dark rooms might have negative consequences for well-being and capacity for work. Both artificial as well as natural light seem to have an impact on the biological clock.

Conclusion

A review of the literature in this area of research can be summarised by the following items:

- There are a number of studies showing that non-visual flicker has a negative impact on humans. Therefore, as a precautionary principle, installations of high frequency light type are to be recommended.

- Access to daylight has, in a number of studies, been shown to be of importance for health, well-being and performance and should be included in light planning to be utilized in the best way.
- Studies of light with a spectral distribution equivalent to daylight have not been able to verify that visual functions, capacity, health and well-being are positively affected of this light compare to light with other spectral distributions.
- Detectable flicker on the VDU screen might be one factor that causes eye discomfort. In order to avoid that, the refresh rate of the screen should be high.

Key words: flicker, video display unit, light source, eye discomfort, the circadian timing system, the biological clock, perception, daylight.

14. Referenser

1. Aarås A, Horgen G, Bjørset H, Ro O & Thoresen M (1998) Musculoskeletal, visual and psychosocial stress in VDU operators before and after multidisiplinary ergonomic interventions. *Applied Ergonomics*, 29, 335-354.
2. Aarås A, Horgen G & Ro O (2000) Work with display unit: Health consequences. *International Journal of Human Computer Interaction*, 12(1), 107-134.
3. AFS (1998) *Arbete vid bildskärm*. Författningssamling 1998:5, Stockholm: Arbetskyddsstyrelsen.
4. Andersson N, Sandström M, Berglund A & Hansson Mild K (1994) Amplitude modulation of light from various sources. *Lighting Research and Technology*, 26(3), 157-160.
5. Arendt J (1998) Biological rhythms: the science of chronobiology. *Journal of Royal College of Physicians of London*, 32(1), 27-35.
6. Barnard N, Crewther SG & Crewther DP (1998) Development of a magnocellular function in good and poor primary school-age readers. *Optometry and Vision Science*, 75(1), 62-68.
7. Baron RA, Rea MS & Daniels SG (1992) Effects of indoor lighting (illuminance and spectral distribution) on the performance of cognitive tasks and interpersonal behaviors - the potential mediating role of positive affect. *Motivation and Emotion*, 16(1), 1-33.
8. Bartholomew R (1975) Lighting in the classroom. *Building Research and Practice*, 31(1), 32-38.
9. Baschera P & Grandjean E (1979) Effects of repetitiv tasks with different degrees of difficulty on critical fusion frequency (CFF) and subjective state. *Ergonomics*, 22, 377.
10. Beauchemin KM & Hays P (1996) Sunny hospital rooms expedite recovery from severe and refractory depressions. *Journal of Affective Disorder*, 40(1-2), 49-51.
11. Bergqvist U (1993) *Health problems during work with visual display terminals*. Arbete och Hälsa 1993:28, Arbetsmiljöinstitutet, Solna.
12. Bergqvist U & Berns T (1988) *Bildkvalitet på bildskärmar. En jämförelse av olika kravformuleringar för bildkvalitet på bildskärmar för kontorsbruk*. Arbetslivsrapport 1998:11, Arbetslivsinstitutet, Solna.
13. Bergqvist U, Brante T, Fransson K, Hansson Mild K, Hillert L, Johansson O, Rönnbäck L, Sandström M & Stenberg B eds. (1998) *Elektromagnetiska fält, elöverkänslighet och neurologisk sjukdom – en kunskapsöversikt*. Arbete och Hälsa 1998:23, Arbetslivsinstitutet, Solna.
14. Bergqvist U, Derefeldt G & m.fl. (2001) *Synergonomi och bildskärmsarbete*. Solna: Arbetslivsinstitutet, Expertgruppen för ergonomisk dokumentation (föreligger för närvarande i manuskriptform).

15. Bergqvist U & Knave B (1994) Eye discomforts and work with video display terminals. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, 20, 27-33.
16. Berman SM (1992) Energy efficiency consequences of scotopic sensitivity. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 21(1), 3-14.
17. Berman SM, Fein G, Jewett D, Benson B & Myers A (1996) Luminance-controlled pupil size affects word-reading accuracy. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 25(1), 51-59.
18. Berman SM, Fein G, Jewett DL & Ashford F (1993) Luminance-controlled pupil size affects Landolt-C task performance. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 22(2), 150-165.
19. Berman SM, Fein G, Jewett DL & Ashford F (1994) Landolt-C recognition in elderly subjects is affected by scotopic intensity of surround illuminants. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 23(2), 123-130.
20. Berman SM, Greenhouse DS, Bailey IL, Clear RD & Raasch TW (1991) Human Electroretinogram responses to video displays, fluorescent lightning and other high frequency sources. *Optometry and Vision Science*, 58(8), 645-662.
21. Blagosklonova NK (1990) The influence of chlorpromazine therapy on the functional state of the brain of children with behaviour disorders. *Soviet Neurology and Psychiatry*, 23(3), 23-31.
22. Boivin DB & Czeisler CA (1998) Resetting of circadian melatonin and cortisol rhythms in humans by ordinary room light. *Neuroreport*, 9(5), 779-782.
23. Bonomi L & Belluci R (1989) Considerations on the ocular pathology on 30 000 personnel of the Italian Telephone Company (SIPU) using VDTs. *Bolletino di Oculistica*, 68, suppl 7, 85-98.
24. Boray PF, Gifford R & Rosenblood L (1989) Effects of warm white, cool white and full-spectrum fluorescent lighting on simple cognitive performance, mood and ratings of others. *Journal of Environmental Psychology*, 9(4), 297-307.
25. Bougrine S, Mollard R, Ignazi G & Coblentz A (1995) Appropriate use of bright light promotes a durable adaptation to night-shifts and accelerates readjustment during recovery after a period of night-shifts. *Work and Stress*, 9(2-3), 314-326.
26. Boulos Z (1998) Bright light treatment for jet lag and shift work. In: Lam RW ed. *Seasonal Affective Disorder and Beyond: Light Treatment for SAD and non-SAD Conditions*. Pp 253-297, Washington DC: American Psychiatric Press.
27. Boyce PR (1981) *Human factors in lighting*. London: Applied Science Publishers.
28. Boyce PR & Rea MS (1994) A field-evaluation of full-spectrum, polarized lighting. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 23(2), 86-96.
29. Brainard GC, Rollag MD & Hanifin JP (1997) Photic regulation of melatonin in humans: Ocular and neural signal transduction. *Journal of Biological Rhythms*, 12(6), 537-546.

30. Brundrett G, Eng B, Eng C & Mech M (1974) Human sensitivity to flicker. *Lightning and Research Technology*, 6(3), 127-143.
31. Campbell SS, Dijk DJ, Boulos Z, Eastman CI, Lewy AJ & Terman M (1995) Light treatment for sleep disorders: Consensus report. III. Alerting and activating effects. *Journal of Biological Rhythms*, 10(2), 129-32.
32. Celecia G (1982) Steady-state and transient visual evoked potentials in clinical practice. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 388, 290-307.
33. CIE (1987) *CIE publication 17.4/1987 International Lighting Vocabulary* (IEC Publication 50 International Electrotechnical Vocabulary, Chapter 845 Lighting).
34. CIE (1987) *CIE publication 17.4/1987 International Lighting Vocabulary* (IEC Publication 50 International Electrotechnical Vocabulary, Chapter 845 Lighting) 845-02-63.
35. CIE (1987) *CIE publication 17.4/1987 International Lighting Vocabulary* (IEC Publication 50 International Electrotechnical Vocabulary, Chapter 845 Lighting) 845-03-34.
36. CIE (2000) *Draft Standard. CIE DS 008.2-2000. Lighting of Indoor Work Places*.
37. Coleman RS, Frankel F, Ritvo E & Freeman BJ (1976) The effects of fluorescent and incandescent illumination upon repetitive behaviours in autistic children. *Journal of Autism and Childhood Schizophrenia*, 6, 157-162.
38. Collins M, Brown B, Bowman K & Carkeet A (1990) Workstation variables and visual discomfort associated with VDTs. *Applied Ergonomics*, 21(2), 157-161.
39. Cronin-Golomb A, Corkin S, Rizzo JF, Cohen J, Growdon JH & Banks KS (1991) Visual dysfunction in Alzheimer's disease: relation to normal aging. *Annals of Neurology*, 29(1), 41-52.
40. Cronin-Golomb A, Rizzo JF, Corkin S & Growdon JH (1991) Visual function in Alzheimer's disease and normal aging. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 640, 28-35.
41. Curran S, Hindmarch I, Wattis JP & Shillingford C (1990) Critical flicker fusion in normal elderly subjects: A cross-sectional community study. *Current Psychology Research and Reviews. Spr*, 9(1), 25-34.
42. Czeisler CA, Johnson MP, Duffy JF, Brown EN, Ronda JM & Kronauer RE (1990) Exposure to bright light and darkness to treat physiologic maladaptation to night work. *N Engl Journal of Med*, 322(18), 1253-1259.
43. Dijk DJ, Boulos Z, Eastman CI, Lewy AJ, Campbell SS & Terman M (1995) Light treatment for sleep disorders: Consensus report. II. Basic properties of circadian physiology and sleep regulation. *Journal of Biological Rhythms*, 10(2), 113-125.
44. Doering TJ, Thiel J, Steuernagel B, Johannes S, Breull A, Niederstadt C, Schneider B & Fischer GC (1999) Changes of laboratory markers of cognitive brain function by thermostimuli in the elderly. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 80(6), 702-705.
45. Eastman CI & Martin SK (1999) How to use light and dark to produce circadian adaptation to night shift work. *Annals of Medicine*, 31(2), 87-93.

46. Eklund NH, Boyce PR & Simpson SN (2000) Lighting and sustained performance. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 29(1), 116-130.
47. Ellemberg D, Lewis TL, Liu CH & Maurer D (1999) Development of spatial and temporal vision during childhood. *Vision Research*, 39(14), 2325-2333.
48. Ewing D (1993) Non-invasive evaluation of heart rate: the time domain. In: Low P ed. *Clinical Autonomic Disorders*. Pp 297-314, Little, Brown, Boston.
49. Eysel U & Burandt U (1984) Fluorescent light evokes flicker responses in visual neurons. *Vision Research*, 24, 943-948.
50. Ferguson RV & Munson PA (1987) *The effects of artificial illumination on the behaviour of elementary school children*. Final report to Extramural research programs directorate health services and promotions branch health and welfare Canada, Victoria: University of Victoria, School of Child Care.
51. Foret J, Daurat A & Tirilly G (1998) Effect of bright light at night on core temperature, subjective alertness and performance as a function of exposure time. *Scandinavian Journal of Work Environment & Health*, 24(suppl. 3), 115-120.
52. Fotios SA & Levermore GJ (1995) Visual perception under tungsten lamps with enhanced blue spectrum. *Lighting Research and Technology*, 27, 173-179.
53. Greatrex JC & Drasdo N (1995) The magnocellular deficit hypothesis in dyslexia – a review of reported evidence. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 15(5), 501-506.
54. Halonen L (1993) *Effects of lighting and task parameters on visual acuity and performance*. NTIS no PB94-179231, Helsinki.
55. Hardeland R, Balzer I, Poeggeler B, Fuhrberg B, Uria H, Behrmann G, Wolf G, Meyer TJ & Reiter RJ (1995) On the primary functions of melatonin in evolution: mediation of photoperiodic signals in a unicell, photooxidation, and scavenging of free radicals. *Journal of Pineal Research*, 18(2), 104-111.
56. Hathaway WE (1995) Effects of school lighting on physical development and school performance. *Journal of Educational Research*, 88(4), 228-242.
57. Hathaway WE, Hargreaves JA, Thompson GW & Novitsky D (1992) *A study into the effects of light on children of elementary school age - a cases of daylight robbery.*, Edmonton: Alberta Education, Policy and Planning Branch, Planning and Information Services Division.
58. Herge A, William R & Franklin D (1995) Effects of lenced-indirect and parabolic lighting on satisfaction, visual health, and productivity of office workers. *Ergonomics*, 38(2), 260-280.
59. Honma K, Honma S, Nakamura K, Sasaki M, Endo T & Takahashi T (1995) Differential effects of bright light and social cues on reentrainment of human circadian rhythms. *Am Journal of Physiology*, 268(2 Pt 2), 528-535.

60. Houpt TA, Boulos Z & Moore Ede MC (1996) MidnightSun: Software for determining light exposure and phase- shifting schedules during global travel. *Physiology & Behavior*, 59(3), 561-568.
61. Hughes PC (1980) The use of light and color in health. In: Hastings AC, Fadiman J & Gordon JS eds. *The complete guide to Holistic Medicine: Health for the whole person*. Pp 294-308, Boulder; Westview.
62. ICNIRP (1997) Guidelines on limits of exposure to broad-band incoherent optical radiation (0.38 to 3µm). *Health Physics*, 73(3), 539-554.
63. ICNIRP (1999) *Guidelines on limiting exposure to non-ionizing radiation*. (Vol. 7).: International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection.
64. IES (2000) *IES Lighting Handbook, 9th edition*. NY: Illuminating Engineering society of North America.
65. Isen AM (1987) Positive affect, cognitive organization, and social behaviour. In: Berkowitz L ed. *Advances in Experimental Social Psychology*. Vol. 21. Pp 203-253: New York, Academic Press.
66. ISO (1992) *Visual Display Terminals (VDTs) used for office tasks – ergonomic requirements – part 3: visual displays*. 9241:3: International Organization for Standardization.
67. ISO (1998) *Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs): Requirements for display with reflections*. 9241:7, Geneva: International Organization for Standardization.
68. Jang KL, Lam RW, Livesley WJ & Vernon PA (1997) The relationship between seasonal mood change and personality: More apparent than real? *Acta Psychiatrica Scandinavica*, 95(6), 539-543.
69. Kellner M, Wiedemann K & Zihl J (1997) Illumination perception in photophobic patients suffering from panic disorder with agoraphobia. *Acta Psychiatrica Scandinavica*, 96(1), 72-74.
70. Klucharev V, Lyskov E, Sandstrom M & Mild KH (2000) Monitor jitter and human-computer interaction. *Displays*, 21(5), 173-177.
71. Knave B, Bergqvist U & Wibom R (1989) *Symtom och subjektiva besvär vid "överkänslighet mot elektricitet"*. Solna: Arbetslivsinstitutet, Arbetslivsrapport 1998:4.
72. Knez I (1995) Effects of indoor lighting on mood and cognition. *Journal of Environmental Psychology*, 15, 39-51.
73. Knez I & Enmarker I (1998) Effects of lighting on mood and cognitive performance and gender effect in work-related judgement. *Environment and Behavior*, 30, 553-567.
74. Knez I & Kers I (2000) Effects of indoor lighting, gender, and age on mood and cognitive performance. *Environment and Behavior*, 32(6), 817-831.
75. Küller R (1992) *Ljus och färg kan ge stressreaktioner*. 1509, Stockholm: Rapport no. 1509 Arbetsmiljöfonden.

76. Küller R, Ballal SG, Laike T & Mikellides B (1999) Shortness of daylight as a reason for fatigue and sadness. A cross-cultural comparison. CIE 24th Session, Vol 1, part 2, Pp 291-294, Warsaw.
77. Küller R, Ballal SG, Laike T, Mikellides B & Tonello G (2001) The prevalence of seasonal affective disorder symptoms in working populations in Argentina, England, Saudi-Arabia and Sweden. In: G.Tonello: *Lighting, mood and seasonal fatigue in Northern Argentina. Comparison to countries close to and further from the equator*. Pp 81-110. Doctoral thesis, Lund University. Lund: Lund Institute of Technology.
78. Küller R & Küller M (2001) *The influence of daylight and artificial light on diurnal and seasonal variations in humans. A bibliography*. Technical report of CIE no 139, Vienna: International Commission on Illumination.
79. Küller R & Laike T (1998) The impact of flicker from fluorescent lighting on well-being, performance and physiological arousal. *Ergonomics*, 41(4), 433-447.
80. Küller R & Lindsten C (1991) *Hälsoeffekter vid arbete i fönsterlösa klassrum*. 10, Stockholm: Statens Råd för Byggnadsforskning.
81. Küller R & Wetterberg L (1993) Melatonin, cortisol, EEG, ECG and subjective comfort in healthy humans: impact of two fluorescent lamp types at two light intensities. *Lighting Research and Technology*, 25, 71-81.
82. Küller R & Wetterberg L (1996) The subterranean work environment: Impact on well-being and health. *Environment International*, 22(1), 33-52.
83. Lam RW ed. (1998) *Seasonal affective disorder and beyond: light treatment for SAD and non-SAD conditions*. Washington D.C.: American Psychiatric Press, Inc.
84. Landrus G & Larkin J (1990) Cool-white, warm white and daylight fluorescent light effects on learning, health and attitudes. *Proceedings of Indoor Air '90*, 2, 705-709.
85. Lewy AJ, Bauer VK, Cutler NL, Sack RL, Ahmed S, Thomas KH, Blood ML & Jackson JM (1998) Morning vs evening light treatment of patients with winter depression. *Archives of General Psychiatry*, 55(10), 890-896.
86. Lockley S, Skene D, Arendt J, Tabandeh H, Bird A & DeFrance R (1997) Relationship between melatonin rhythms and visual loss in the blind. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 82, 3763-3770.
87. Lyskov E, Ponomarev V, Sandstrom M, Hansson Mild K & Medvedev S (1998) Steady-state visual evoked potentials to computer monitor flicker. *International Journal of Psychophysiol*, 28(3), 285-290.
88. Lyskov E, Sandström M & Hansson Mild K (2001) Neurophysiological study of patients with perceived "Electrical Hypersensitivity". *International Journal of Psychophysiology*, 42, 233-241.
89. Lyskov E, Sandström M & Hansson Mild K (2001) Provocation study of persons with perceived electrical hypersensitivity and controls using magnetic field exposure and recording of electrophysiological characteristics. *Bioelectromagnetics*, 22,457-462.

90. Maas JB, Jayson JK & Kleiber DA (1974) Effects of spectral differences in illumination on fatigue. *Journal of Applied Psychology*, 59, 524-526.
91. Millar K, Hammersley RH & Finnigan F (1992) Reduction of alcohol-induced performance impairment by prior ingestion of food. *British Journal of Psychology*, 83, 261-278.
92. Misawa T, Shigeta S & Nojima S (1991) Effects of video games on visual function in children. *Japanese Journal of Hygiene*, 45(6), 1029-1034.
93. Molin J, Møllerup E, Bolwig T, Scheike T & Dam H (1996) The influence of climate on development of winter depression. *Journal of Affect Disorders*, 37(2-3), 151-155.
94. Nylén P, Bergqvist U, Fischer T, Hansson J, Surakka J, Söderberg P & Wester U (2001) *Ultraviolet strålning och hälsa; ett kunskapsunderlag*. Solna: Arbetslivsinstitutet, (föreligger för närvarande i manuskriptform).
95. Nyman K, Wibom R, Bergqvist U, Melker H & Nordahl G (1998) Ingen närsynthet av synkrävande jobb - däremot bör arbetsavståndet korrigeras. *Läkartidningen*, 95(6), 504-507.
96. O'Leary KD, Rosenbaum A & Hughes PC (1978) Fluorescent lighting: a purported source of hyperactive behavior. *Journal of Abnormal Children Psychology*, 6, 285-289.
97. Ottoson A & Wibom R (1997) *Belysning på kontor, Nuteks demonstrationsprojekt för god och energieffektiv belysning på kontor. Projektbeskrivning och resultat*. Info nr 382-397.
98. Pearson P & Timney B (1998) Effects of moderate blood alcohol concentrations on spatial and temporal contrast sensitivity. *Journal of Studies on Alcohol*, 59(2), 163-173.
99. Preti A (1997) The influence of seasonal change on suicidal behaviour in Italy. *Journal of Affective Disorders*, 44(2-3), 123-30.
100. Rea MS (1993) *Lighting Handbook: Reference and Application*. (8th ed.). New York: Illuminating Engineering Society of North America.
101. Regan D (1968) A high frequency mechanism which underlies visual evoked potentials. *Electroencefalography and Clinical Neurophysiology*, 25, 231-237.
102. Rey P (1971) *The interpretation of changes in critical fusion frequency. Measurement of Man at Work*. London: Taylor & Francis.
103. Rey P & Rey JP (1963) Comparison of the effects of two fluorescent lights on a visual task and fatigue tests. In French. *Ergonomics*, 6, 393-401.
104. Rivest RW, Schulz P, Lustenberger S & Sizonenko PC (1989) Differences between circadian and ultradian organization of cortisol and melatonin rhythms during activity and rest. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 68(4), 721-729.
105. Roenneberg T & Aschoff J (1990) Annual rhythm of human reproduction: I. Biology, sociology, or both? *Journal of Biological Rhythms*, 5(3), 195-216.
106. Roenneberg T & Aschoff J (1990) Annual rhythm of human reproduction: II. Environmental correlations. *Journal of Biol Rhythms*, 5(3), 217-39.

107. Rosenthal NE (1998) *Winter Blues. Seasonal Affective Disorder: What it is and How to Overcome it*. New York: The Guilford Press.
108. Rusak B, Eskes GA & Shaw SR (1996) *Lighting and Human Health: A Review of the Literature*. Ottawa, Ontario, Canada Mortgage and Housing Corporation.
109. Sakaguchi T & Nagai H (1973) Studies on the relations between various light sources and visual fatigue. *Journal of the Illuminating Engineering Society, Japan*, 57, 278.
110. Samel A & Wegmann HM (1997) Bright light: A countermeasure for jet lag? *Chronobiology International*, 14(2), 173-183.
111. Sandström M, Hansson Mild K & Berglund A (1993) External power frequency magnetic-field-induced jitter on computer monitors. *Behaviour & Information Technology*, 12(6), 359-363.
112. Sandström M, Hansson Mild K, Lyskov E & Wilen J (1998) Power frequency magnetic fields and computer monitor instability. *Displays*, 19(2), 85-90.
113. Sandström M, Lyskov E, Berglund A, Medvedev S & Hansson Mild K (1997) Neurophysiological effects of flickering light in patients with perceived electrical hypersensitivity. *Journal of Occupational & Environmental Medicine*, 39, 15-22.
114. Sokol S & Riggs L (1971) Electrical and psychophysical responses of the human visual system to periodic variation of luminance. *Investigation in Ophthalmology*, 10, 171-180.
115. Stein JF (1994) Developmental dyslexia, neural timing and hemispheric lateralization. *International Journal of Psychophysiology*, 18(3), 241-249.
116. Takahashi T & Tsukahara Y (1998) Pocket Monster incident and low luminance visual stimuli: Special reference to deep red flicker stimulation. *Acta Paediatrica Japonica*, 40(6), 631-637.
117. TCO (1999) *TCO'99 Certification. Requirements and test methods for environmental labelling of displays (CRT). Report no 1. July 20th 1998, Stockholm*.
118. Terman M, Lewy AJ, Dijk DJ, Boulos Z, Eastman CI & Campbell SS (1995) Light treatment for sleep disorders: consensus report. IV. Sleep phase and duration disturbances. *Journal of Biological Rhythms*, 10(2), 135-147.
119. Thorington L, Parascandola J & Cunningham L (1971) Visual and biologic aspects of an artificial sunlight illuminant. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 1(10), 33-41.
120. Tiihonen J, Rasanen P & Hakko H (1997) Seasonal variation in the occurrence of homicide in Finland. *American Journal of Psychiatry*, 154(12), 1711-1714.
121. Touitou Y & Haus E (1993) *Circannual variation of some endocrine and neuroendocrine functions in humans*. L Wetterberg ed. *Light and Biological Rhythms in Man*, Pp 313-327, Oxford, New York: Pergamon Press.
122. Wadman C, Bergqvist U, Medhage Ö, Linder G & Knave B (1996) *Elöverkänslighet – en studie bland kontorsarbetare*. Solna: Arbetslivsinstitutet, Metodrapport 1996:5.

123. Van der Tweel LH & Verduyn Lunel HLV (1965) Human Visual Responses to sinusoidally modulated light. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 18, 587-598.
124. Wang T, Hawkins LH & Rea WJ (1994) Effects of ELF magnetic fields on patients with chemical sensitivities. Dina Simunic, ed. *Cost 244: Biomedical effects of electromagnetic fields*, Pp 123-132, Graz.
125. Veitch JA (1997) Revisiting the performance and mood effects of information about lighting and fluorescent lamp type. *Journal of Environmental Psychology*, 17(3), 253-262.
126. Veitch JA, Hine DW & Gifford R (1993) End users' knowledge, preferences, and beliefs for lighting. *Journal of Interior Design*, 19(2), 15-26.
127. Veitch JA & McColl SL (1995) On the modulation of fluorescent light: flicker rate and spectral distribution effects on visual performance and visual comfort. *Lighting Research and Technology*, 27, 243-256.
128. Veitch JA & McColl SL (2001) A critical examination of perceptual and cognitive effects attributed to full-spectrum fluorescent lighting. *Ergonomics*, 44(3), 255-279.
129. Veitch JA & Newsham GR (1998) Lighting quality and energy-efficiency effects on task performance, mood, health, satisfaction, and comfort. *Journal of the Illuminating Engineering Society*, 27(1), 107-129.
130. Wennberg A, Franzén O & Paulsson L-E (1994) Reaction by exposing to electric and magnetic fields. Provocation of persons with and without "electric hypersensitivity". *Arbete och Hälsa* 1994:9, Arbetsmiljöinstitutet, Solna.
131. Wetterberg L (1994) Light and biological rhythms. *Journal of Internal Medicine*, 235(1), 5-19.
132. Wibom R, Nylén P & Wennberg A (1995) *Flimmer från lysrör en möjlig bidragande orsak till besvär vid "elöverkänslighet"* Arbetslivsrapport 1995:31, Solna: Arbetslivsinstitutet.
133. Video Display WaV (1983) *National research council panel on the impact of video viewing on vision of workers.*: National Academy Press, Washington DC, USA.
134. Wilkins A (1986) Intermittent illumination from visual display units and fluorescent lighting affects movements of the eyes across text. *Human Factors*, 28(1), 75-81.
135. Wilkins AJ & Clark C (1990) Modulation of light from fluorescent lamps. *Lighting and Research Technology*, 22, 103-109.
136. Wilkins AJ, Nimmo-Smith I, Slater AI & Bedocs L (1989) Fluorescent lighting, headaches and eyestrain. *Lighting Research Technology*, 21(1), 11-18.
137. Willock M, Clark IE, McKinlay AF, Todd CD & Mundy SJ (1988) *Ultraviolet radiation levels associated with the use of fluorescent general lighting, UV-A and UV-B lamps in the workplace and home.* R221, London: National Radiation Protection Board Report, London; report no.221 HMSO.

138. Wirz-Justice A, Graw P, Krauchi K, Sarrafzadeh A, English J, Arendt J & Sand L (1996) 'Natural' light treatment of seasonal affective disorder. *Journal of Affective Disorder*, 37(2-3), 109-120.
139. Vondrasova JD, Hajek I & Illnerova H (1999) Adjustment of the human melatonin and cortisol rhythms to shortening of the natural summer photoperiod. *Brain Research*, 816(1), 249-253.
140. Wurtman RJ (1975) The effects of light on the human body. *Scientific American*, 233, 68-77.
141. Yearout R & Konz S (1989) Visual display workstation lighting. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 3, 265-273.
142. Zamkova MA & Krivitskaya EI (1985) The effect of middle and long wave ultraviolet radiation on the physical health and behavioural performance of school-aged children. *International Journal of Biosocial Research*, 7, 29-33.
143. Åkerstedt T (1995) Work hours and sleepiness. *Neurophysiologie clinique*, 25(6), 367-375.