

INDUSTRIAL LIGHTING, PRODUCTIVITY, HEALTH AND WELL-BEING

Gerrit van den BELD, Wout van BOMMEL
Philips Lighting

SUMMARY

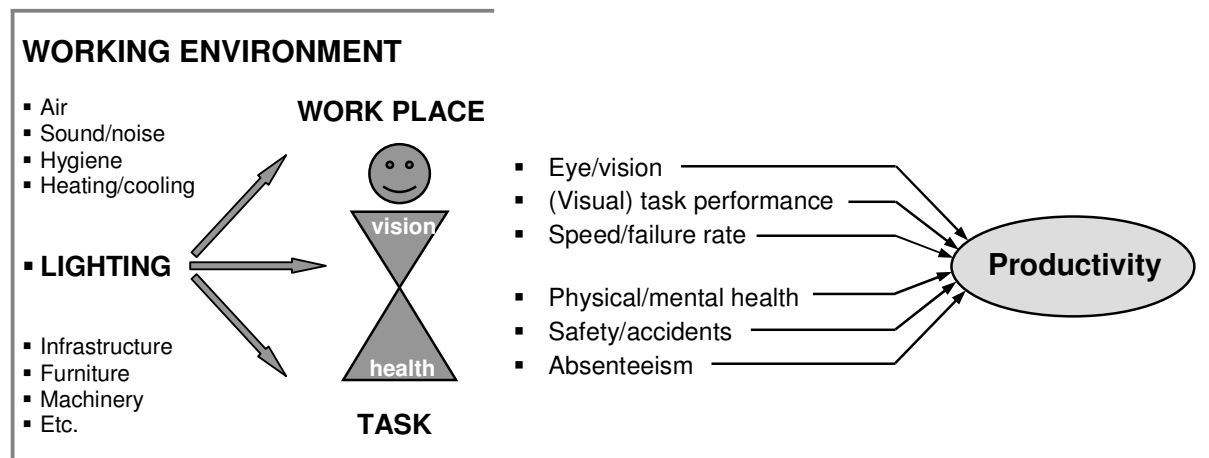
Nowadays in many companies the human resources are considered as the major asset. For reasons of both economics and people's health and well-being, the safety, reduction of accidents and absenteeism are getting a lot of attention. Measures are taken and legislation on safety rules exist or are under preparation in many countries. Despite all these efforts the direct economic losses are about 2,8-3,6% of GNP in the EU member states or 100-200 million working days annually. Moreover, apart from the personal tragedies, also EU and national policy are addressing the societal cost of healthcare and cost of re-integration of (disabled) workers after illness. Another aspect is the aging workforce with higher rate of absenteeism and relatively high rate of fatal accidents. There is also a shift towards a 24-hrs society especially in capital intensive production processes and service organizations. Global competitiveness also contributes to the increased 24 hrs operations in many businesses. Consequently workers have to perform more and more optimally independent of time of day.

Good lighting on the task and in the working place is required for optimal (visual) task performance, especially also taking into account the aging workforce. The effects of good lighting are even more important as (medical) science has shown in the last two decades the positive influence of light on health and well-being as light is e.g. controlling largely the biological clock. This body clock regulates e.g. all daily rhythms of both physiological and psychological processes such as hormone secretion levels, alertness, mood, sleep-wake cycle, body temperature and many others. Both these aspects of good industrial lighting will become more important in 24-hour operations. Dedicated lighting solutions will be required.

At present industrial lighting standards are based on the lighting needs to carry out the (visual) task efficiently. The lighting requirements are fulfilled by general lighting for the work place eventually augmented by local task/machine lighting. It is striking that in general the lighting quality requirements for industry are lower than e.g. for offices. Moreover many existing industrial lighting systems are very old and economically as well as quality wise outdated. One would expect the opposite: The best lighting systems in the industrial working environment for enhanced productivity, safety and health reasons. A better lighting will positively contribute to speed and failure rate in performance, safety and accidents rate, absenteeism, health and well-being.

In this paper the importance of industrial lighting of high quality as a driving factor to improve productivity is discussed. The impact of light on vision, performance, alertness, well-being etc. as indicated in the model will be analyzed on basis of the present state of knowledge on light & vision and light & health.

Concluding, industrial lighting should be given the attention it deserves from the point of view of company's economics, worker's health and well-being and public health policy and costs.



Lighting drivers in industrial productivity

1 INDUSTRIAL LIGHTING

Industrial lighting covers a wide range of different working interiors and work tasks: from small work shops to huge factory halls, and from fine precision work to heavy industrial tasks. In industrial environments we have often to rely for an important part on artificial lighting only. There where (glarefree) daylight can enter the industrial premises it can play an important role in obtaining satisfying lighting results at the moments it is available. Good linking with the artificial lighting is then essential. There are three systems of artificial lighting used in industrial interiors: general lighting, localised lighting and local task lighting. General lighting is designed to produce a relatively uniform illuminance on the working plane throughout the area. In those interiors where the arrangement of the work positions is permanent, the use of localised lighting, with concentration of the higher illuminances at the work positions, can lead to more cost effective installations. The lighting requirements for certain specific tasks can be so stringent that it is neither technically feasible nor economically viable to do the lighting with the general lighting alone. Local task lighting is then used to supplement the general lighting for these specific tasks.

1.1 Visual performance and lighting

The lighting quality should always be such as to guarantee sufficient visual performance for the tasks concerned. Research on the quantity and quality of lighting over the past decades has shown that improvement of lighting quality from a low or moderate level increases the speed and accuracy with which objects can be detected and recognised. The actual visual performance of a person is dependent upon the quality of the lighting and of his or her own “seeing abilities”. In this respect age is an important criterion. With increasing age, more and more light is necessary. Figure 1.1 gives the relative requirements of the amount of lighting for reading a well printed book in dependence of age. If the requirement at the age of 10 is taken as 1, it follows that a person of 60 years old requires as an average 15 times more light! This effect of course becomes more and more important with the workforce becoming older.

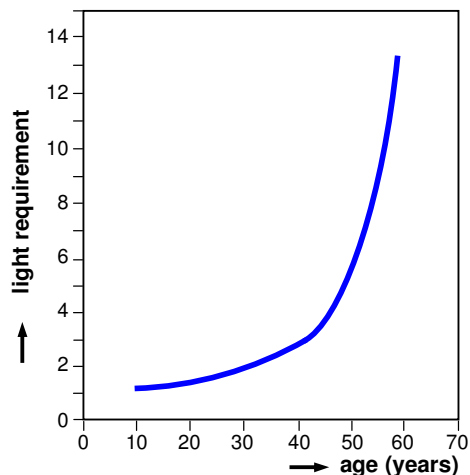


Figure 1.1 Relation between age and light required for reading good print. Source: Fortuin [1.1]

Figure 1.2 serves as an illustration of the many research results pertaining to the influence of lighting quality on visual performance. It gives the relative visual performance as a function of the lighting level for different task difficulties. One for a visually moderate task (as, for example, relevant for general machine work) and another one for a difficult task (as, for example, fine assembly work or colour inspection work). For all tasks a clear increase in visual performance is shown if the quality of the lighting, in this example the lighting level, is increased. From the figure it again becomes evident that the effect of age on visual performance is very important. For the same level of visual performance

the quality of the lighting must be much higher for older workers. But for visually-difficult tasks, lighting cannot completely compensate for the deteriorating effect of age. Given the increase in average age of the workforce in the coming years (20% increase of the age group 50 - 65 in the coming 15 years) this means that with no changes in the illuminance levels worker performance will decrease. In the graph, the required lighting levels for the two tasks as specified in the European draft standard of CEN [1.2] are indicated. It shows that these CEN requirements are in fact conservative rather than overstated if we take the age effect into account.

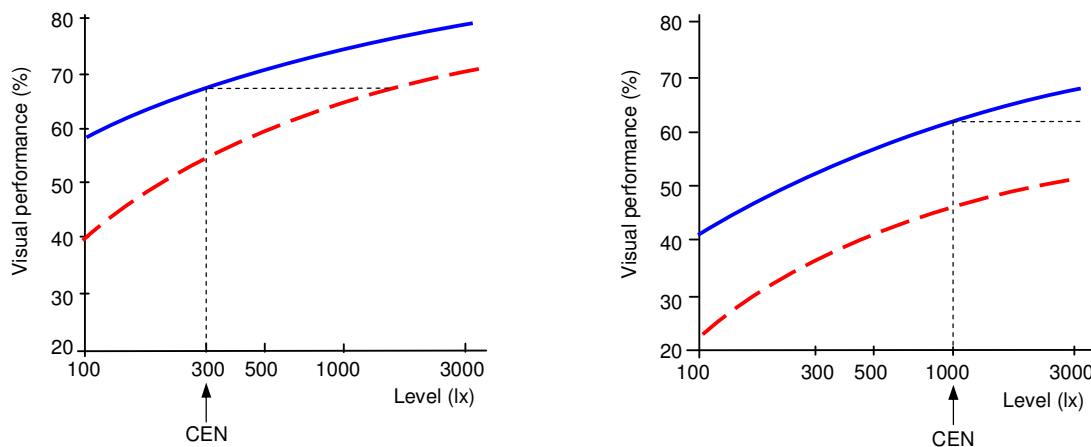


Figure 1.2 Relation between relative visual performance (in %) and lighting level (in lx) for a visually moderate difficult task (left) and a visually difficult task (right). Continuous line: young persons, broken line: older persons. Source: CIE [1.3]

An improvement in visual performance yields, in its turn, an improvement in task or work performance. The improvement is reflected in a higher output and in a lower number of errors.

To what extent good quality lighting enhances work performance is, of course, dependent on the visual component of the task. A task with an important visual component will benefit more from good seeing conditions than a task with a less important visual component.

As an example, Table 1 summarises from different publications for different industrial tasks the increase in task performance and the reduction in rejects brought about by an improvement of the lighting quality.

Table 1 Increase in task performance and reduction in number of rejections as a result of improvements in lighting level. Source: Handbuch für Beleuchtung [1.4]

Type of work	Lighting level (lx)		Increase in task performance (%)	Reduction in number of rejects (%)
	Before	After		
Camera assembly	370	1000	7	
Leather punching	350	1000	8	
Composing room	100	1000	30	18
Fine assembly work	500	1500	28	
Metal industry	300	2000	16	29
Difficult visual tasks in the metal industry	500	1600-2500	10	20
Miniature assembly	500-1000	4000		90
Weaving mill	250	1000	7	

Figures 1.3 and 1.4 summarise the general trends of improvement in task performance and the reduction of errors with increase in lighting level.

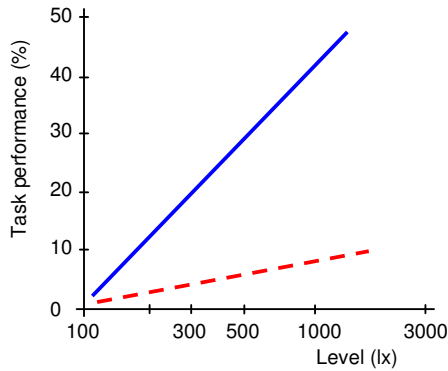


Figure 1.3 Relative task performance increase that may be expected to follow from improved lighting for a simple (broken line) and a difficult (continuous line) visual component task. Source: Fördergemeinschaft Gutes Licht [1.5]

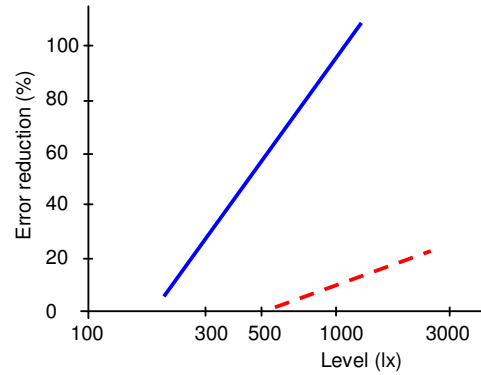


Figure 1.4 Relative reduction of errors resulting from improved lighting for a simple (broken line) and a difficult (continuous line) visual component task. Source: Fördergemeinschaft Gutes Licht [1.5]

1.2 Accident reduction and lighting

Accidents are often a concern in the industrial environment. The resulting physical injuries and mental anguish are sometimes responsible for considerable losses in production.

Statistics show that the number of industrial accidents is on the increase. For example in the Netherlands the number of recorded number of industrial accidents is increased with 40.5 over the last 3 years. There is clear evidence that many types of industrial accidents can be avoided by providing better seeing conditions. In a German accident simulation study in a mock warehouse it was shown that at higher lighting levels potential dangers were indeed better recognised [1.6].

The risk of an accident is also reduced when there is a greater awareness of potentially dangerous situations and when the mood, alertness and health of the industrial worker is promoted by good-quality lighting (see also Chapter 2). This effect can be important as a considerable number of accidents are caused by a low degree of concentration and a high degree of fatigue on the part of the worker.

Of course, the degree to which the number of accidents can be reduced is very much dependent on the type of industry involved and the environmental situation prevailing. Table 2 gives the accident-reduction figures for two of the industrial tasks listed in Table 1 above, where performance improvements and reject reductions were recorded.

Table 2 Accident reductions as a result of improvements in lighting level
Source: Handbuch für Beleuchtung [1.4]

Type of work	Lighting level (lx)		Accident reduction (%)
	Before	After	
Metal industry	300	2000	52
Difficult visual tasks in the metal industry	500	1600-2500	50

Figure 1.5, resulting from another study, gives the number of accidents at the workplace as a function of the lighting level for different types of injuries. Here, again, the trend is clearly a reduction in the number of accidents as the quality of the lighting is improved.

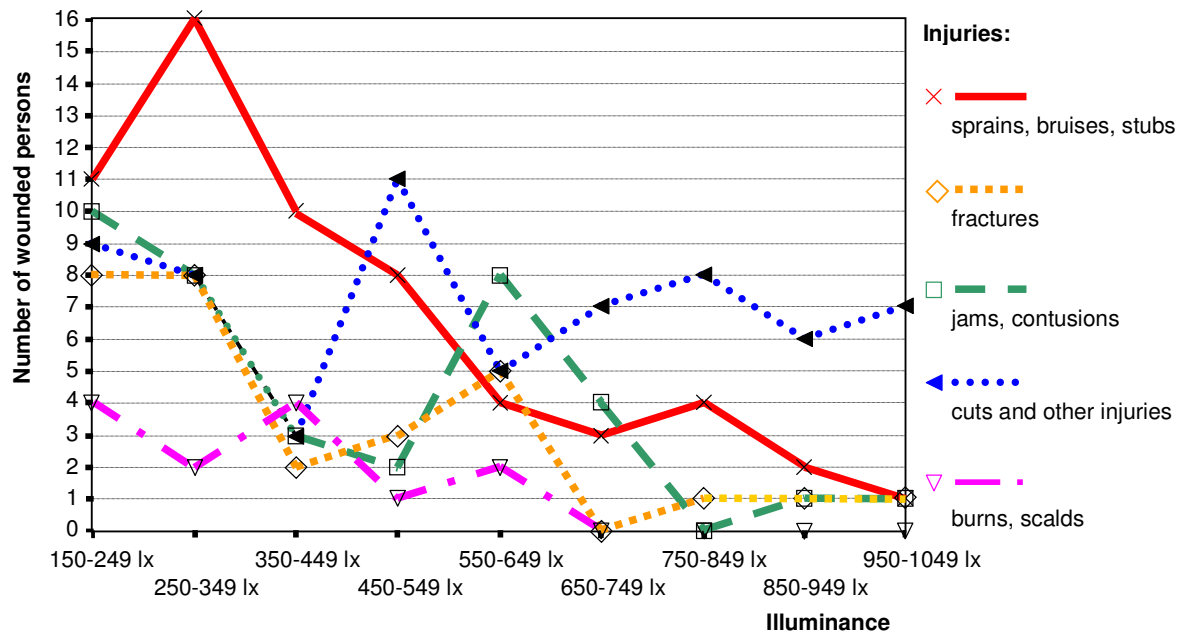


Figure 1.5 Number of accidents for different industrial tasks as a function of the lighting level (347 Accidents investigated in total). Source: Völker, Rüschemschmidt and Gall [1.7]

In Figure 1.6, all accidents analysed in this study are combined. It makes very clear that work places with lighting levels between 50 and 250 lx are confronted with a relatively high number of accidents.

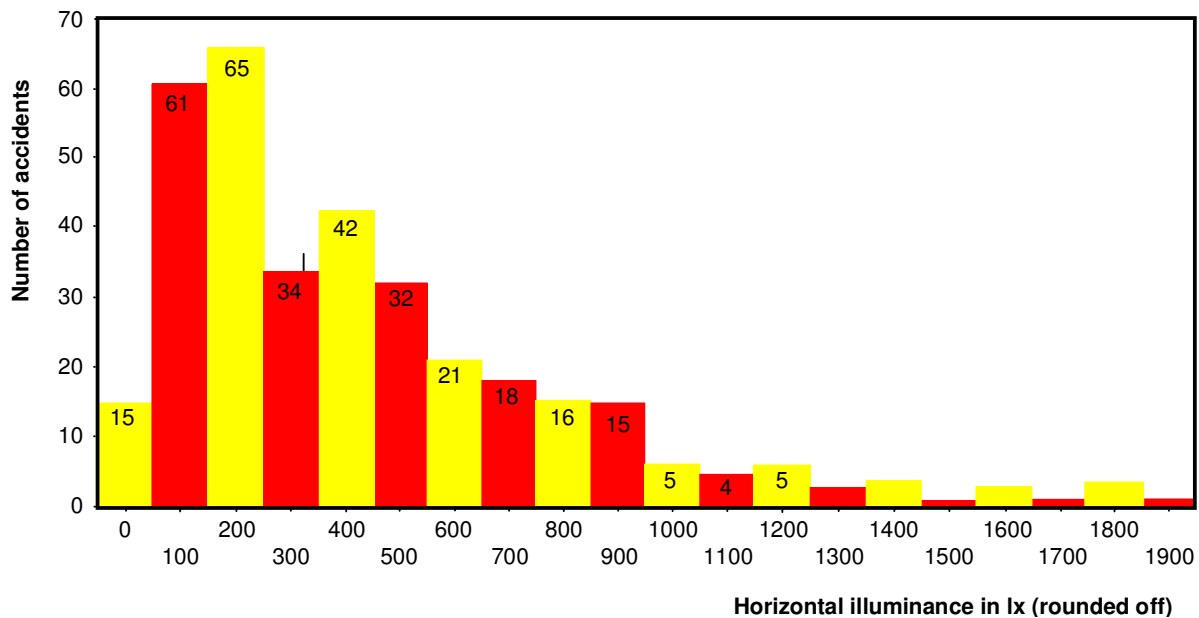


Figure 1.6 Number of accidents as a function of the lighting level. (A total of 347 accidents have been investigated). Source: Völker, Rüschemschmidt and Gall [1.7]

It is important to note that not only the lighting level but all aspects of lighting quality play a role in preventing accidents. These quality aspects will be dealt with in more detail in the next section. Here it suffices to mention that non-uniform lighting can create adaptation problems that hamper proper

visibility. Excessive glare also leads to severe adaptation problems, with all the negative consequences that go with it. Stroboscopic effects of lighting can lead to dangerous situations there where it is important to correctly see moving parts of machinery. Electronic high frequency operated lighting takes this potential danger completely away. And finally, lighting exhibiting bad colour properties may lead to misjudgements of potentially dangerous situations.

1.3 Lighting and working environment

Apart from the influence lighting has on visual performance there is also the influence the lighting has on the working environment. The overall working environment, if properly designed, can have a stimulating effect on the people working there [1.8]. Today, much importance is placed on the layout and interior design of the work-place. The lighting can have an important role here: whilst it can emphasise positive elements of the design, it can also detract from these elements, for example by poor colour rendering or glare effects. Such deficiencies often lead to direct complaints about the lighting [1.9]. It has already been mentioned that, if and when available, daylight can have an important positive effect. As far as the quantitative aspect is concerned it only serves, in most premises, as a supplement to artificial lighting. The positive qualitative effect is especially connected with the "outside view" it offers. Attention should be paid to avoid negative side effects of daylight caused by excessive glare.

1.4 Lighting quality requirements

To enable people to perform visual tasks efficiently, accurately and safely especially the lighting level has been shown to have an important influence. However, other quality aspects of lighting, namely uniformity of the lighting pattern, glare restriction and colour rendering are also very important.

Non-uniform lighting with abrupt changes in illuminances around the task area may lead to visual stress and discomfort. This has to do with the adaptation properties of the eye. Sufficient uniformity of the general lighting will ensure sufficiently high lighting levels to give complete freedom in the placement of the machinery and work places.

Glare is the sensation produced by brightnesses within the visual field that are largely greater than the brightness to which the eyes are adapted. This can lead to a reduction of visual performance and to discomfort. Too much glare can even lead to complaints such as eye strain and headache. The same problem may occur if there are excessive differences in brightness between the surfaces in the interior. It is thus important to limit glare to avoid errors, fatigue and accidents. The degree of glare restriction obtained depends very much on the optical quality of the luminaires used in combination with the type of lamp used. Fluorescent lamps have, thanks to their larger dimensions, lower luminances than high intensity gas discharge lamps (high pressure mercury, sodium and metal-halide lamps). It is easier to limit glare with lamps having lower luminances.

A coloured object is perceived as being so by virtue of the fact that it reflects only part of the light incident on it. Red paint, for example, reflects a high percentage of the red wavelengths – the more the amount of red in the incident light, the redder the object. The way in which the colours around us are rendered is thus strongly dependant upon the colour rendering qualities of the lighting. The colour rendering index, R_a , of a light source is the measure for this quality. R_a can have values ranging from zero (no colour rendering) to 100 (excellent colour rendering). The proper colour rendering of the human skin is especially important. Lighting that makes the skin look pale and unhealthy often leads to complaints. By a proper choice of the light source (colour rendering R_a at least 80), this problem is easily avoided. Lamps with a colour rendering index lower than 80 give unacceptable results in interiors where people work or live; unacceptable as far as task performance is concerned, but also unacceptable from a mood and well-being point of view. The requirement for an R_a of 80 or more is especially important when it comes to the choice of the right type of tubular fluorescent lamp, there

being so many different types available. For working environments, only those tubular fluorescent lamps with a colour code of 830 or higher fulfil the requirement.

In today's practice however, still in around 80% of the industrial lighting installations use is made of light sources with much lower colour rendering indices. The reason often is the lower initial cost. It should however be noted that if the total cost of the installation (including energy cost) are taken into account, modern lamps with good colour rendering are more economical.

Most national and international recommendations and standards specify lighting quality figures for all these quality aspects for a wide variety of interiors and activities. Table 3 summarises the quality aspects of a lighting installation together with the most important parameter for each aspect.

Table 3 Quality aspects of lighting installations with their quality parameters

Quality aspect	Quality parameter
Lighting level	Average illuminance level, E_{av}
Uniformity	E_{min} / E_{av}
Glare restriction	UGR
Colour rendering	R_a

As an illustration of what quality is required in different situations Tables 4 to 6 give the required values for three different types of industry: chemical industry, power stations and printing industry. These requirements are values given in a draft European standard (draft 1998) for work places, which meet the needs of visual performance, comfort and safety. Of course the same standard specifies values for many other types of industry. (The values specified for the average illuminance are so-called "maintained illuminance values": values below which the average illuminance on the specified surface is never allowed to fall).

Table 4 Lighting requirements for the chemical, plastic and rubber industry. Source CEN [1.2]

2.5 Chemical, plastics and rubber industry					
Ref. no.	Type of interior, task or activity	$\bar{E}_m$	UGR_L	R_a	Remarks
2.5.1	Remote-operated processing installations	50	-	20	Safety colours shall be recognisable
2.5.2	Processing installations with limited manual intervention	150	28	40	
2.5.3	Constantly manned work places in processing installations	300	25	80	
2.5.4	Precision measuring rooms, laboratories	500	19	80	
2.5.5	Pharmaceutical production	500	22	80	
2.5.6	Tyre production	500	22	80	
2.5.7	Colour inspection	1000	16	90	$T_{CP} \geq 4000 \text{ K}$
2.5.8	Cutting, finishing, inspection	750	19	80	

Table 5 Lighting requirements for power stations. Source CEN [1.2]

2.15 Power stations					
Ref. no.	Type of interior, task or activity	$\bar{E}_m$	UGR_L	R_a	Remarks
2.15.1	Fuel supply plant	50	-	20	Safety colours shall be recognisable.
2.15.2	Boiler house	100	28	40	
2.15.3	Machine halls	200	25	80	For high-bay: see clause 4.6.2.
2.15.4	Side rooms, e.g. pump rooms, condenser rooms etc.; switchboards (inside buildings)	200	25	60	
2.15.5	Control rooms	500	16	80	1. Control panels are often vertical. 2. Dimming may be required. 3. For DSE-work see clause 4.11.
2.15.6	Outdoor switch gear	20	-	20	Safety colours shall be recognisable.

Table 6 Lighting requirements for the printing industry. Source CEN [1.2]

2.16 Printers					
Ref. no.	Type of interior, task or activity	$\bar{E}_m$	UGR_L	R_a	Remarks
2.16.1	Cutting, gilding, embossing, block engraving, work on stones and platens, printing machines, matrix making	500	19	80	
2.16.2	Paper sorting and hand printing	500	19	80	
2.16.3	Type setting, retouching, lithography	1000	19	80	
2.16.4	Colour inspection in multicoloured printing	1500	16	90	T _{CP} ≥ 5000 K.
2.16.5	Steel and copper engraving	2000	16	80	For directionality see clause 4.5.2.

A quality criterion seldom mentioned in standards is the frequency at which lamps are operated. Some people experience headaches because of the flicker of fluorescent lamps operated on magnetic ballasts (50 Hz). Fluorescent lamps run on modern electronic ballasts operating at high frequency (around 30 000 Hz) do not exhibit this flicker phenomenon. In a comparison it has been found that the occurrence of headache is, indeed, significantly lower when electronic ballasts are used [1.10]. On the basis of its influence on the basic brainwave pattern (EEG), another study describes fluorescent light produced by lamps operated on conventional, non-electronic magnetic ballasts as a potential stress source [1.11]. Of course electronic high-frequency ballasts are also recommended because they are more efficient and do result in a longer lamp life than lamps on conventional ballasts.

2 LIGHTING AND BIOLOGICAL EFFECTS

2.1 Background

Until a couple of centuries ago human life was determined by the daily light-dark cycle and the related wake-sleep rhythm. Since the industrial revolution and especially the invention of electric light, the society is gradually extending the active daily period and now moving towards a 24 hour society. Shift work, including nightshifts, is already for many years applied in production processes in e.g. metal and food industry and hospitals. Today with the globalisation of the activities of many companies, IT services and intense intercontinental travelling the number of people working in irregular work schedules is increasing rapidly. In many countries a substantial part - 15-25% - of the working population is working in one of another form of shift schedule whether it be in production, transport or services.

From the ancient times the beneficial effect of (day)light was well known and used in e.g. heliotherapy. Light therapy in solving health problems was popular until the 1930's, than through the invention of penicillin, pharmaceuticals took the leading role. The importance of light in relation to health and well-being however revived in the last 20-30 years by various findings in biological and medical research.

We normally think of the eye as an organ for vision, but after the discovery of additional nerve connections from the eye to the brain, it turns out that ocular light mediates and controls a large number of physiological and psychological processes in humans. The most important findings in the effects of ocular light are related to:

- Control of the biological clock
- Direct (stimulating) effects
- Influence on mood

2.2 Light and the biological clock

In the new science of chrono-photobiology, light is considered as the most important factor - often referred to as 'Zeitgeber' - in controlling our internal body clock, located in the supra chiasmatic nuclei in the hypothalamus in the brain [2.1]. Ocular light sends, via a separate nerve system, signals to our biological clock located in the brain which in turn regulates the circadian (daily) and circannual (seasonal) rhythms [2.2] of a large variety of body processes. In a natural setting ocular light, especially morning light, synchronises the internal body clock to the environmental time or the 24 hour light-dark cycle of the rotating earth. Without light, the internal clock would be free-running with a period of about 24 hrs and 15 minutes and consequently the internal clock-time will deviate day after day more and more from the environmental clock time [2.3] The result is that one will get similar symptoms as when having jet-lag after travelling over some time-zones[2.4].

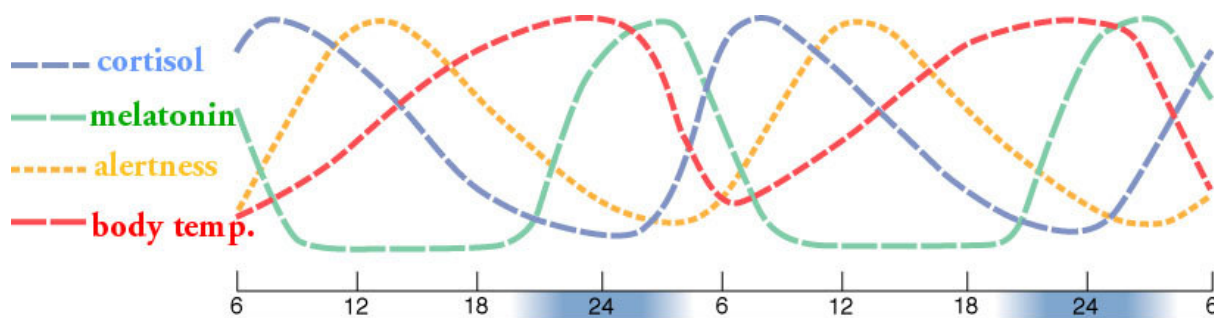


Figure 2.1 Double plot (2*24 hrs) of typical circadian rhythms of body temperature, melatonin, cortisol and alertness in humans for a natural 24 hour light/dark cycle. (Various sources, see text)

In figure 2.1 some typical rhythms in human beings are illustrated, it should be noted that these have been smoothed and masking effects are ignored (temporary effects of food, coffee etc). The figure shows only a few examples: body temperature, alertness and the hormone rhythms of cortisol (stress hormone) and melatonin (sleep hormone). Important other ones are e.g. sleep-wake cycle, sleepiness, fatigue, mood and performance.

The hormones cortisol and melatonin play an important role in alertness and sleep. Cortisol levels raise in the morning and prepare the body and mind for the coming day activity. At the same time melatonin level drops, reducing the sleepiness. Melatonin is popular known as sleep hormone and induces sleepiness e.g. melatonin is used as sleeping pill to cope with jet lag. The rise of melatonin levels in the evening prepares humans to start the sleep cycle and maintain a good quality sleep during the night, resulting in optimal start of the new day. Light has the capability of directly suppressing melatonin e.g. light during the night reduces melatonin levels within half an hour and also morning light helps to reduce the melatonin level and consequently wakens-up. From these simplified examples it is evident that both hormone rhythms are important to function well during the time we are awake and influence directly the degree of alertness (see also chapter 2.4).

So the correct dose and timing of daily light is very important to keep the internal and external clocks in phase with each other especially because our internal clock regulates the circadian rhythm which are relevant in our daily activity such as alertness, sleepiness, fatigue, mood, performance.[2.2], [2.5].

2.3 Light and direct stimulating bodily effects

Direct stimulating effects of light are recognised by almost everybody, especially when comparing summer and winter, but also in the interior (working) environment [2.18]. This is partly a psychological effect, but also as illustrated above a physical component is contributing to this. Different light levels give changes in the EEG pattern and as a consequence influences the central nervous system resulting in effects on various body functions. Also through direct suppression by light of e.g. melatonin (see above) body processes are influenced.

Recent findings suggest moreover a direct effect of light e.g. heart rate, insulin level etc. [2.19], [2.20], [2.21]. Fundamentally these recent findings show an increasing number of neural pathways, directly or indirectly, from the eye to various glands in the body. Many of these effects could be related to the biological clock as well. Research has shown that light therapy is useful for various sleep disorders, Alzheimer disease and many others, which are subject of further research e.g. PMS, anorexia, bulimia, the immune system etc. [2.22], [2.23], [2.24], [2.25].

2.4 Light, mood and alertness

Mood is the reflection of the feelings of state of the person, physically the feeling good or bad, and mentally the feeling more or less alert [2.6]. Other factors known as influencing mood are for example weather/season [2.7] and in case of work the seeing conditions and the (visual) environment.

In the industrial field alertness is of prime importance as it is a factor in not only mood but also in performance and avoiding accident. Alertness at a specific time of day is largely determined by an endogenous component, related to the circadian body clock, (raising in the morning, stable in the afternoon and declining in the late evening) and an exogenous component, declining over the period of wakefulness (the longer awake the lower). Subjective alertness at a time of the day is the combination of these two components, most probably not by simple addition but in a more complex relation. This

leads also to the so-called lunch-dip with a relatively high sleep propensity and increased number of e.g. traffic accidents (principally the dip is not related to lunch, which at best deepens the dip).

Considering the alertness rhythm (Fig. 2.1) it is not remarkable that many investigations on the effects of light on alertness and arousal level have been carried out under (night) shift-work conditions because of the low level in e.g. arousal and the effects to be expected are the strongest. Figure 2.2 shows the effect of two lighting regimes on arousal as a function of time at work for shift-workers [2.8].

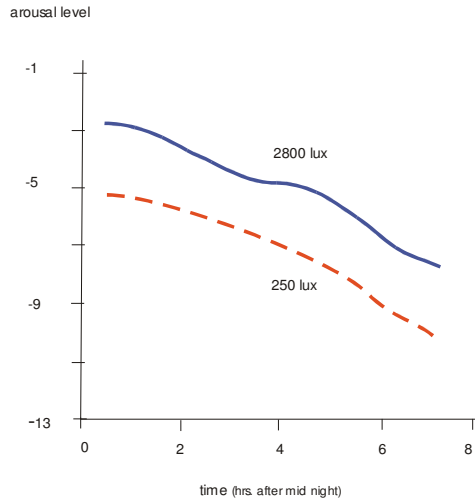


Figure 2.2 Mood expressed as arousal level for uniform lighting levels of 250 lx (o) and 2800 lx () as a function of number of working hours for night-shift workers (Boyce et al.)

A decline in arousal over the night occurs for both conditions, but the high-lighting regime results in a significantly increased arousal level.

Other studies show that the use of higher lighting levels to cope with fatigue results in staying longer alert [2.9], [2.10], [2.11]. This holds also for the composition of EEG's, containing less delta waves (which is an indicator for sleepiness) which means that bright light has an alerting influence on the central nervous system (see Fig. 2.3) [2.12].

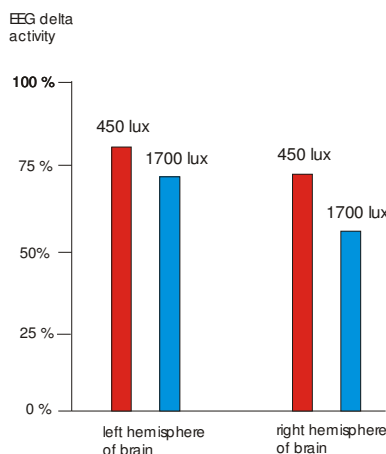


Figure 2.3 Delta activity in the EEG of office workers under lighting levels of 450 lx and 1700 lx (Kuller, Wetterberg)

Finally a study of bright light, up to lighting levels of 5000 lx with computer controlled algorithm, applied in control rooms shows that 79% of the operators report improved alertness and 64% improved

performance. Striking in the same study of bright light is also the reduction in (near) accidents in commuting home after the night shift (10% compared to 40%) [2.13].

Another aspect is the seasonal difference in mood, energy level and vitality in a substantial part of the population at our latitudes. Studies with 145 (healthy) office workers (day shift, using for at least one hour/day a bright light desk luminaire providing 2500 lx) show 62% of the people reporting lesser negative seasonal effects (on a VAS: Visual Analogue Scale), resulting in improved well-being, mood and energy level [2.14]. In other research studies stimulating effects of bright light have been found during daytime and night time aiming towards elevated levels in alertness and performance [2.11], [2.15], [2.16]. In wintertime the suppression of melatonin by electric light in the morning (so called dawn simulation) could play an important role, especially in the dark winter morning hours, as it will help people to overcome morning sleepiness. Direct stimulation could play a role in the dark afternoon hours to improve concentration and alertness.

Stress levels and complaints were studied in people working indoors under electric lighting only in comparison to people working under a combination of electric light and daylight. With artificial light only (same lighting level), hardly any difference is found in stress complaints between winter and summer [2.17]. However the stress in the group with the combined lighting was in summer substantially lower than in winter (see Fig. 2.4).

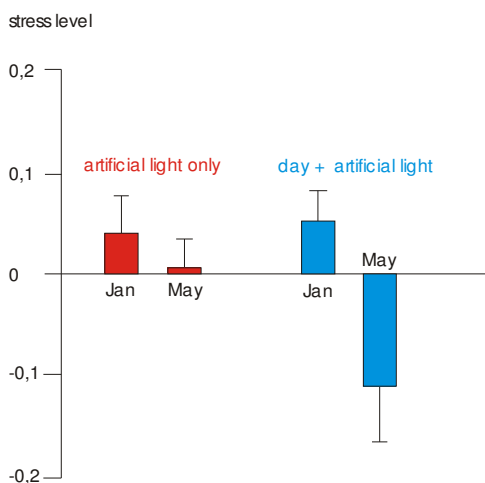


Figure 2.4 Stress levels in a group of workers working either under electric light only or under a combination of electric light and daylight (Kerkhof)

It can be assumed that the high amount of the daylight component in summer contributes to the reduced number of stress complaints. Bright light in winter as demonstrated in one of the above mentioned studies can most probably compensate this difference [2.14].

Light plays evidently an important role as good seeing conditions and a pleasant work place will stimulate positive mood and contribute through increased alertness to reduced accident rates and increased performance.

2.5 Daylight and electric light

Many of the mentioned positive effects are obtained as the result of medical and biological research projects proving that electric light can be as effective as natural light. However in the indoor environment usually the lighting levels are much lower than even the minimum lighting levels found outdoor which are in the order of 1000-2000 lx on a dull day (on a sunny day levels reach 100 000 lx). Indoor levels without daylight contributions are in the order of 100-500 lx only and usually depending

on the (minimum) requirement in the standard or recommendations which are in most cases based on horizontal illuminance while for the biological effects the illuminance on the eye is relevant. Compared to daylight lighting levels the recommended illuminance values can be considered as “biological darkness”. Fortunately in many cases daylight contributions penetrate the buildings at least for a number of hours per day increasing the overall lighting levels substantially. Another difference between daylight and electric light is the dynamics in level and colour temperature of daylight which is missing in the (windowless) interior. It is generally accepted that these changes in daylight have a positive influence on mood and stimulate people. There is in case of electric light evidence that such changes by means of dynamic indoor lighting have a stimulating effect on people. An extensive study under office conditions has shown that people prefer high additional electric lighting in an office environment (average 800 lx on top of the prevailing daylight contribution) [2.28].

If present installations all would meet the most recent lighting standards this would be an important step in realising healthy light in the workplace.

2.6 Effects of poor lighting quality

Although good quality lighting has positive effects on health, well-being and performance, it should also be emphasised that poor lighting can lead to negative effects even though people are not complaining on the quality of the lighting [2.29]. In the early nineties a lot attention is given to the so called Sick Building Syndrome: complaints of workers in office buildings on dry air, air quality, too high or too low temperatures, headache and irritated eyes and nose. In a survey in the Netherlands in 61 buildings half the people complain on air quality and 25% on health and well-being. About 30% of the people complain on the lighting [2.30]. Working in poor or low quality lighting can lead to eye strain and fatigue, influencing negatively the performance of the worker. In a number of cases it can lead to e.g. headaches [2.31]. Causes are in many cases a too low lighting level, glare from light sources and not well-balanced luminance ratios in the workplace and on the task. Headaches may sometimes be caused by so-called flicker of lamps, being the result of the use of magnetic ballast operated on the frequency of the electric supply system and/or poor maintenance of the lighting system. This flicker effects can also cause stress in people [2.32].

For a number of years electronic ballasts, operating at high frequencies in the order of 25 000 Hz, are available in the market. These lamp-ballast combinations do not show this flicker phenomenon. The occurrence of headaches is significantly lower with these types of ballast [2.31].

2.7 Final remark

In summing up it is evident that a good healthy condition, improving alertness, performance and mood will further decrease the accident rate, and have a positive effect on performance and consequently will also result in a lower absenteeism rate.

A good quality lighting, meeting both the visual and biological requirements, will contribute substantially to the productivity in the industrial processes as well as to the general health and well-being of the individual worker.

3 LIGHTING AND PRODUCTIVITY

In the previous part of this paper the relationships between lighting of good quality and visual performance, biological effects and a stimulating working environment have been discussed. Subsequently the consequences for work speed and failure rate for accident reduction, mood, alertness and health and well-being have been illustrated. All these factors together can have a considerable positive effect on the overall productivity.

It is evident that good mood and alertness together with a well maintained health condition of the industrial worker will further decrease the accident risks. Lower accidents in the industrial environment have, in turn, an additional positive effect on work performance. High work performance of course directly influences productivity in a positive sense. Added to this positive effect on productivity is the lower absenteeism which directly follows from the reduced accidents, improved mood and alertness, well maintained health and motivation connected to good-quality lighting.

Our preliminary evaluations of all data described in this paper lead to the following conclusion: Increasing the lighting level from the minimum required 300 lx to 500 lx leads to an increased productivity

- based on conservative assumptions: 10-25%
- based on probably more realistic assumptions: 10-40%

but certainly to more than 10%.

Nowadays most lighting installations in industry are hardly achieving the (minimum) required 300 lx. Those lighting installations consist most of the time of old fashioned bare battens with conventional electro-magnetic ballasts and standard fluorescent lamps. In the “better” installations the battens are provided with a simple (white) metal reflector to prevent the light going to the ceiling.

A good quality installation would consist of a luminaire with an optical system that brings the light where it is really needed, provided with three-band fluorescent lamps with a colour rendering index of 80 or more, flicker-free operated on a high-frequency ballast.

Because of the higher lighting efficiency of such an installation, the far higher efficacy of the fluorescent lamps and the lower energy losses in the high-frequency ballast, energy savings up to 70% compared with the existing installation can be achieved. In such a case, increasing the lighting level from 300 lx to 500 lx would still result in a lower consumption of energy and thus to lower operating costs for lighting.

The investment for a better quality lighting installation and an increased lighting level of 500 lx will be paid back by the financial gain achieved by the increase in productivity within a very short periode of usually (much) less than one year.

REFERENCES

References Chapter 1

- [1.1] Fortuin, G. J., “Visual power and visibility”, Philips Research Report 6, (1951)
- [1.2] Draft European Standard prEN 12464, “Lighting of work places”, (1998) (Comité Européen de Normalisation, CEN)
- [1.3] CIE Publication 29.2: “Guide on interior lighting” (1986)
- [1.4] Lange, H., “Handbuch für Beleuchtung”, SLG, LiTG, LTG, NSVV, 5. Auflage, Ergänzung 1999
- [1.5] Fördergemeinschaft Gutes Licht, “Industrielle verlichting xxxxxxxxxxxx”, 19xx
- [1.6] Völker, S., “Eignung von Methoden zur Ermittlung eines notwendigen Beleuchtungsniveau”, Dissertation, Ilmenau, 1999
- [1.7] Völker, S., Rüschenschmidt, H., und Gall, D., “Beleuchtung und Unfallgeschehen am Arbeitsplatz”, Zeitschrift für die Berufsgenossenschaften, 1995
- [1.8] Clements-Croome, D., et al., “An assessment of the influence of the indoor environment on the productivity of occupants in offices”, Design, constructions and operations of healthy buildings, ASHRAE, 1998
- [1.9] Preller, L., et al., “Gezondheidsklachten en klachten over het binnenklimaat in kantoorgebouwen”, Directoraat Generaal van de Arbeid, 1990
- [1.10] Wilkens, A. J., Nimmo-Smith, I., Slater, A., Bedocs, L., “Fluorescent lighting, headaches and eyestrain”, Lighting Research and Technology, 1989
- [1.11] Küller, R., Laike, T., “The impact of flicker from fluorescent lighting on well-being, performance and physiological arousal”, Ergonomics, 1998

References Chapter 2

- [2.1] Brainard, G.C., Effects of light on physiology and behaviour. Proceedings CIE session, New Delhi, 1996
- [2.2] OTA, Congress of the US, Biological rhythms. US DOCS Y 3.T 22/2 2B 57/8
- [2.3] Czeisler, C.A., et al., Stability, precision and near-24-hour period of the human circadian pacemaker. Science 284, 2177-2281, 1999
- [2.4] Boulos, Z., et al., Light treatment for sleep disorders: Consensus Report VII Jet lag. Journal of biological rhythms, Vol.10, 1995
- [2.5] Colquhoun, W.P., et al. Shift work, Problems and solutions, Chapter 2. ISBN 3-631-49133-6, 1996
- [2.6] Mehrabian, A., Russell, J.A., An approach to environmental psychology. Cambridge, MA: MIT press, 1974
- [2.7] Mersch, P.P.A., et al. The prevalence of seasonal affective disorder in the Netherlands: A prospective and retrospective study of seasonal mood variation in the general population. Biol. Psychiatry 45 (1999) 1013-1022
- [2.8] Boyce, P.R., et al. Lighting the graveyard-shift: the influence of a daylight-simulating skylight on the task performance and mood of night shift workers. Lighting Research and Technology 29(3) 105-134 (1997)
- [2.9] Daurat, A., et al. Bright light affects alertness and performance rhythms during a 24-hour constant routine. Physics and behaviour, 1993
- [2.10] Grunberger, J., et al. The effect of biologically active light on the nocturnal and diurnal psychophysiological variables in healthy volunteers. Int. J. of Psychophysiology, 1993
- [2.11] Tops, M., et al. The effect of the length of continuous presence on the preferred illuminances in offices. Proceedings CIBSE Conference, 1998
- [2.12] Kuller, R. et al. Melatonin, cortisol, EEG, ECG and subjective comfort in healthy humans: impact of two fluorescent lamp types at two light intensities. Lighting Research and Technology, 1993
- [2.13] Baker, T.L., Use of circadian lighting system to improve night shift alertness and performance at the US Nuclear Regulatory Commission Headquarters Operations Centre. Proceedings ANS International meeting, Washington, 1995
- [2.14] Partonen, T. et al. Bright light improves vitality and alleviates distress in healthy people. Journal of Affective disorders 57 (2000) 55-61
- [2.15] Cajochen, C. et al. Dose response relationship for light intensity and ocular and electro-encephalographic correlates of human alertness. In press.
- [2.16] Zeitzer, M.Z., et al. Sensitivity of the human circadian pacemaker to nocturnal light: melatonin phase resetting and suppression. Journal of Physiology (2000), 526.3, pp. 695-702
- [2.17] Kerkhof, G.A., Licht en prestatie. Proceedings. Symposium Licht en Gezondheid, Amsterdam, 1999
- [2.18] Mikellides, B., Emotional and behavioural reaction to colour in the built environment. Thesis Oxford, 1989
- [2.19] Ueyama, T. et al. Supra-chiasmatic nucleus: a central autonomic clock. Nat. Neuroscience (1999) 2(12) 1051-1053
- [2.20] Scheer, F.A., et al. Light and diurnal cycle affect human heart rate: possible role for the circadian pacemaker. Journal of Biological Rhythms 1999 (3) 202-212
- [2.21] Scheer, F.A., et al. Light affects morning salivary cortisol in humans. Journal of Clinical Endocrinological Metabolism 1999 (9) 3395-8
- [2.22] Lam, R., et al. Canadian consensus guidelines for the treatment of seasonal affective disorder. 1998.
- [2.23] Van Someren, E.J.W., Rest activities in ageing, Alzheimer's disease and Parkinson's disease. Thesis 1997
- [2.24] Lam, L.W., Light therapy for seasonal bulimia. American Journal of Psychiatry, 1989
- [2.25] SLTBR (Society for light treatment and biological rhythms. Various publications and bulletins)
- [2.26] Veitch, J.A. Full-spectrum lighting effects on performance, mood and health. National Research Council Canada, Internal Report No. 659, June 1994
- [2.27] Vallenduuk, V. The effects of variable lighting on mood and performance in an office environment. Graduation thesis, TUE Eindhoven, 1999
- [2.28] Begemann, S.H.A., et al. Daylight, artificial light and people in an office environment, overview of visual and biological responses. International Journal of Industrial Ergonomics 20 (1997) 231-239
- [2.29] Padmos, P. Adverse effects of fluorescent lighting on health and well-being ? A literature study (Dutch). TNO ISBN 90-5307-180-6 (1991)
- [2.30] Leijten, J., et al. Sick building blijft tol eisen. Klachten over kou en hoofdpijn klinken ook in nieuwe kantoren. Onderzoek Bouw 04/april 2000
- [2.31] Wilkins, A.J., et al. Fluorescent lighting, headaches and eyestrain. Lighting Research and Technology 1989
- [2.32] Kuller, R., et al. The impact of flicker from fluorescent lighting on well-being, performance and physiological arousal. Journal of Ergonomics, 1998

Paper presented at the International Conference ILUMINAT 2001, June 28-30, 2001, Cluj-Napoca

ILUMINATUL INDUSTRIAL, PRODUCTIVITATE, SĂNĂTATE ȘI CONFORT

Rezumat

În prezent, resursele umane sunt considerate în multe companii ca cel mai important bun. din rațiuni atât economice cât și ale stării de sănătate și confort a oamenilor, siguranța, reducerea accidentelor și absenteismului au primit o atenție sporită. În multe țări sunt luate o serie de măsuri și există sau este în pregătire o legislație privind regulile de siguranță. Cu toate aceste eforturi, pierderile directe economice sunt în jur de 2,8-3,6% din PIB în țările membre, egale cu 100-200 milioane zile de muncă anual. De altfel, pe lângă tragediile personale, politicile UE și cele naționale se adresează costurilor sociale ale îngrijirii medicale și ale reintegrării muncitorilor după boală. Un alt aspect este cel al forței de muncă vârstnice, cu un grad mai mare de absenteism și o rată relativ ridicată de accidente fatale. Se remarcă o alunecare spre o societate de 24 ore, în special în procesele de producție intensivă și în organizații de servicii. Competitivitatea globală contribuie de asemenea la creșterea procentului de activități de 24 ore în multe afaceri. Ca o consecință, muncitorii trebuie să desfășoare o activitate din ce în ce mai bună independent de momentul din zi.

Un bun iluminat al sarcinii și a locului de muncă este cerut pentru o optimizare a performanței sarcinii (vizuale), în special având în vedere forța de muncă vârstnică. Efectele unui bun iluminat sunt chiar mai importante, din moment ce medicina a arătat în ultimele două decade influența pozitivă a luminii asupra sănătății și a confortului, din moment ce lumina controlează ceasul biologic. Acest ceas al corpului reglează ritmul zilnic al proceselor fiziologice și psihologice, cum este nivelul secreției hormonale, starea de concentrare, forma psihică, ciclul trează-somn, temperatura corpului și multe altele. Aceste aspecte ale unui bun iluminat industrial vor deveni mai importante în orpașii de 24 de ore. Soluții de iluminat dedicate vor fi necesare.

Standardele de iluminat industrial actuale sunt bazate pe necesarul de lumină pentru desfășurarea eficientă a sarcinii vizuale. Cerințele lumino tehnice sunt îndeplinite de iluminatul general al locului de muncă, eventual mărite cu un iluminat local al sarcinii/utilajului. Este evident că, în general, cerințele de calitate a iluminatului pentru industrie sunt mai scăzute decât, de exemplu, al celor pentru birouri. De altfel, multe sisteme de iluminat industriale sunt foarte vechi și depășite sub aspect economic și al calității. Ne-am aștepta la contrariul: cele mai bune sisteme de iluminat ar trebui să fie cele din mediul industrial, pentru productivitate îmbunătățită și din rațiuni de siguranță și sănătate. Un iluminat mai bun va contribui în mod pozitiv la mărirea vitezei și reducerea pierderilor de performanță, siguranță și rata accidentelor, absenteism, sănătate și confort.

În această lucrare este discutată importanța iluminatului industrial cu o calitate ridicată ca factor de îmbunătățire a productivității. Impactul luminii asupra vederii, performanței, stării de concentrare, confortului etc. sunt arătate în modelul ce va analiza pe baza cunoașterii actuale asupra relației lumină & vedere și lumină & sănătate.

În concluzie, iluminatul industrial va trebui să fie în atenția companiilor din punctul de vedere al economiei, sănătății și confortului muncitorului și politicii de sănătate publică și costuri.

1 ILUMINATUL INDUSTRIAL

Iluminatul industrial acoperă o gamă largă de spații interioare și sarcini de lucru: de la mici ateliere până la mari hale de producție, și de la lucrări de precizie până la sarcini de lucru industriale. În mediile industriale deseori trebuie să ne bazăm într-o măsură importantă doar pe iluminatul artificial. Acolo unde iluminatul natural neorboritor poate intra în zonele industriale, poate juca un rol important în obținerea unor iluminări satisfăcătoare în momentele când este disponibil. Este esențială o legătură bună cu iluminatul artificial. Există trei sisteme de iluminat artificial folosite în interioarele industriale: iluminatul general, iluminatul localizat și iluminatul pentru sarcini de lucru locale. Iluminatul general

este proiectat pentru a produce o iluminare relativ uniform pe întreaga arie a planului de lucru. În acele interioare unde aranjamentul pozițiilor de lucru este permanent, utilizarea iluminatului localizat, cu concentrarea iluminărilor mari în punctele de lucru, poate conduce la instalații mai eficiente din punctul de vedere al costurilor. Cerințele de iluminat pentru anumite sarcini de lucru pot fi atât de stringente încât nu este nici tehnic fezabil, și nici economic viabil să realizăm iluminarea doar folosind iluminatul general. Iluminarea sarcinilor de lucru locale este, astfel, folosită pentru a suplimenta iluminatul general.

1.1 Performanța vizuală și iluminarea

Calitatea iluminatului ar trebui să garanteze întotdeauna o performanță vizuală suficientă pentru sarcinile de lucru. Cercetarea cantității și calității iluminatului în ultimele decenii a arătat că îmbunătățirea calității iluminatului de la un nivel scăzut sau moderat crește viteza și acuratețea cu care obiectele pot fi detectate și recunoscute. Performanța vizuală reală a unei persoane este dependentă de calitatea iluminatului și de abilitățile sale vizuale. În acest caz, vârsta este un criteriu important. Odată cu înaintarea în vârstă, este necesară din ce în ce mai multă lumină. Figura 1.1 reprezintă cererile relative de lumină pentru a citi o carte bine tipărită, în funcție de vârstă. Dacă cerința la vârsta de 10 ani este considerată 1, urmează că o persoană de 60 ani cere în medie de 15 ori mai multă lumină! Acest efect devine, desigur, din ce în ce mai important pe măsură ce forța de muncă îmbătrânește.

Figura 1.2 servește ca ilustrație a multor rezultate de cercetare relativ la influența calității iluminatului asupra performanței vizuale. Figura prezintă performanța vizuală relativă în funcție de nivelul de iluminat pentru sarcini de lucru de dificultăți diferite. Una pentru o sarcină de lucru moderată (ca, de exemplu, relevantă pentru lucrul general la o mașină) și o alta pentru o sarcină dificilă (ca, de exemplu, asamblare fină sau inspectare a culorilor). Pentru toate sarcinile este indicată o creștere clară a performanței vizuale dacă calitatea iluminării, în acest exemplu nivelul iluminării, crește. Din această figură devine, din nou, evident că efectul vârstei asupra performanței vizuale este foarte important. Pentru același nivel de performanță vizuală calitatea iluminării trebuie să fie mai mare pentru muncitorii mai vârstnici. Dar pentru sarcini vizuale dificile, iluminarea nu poate compensa complet efectul deteriorant al vârstei. Fiind dată creșterea în vârstă medie a forței de muncă pentru anii următori (20% creștere a grupului de vârstă cuprins în intervalul 50-65 ani în următorii 15 ani) aceasta înseamnă că, fără schimbări în nivelurile de iluminare, performanța muncitorilor va scădea. În grafic sunt indicate nivelurile de iluminat cerute pentru cele două sarcini de lucru, așa cum sunt specificate în propunerea de standard european a CEN [1.2]. Se arată că aceste cerințe ale CEN sunt, de fapt, conservatoare, mai degrabă decât prea pretențioase, dacă ținem seama de efectul vârstei.

O îmbunătățire în performanța vizuală produce, în schimb, o îmbunătățire în performanța de lucru. Această îmbunătățire este reflectată într-o producție mai mare și într-un număr mai mic de erori. Măsura în care o calitate mai bună a iluminatului îmbunătățește performanța de lucru este, desigur, dependentă de componenta vizuală a sarcinii de lucru. O sarcină cu o componentă vizuală importantă va beneficia mai mult de condiții vizuale bune decât o sarcină cu o componentă vizuală mai puțin importantă.

Ca un exemplu, Tabelul 1 sumarizează din diferite publicații, pentru diferite sarcini industriale, creșterea în performanța de lucru și reducerea rebuturilor produse ca urmare a îmbunătățirii calității iluminatului. Figurile 1.3 și 1.4 sumarizează tendința generală a îmbunătățirii în performanța de lucru și reducerea erorilor împreună cu creșterea nivelului de iluminare.

1.2 Reducerea accidentelor și iluminatul

Accidentele sunt deseori o preocupare în mediul industrial. Rănile fizice rezultate și angoasa mentală sunt uneori responsabile de pierderi considerabile în producție. Statisticile arată că numărul accidentelor industriale este în creștere. De exemplu, în Olanda, numărul înregistrat de accidente industriale este în creștere cu 40% de-a lungul ultimilor trei ani. Există dovezi clare că multe tipuri de accidente industriale pot fi evitate prin oferirea unor condiții vizuale mai bune. Într-un studiu german de simulare a accidentelor într-un depozit s-a arătat că la niveluri de iluminare mai ridicate pericolele potențiale au fost, într-adevăr, mai bine recunoscute [1.6].

Riscul unui accident este, de asemenea, redus când există o mai mare conștientizare a situațiilor potențial periculoase și când dispoziția, atenția și sănătatea muncitorului industrial sunt promovate printr-un iluminat de bună calitate (vezi și Capitolul 2). Acest efect poate fi important deoarece un număr considerabil de accidente sunt cauzate de un grad scăzut de concentrare și un grad ridicat de oboseală din partea muncitorului.

Desigur, gradul în care numărul de accidente poate fi redus depinde foarte mult de tipul de industrie și de situația de mediu. Tabelul 2 prezintă gradul de reducere a accidentelor pentru două din sarcinile industriale listate în Tabelul 1, unde au fost înregistrate îmbunătățirile de performanță și reducerile rebuturilor.

Figura 1.5, rezultând dintr-un alt studiu, prezintă numărul de accidente la locul de muncă în funcție de nivelul de iluminare pentru diferite tipuri de răni. Din nou, tendința este în mod evident de reducere a numărului de accidente împreună cu îmbunătățirea calității iluminatului.

În Figura 1.6 sunt combinate toate accidentele analizate în acest studiu. Devine foarte clar că locurile de muncă cu niveluri de iluminare între 50 și 250 lx sunt confruntate cu un număr relativ ridicat de accidente.

Este important de notat că nu doar nivelul de iluminare, ci toate aspectele calității iluminatului joacă un rol în prevenirea accidentelor. Aceste aspecte de calitate vor fi abordate în mai mare detaliu în următoarea secțiune. Aici este suficient să menționăm că iluminatul neuniform poate crea probleme de adaptare care afectează vizibilitatea corespunzătoare. Orbirea excesivă conduce, de asemenea, la probleme severe de adaptare, cu toate consecințele negative ale acestora. Efectele stroboscopice ale iluminatului pot duce la situații periculoase în locuri unde este important ca părțile în mișcare ale mașinilor să fie văzute corect. Iluminatul operat în mod electronic prin înaltă frecvență elimină complet acest pericol potențial. Și, finalmente, iluminatul cu proprietăți de culoare slabe poate conduce la judecarea în mod incorect a unor situații potențial periculoase.

1.3 Iluminatul și mediul de lucru

În afară de influența pe care iluminatul o are asupra performanțelor vizuale, iluminatul are o influență și asupra mediului de lucru. Mediul global de lucru, dacă este corect proiectat, poate avea un efect stimulator asupra oamenilor care lucrează în acel loc [1.8]. Astăzi se acordă o mare importanță formatului și proiectării interioare a locului de muncă. Iluminatul poate avea aici un rol important: în timp ce poate scoate în evidență elemente pozitive ale proiectării, poate să și distragă atenția de la acestea, de exemplu printr-o redare slabă a culorilor sau prin efecte de orbire. Astfel de deficiențe conduc deseori la plângeri în legătură cu iluminatul [1.9]. A fost deja menționat că, dacă și când este disponibil, iluminatul natural poate avea un efect pozitiv important. În ceea ce privește aspectul cantitativ, acesta servește în cele mai multe locuri doar ca un supliment al iluminatului artificial. Efectul calitativ pozitiv este în special legat de “vederea de exterior” pe care o oferă. Ar trebui să se acorde o atenție specială efectelor secundare negative ale iluminatului natural cauzate de orbirea excesivă.

1.4 Cerințele unui iluminat de calitate

S-a arătat că pentru a permite oamenilor să realizeze sarcini vizuale eficiente, cu acuratețe și în siguranță, în special nivelul iluminării are o influență importantă. Totuși, și alte aspecte de calitate ale iluminatului, anume uniformitatea modelului de iluminare, restricția de orbire și redarea culorilor sunt foarte importante.

Iluminarea neuniformă, cu schimbări abrupte ale luminanței în jurul zonei de lucru, poate conduce la stres vizual și disconfort. Aceasta are legătură cu proprietățile de adaptare ale ochiului. O uniformitate suficientă a iluminării generale va asigura niveluri de iluminare suficient de mari pentru a oferi o libertate completă în modul de plasare a mașinilor și locurilor de lucru.

Orbirea este senzația produsă de strălucirile în câmpul vizual mult mai mari decât strălucirea la care este adaptat ochiul. Aceasta poate conduce la o reducere a performanței vizuale și la disconfort. O orbire prea mare poate conduce chiar la dureri de ochi și de cap. Aceeași problemă poate apare dacă

există diferențe excesive în erorile de strălucire între suprafețele din interior. Este, astfel, important să limităm strălucirea pentru a evita erorile, oboseala și accidentele. Gradul de restricție a orbirii depinde foarte mult de calitatea optică a corpurilor de iluminat folosite în combinație cu tipul de lampă folosit. Datorită dimensiunilor lor mari, lămpile fluorescente au luminanțe mai mici decât lămpile cu descărcare în gaz, de intensitate mare (lămpi cu mercur, sodiu și ioduri metalice, cu presiune mare). Este ușor de limitat orbirea cu lămpi având luminanțe mici.

Un obiect colorat este perceput ca fiind astfel în virtutea faptului că reflectă doar o parte din lumina incidentă pe el. Vopseaua roșie, de exemplu, reflectă un procentaj mare din lungimile de undă roșii – cu cât mai mare este cantitatea de roșu din lumina incidentă, cu atât mai roșu este obiectul. Modul în care culorile din jurul nostru sunt redată este, astfel, puternic dependent de calitățile de redare a culorilor a iluminatului. Indicele de redare a culorilor, R_a , al unei surse de iluminat este măsura acestei calități. R_a poate avea valori de la zero (fără redarea culorilor) la 100 (redare excelentă a culorilor). Redarea corectă a culorii pielei umane este importantă în mod special. Iluminatul care face ca pielea să arate palidă și nesănătoasă deseori duce la plângeri. Printr-o alegere corespunzătoare a sursei de iluminat (redarea culorilor R_a de cel puțin 80), această problemă este ușor de evitat. Lămpile cu un indice de redare a culorilor mai mic decât 80 dau rezultate inacceptabile în interioarele unde oamenii lucrează sau locuiesc; acestea sunt inacceptabile din punctul de vedere al performanței lucrului, dar de asemenea inacceptabile din punctul de vedere al stării de spirit și dispoziției bune. Cerința pentru un R_a de 80 sau mai mult este în special importantă când se pune problema alegerii tipului corect de lampă tubulară fluorescentă, din cauza multitudinii de lămpi disponibile. Pentru mediile de lucru, doar acele lămpi fluorescente tubulare cu un cod de culoare de 830 sau mai mare satisfac această condiție.

Totuși, în practică, în aproximativ 80% din instalațiile de iluminat se utilizează surse de iluminat cu indici de redare a culorilor mult mai mici. Motivul este, deseori, costul inițial mai mic. Ar trebui să notăm că, totuși, dacă costul total al instalației (inclusiv costul energiei) este luat în considerare, lămpile moderne cu redare bună a culorilor sunt mai economice.

Multe recomandări și standarde naționale și internaționale specifică numere ale calității iluminatului pentru toate aceste aspecte de calitate pentru o varietate mare de activități și interioare. Tabelul 3 sumarizează aspectele de calitate ale unei instalații de iluminat împreună cu cel mai important parametru al fiecărui aspect.

Ca o ilustrare a calității care se cere în situații diferite, Tabelele de la 4 la 6 prezintă valorile cerute pentru trei tipuri de industrie: industria chimică, centralele electrice și industria tipografică. Aceste cerințe sunt valorile date într-un proiect de standard european (draft 1998) pentru locuri de muncă, care satisfac nevoile de performanță vizuale, confort și siguranță. Desigur, același standard specifică valori pentru multe alte tipuri de industrii. (Valorile specificate pentru iluminarea medie sunt numite și “valori ale iluminării de întreținere”: valori sub care iluminarea medie pe suprafața specificată nu este permis să scadă).

Un criteriu de calitate rareori menționat în standarde este frecvența cu care lămpile sunt utilizate. Unii oameni acuză dureri de cap din cauza pâlpâirii lămpilor fluorescente operate pe balasturi magnetice (50 Hz). Lămpile fluorescente pe balasturi electronice moderne operate la frecvență înaltă (în jurul a 30.000 Hz) nu prezintă acest fenomen de pâlpâire. Într-un studiu comparativ s-a găsit că apariția durerilor de cap este, într-adevăr, semnificativ mai mică la utilizarea balasturilor electronice [1.10]. Pe baza influenței sale asupra modelului undelor de bază ale creierului (EEG), un alt studiu descrie lumina fluorescentă produsă de lămpile operate cu balasturi magnetice convenționale, ne-electronice ca o sursă potențială de stres [1.11]. Desigur, balasturile electronice de frecvență mare sunt, de asemenea, recomandate pentru că sunt mai eficiente și asigură o durată de viață mai mare a lămpilor decât în cazul lămpilor operate cu balasturi convenționale.

2 Iluminatul. Efectele biologice ale iluminatului

2.1 Aspecte generale

Pâna acum câteva secole în urmă, viața omului a fost influențată de ciclul zi-noapte și de ritmul veghe-somn. O dată cu revoluția industrială și, în special, o dată cu descoperirea energiei electrice,

societatea și-a extins gradual perioada activă a zilei, acum îndreptându-ne spre societatea activă timp de 24 de ore. Lucrul în schimburi, inclusiv schimbul de noapte, este deja de mulți ani aplicat în procesele de producție, de exemplu în industria metalurgică și alimentară și spitale. Astăzi, o dată cu globalizarea activităților multor companii, a dezvoltării serviciilor IT și a numeroaselor călătorii intercontinentale, numărul oamenilor care nu lucrează după un program fix cunoaște o ascendență rapidă. În multe țări, o parte substanțială - 15% - 25% - a populației active lucrează într-o altă formă a programului schimbat, fie că este în producție, transporturi sau servicii.

Din timpuri străvechi, beneficiul efectului luminii (naturale) a fost bine cunoscut și utilizat, de exemplu în helioterapie. Terapia luminii în rezolvarea problemelor de sănătate a fost una din cele mai populare metode de terapie până în anii 1930, însă, o dată cu inventarea penicilinei, farmaceutica a trecut în frunte. Datorită importanței luminii în relație cu sănătatea și bunăstarea în ultimii 20-30 de ani, ea a fost redescoperită în urma multelor și variatelor descoperiri biologice și cercetări medicale.

În mod normal noi considerăm ochiul ca un organ al vederii, însă, după descoperirea conexiunilor adiționale dintre ochi și creier, s-a evidențiat că lumina oculară mediază și controlează un mare număr de procese psihice și fiziologice umane. Cele mai relevante descoperiri privind efectele luminii oculare sunt:

- controlul ceasului biologic
- efectele directe (stimulative)
- influența asupra dispoziției.

2.2 Lumina și ceasul biologic

În noua știință a crono-fotobiologiei, lumina este considerată ca cel mai important factor - deseori denumit "Zeitgeber" - în controlul ceasului intern al organismului, localizat în nucleii chiasmatici localizați în hipotalamus [2.1]. Lumina oculară trimite prin intermediul unui sistem nervos separat, semnale ceasului nostru biologic localizat în creier, care determină ritmurile zilnice și anuale (sezoniere) [2.2] a unor variate procese ale organismului. Într-un cadru natural, lumina oculară, în special lumina răsăritului, sincronizează ceasul intern al organismului la ceasul naturii sau la ciclul de 24 de ore zi-noapte determinat de rotația pământului. Fără lumină, acest ceas intern ar funcționa liber cu perioada de 24 de ore și 15 minute și, ca o consecință, ceasul intern va devia zi de zi, din ce în ce mai mult, de ceasul naturii [2.3]. Rezultatul ar fi acela al unui simptom similar cu cel întâlnit la călătoriile peste câteva fusuri orare [2.4].

În figura 2.1 sunt ilustrate câteva ritmuri umane tipice, de notat fiind faptul că acestea au fost netezite, astfel mascându-se anumite efecte (efectul temporar al foamei, setei etc.). Figura evidențiază doar câteva exemple: temperatura corpului, atenția și ritmul hormonal al cortizonului (hormonul stresului) și melantonina (hormonul somnului). Un alt aspect important este, de exemplu, ciclul somn-veghe, somnolența, oboseala, buna dispoziție și performanța.

Cei doi hormoni, cortizonul și melantonina, joacă un rol important în atenție și somn. Nivelul cortizonului crește dimineața pregătind corpul și mintea pentru o nouă zi de activitate. În același timp, nivelul melantoninei scade, reducând somnolența. Melantonina este cunoscută popular ca hormonul somnului, inducând starea de somnolență. De exemplu, melantonina este utilizată ca somnifer pentru a rezolva problema diferenței de fus orar. Seara, creșterea nivelului melantoninei pregătește ciclul somnului și menține calitatea somnului în timpul nopții, ducând la începutul unei zile cât mai fructuoase. Lumina are capacitatea de-a suprima direct producerea de melantonină, de exemplu lumina în timpul nopții reduce nivelul melantoninei în cursul unei jumătăți de oră și, de asemenea, lumina dimineții ajută la reducerea nivelului de melantonină, deci la trezire.

Plecând de la aceste exemple este evidentă importanța funcționării corecte a ambelor ritmuri hormonale de-a lungul timpului în care suntem treji și influența directă asupra gradului de atenție (a se vedea de asemenea capitolul 2.4).

Corecta dozare și temporizare a luminii naturale este, deci, foarte importantă pentru a ține ceasurile extern și intern în fază unul cu celălalt, mai ales deoarece ceasul nostru intern reglează ritmul zilnic care este relevant în activitatea noastră cotidiană, cum ar fi atenția, somnolența, oboseala, buna dispoziție, performanța. [2.2], [2.5].

2.3 Lumina și efectele directe de stimulare a organismului

Efectele stimulative directe ale luminii sunt recunoscute de aproape oricine, mai ales când comparăm vara și iarna, dar de asemenea și în ambianța interioară (de lucru). [2.18]. Aceasta este, parțial, un efect psihologic, dar așa cum s-a ilustrat mai sus, comportamentul corporal își aduce contribuția la aceasta. Diferite niveluri ale luminii produc schimbări ale formei EKG-ului și, ca o consecință, influențează sistemul nervos central, rezultând astfel efecte asupra diferitelor funcții ale organismului. De asemenea, sunt influențate procesele organismului prin înlăturarea de către lumină a melatoninei (a se vedea mai sus).

Recentele descoperiri sugerează pe deasupra și efectele luminii asupra băților inimii, nivelului de insulină etc. [2.19], [2.20], [2.21]. Aceste recente descoperiri arată în mod fundamental un număr crescut de căi nervoase directe sau indirecte de la ochi la diferite glande al corpului uman. Multe din aceste efecte pot fi la fel de bine raportate la ceasul biologic. Cercetarea a arătat că terapia luminoasă este utilă în cazul diferitelor dereglări ale somnului, bolii Alzheimer și multor altele, care sunt subiectul unor viitoare cercetări, ca de exemplu PMS, anorexia, bulimia, sistemul imunitar etc. [2.22], [2.23], [2.24], [2.25].

2.4 Lumină, bună dispoziție și atenție

Buna dispoziție este reflecția simțirii proprii, a stării fizice de bine sau de rău, iar mental, a te simți mai mult sau mai puțin în alertă [2.6]. Alți factori ce influențează dispoziția sunt, de exemplu, și vremea/sezonul [2.7], respectiv în cazul locului de muncă: vederea condițiilor și a ambianței (vizuale). În domeniul industrial, atenția este de primă importanță deoarece este un factor nu numai pentru buna dispoziție ci și pentru performanță și evitarea accidentelor. Atenția este puternic influențată la un moment dat al zilei de un comportament endogen, aferent unui ceas biologic zilnic, (crescător dimineața, stabil la amiază și descrescător în timpul serii târzii) și de un comportament exogen, descrescător de-a lungul perioadei de trezire. Atenția subiectivă la un moment dat al zilei este combinația acestor două componente, mai puțin probabil ca o sumă a acestora, dar într-o relație mai complexă. Aceasta conduce, de asemenea, la așa numitul dejun - lung (lunch-dip) cu o relativ înaltă înclinație spre somn și, de exemplu, cu un număr crescut de accidente de trafic.

Considerând ritmul atenției (fig. 2.1) nu este remarcabil că multe investigații ale efectelor luminii asupra atenției și nivelului de trezire au fost desfășurate în condițiile unui schimb de producție (de noapte), deoarece la nivel scăzut de trezire și efectele așteptate sunt mai puternice. Figura 2.2 arată efectul a două regimuri de iluminat în trezire ca o funcție de timpul de muncă pentru muncitorii din schimburi [2.8].

Un declin în trezire de-a lungul nopții apare pentru ambele condiții, dar regimul iluminării puternice se concretizează într-o creștere semnificativă a nivelului de trezire.

Alte studii arată că utilizarea unor niveluri înalte ale iluminatului pentru a face față oboselii sunt conduc spre o stare prelungită de atenție [2.9], [2.10], [2.11]. Aceasta ține de asemenea de conținutul EKG-ului, cu mai puține unde delta (care este un indicator pentru somnolență), ceea ce înseamnă că lumina strălucitoare are o influență alertă asupra sistemului nervos central (a se vedea Fig.2.3) [2.12].

În sfârșit, un studiu al luminii strălucitoare, până la niveluri de luminare de 5000 lx aplicat în camere de control cu algoritm controlat de computer, arată că 75% dintre operatori au raportat o mărire a atenției, iar 64% și-au îmbunătățit performanța. Frapant în același studiu al luminii strălucitoare este reducerea accidentelor în cazul întoarcerii acasă după tura de noapte (10% comparativ cu 40%) [2.13].

Alt aspect este cel al deosebirilor sezoniere în buna dispoziție, nivelul energiei și vitalitatea a unei părți considerabile din populație la latitudinea noastră. Studiile cu 145 de funcționari (sănătoși, în tură de zi, folosind pentru cel puțin o oră pe zi un luminator cu lumină strălucitoare asigurând 2500 lx) arată că 62% dintre oamenii raportând mai puține efecte sezoniere negative (pe un VAS: Visual Analogue Scale), rezultând într-o stare de bună dispoziție îmbunătățită, dispoziție și nivel de energie [2.14]. În alte studii de cercetare, efectul stimulant al luminii strălucitoare a fost descoperit în timpul zilei și al nopții ducând spre niveluri înalte de atenție și performanță [2.11], [2.15], [2.16]. În timpul

iernii suprimarea melatoninei de către lumina electrică a dimineții (așa numita simulare a răsăritului) ar putea juca un rol important, în special în orele întunecate ale dimineții, deoarece va ajuta oamenii să depășească somnolența dimineții. Stimularea directă poate juca un rol în orele întunecate ale după-amiezei pentru a îmbunătăți concentrarea și atenția.

Nivelul de stres și nemulțumirile au fost studiate la oameni care lucrează în încăperi luminate electric, în comparație cu oameni lucrând sub o combinație de lumină electrică și lumină a zilei. Numai cu lumină artificială (același nivel de iluminare) nu se observă nici o diferență în nemulțumirile legate de stres între iarnă și vară [2.17]. Oricum, stresul în grupul cu lumina combinată a fost pe timpul verii mult mai scăzut decât în iarnă (vezi Fig. 2.4).

Se poate presupune că o componentă mai mare a luminii naturale în timpul verii contribuie la numărul redus de plângeri legate de stres. Lumina strălucitoare în timpul iernii așa cum s-a demonstrat într-unul din studiile mai sus menționate poate fi probabil compensată de această diferență [2.14].

Lumina joacă un rol important evident de vreme ce condițiile optice bune și un loc de muncă plăcut va stimula pozitiv buna dispoziție și va contribui prin atenție crescută la reducerea ratelor de accidentare și la creșterea performanței.

2.5 Lumina naturală și lumina electrică

Multe din efectele pozitive menționate sunt obținute ca un rezultat al unor proiecte de cercetare medicale și biologice dovedind că lumina electrică poate fi la fel de eficientă ca lumina naturală. În orice caz, nivelurile de iluminare în spațiile interioare sunt, de obicei, mult mai scăzute decât nivelurile de iluminare minime găsite în exterior, care sunt de ordinul a 1000-2000 lx într-o zi înnorată (într-o zi însorită nivelurile ajung la 100.000 lx). Nivelurile din încăperile fără contribuție a luminii naturale sunt doar de ordinul a 100-500 lx și, de obicei, depind de cerințele minime conform standardelor sau recomandărilor care sunt în cele mai multe cazuri bazate pe iluminarea orizontală, în timp ce, pentru efectele biologice, este relevantă iluminarea pe ochi. Comparativ cu nivelurile luminii naturale, valorile recomandate ale iluminării pot fi considerate ca “întuneric biologic”. Din fericire, în multe cazuri, lumina naturală pătrunde în clădiri cel puțin pentru un număr de ore pe zi, crescând per ansamblu în mod substanțial nivelurile de iluminare în interior. Altă diferență între lumina naturală și lumina electrică este dinamica în nivel și temperatura culorii luminii naturale care lipsește în interiorul fără ferestre. Este general acceptat că aceste schimbări în lumina naturală au o influență pozitivă asupra bunei dispoziții și stimulează oamenii. În cazul lumini electrice este evident că astfel de schimbări realizate cu ajutorul unui iluminat interior dinamic au un efect pozitiv în buna dispoziție și stimulant asupra oamenilor. Un studiu extensiv realizat în condiții de birou a arătat că oamenii preferă un iluminat electric adițional mai mare (în jur de 800 lx suplimentar față de contribuția luminii naturale care prevalează) [2.28].

Dacă instalațiile actuale ar fi la cele mai recente standarde de iluminare acesta ar fi un pas important în realizarea unei lumini sănătoase la locul de muncă.

2.6 Efectele unei slabe calități a iluminatului

Deși o calitate bună a iluminatului are efecte pozitive asupra sănătății, bunei dispoziții și performanței, ar trebui accentuat faptul că iluminatul insuficient poate conduce la efecte negative chiar și la persoane care nu se plâng de calitatea iluminatului [2.29]. La începutul anilor 90, o mai mare atenție s-a acordat așa numitului Sindrom al Clădirii Bolnave, manifestat prin dureri de cap și iritații ale nasului și ochilor ale lucrătorilor din clădirile cu birouri cu aer uscat, temperatură prea mică sau prea mare. Într-un sondaj de opinie desfășurat în 61 de clădiri din Olanda, jumătate dintre ocupanți se plâneau de calitate aerului, iar 25% pe motive de sănătate și bună dispoziție. În jur de 30% dintre intervievați au avut de obiectat în privința luminii [2.30]. Desfășurarea activității în condiții de iluminare slabă poate conduce la forțarea ochilor și oboseală, influențând negativ performanțele muncitorilor. Într-un număr de cazuri poate conduce la dureri de cap [2.31]. Cauzele, în multe situații, sunt datorate unui nivel de iluminare prea scăzut, strălucirea datorată surselor de lumină și a unor

raporturi necorespunzătoare ale luminanței la locul de muncă și pe sarcină. Durerile de cap pot fi cauzate de multe ori de fenomenul de flicker al lămpilor, datorită utilizării balasturilor magnetice controlate în frecvență sau datorită unei mentenanțe necorespunzătoare a sistemului de iluminat. Acest efect de flicker poate de asemenea cauza și stres [2.32].

Balasturile electronice care lucrează la frecvențe înalte, de ordinul a 25.000 Hz, pot fi găsite în comerț de mai mulți ani. Aceste combinații lampă-balast nu prezintă fenomenul de flicker. Apariția durerilor de cap este semnificativ redusă cu aceste tipuri de balast [2.31].

2.7 Concluzii

În concluzie, este evident că condițiile bune de sănătate, atenția ridicată, performanța și buna dispoziție duc la scăderea ratei accidentelor și au o influență pozitivă asupra performanțelor, ceea ce va duce la o rată mai scăzută a absenteismului.

Bună calitate a iluminatului, înțelegând prin aceasta asigurarea cerințelor vizuale și biologice, va contribui substanțial la o mai bună productivitate în cadrul proceselor de producție industrială, ca și la o stare generală de sănătate și bună dispoziție a fiecărui muncitor în parte.

3 Iluminatul și productivitatea

În capitolele anterioare ale lucrării s-a discutat despre relația dintre calitatea iluminatului și performanțele vizuale, efectele biologice și mediul de lucru stimulat. De asemenea, s-au ilustrat aspectele ce privesc viteza de lucru și rata eșecului la reducerea accidentelor, buna dispoziție, atenția și sănătatea. Toți acești factori împreună pot avea un considerabil efect asupra întregii productivități.

Este evident că buna dispoziție și atenția, împreună cu o sănătate corespunzătoare a muncitorilor din industrie, vor determina descreșterea riscului de accidentare. Accidentele ușoare în mediu industrial, au pe ansamblu un efect pozitiv în performanță. Înalta performanță de muncă, desigur, influențează direct productivitatea în sens pozitiv. La acest efect pozitiv asupra productivității se adaugă un absenteism mai scăzut care duce în mod direct la scăderea accidentelor, îmbunătățește sănătatea și motivația pentru un iluminat de bună calitate.

Evaluările noastre preliminare la toate datele descrise în acest articol conduc la următoarea concluzie: creșterea nivelului de iluminare de la minimul cerut de 300 lx la 500 lx conduce la o productivitate mărită

- cu 10 - 25%, bazat pe o prezumție conservativă;
- cu 10 - 40 %, bazat pe o probabilă prezumție mai realistă,

dar cu siguranță la mai mult de 10%.

În prezent, multe instalații de iluminat din industrie realizează cu dificultate nivelul (minim) cerut de 300 lx. Acele instalații de iluminat sunt realizate cu vechile corpuri de iluminat deschise (bare battens) cu balasturi electromagnetice convenționale și lămpi fluorescente convenționale. Într-o instalație “mai bună”, corpurile de iluminat sunt prevăzute cu un reflector metalic (alb) pentru a preveni iluminarea tavanului.

O instalație de bună calitate va consta dintr-un corp de iluminat cu un sistem optic, care conduce lumina acolo unde este într-adevăr nevoie, prevăzut cu lămpi fluorescente trifosfor cu un indice de redare a culorii de 80 sau mai mult, cu balast electronic (fără flicker, ce operează în înaltă frecvență).

Datorită înaltei eficiențe a iluminatului unei astfel de instalații, precum și a eficacității lămpilor fluorescente și a pierderilor scăzute de energie în balastul de înaltă frecvență, economia de energie poate fi de 70% față de instalațiile existente. În astfel de cazuri, creșterea nivelului de iluminare de la 300 lx la 500 lx va păstra consumul de energie și costurile de operare pentru iluminat.

Investiția pentru o instalație de iluminat de o calitate mai bună și un nivel de iluminare mărit la 500 lx va fi recuperată prin câștigul financiar oferit de creșterea productivității într-o scurtă perioadă de timp, de obicei mai scurtă de un an.

Traducere realizată de Adrian GLIGOR și Horațiu GRIF