

Miljøvurdering af belysningsanlæg

Miljørigtig udvikling af produktfamilier

Stig I. Olsen
Institut for Produktudvikling

Indhold

FORORD	5
SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	7
1 INDLEDNING	9
2 FORMÅL	11
3 AFGRÆNSNING	13
3.1 PRODUKTETS FUNKTION OG DEN FUNKTIONELLE ENHED	13
3.1.1 <i>Belysningens formål</i>	13
3.1.2 <i>Belysningens egenskaber</i>	13
3.2 SYSTEMBESKRIVELSE	16
3.3 DATAGRUNDLAG	19
4 OPGØRELSE	21
4.1 DATAINDSAMLING OG BEHANDLING	21
4.2 PROCESOVERSIGT	23
4.3 RESULTATBEREGNING	24
5 VURDERING	27
5.1 VURDERINGSMETODE	27
5.2 RESULTATER	28
6 FORTOLKNING	31
6.1 VÆSENTLIGSTE PÅVIRKNINGER	31
6.2 FØLSOMHEDSVURDERING	31
6.3 DISKUSSION	33
7 REPRÆSENTATIVITET FOR PRODUKTFAMILIEN	35
8 FORBEDRINGSANALYSE	37
8.1 DIAGNOSE	37
8.2 FORBEDRINGSPOTENTIALER	38
9 TEKNISK OG FORRETNINGSMÆSSIG VURDERING AF MILJØMÆSSIGE FORBEDRINGSPOENTIALER	43
9.1 AKTØRERNES MULIGHEDER FOR PÅVIRKNING	43
9.1.1 <i>Producenter og underleverandører</i>	43
9.1.2 <i>Kunder, rådgiver og bruger</i>	44
9.1.3 <i>Bortskaffelseskæde</i>	44
9.1.4 <i>Lovgivere og myndigheder</i>	44
9.2 TEKNISKE MULIGHEDER	45
9.2.1 <i>Design af armaturer, valg af materialer og komponenter</i>	45
9.2.2 <i>Introduktion af lysstyring/-regulering</i>	45
9.2.3 <i>Genvindingssystemer</i>	46
9.3 FORRETNINGSMÆSSIGE MULIGHEDER	46
10 REFERENCER	49
BILAG A	51

LYSKILDER	51
REFERENCER	53
BILAG B	54
MATRIX LCA	54
BILAG C	55
INDSAMLING OG GENVINDING AF LYSKILDER	55
ESTIMAT AF MATERIALINDHOLD I ELEKTRONIK	56
UNDERSØGELSE AF HØJT ENERGIFORBRUG I PRODUKTION	57

Forord

Denne arbejdsrapport er udarbejdet som en del af projektet "Retningslinier for miljørigtig udvikling af produktfamilier indenfor den elektromekaniske industri", som er støttet af Miljøstyrelsen. Projektet omfatter 5 produktfamilier: Støvsugere, Ventilationsanlæg, Ekspansionsventiler, Mobiltelefoner og Belysning.

Rapporten omhandler miljøvurdering af belysningsanlæg samt vurdering af forbedringsforslag til produktet. Arbejdet er gennemført i samarbejde mellem IPU (Stig I. Olsen), Thorn-Jakobsson A/S (Flemming Kristensen & Martin Møhl) og med Dansk Industri (Tina Sternest).

Fra projektet er der udarbejdet følgende arbejdsrapporter:

- A117-3: Eksempel for et køleskab.
- A117-5: Identifikation af produktfamilier.
- A117-8: Miljøvurdering af ekspansionsventiler.
- A117-9: Miljøvurdering af støvsugere.
- A117-12: Miljøvurdering af ventilationssystemer.
- A117-13: Miljøvurdering af mobiltelefoner.
- A117-14: Miljøvurdering af belysning.

Herudover udgives en håndbog og en pjece for det samlede projekt.

Sammenfatning og konklusioner

Denne rapport er udarbejdet som en del af projektet "Retningslinier for Miljørigtig Udvikling af Produktfamilier indenfor Elektromekanisk Industri", støttet af Miljøstyrelsen, og omhandler miljøvurdering af belysningsanlæg

Produkter

Miljøvurderingen af belysning har taget udgangspunkt i belysning af et gangareal vha. downlights, som er lamper, der er indbygget i loftet. Der er givet en række krav til belysningen: Der skal være 100 lux på gulvplan (dette er mere end kravet i standarden DS700 på 50 lux (lux er enheden for belysningsstyrke)), Ra-indeks (farvegengivelsen) skal være mindst 80 og øvrige krav i DS700 skal være overholdt, armaturer må ikke blænde ved vinkler større end 60° og det skal være let at udskifte lyskilder. Rent lysteknik er det også vigtigt, at lyset er jævnt på hele gangen (lysfordelingen). Vurderingen omfatter desuden en række antagelser og forudsætninger bl.a. om, hvor lang tid lyset er tændt og hvor meget et styringssystem kan reducere belysningstiden.

Formål og metode

Formålet med miljøvurderingen er at belyse, hvor i et belysningsanlæg og dets livscyklus de væsentligste miljø- og ressourcebelastninger ligger, for senere at kunne pege på hvorledes miljøforbedringer kan opnås. Arbejdet er udført efter metoden udviklet i UMIP (Wenzel et. al., 1996a). Derudover følger arbejdet i store træk retningslinierne i ISO 14040/41/42. Beregningerne er udført i UMIP PC-værktøj version 2.11 beta (Miljøstyrelsen, 1999).

Data

Miljøvurderingen er baseret på oplysninger fra en producent af armaturer om materialesammensætning, energiforbrug levetid m.m. Data stammer primært fra UMIP-databasen. Materialefasen inkluderer selve materialerne til armaturet, samt estimater for nogle elektroniske komponenter og for dele af lyskilderne. Data for de elektroniske komponenter er estimeret af IPU mens der for lyskilderne kun er medtaget de væsentligste materialer (dvs. fremstilling er ikke inkluderet). Brugsfasen omfatter energi til lyskilder og forkobling. Brug er antaget at finde sted i Danmark og baseres således på dansk el-produktion. Ved bortskaffelse er der regnet med 90% genvinding af lyskilder og elektronik samt genvinding af kobber og stål, hvilket forventes at være realistisk i det mindste indenfor et par år.

Konklusion

Miljøvurderingen viser, at energiforbruget i brugsfasen klart udgør den største påvirkning af samtlige miljøeffektkategorier. Det bidrager med 90% eller mere og påvirker fra 9 til mange gange mere end de øvrige faser. Energiforbruget er meget påvirkeligt af såvel installationen (anvendes f.eks. lysstofrør og er der automatisk styring) som af brugsmønstre. Af de øvrige faser bemærkes materialefasen, men denne modregnes delvist ved undgået produktion af nyt materiale, når materialerne genbruges. Det er derfor kritisk hvorledes belysningsanlægget bortskaffes.

Med hensyn til ressourcer dominerer energiressourcerne til brugsfasen, samt sparsomme råvareressourcer som f.eks. tin, nikkel, guld og kobber, som anvendes både i elektroniske dele og i lyskilder. Forbruget

af råvareressourcer modregnes til en vis grad ved genanvendelse af disse dele.

Sammenfattende konkluderes, at fokus skal sættes på energiforbruget under drift, men at genvinding af især elektroniske dele også har betydning.

Forbedringsanalysen viser, at de største miljømæssige forbedringspotentialer ligger i en reduktion af energiforbruget i brugsfasen. Der er flere muligheder for at reducere dette forbrug. Ikke alle mulighederne er undersøgt i den konkrete vurdering af et belysningsanlæg bl.a. fordi det undersøgte belysningsanlæg allerede er udstyret med lysstofrør og højfrekvensforkoblinger. Men el-besparelser på belysning har i de senere år været et emne for belysningsbranchen og der er således skrevet en del om det. Generelt kan det siges, at selvom der i de forskellige forbedringsforslag bl.a. introduceres flere elektroniske komponenter, har fremstilling og eget energiforbrug af disse kun ringe betydning i forhold til de store elbesparelser de medvirker til. Miljøbelastningen fra belysningsanlæg kan nedbringes ved følgende tiltag:

1. Udskift glødelamper med lysstofrør
2. Udformning af effektive armaturer, hvor de enkelte komponenter let kan identificeres og adskilles
3. Udstyr armaturer med højfrekvensforkoblinger
4. Etablering af behovsstyret automatik til styring af belysningen (dette kan være lige fra enkle bevægelsesmeldere til komplicerede fuldautomatiske systemer, som bl.a. regulerer efter indfaldet af dagslys)

Forbedringsanalysen viser ikke alle disse muligheder men har fokuseret på de miljømæssige forbedringer ved introduktion af lysstyring og udformning af mere effektive armaturer.

1 Indledning

Denne miljøvurdering er udført som en del af projektet "Retningslinier for Miljørigtig Udvikling af Produktfamilier indenfor Elektromekanisk Industri", støttet af Miljøstyrelsen.

Arbejdet er udført på belysningsanlæg produceret af Thorn-Jakobsson A/S, hvor kvalitetschef Flemming Kristensen har leveret data. Som reference er der udført miljøvurdering af et mindre belysningsanlæg (en korridor/gang på 48 m²).

Miljøvurderingen er gennemført af cand. scient., Ph.D. Stig Irving Olsen, Institut for Produktudvikling, Danmarks Tekniske Universitet. Kritisk internt review er udført af civilingeniør, Ph.D. Niels Frees, Institut for Produktudvikling.

Arbejdet er udført efter miljøvurderingsmetoden udviklet i UMIP og beskrevet i (Wenzel et. al., 1996a), men det har ligeledes været muligt i vid udstrækning at følge retningslinierne i ISO 14040/41/42 (ISO, 1997 & 1998), især med hensyn til rapportens opbygning. Beregningerne i forbindelse med studiet er udført ved hjælp af UMIP PC-værktøj, version 2.12 beta (Miljøstyrelsen, 1999), hvori der ligeledes er opbygget en model af produktet og dets livsforløb.

2 Formål

Dette er en rapport for fase 2 og 3 af nærværende projekt vedrørende belysningsanlæg.

I fase 2 gennemføres en miljøvurdering af produktfamilien af belysningsanlæg. Der er herunder opbygget en model i UMIP PC-værktøj, som kan danne grundlag for miljøvurdering af specifikke belysningsanlæg. Miljøvurderingen skal belyse, hvor i et belysningsanlæg de væsentligste miljø- og ressourcebelastninger ligger.

I fase 3 gennemføres en forbedringsanalyse, dvs. en diagnosticering, som bl.a. vil pege på hvorledes miljøforbedringer kan opnås. Forud for forbedringsanalysen vurderes det, om det vurderede produkt er repræsentativt for produktfamilien, eller på hvilke punkter det adskiller sig.

3 Afgrænsning

3.1 Produktets funktion og den funktionelle enhed

Planlægning af lys kræver mange overvejelser

At opnå en tilfredsstillende belysning i en given situation kræver foruden de rent tekniske overvejelser vedrørende lys, effekt, varme, ventilation og akustik også, at der overvejes økonomiske og æstetiske spørgsmål. Det vil i det følgende kort blive beskrevet, hvilke forhold, der er af betydning for et velfungerende belysningsanlæg og hvorledes valg og design af belysning spiller ind på disse forhold. Der er såvel kvantitative egenskaber som lysmængde osv. men også en lang række kvalitative egenskaber som er af betydning for "den rette belysning". Teksten er primært skrevet på baggrund af Ljuskultur (1990).

3.1.1 Belysningens formål

Krav til lys varierer

Formålet med belysning er at tilfredsstille menneskers ønsker om og behov for lys eventuelt som supplement til almindelig dagslys. Disse ønsker og behov er meget varierende og yderst foranderlige alt efter individ og situation. På arbejdspladsen skal lyset gøre det let at se, være stimulerende samt bidrage til en god rumopfattelse. I butikker skal lyset gøre varerne attraktive og lette at finde, det skal derfor fremhæve deres form, materiale og struktur og lyset skal desuden gengive farver så naturtro som muligt. I restauranter, hjem m.m. er lysets rum- og miljøskabende effekt vigtig, der skal skabes fornemmelse af hygge og trivsel, foruden at der selvfølgelig i visse rum skal være god arbejdsbelysning. Ofte er der også et ønske om at selve lampen eller armaturet skal have et pæn fremtoning for at skabe et bestemt indtryk.

Det er forskellige egenskaber ved belysningen som kan opfylde disse formål og der skal derfor i forskellige situationer fokuseres på disse forskellige egenskaber.

Dansk Standard har udgivet DS 700 om kunstig belysning i arbejdslokaler. I DS 700 gives retningslinier for belysningens egenskaber i forskellige arbejdsituationer (DS, 1997).

3.1.2 Belysningens egenskaber

Forskellige egenskaber har betydning for, hvorledes lyset opfattes. Der er flere faktorer som spiller ind, når der skal opnås en god belysning.

- Lysfordelingen
- Kontraster
- Blænding og reflekser
- Lysstyrke
- Farvegengivelse
- Varmestråling, flimmer, lyd eller UV-stråling må ikke forekomme

Et af kravene til lys er, at objekter skal se naturlige ud, hvilket er en følge af en kombination af ovenstående faktorer.

Lysbehov kan beregnes

Der findes flere forskellige beregningsmetoder til vurdering af belysningsanlægs middelbelysningsstyrke, ubehagsblending samt belysningens regelmæssighed. Som eksempler kan nævnes programmet Prolight 2.0 fra DELTA lys og optik eller programmet FabaLight, som er brancheforeningen FABAs (Foreningen af Fabrikanter og Importører af Elektriske Belysningsarmaturer) program. Disse beregninger kan og bør anvendes ved projektering af belysningsanlæg, men der skal stadig gøres andre overvejelser vedrørende f.eks. farver, design af lysarmaturer m.m. I forbindelse med dette projekt har Thorn & Jakobsson's lysteknikere udført sådanne beregninger for at bestemme lysbehovet i det undersøgte rum.

En mere detaljeret gennemgang af de enkelte egenskabers betydning vil være for omfattende i denne sammenhæng, men det bemærkes at der stilles krav hertil i DS 700.

Lyskilder

Selve lyskilden spiller en stor rolle med hensyn til lysintensitet, og farveegenskaber, såvel som for lysudbyttet (lysstrømmen pr. watt) og kan karakteriseres med hensyn til disse tre egenskaber. I Bilag A er givet en tabel, som opsummerer egenskaberne for en række forskellige lyskilder.

Armaturler

En vigtig egenskab ved armaturet er virkningsgraden, som beskriver forholdet mellem den nøgne lyskildes lysudsendelse og armaturets lysudsendelse. Lige så vigtigt er det dog, at lyset kommer hen hvor det skal bruges dvs. at armaturets lysfordeling passer til formålet.

Produktudvikleren har mulighed for at variere design af armaturer således at de tilpasses givne formål. Afskærmning af lyskilden har fire formål:

- at afskærme lyskilden så blanding undgås
- at styre lyset derhen hvor det skal bruges
- at forhindre berøring af lyskilden
- at få armaturet til at fremstå elegant

Konstruktøren kan vælge materialer, design og lyskilde

Konstruktøren har således handlemuligheder i forbindelse med valg af materialer samt formgivning af armaturet. Desuden kan konstruktøren vælge mellem forskellige lyskilder (armaturer er oftest konstrueret til én specifik lyskilde) samt mellem forskellige typer forkoblinger (forkoblinger er nødvendige for at styre strøm og spænding på lysstofrør og skal f.eks. kunne omdanne frekvensen fra de normale 60 Hz til flere tusinde Hz for at kunne dæmpe lysstofrør). Et lyssystemets præstationen afhænger af, hvor godt komponenterne fungerer sammen. Konstruktørens opgave er at udvikle et armatur, som kan opfylde et specifikt formål, med størst muligt lysudbytte uden at kompromittere kvaliteten af belysningen (f.eks. eliminere blending).

Undersøgte produkter

Som nævnt har belysning meget forskellige formål. Det er derfor vigtigt, at definere, hvilket formål belysningen skal opfylde, og dermed hvilken type armaturer, der kan bruges. I dette projekt er der fokuseret på funktionen baggrunds-belysning i kontorlokaler og gangarealer. Til opfyldelse af denne funktion er der undersøgt en såkaldt downlight, som indbygges i loftet. Den valgte downlight er af typen Zenith 190 LOW.

Dette er en downlight, som er designet til lofter, hvor der ikke er så meget plads til at bygge lampen ind. Zenith 190 LOW anvender 2 kompakte lysstofrør på 9, 13, eller 18 W.

Funktion af det valgte produkt

Funktionen af det valgte produkt er som nævnt afgrænset til at omfatte baggrundsbelysning i gangarealer. Dette er sket med ønsket om at funktionen skal være veldefineret og skal kunne leveres med den valgte armatur-type. Desuden skal det være muligt at kunne beregne alternative løsninger, som leverer den samme ydelse. Belysningstekniker Søren Kjær fra Thorn & Jakobsson A/S har udført beregninger vedr. et referencerum som er 2,0 m bredt, 2,5 m højt og 24 m langt, med hvide vægge og loft og gråt gulv. Det er forudsat, at rummet (gangen) kun har indfald af dagslys i enderne af gangen. Desuden er der fastsat nogle kriterier for vedligeholdelse og belysningsstyrke, som følger DS 700.

Det studerede objekt

Miljøvurderingen er udført for objektet *1 belysningsanlæg*. Det vil sige, at data indsamles og vurderingerne udføres for 1 belysningsanlæg, som opfylder funktionen i den funktionelle enhed..

Funktionel enhed

Den funktionelle enhed defineres ved en kvantitet, en varighed og en kvalitet. Det kan være en hjælp at opstille et skema, for at afklare, hvilke pligtegenskaber produktet/ydelsen har og hvilke egenskaber, som positionerer det på markedet.

Pligtegenskaber	Positionerende egenskaber
Armaturet	Lysfordeling
Må ikke blænde ved vinkel > 60°	Virkningsgrad af armatur?
Brandhæmning	Mulighed for dæmpning
Let udskiftning af lyskilde mulig	Vedligeholdelse?
Funktionsdygtig i mindst 10 år	Hvilken lyskilde?
Lysanlægget	Design
Opfylde krav i DS 700:	Service venlighed
Give lys i tilstrækkelig mængde i forhold til formålet	Installationsvenlighed
Farvegengivelse Ra-indeks 80	
Lux 100 på gulvplan (gangarealer)	
Adaptation og luminans	

Tabel 3.1: Hjælpskema til definition af den funktionelle enhed.

På baggrund heraf og diskussion med Thorn-Jakobsson A/S er følgende valgt:

- Kvantitet (mængde volumen eller omfang). Defineret ved DS 700 som belysningsanlæg. Her foretages en vurdering af et belysningsanlæg i en gang som er 24 m lang og 2,5 m bred. Kravet er 100 lux ved gulvplan og en belysningstekniker har beregnet behovet til at være 8 lamper.
- Varighed 50.000 timer (levetid af forkobling)
- Nogle kvaliteter/egenskaber. Muligheder for dæmpning (evt. elektronisk styring), service venlighed (herunder rengøring)

Produktet/ydelsen har desuden nogle sekundære ydelser i form af varmeafgivelse fra lyskilder samt energi ved forbrænding efter bortskaffelse. Energi fra forbrænding af plastdele er inkluderet i studiet. Varmeafgivelsen fra lyskilder kan meget høj, afhængig af bl.a. lyskilden. Denne varme kan bidrage til rumopvarmning og således erstatte anden energi i vinterhalvåret. Der er imidlertid usikkerheder vedr., bl.a. varmeafgivelsens størrelse, om der er termostatregulering af opvarmning

samt om, hvor meget varmen bidrager når lamperne er indbygget i loftet (lamperne er indbygget i selve loftpladen og er således placeret over loftet). Det er derfor valgt at se bort fra denne sekundære ydelse.

Forkoblingens levetid er ca. 50.000 timer svarende til 11,4 år, hvis lyset er tændt 12 timer i døgnet. I samme tidsperiode anvendes gennemsnitlig 2 x 3,125 kompakte lysstofrør med en levetid på 16000 timer. Det kan diskuteres, om den antagede levetid af en forkobling er realistisk, da især varme kan reducere levetiden betragteligt og der ofte er placeret isoleringsmaterialer ovenpå armaturerne, således at den genererede varme ikke har mulighed for at blive ledt væk.

Som funktionel enhed er benyttet:

”Belysning af et gangareal på 2 x 24 m med en højde på 2,5 m, 12 timer i døgnet i 50.000 timer (svarende til ca. 11 år og 152 dage). Belysningsstyrke ved gulvoverflade skal være mindst 100 lux og øvrige krav i DS 700 overholdes.”

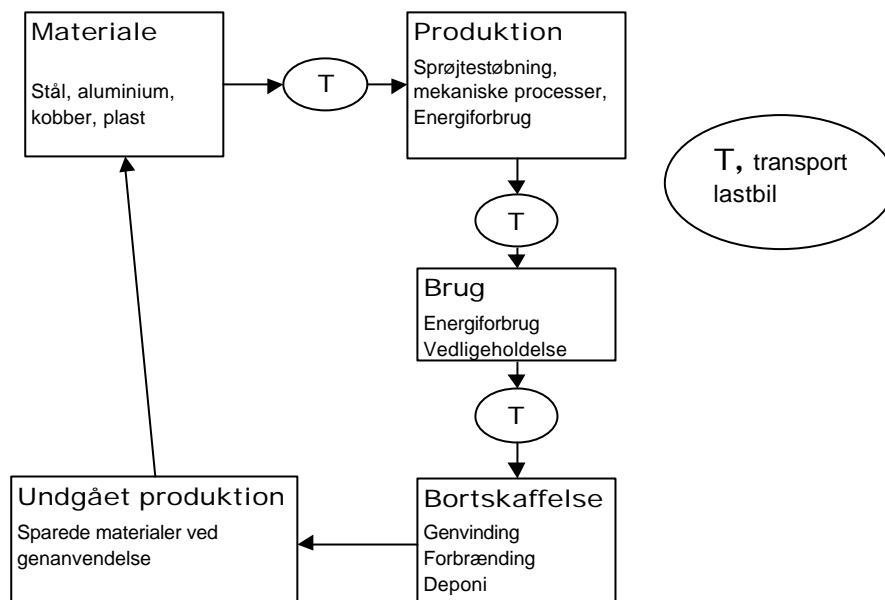
I praksis vil det være nødvendigt at beregne belysningsanlæg til et givet formål, således at givne krav overholdes.

3.2 Systembeskrivelse

Studiets omfang

Studiet af belysningsanlæg omfatter energi- og procesemissioner samt ressourceforbrug i forbindelse med resourceudvinding og materialefremstilling, produktion, brug, bortskaffelse og transport. Materialefasen inkluderer selve materialerne til armaturet, samt estimer for nogle elektroniske komponenter og for dele af lyskilderne. Brugsfasen omfatter energi til lyskilder og forkobling. Vedligeholdelse i form af rengøring skønnes at være uvæsentligt i forhold til energiforbruget og er udeladt. Den energi, som lamperne bidrager med til opvarmning er ikke medtaget. Studiet omfatter ikke arbejdsmiljø. Fremstilling af produktionsudstyr er heller ikke medtaget.

Systemafgrænsningen fremgår af figur 3.1 og er ligeledes synlig i modellerne for de valgte belysningsystemer, som er opbygget i UMIP PC-tool.



Figur 3-1: Livscyklusmodel for belysning.

Forenklinger og udeladelser

En matrix LCA (bilag B) viser, at det kumulerede energiforbrug til materialefremstilling og til produktion af en lampe udgør mindre end 1% af energiforbruget til drift af lampen. Bortskaffelse og transport udgør et endnu mindre energiforbrug. Der ses heller ikke andre miljøeffekter, som er af stor betydning i forhold til energiforbruget. Det skal dog bemærkes, at den væsentlige miljømæssige bekymring i forbindelse med lyskilder er indholdet af bl.a. kviksølv, som er giftigt for både miljø og mennesker. Betydningen heraf vurderes i en følsomhedsanalyse. I den egentlige LCA dækkes faserne materialefremstilling, produktion, bortskaffelse og transport kun i hovedtræk.

Belysningsanlæg kan variere væsentligt med hensyn til sammensætning og vægt af armatur, hvilke typer forkoblinger og lyskilder, der er anvendt osv.

I den aktuelle lampe, Zenith 190 LOW, er de væsentligste materialer stål og polycarbonat. Der er også anvendt mindre mængder polyamid, PVC, kobber m.m. Alle disse materialer findes i LCV-databasen og er medtaget under materialeudvinding og -fremstilling.

Den elektroniske forkobling indeholder et printkort med bl.a. IC-kredse og transistorer. Der er i forbindelse med produktfamilien mobiltelefoner (Erichsen og Willum, 2000) udarbejdet estimater for fremstillingen af disse komponenter. I forbindelse med produktfamilien ventiler (Willum, 2000) er der udarbejdet et estimat for store transistorer. Det har derimod ikke været muligt at skaffe data vedrørende kondensatorer, som der findes et par stykker af på printkortet. Vedrørende små spoler, som sidder på printkortet er kobberet vejlet og opgjort som kobbertråd, mens pulvermetallet er anslået med et energiforbrug af Caspersen (2000). De ikke medtagne komponenter er inddraget med groft anslåede procesestimater i en følsomhedsvurdering.

Lyskilder er medtaget som et groft estimat baseret på sammensætningsoplysninger fra Philips (Lykke, 2000) da der ikke har kunnet skaffes detaljerede data vedrørende produktionen af disse. Dette kan udgøre en væsentlig fejl, da der kan indgå flere sjældne materialer foruden kviksølv, som altid indgår i lysstofrør. Specielt kan kviksølvet give anledning til problemer i bortskaffelsesfasen, hvis lyskilderne ikke

indsamles. Med hensyn til bortskaffelse af lyskilderne er det estimeret, at 90 % indsamles og genvindes (mht. største fraktioner), jf. nedenstående om undgået produktion.

Produktionen af armaturet finder sted ved traditionelle processer, som ikke giver anledning til væsentlige emissioner. Selve reflektoren lakeres med en opløsningsmiddelholdig lak, men eventuelle emissioner fra denne proces er ikke medtaget. Der er ved hjælp af UMIP databasen lavet estimater for disse emissioner og det er på denne baggrund vurderet, at lakeringen kan være en væsentlig bidrager til fotokemisk ozondannelse (op til 50%), mens bidragene til human toksicitet og persistent toksicitet ikke er væsentlige (ca. 1-3%). Da fotokemisk ozondannelse ikke har væsentlig betydning for de samlede vurderinger er estimater for lakering ikke inkluderet. Energiforbruget ved fremstillingen af armaturet er estimeret af Thorn-Jakobsson og omfatter udelukkende sprøjtning og tilhørende processer.

Hvad angår brugsfase er kun indregnet udskiftning af lyskilder, som har en holdbarhed på ca. 16.000 timer. Vedligeholdelse i form af f.eks. rengøring (som er nødvendig mindst en gang om året for at bibeholde lysstrømmen) er udeladt da forbruget hertil antages at være negligeabelt.

I bortskaffelsesfasen er det vurderet, at EU-direktivet om elektrisk og elektronisk affald (EEC, 2000) vil være trådt i kraft, dvs. lyskilder, der indeholder kviksølv skal indsamles, ligesom elektronisk udstyr. Derimod vil stål og plast-delene blive afbrændt eller sendt til stålgenvinding (idet det ikke forventes, at platten sorteres fra).

Transport er anslåede størrelser under antagelse af, at lampen sælges, bruges og bortskaffes i Danmark. Den samlede transport er anslået som 600 km i lastbil.

Geografisk og tidsmæssig afgrænsning

Belysningsanlægget antages produceret, anvendt og bortskaffet i Danmark. Dette har betydning for valg af energiscenarier og bortskaffelsesscenario. Det danske elscenarie er fra 1992, men der er i produktfamilien ventilationssystemer udført følsomhedsanalyse på et scenarie fra 1996. Der er ligeledes udført følsomhedsanalyse på antagelse af marginal el-produktion (Frees, 2000). Erkendelserne fra disse følsomhedsanalyser er inddraget i vurderingerne af belysningsanlæg. Det teknologiske niveau for belysningen antages at være status quo 1999-2000, hvilket betyder bl.a. at automatiske lysdæmpere m.m. er tilgængelige, men ikke almindeligt efterspurgt.

Systemudvidelse og undgået produktion

Belysningsanlæg skal efter det nye direktiv om bortskaffelse af elektriske og elektroniske artikler i en vis grad genvindes (EEC, 2000). Specielt for lyskilderne er der krav om 80% genvinding inden 2006. I vurderingen er det antaget, at 90% indsamles og genvindes. De elektroniske dele i lampen er der ikke specielle krav for i direktivet, men det er antaget, at de indsamles til genvinding. Det er antaget, at kobber i elektronik og ledninger genvindes ligesom stål i udstyrspladen. For de genvundne metaller er der foretaget en systemudvidelse, da metallerne antages at fortrænge en tilsvarende mængde primært metal. Da man således undgår produktion af nyt metal kan den genvundne mængde trækkes fra det oprindelige forbrug af primært metal. Produktionen af genbrugsmetal er regnet under bortskaffelsesfasen.

3.3 Datagrundlag

Indsamlingmetode

Thorn-Jakobsson har leveret oplysninger om materialesammensætningen for downlight Zenith LOW 190. Der indgår plast, stål, aluminium og kobber. Desuden forbruges materialer som medgår til fremstilling af den elektroniske forkobling og til lysstofrør. Indsamling af data for elektronik har vist sig at være yderst vanskelig da fabrikanterne ikke ønsker at udlevere data. Det er imidlertid lykkedes at skaffe nogle og estimere andre data vedrørende produktion af printkort, IC-kredse og transistorer (Erichsen, 2000). Thorn-Jakobsson producerer selv de fleste komponenter til lamperne undtaget elektronik, ledninger, lyskilder og fatninger. Data for produktionen er indhentet hos Thorn-Jakobsson. På grund af kompliceret logistik i virksomheden samt et meget stort antal forskellige produkter havde de imidlertid kun mulighed for at give estimat af energiforbrug til sprøjttestøbning svarende til ca. 2 MJ pr. lampe eller ca. 2,3 MJ pr. kg. Dette er meget lidt i forhold til den generelle antagelse, at der ved fremstilling af forholdsvis simple produkter anvendes 12,5 MJ/kg produkt (Gydesen et al., 1990) eller ved mere komplicerede eller produkter med mange små dele 50 MJ/kg produkt. Betydningen af det lave estimat er vurderet i følsomhedsanalysen.

For materialerne og de øvrige processer er der primært anvendt data fra den til UMIP PC-værktøjet hørende database (Frees og Pedersen, 1996) (Miljøstyrelsen, 1999). I nødvendigt omfang er nye processer føjet til, se afsnit 4.1.

Parametre og datakvalitet

I processerne indgår alle tilgængelige oplysninger med hensyn til ressourcer og emissioner. Kvaliteten af de anvendte data og deres oprindelse fremgår af tabel 1 og er yderligere vurderet i afsnit 6.2.

Table 3.2: Referencegrundlag for data til miljøvurdering af Zenith downlight.

Produkt specifikke	Datatvne		Datakilde					Kommentarer
	Sted-specifikke	Generelle	1	2	3	4	5	
Materialefasen								
Stål		X			X			UMIP database
Aluminium		X			X			UMIP database
Kobber		X			X			UMIP database
PC, PA		X			X			UMIP database
Enkelte elektroniske komponenter		X				X		Data estimeret af IPU
Produktion hos Thorn-Jakobsson og leverandører								
Produktion, generelt		X				X		Data indsamlet af IPU
Skræntestøbning	X			X				Data estimeret af Thorn-Jakobsson
Brugsfasen								
Energiforbrug, el	X				X			Afhænger af brugsmønster og af om der eventuelt er installeret lysstyring m. dæmpere
Levetid	X				X			Thorn-Jakobsson
Bortskaffelse								
Bortskaffelses måde		X			X			Data indsamlet af IPU
Genvinding, generelt		X			X			UMIP database
Genvinding, kobber		X			X			Data indsamlet af IPU
Deponi		X			X			UMIP database
Forbrænding		X			X			UMIP database
Transport								
Afstande og transportmiddel		X				X		Transportmiddel og -afstande estimeret
Energiforbrug og emissioner		X			X			UMIP database
Udgået produktion								
Generelt		X			X			UMIP database
Omarbejdning af elektronik		X			X			Data estimeret af IPU
Energisystemer								
Elenergi		X			X			UMIP database

Noter

- 1 Målinger
- 2 Beregninger ud fra massebalance for den aktuelle proces
- 3 Ekstrapolation fra data for samme proces/væ eller teknologi
- 4 Ekstrapolation fra data for andre proces/væ eller teknologier
- 5 Ukendt kilde eller ikke-kvalificeret estimat

Produkt specifikke data:
 Stedspecifikke data:
 Generelle data:

Gælder processer, hvor produktet specifikt indegår
 Gælder data fra aktuelle lokaliteter i produktets livsforløb.
 Alle andre

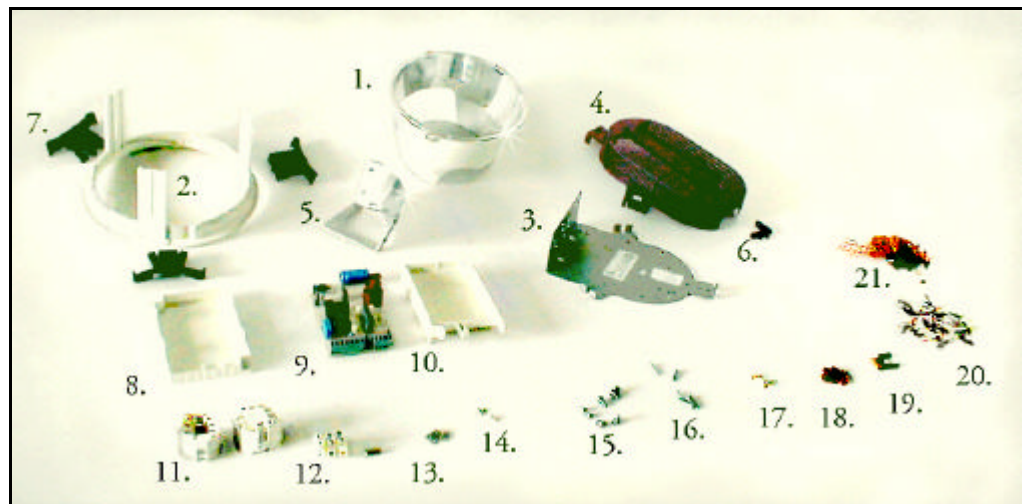
4 Opgørelse

4.1 Dataindsamling og behandling

De enhedsprocesser, der indgår i livscyklusvurderingen af belysningsanlægget og herunder følsomhedsvurderinger, fremgår af de modeller, som er opbygget i UMIP PC-værktøjet. Processerne og deres referencer er nærmere beskrevet i review informationen, som ligger i PC-værktøjet. Her gives en kort gennemgang af de indsamlede data og deres behandling, herunder hvorledes systemudvidelsen er foretaget.

Materialefasen

Sammensætningen af Zenith lampen fremgår af matrix-LCAen, bilag B og af Tabel 4.. Desuden ses en adskilt lampe i figur 4.1. Det skal bemærkes, at det undersøgte belysningsanlæg består af 8 lamper. Printkort og elektroniske komponenter er ikke repræsenteret i UMIP databasen. For nogle komponenter og printkort er der anvendt data etableret i produktfamilierne mobiltelefon og termostatventil, mens andre elektroniske komponenter kun er medtaget i følsomhedsvurdering.



Figur 4-1: Adskilt Zenith lampe. Del 1. er reflektoren, 2. er ringen, som sammen med klemmerne (7) holder lampen fast i loftet, 3. er eludstyrspaden, hvor det hele er monteret på (4 er låg hertil) og 9. er den elektroniske forkobling. Øvrige er smådele, som i forkobling.

Lyskilders miljøbelastning stammer primært fra brugsfasen (Philips, 1998, ELC, 1997) og fremstillingen er derfor ikke medtaget. Der er dog på baggrund af oplysninger fra Philips (Lykke, 2000) estimeret data for materialeindholdet i lyskilder. Det skal bemærkes, at sjældne materialer som Ytrium, Cerium, Europium m.fl. som bl.a. indgår i det fluoriserende pulver ikke er medtaget på grund af de meget små mængder de forekommer i.

Materiale	Masse (kg)	Procent	Bemærkninger
Til Lampe:			
Stål (plade)	0,183	22,6%	
Stål (skruer og skiver)	0,022	2,7%	
Aluminium	0,023	2,8%	
Kobber	0,008	1,0%	
Polycarbonat	0,365	45,1%	
Polyamid	0,020	2,5%	
Polyethylen	0,001	0,07%	Ikke vurderet
PVC	0,003	0,4%	Ikke vurderet
Til elektronisk forkobling:			
Polyamid	0,061	7,5%	
Epoxy (anslået) ca.	0,010	1,23%	
Magnetstål (pulver jern)	0,037	4,57%	Energi estimeret
Kobber i forkobling	0,021	3%	
Printkort komponenter i øvrigt	0,057	6,98%	Nogle er estimeret
Total	0,810	100,00%	

Tabel 4.1: Oversigt over materialeindholdet i én Zenith 190 LOW. Lyskilde og ledningsfremføring er ikke inkluderet.

Produktionsfasen

Det er blevet diskuteret med Thorn-Jakobsson, på hvilken måde det var muligt at inkludere produktion af delene til et belysningsanlæg. Der produceres et stort antal forskellige typer lamper af mange forskellige materialer. Energiforbrug og emissioner er kun opgjort for hele fabrikken. Det er derfor yderst vanskeligt at fordele energiforbrug og emissioner til produktion af enkelte lamper eller f.eks. per kg materiale virksomheden producerer. Da produktionsfasen i matrix-LCA'en blev fundet kun at udgøre en lille del af energiforbruget i forhold til brugsfasen, er det vurderet, at et kvalificeret estimat af energiforbruget hos Thorn-Jakobsson er tilstrækkeligt præcist til dette formål. Med hensyn til emissioner, som hidrører fra lakering af reflektoroverflade, antages disse at være negligeable, jf. afsnit 3.2.

Brugsfasen

Belysningsanlæggets brug og drifttid er beskrevet som en del af den funktionelle enhed i afsnit 3.1. I henhold til den geografiske afgrænsning er der regnet med el-energi produceret i Danmark i 1992. Dette el-scenarie findes i UMIP-databasen. Der er antaget et konstant belysning 12 timer i døgnet, hele året. Denne antagelse er af væsentlig betydning for energiforbruget i brugsfasen. Hvis der f.eks. kobles automatisk styring på belysningsanlægget, således at lyset slukkes når der ikke er aktivitet på gangen kan brændetiden og dermed energiforbruget reduceres væsentligt. Dette undersøges nærmere i kap. 8.

Bortskaffelse

Belysningsanlæg som det her beskrevne indbygges i loftet. Lamperne udskiftes derfor oftest sammen med loftet og bortskaffes p.t. sammen med bygningsaffaldet (Kristensen, 1999). Der foreligger imidlertid et forslag til EU-direktiv, som omhandler bortskaffelse af elektrisk og elektronisk affald (EEC, 2000). I dette direktiv stilles krav om indsamling af bl.a. printplader og lyskilder. Der er specifikke krav om genvinding af mindst 80% lysstofrør inden 2006 samt indsamling af alt kviksølv i disse. I følsomhedsanalysen for lyskilder er antaget 90% genvinding af materialer fra lyskilder, de resterende 10% antages udledt (Cu, Ni, Hg og Zn) eller tabt. Hvad gælder de øvrige dele forventes det, at 90% af den elektroniske forkobling og stålpladen vil blive sendt til genvinding, mens plastdele og øvrige smådele sendes til forbrænding. Vedrørende oparbejdning af print har IPU i anden sammenhæng indsamlet og estimeret data (Erichsen, 2000), som er anvendt i denne undersøgelse.

Transportfasen

Transport af råmaterialer, halvfabrikata og underleverancer samt transport i forbindelse med distribution og bortskaffelse er skønnet af IPU under antagelse af anvendelse i DK. Det er skønnet, at Thorn-Jakobsson's leverancer gennemsnitlig transporteres en afstand på 1000

km med stor lastbil på motorvej og at selve lampen transporteres 600 km (til ibrugtagningsted og derfra til bortskaffelse) med lille lastbil på landevej.

Systemudvidelse og undgået produktion

Ved at genvinde materialer undgås produktion af nyt materiale. Den genvundne mængde materiale trækkes fra det oprindelige forbrug af primært materiale. Der er kun regnet med genvinding af metaller i modellen for belysning da det ikke forventes der blive gjort en indsats for indsamling af plastdelene.

Genvindingsgrad

Der vil naturligvis være nogle tab ved genvindingen og genvindingsgraderne er anslået til følgende værdier. De sidstnævnte 6 metaller antages genvundet ved oparbejdning af elektronik print (hvor ledninger antages at følge den elektroniske forkobling):

Jern og stål: 90%,

Kobber: 90%

Nikkel: 85%

Bly: 85%

Zink: 85%

Sølv: 90%

Guld: 98%

Tab i forbindelse med genvinding kan henføres til indsamlingsleddet, shredderprocessen og oparbejdningsprocessen. I ovenstående genvindingsgrader er ikke inkluderet tab i forbindelse med indsamlingen, jf. ovenfor under bortskaffelse.

4.2 Procesoversigt

Detaljer om de enhedsprocesser, som indgår i livsforløbet, fremgår af modellerne, som er opbygget i UMIP PC-værktøjet. Udeladte processer er beskrevet i afsnit 3.2. En oversigt over processerne er vist i figur 4.2

1 stk Zenith belysningsanlæg inkl. lyskilder (SIO-PS017)

8 stk Lampe (SIO-PS01)

- 1 stk Undgået produktion for lampe (SIO-SU101)
 - 0,165 kg Stålblade (89% primær), TERMINERET (M32205T98)
 - 0,023 kg Cu-støbekvalitet (82% primær) TERMINERET (M32325T98)
 - 0,165 kg Omsmelting, stål, gennemsnit (HE-B2016)
 - 0,023 kg Omsmelting, kobber (skrot) (HE-B2040)
 - 1,3E-6 kg Zn (100% primær), TERMINERET (M32621T98)
 - 1,617E-6 kg Au (primær) (HE-M3011)
 - 0,00022 kg Sn (Tin), 100% primær (OW_M1005)
 - 2,8E-5 kg Bly (Pb), 100% primær, EU (HE-1015)
- 1 stk Produktionsfase for lampe (SIO-PF101)
 - 0,53 kWh Dansk elproduktion, 1992, TERMINERET (L32719T98)
- 1 stk Brugsfase for lampe (SIO-BRF101)
 - 1800 kWh Dansk elproduktion, 1992, TERMINERET (L32719T98)
- 1 stk Transportfase for lampe (SIO-TF101)
 - 810 kgkm Lastbil, >16t diesel motorv. TERMINERET (O32693T98)
 - 486 kgkm Lastbil 3,5-16t diesel, landevej (O32692)
- 1 stk Bortskaffelsesfase for lampe (SIO-BOF101)
 - 0,023 kg Affaldsforbrænding, Al, TERMINERET (B32632T98)
 - 0,081 kg Affaldsforbrænding, PA, TERMINERET (B32641T98)
 - 0,365 kg Affaldsforbrænding, PC, TERMINERET (B32637T98)
 - 0,057 kg Oparbejdning af print, kobberværk (HE-B3053)
- 1 stk Materialefase lampe (SIO-MF102)
 - 0,00476 kg Kobberledning, 0-1 mm (82% p) (M32197)
 - 0,0202 kg Plast, PA 66 (NF-M2436)
 - 0,3655 kg Plast, PC (HE-M4001)
 - 0,003 kg Plast, PVC (M32422)
 - 0,001 kg Plast, PE (high density) (M32440)
 - 0,205 kg Stålblade (89% primær), TERMINERET (M32205T98)
 - 6,25 stk Kompakt lysstofrør (SIO-D1005)
 - 1 stk Elektronisk forkobling til lampe (SIO-1101)
- 50 stk Undgået produktion kompakt lysstofrør (SIO-D1017)
 - 0,00027 kg Cu (P), TERMINERET (M32518T98)
 - 0,036 kg Glas (primær, 100%), TERMINERET (M32365T98)
 - 0,00027 kg Zn (100% primær), TERMINERET (M32621T98)
 - 9E-5 kg Ni(P) (M32478)
 - 0,0045 g Kviksølv* (SIO-K1010)

Figur 4-2: Procesoversigt, belysningsanlæg.

4.3 Resultatberegning

Resultaterne af opgørelsen er beregnet i UMIP PC-værktøjet. Et resume er vist i tabel 4.2. Detaljerede opgørelsesresultater findes i UMIP PC-værktøjet.

Gruppe	Udveklinger pr. zenith anlæg	Mængde i kg
Affald	Uspec. volumenaffald	2373
	Uspec. slagge & aske, energi	372,4
	Uspec. industriaffald	0,773
Luftemissioner	Carbondioxid (CO ₂)	13950
	Svovldioxid (SO ₂)	72,1
	Methan (CH ₄)	56,7
	Nitrogenoxider (NO _x)	51,9
	Uspec. partikler	6,8
	Carbonmonooxid (CO)	3,5
	Hydrogencarboner (HC)	1,5
	NMVOC, dieselmotorer	0,34
	NMVOC, kraftværker	0,31
	V (vanadium)	0,0083
	Ni (nikkel)	0,0029
	Pb (bly)	0,0012
	Cu (kobber)	0,0011
	As (arsen)	0,0011
	Hg (Kviksølv)	0,00026
	VOC	0,00026
Cd (cadmium)	0,00013	
Vandemissioner	Chlorid (Cl ⁻)	68,6
	Uspec. opløst stof	4,6
	COD	0,1
	Sr (strontium)	0,023
	BOD	0,0065
	NH ₄ -N	0,0051
	NO ₃ -N	0,0045
	Al (aluminium)	0,0045
	Mn(mangan)	0,0045
	ETDA, ethylendiamintetraeddikesy	0,0042
	Zn (zink)	0,002
	Cu (kobber)	0,0016
	Ni (nikkel)	0,001
	Formaldehyd	0,00034
	Sn (tin)	0,00029
	Ressourcer	Stenkul, rå, brændsel
Råolie, brændsel		270,3
Naturgas, brændsel		125,5
Uspec. biomasse, TS, brændsel		114,7
Brunkul, brændsel		29,3
Natriumchlorid (NaCl)		5,5
Stenkul, ren, brændsel		5
Naturgas, råmateriale		2,8
Råolie, råmateriale		2
Fe(jern)		0,49
Cu (kobber)		0,071
Al (aluminium)		0,040
Sn (tin)		0,0018
Zn (zink)		0,0015
Ni (nikkel)		0,00005
Sb (antimon)		0,000027
Bly (Pb)		0,000004
Au (guld)		0,00000026

Tabel 4.2: Udvalgte opgørelsesresultater for et belysningsanlæg 100 lux ved gulvoverflade i gang gennem 11,4 år.

5 Vurdering

5.1 Vurderingsmetode

Vurderingen følger UMIP-metoden, der er beskrevet i Wenzel et. al. (1996). Vurderingen følger 3 trin:

- Datakarakterisering
- Normalisering
- Vægtning

Datakarakterisering

Ved datakarakterisering beregnes potentielle miljøeffekter ud fra hvor kraftigt emissioner bidrager til en effekttype i forhold til en referenceemission. For drivhuseffekten, f.eks., er referenceemissionen kuldioxid (CO₂); men metan (CH₄) bidrager 25 gange så kraftigt og lattergas (N₂O) 320 gange så kraftigt. Ved at gange metan- og lattergasemissionen med de nævnte faktorer omregnes de til potentielle drivhuseffektbidrag målt i CO₂-ækvivalenter. Disse oplyses f.eks. i gram (g-ækv.). Der findes potentielle miljøeffekttyper for drivhuseffekt (CO₂-ækv.), forsurening (SO₂-ækv.), næringssaltbelastning (NO₃-ækv.), fotokemisk ozondannelse (C₂H₄-ækv.) samt for forskellige toksiciteter og affaldstyper. Foruden disse er ozonlagsnedbrydning ikke medtaget, da de er udfaset. Beregning af potentielle miljøeffekter indgår foruden i UMIP også i ISO 14042.

Normalisering

Forud for vægtningen foretages en *normalisering*. Normalisering betyder, at samfundets samlede bidrag til en potentiel miljøeffekt, f.eks. drivhuseffekt, beregnes per indbygger i referenceåret 1990. Enheden er *Personækvivalent*, PE. For globale effekter, så som drivhuseffekten, benyttes hele verdens bidrag til effekten per indbygger i verden. For lokale og regionale effekter, så som forsurening, næringssaltbelastning, fotokemisk ozondannelse og deponeret affald, benyttes bidraget til effekten i Danmark per indbygger i Danmark.

Vægtning

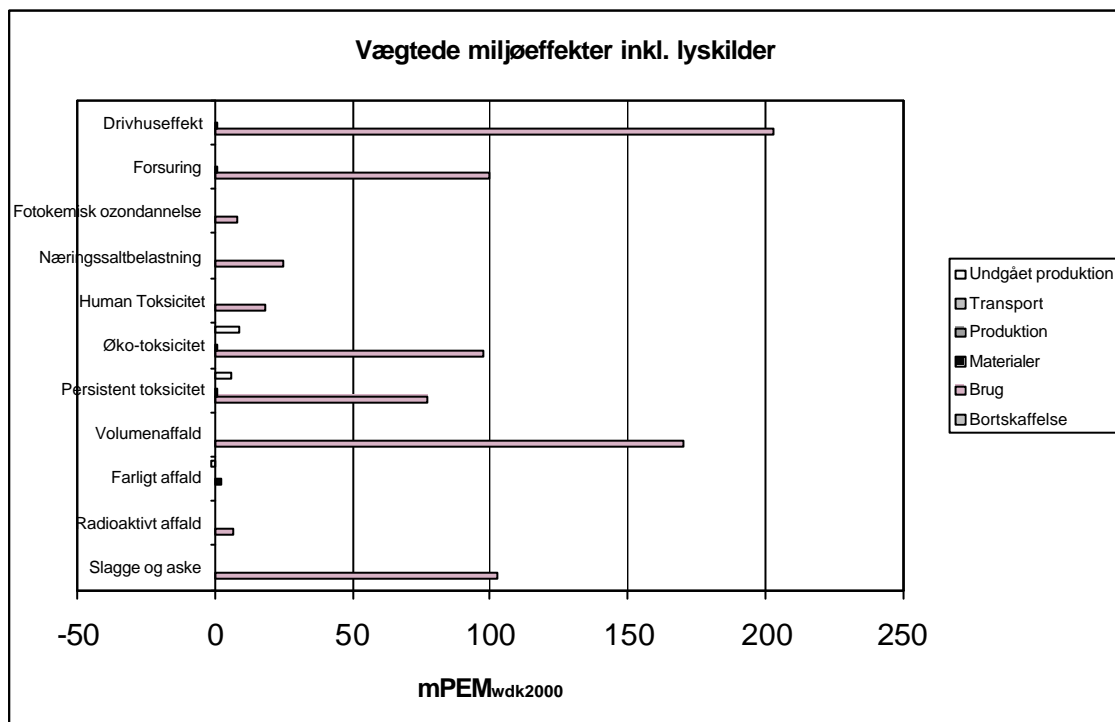
Vægtning af en miljøeffekt illustrerer hvor alvorlig en miljøeffekt og dens mulige konsekvenser vurderes at være i forhold til andre miljøeffekter. Den vægtningsmetode, som anvendes her, bygger på politiske målsætninger for reduktion af de væsentligste miljøbelastninger, som bidrager til de enkelte miljøeffekter. Reduktionsmålsætningerne beregnes i forhold til det valgte fælles målsætningsår 2000 og det valgte fælles referenceår 1990. Dette udtrykkes som den reciprokke værdi i en *vægtningsfaktor*. De politiske målsætninger afspejler til en vis grad faglige vurderinger, men er naturligvis også påvirket af økonomiske interesser m.v. Fordelen ved at benytte en politisk målsætning er, at det giver et politisk acceptabelt styringsgrundlag. Vægtningen sker ved at gange vægtningsfaktorerne med de respektive normaliserede miljøeffekter. Enheden er personækvivalenter målsat (PEM) med indices W (world), DK (danmark) og målsætningsårstallet. Millipersonækvivalenter er som regel den mest hensigtsmæssige enhed og enheden for vægtning er derfor mPEM_{WDK2000}.

Foruden vægtningen af de potentielle miljøeffekter foretages en tilsvarende procedure for vægtning af ressourceforbrug. For de enkelte ressourcer udtrykkes denne vægtning som andelen af personreserven opgjort i 1990, forstået som andelen af de kendte reserver af den pågældende ressource, som hver verdensborger råder over. Enheden er millipersonreserve, mPR_{w90} .

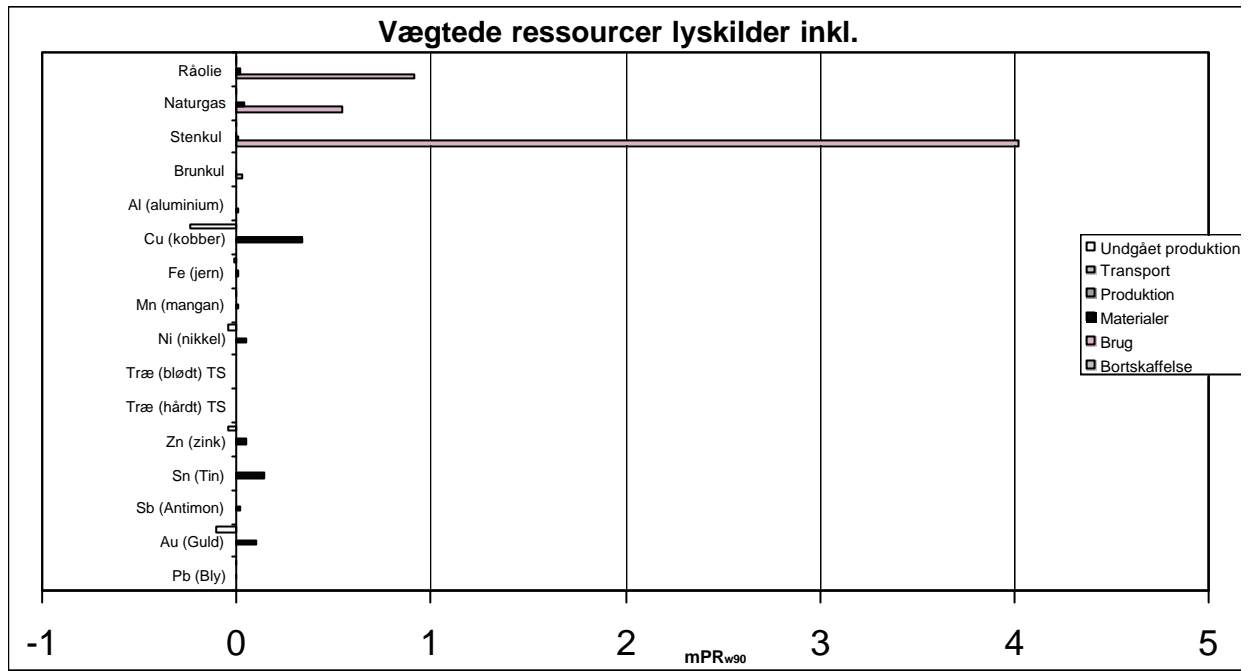
5.2 Resultater

Som resultat af miljøvurderingen er benyttet vægtning efter UMIP metoden (Wenzel et.al., 1996). Forud for vægtningen ligger en beregning af potentielle miljøeffekter og en normalisering. Alle beregningerne er udført i UMIP PC-værktøjet for den opbyggede model af belysningsanlægget, men kun de vægtede resultatet vises her.

Resultatet af vægtningen af ydre miljøeffekter og af ressourceforbrug fremgår af figur 5.1 og figur 5.2. Vægtningen er opdelt på faser. Resultaterne fremgår desuden af bilag B.



Figur 5-1: Vægtede miljøeffektpotentialer for Zenith belysningsanlæg .



Figur 5-2: Vægtede resourceforbrug for Zenith belysningsanlæg.

6 Fortolkning

6.1 Væsentligste påvirkninger

Ydre miljø

Med hensyn til det ydre miljø stammer de væsentligste påvirkninger fra brugsfasen og skyldes energiforbruget. Drivhuseffekt, forsurening, toksicitet (alle typer), volumenaffald samt slagge og aske er her dominerende med andel på mere end 99% i forhold til de øvrige faser. Den særligt høje andel af netop disse effekter kan tilskrives den overvejende kulbaserede elproduktion. Forudsætninger for elproduktionen er undersøgt i følsomhedsvurderingen for ventilationssystemer (Frees, 2000) og konklusionerne fra denne vurdering gælder også for belysning, jf. afsnit 6.2.

Af de øvrige faser er næsten kun materialefasen og fasen undgået produktion synlig indenfor effekterne farligt affald og økotoksicitet/persistent toksicitet. For farligt affald modregnes disse effekter dog i en vis grad ved undgået produktion af nyt materiale når materialerne genbruges. Fasen undgået produktion påvirker effekterne økotoksicitet og persistent toksicitet fordi det antages, at ca. 10% af metallerne i kompakte lysstofrør udledes til miljøet ved genvindingen.

Ressourcer

Med hensyn til ressourcer dominerer energiressourcerne til brugsfasen. I materialefasen ses også de vægtede ressourcer til fremstillingen af elektroniske dele. De materialer, som tydeligt fremgår er kobber, tin, guld (og til dels nikkel, zink og antimon). Forbruget af materialer modregnes til dels ved undgået produktion af nye materialer når den elektroniske forkløbing genvindes, dette gælder dog ikke tin. Genvindingsprocenter er estimeret af Erichsen (2000). Det er altså af væsentlig betydning for ressourceforbruget, at materialerne kan genvindes, hvilket bl.a. indebærer at de let kan adskilles ved bortskaffelse.

6.2 Følsomhedsvurdering

Her vurderes, hvor følsomme de opnåede resultater er dels i forhold til usikkerhed på de anvendte data og vurderingsfaktorer og dels i forhold til de forudsætninger (antagelser, forenklinger, udeladelser), som er foretaget under studiet.

Brugsfasen

Da brugsfasen er mest dominerende, både med hensyn til ydre miljøeffekter og til ressourcer, er denne fase også mest følsom med hensyn til usikkerhed og anvendte forudsætninger.

Brugsfasen er følsom på antagelsen af elscenarie (dansk gennemsnits elproduktion) og på usikkerhed forårsaget af datas alder (1992). I rapporten for ventilationssystemer er udført følsomhedsanalyse dels på et nyere dansk elscenarie (1996) og dels på antagelse af dansk marginal elproduktion (naturgas) (Frees, 2000). Miljøbelastningen mindskes ca. 20% for dansk el-scenarie 1996. For naturgas marginal el mindskes CO₂ med ca. 1/3. For de øvrige effekter reduceres nogle mere andre mindre. Med hensyn til de vægtede ressourcer falder stenkulsforbruget med ca.

17% men dette opvejes af en tilsvarende stigning i det vægtede olieforbrug. Olie vægtes hårdere end stenkul så i fysiske mængder er stigningen i olieforbrug mindre. For naturgas marginal el medfører den hårdere vægtning af naturgas, at det samlede vægtede forbrug af fossil energi stiger med 40% selvom stenkul næsten falder helt væk.

Energiforbruget i produktionsfasen er kun medtaget med et lavt erfaringsbaseret estimat, men det er i følsomhedsvurderingen vist, at selvom energiforbruget forøges ca. 25 gange ændres ikke ved de samlede konklusioner. En forøgelse af energiforbruget i produktionsfasen er dog selvfølgelig ikke ønskværdigt. Følsomhedsvurderingen vedr. elscenarier kan ligeledes ikke ændre ved den konklusion, at brugsfasen er altdominerende.

Toksicitetsvurderingerne af brugsfasen er usikre og antageligt for små idet der mangler toksicitetsvurdering af VOC'erne. Da det ikke har været muligt at skaffe oplysninger om enkeltstoffer i VOC og NMVOC har disse ikke kunnet vurderes og toksicitetsvurderingerne gælder derfor kun emission af metaller fra el-produktion.

Mængden af farligt affald fra energiproduktion til brugsfasen er lille, hvilket kan skyldes manglende registrering under den oprindelige dataindsamling.

Øvrige faser

For de øvrige faser spiller kun toksicitet og farligt affald en rolle. Betydningen af materialer i og bortskaffelse af lyskilder er inkluderet ved estimat af materialeindholdet da de indeholder en række materialer, bl.a. kviksølv, hvoraf en lille del vil emitteres ved bortskaffelse. Det ses at selv ved genvinding af materialer i lyskilderne, dvs. under antagelse af et spild på 10% af materialerne som emission har de en betydning for bidraget til økotoksicitet og persistent toksicitet (7-9% af brugsfasen). Det er undersøgt, hvad det betyder, hvis lyskilder ikke genvindes men forbrændes. I dette tilfælde øges bidraget til persistent toksicitet betydeligt og ressourceforbruget øges i en vis grad. Det har således væsentlig betydning, at lyskilder indsamles.

Da der kun er ringe viden om fremstilling og indhold af elektroniske komponenter, er disse ikke inkluderet i studiet. For at vurdere denne udeladelse er der på baggrund af generel viden om materialeindhold i elektroniske komponenter (Erichsen, 2000) estimeret et materialeforbrug inkl. genvinding. Da der i komponenterne kan anvendes relativt sjældne metaller, som vægtes højt, har dette materialeforbrug stor betydning for anvendelsen af ressourcer. Dette betyder, at også indsamling af elektroniske dele er vigtig, især for ressourceforbruget.

I referencesystemet, hvor der anvendes 2 x 13 W lysstofrør er det antaget, at der er etableret indsamlings- og genvindingssystemer til lyskilder og elektroniske dele. I forhold til den undersøgte referencevilken betydning det har, hvis der ikke foretages genvinding. Det antages, at lyskilder og elektronik sendes med øvrigt affald til forbrænding. Der er et væsentligt større forbrug af stort set alle materialer når der ikke genvindes (en eventuel genvinding af antimon og tin medtages ikke i nogen af systemerne da der ikke er viden om at disse stoffer genvindes).

Økotoksicitet og persistent toksicitet varierer noget afhængigt af om der genvindes eller ej. Hvis der ikke genvindes antages elektronik og

lyskilder at blive sendt til affaldsforbrænding sammen med husholdningsaffald. Ved affaldsforbrændingen vil en del af metallerne blive emitteret, hvilket fører til et højere potentiale for persistent toksicitet. Den højere økotoksicitet i referencesystemet skyldes en antagelse om, at der ved genvinding emitteres en lille del af metallerne direkte til vand.

Indsamling og genvinding af materialer i elektronik og lyskilder er af ressourcemæssige årsager vigtigt. Miljøeffekterne afhænger af, hvilken metode bortskaffelsen antages at foregå efter, men der vil under de fleste omstændigheder være mulighed for at metaller frigives til miljøet, hvorfor indsamling og genvinding også har miljømæssig betydning.

6.3 Diskussion

På baggrund af dominans- og følsomhedsvurderingen konkluderes det, at de foretagne forenklinger har været rimelige, og at det relative forhold mellem de vægtede miljøeffekter indbyrdes (se kapitel 5) ikke i væsentlig grad er følsomme i forhold til de anvendte data, selvom f.eks. elscenariet er af ældre dato. Hvis man vil basere konklusioner på de absolutte resultater af miljøvurderingen bør man tage hensyn til følsomheden på el-scenarierne, især for naturgas marginal el. Det bør også vurderes mere detaljeret, hvorledes lyskilder og den elektroniske forkobling behandles ved bortskaffelse. Specielt hvis levetiden af forkoblingen er mindre end antaget kan det være af betydning, hvorledes bortskaffelsen foregår, fordi mængden af elektroniske dele kan øges markant.

Det kan desuden konkluderes, at en indsats for miljøforbedring især skal koncentrere sig om at nedbringe energiforbruget under drift. Desuden bør der gøres en indsats for at styrke genvinding af såvel lyskilder som elektronik. Dette kan primært gøres ved via design/konstruktion at sikre en lettere adskillelse af armaturets dele ved bortskaffelse samt via en brancheindsats for at etablere effektive indsamlings- og genvindingsordninger. I kapitel 8 gås i flere detaljer med potentialer for miljøforbedring.

7 Repræsentativitet for produktfamilien

Som allerede nævnt i indledningen opfylder belysning mange forskellige formål. Vurderingen i denne rapport omhandler baggrundsbelysning fra armaturer i loftet. Denne funktion kan varetages af mange forskellige typer armaturer, som ikke principielt adskiller sig fra armaturer til andre indendørs formål. Udendørs belysning adskiller sig fordi der ofte anvendes væsentlig højere wattager og fordi der ikke stilles helt så store krav til farvegengivelse. Den anvendte lyskilde er en vigtig parameter både med hensyn til energiforbrug og bortskaffelse. Den undersøgte produktfamilie omhandler belysningsanlæg, som anvender lysstofrør (alm. eller kompakte). Alternativt anvendes forskellige typer glødelamper (almindelige eller halogen). Energiforbruget for lysstofrør er væsentligt mindre end for glødelamper, men det er nødvendigt at styre strøm og spænding vha. forkoblinger (evt. er dette indbygget i lyskilden som det er tilfældet med elsparepærer).

Med mindre der anvendes sparsomme ressourcer som f.eks. kobber til selve armaturet, vurderes materiale- og produktionsfaserne ikke at være af så stor betydning, at de giver anledning til væsentlige forskelle mellem forskellige armaturer. Selve udformningen af armaturet har selvfølgelig stor betydning for lysudbyttet, men dette er netop en af de forbedringsmuligheder, som der arbejdes videre med i kapitel 8. Der vurderes ikke at være væsentlige forskelle i levetid mellem forskellige armaturer.

Det undersøgte produkt vurderes således at være repræsentativt for indendørs belysning, hvor der anvendes lysstofrør. Erkendelser vedrørende forkobling finder dog ikke anvendelse for armaturer, som anvender elsparepærer, mens erkendelser vedr. indsamling lyskilder også er gældende her.

Der findes andre koncepter for belysning end det her beskrevne, primært en øget anvendelse af dagslys, eksempelvis ved brug af reflektorer og lyskanaler. I Danmark er det imidlertid vigtigt at eksempelvis reflektorer i form af f.eks. persiener eller lyshylder er justerbare da disse i grævejr ikke tillader lys at passere i tilstrækkelig grad. Den bedste udnyttelse af dagslys fås i Danmark ved hensigtsmæssig udformning og placering af vinduer samt ved etablering af lysregulering, som tager hensyn til dagslysets styrke. En andet koncept er anvendelse af meget kraftige lyskilder eksempelvis plasma med efterfølgende fordeling af lyset ved hjælp af lyskanaler. Disse koncepter for belysning skal imidlertid grundlægges allerede ved tegning af bygninger og er således kun mulige for nybyggeri. Mulighederne er også så løst formuleret, at det ikke er muligt at miljøvurdere dem som et konkret miljøforbedringspotentiale i kapitel 8.

8 Forbedringsanalyse

8.1 Diagnose

Resultatet af miljøvurderingen viser, at miljøbelastningen fra belysningsanlæg overvejende stammer fra energiforbruget i driftsfasen. Ressourcerne til fremstilling af energi er således de dominerende, men knappe materialeressourcer som kobber, tin og guld anvendt i elektronik og lyskilder har også vist sig at være betydningsfulde.

Der er forskellige muligheder for at reducere energiforbruget og ressourcetrækket.

Lyskilder

Der er flere parametre, som har betydning for energiforbruget. Som vist i bilag A er der stor forskel på lysudbyttet (lumen pr. watt) af forskellige lyskilder. For eksempel øges lysudbyttet 3-10 gange ved at skifte fra glødelamper til elsparepærer (kompakte lysstoflamper). Også andre parametre som levetid, farvegengivelse m.m. varierer. Ofte er blandt andet farvegengivelsen ringere hos de mere energieffektive lyskilder. Levetiden er derimod ofte højere og denne har betydning for blandt andet den mængde ressourcer, som anvendes. Der foregår en løbende udvikling hos producenterne mod lyskilder, som giver stadig højere lysudbytte, men som samtidig opfylder de væsentligste krav om farvegengivelse m.m. Dette er således et forbedringspotentiale, som allerede forfølges af producenter og er blevet det i en række år. Det er ikke på nuværende tidspunkt muligt at sige hvor effektive lyskilderne kan blive. I det beregnede eksempel anvendes allerede kompakte lysstofrør, hvorfor den store energibesparelse i forhold til glødelamper allerede er foretaget. Efterfølgende energibesparelser for lyskilder forventes at være af mindre betydning.

Armaturer

Armaturets væsentligste formål er:

- at afskærme lyskilden så blænding undgås
- at styre/fordele lyset i forhold til den konkrete anvendelse
- at forhindre berøring af lyskilden
- at give et vist synsmæssigt indtryk ved sit design

Virkningsgraden af armaturerne kan variere meget. Selve armaturet kan reducere lysstrømmen med mere end 50%, men normalt reduceres lyset med 30-50 %. Det undersøgte armatur har en virkningsgrad på 49 %, dvs. 49 % af lyset fra lyskilderne kommer til gavn udenfor armaturet. Der er således væsentlige forbedringspotentialer ved udformningen af armaturer, som har en større virkningsgrad. Det skal derfor tilstræbes at skabe en god balance mellem gode afskærmnings- og fordelingssegenskaber og høj virkningsgrad. Der kan også være andre hensyn, f.eks. den tilgængelige højde til indbygning over loftet. Det undersøgte armatur er fremstillet til lav indbygningshøjde. Virkningsgraden af armaturet øges væsentligt (til 68 %) blot ved at gøre det højere og vende lyskilden, men dette kræver, at der er plads til et højere armatur mellem loftet og etageadskillelsen. Det vil normalt ikke være armaturer til belysning, som er bestemmende for disse forhold.

Der er også mange andre hensyn som skal tages i forbindelse med etagehøjden, bl.a. skal der ofte være plads til f.eks. ventilationskanaler. I det undersøgte eksempel kan der, ved udskiftning af armaturer, i dette tilfælde installation af 10 armaturer med 1 x 18 W lyskilder, opnås lys med samme styrke og regelmæssighed som de 8 armaturer med 2 x 13 W i referencen (Kjær, 2000).

Lysstyrings/ reguleringssystemer

Det undersøgte belysningsanlæg er antaget at være tændt 12 timer i døgnet. Dette skyldes, at det oplyser en lang gang, hvor der ikke er andre lysindfald.

Energiforbruget er også af denne årsag forholdsvis højere end hvis lyset kun var tændt f.eks. halvdelen af almindelig arbejdstid. Energiforbruget kan reduceres ved at introducere automatiske lysstyrings-/reguleringssystemer. Lysstyringssystemer fungerer ved automatisk at tænde, slukke eller dæmpe lyset afhængigt af behovet. En forudsætning for at lysstyringen kan fungere optimalt er, at brugsmønstret for lokalerne analyseres, således at eksempelvis timer (tidsstyret tænd/sluk) kan kombineres med bevægemeldere, som er indstillet at lade lyset være tændt i et tilpas tidsrum efter sidste aktivitet i lokalet. Lysstyring involverer naturligvis en række komponenter (dagslyssensorer, bevægemeldere, regulerings-/styringselektronik etc.), som bidrager til systemets ressourceforbrug, men det samlede ressourceforbrug forventes at blive mindre. Philips har oplyst, at energibesparelsen ved at gå fra ordinære tænd-sluk armaturer til armaturer med højfrekvensdrift (dvs. med frekvensomformer i forkoblingen) er på omkring 25% (Philips, 2000). Hvis der yderligere tilkobles dagslysdæmpning og bevægemeldere kan energibesparelsen ligge på op til 70% eller mere afhængig af de specifikke forhold for bygningen (BPS, 2000). Som gennemsnit for en bygning anslås dog en generel besparelse på ca. 50% (Philips, 2000). I en publikation om lysstyring fra Byggecentrum (BPS, 2000) findes en detaljeret gennemgang af de forhold som har betydning for besparelspotentialet ved lysstyring.

Materialeressourcer

Den væsentligste del af ressourceforbruget er energiressourcer, som også reduceres ved et reduceret energiforbrug. De andre væsentlige ressourceforbrug er sparsomme ressourcer, som anvendes i de elektroniske dele og i lyskilderne. Det drejer sig især om kobber, tin, guld (og til dels nikkel, zink og antimon), som anvendes i dele af de elektroniske komponenter, samt i lyskilder. Kobber anvendes desuden i ledninger, hvoraf dog kun ledninger i selve armaturet er medtaget, ikke ledningsfremføring til armatur. Ved introduktion af dagslyssensorer og dæmpning skal det bemærkes, at dæmpningen reguleres af et 1-10V signal, der kræver 2 ekstra ledninger til hvert armatur. Der er ikke umiddelbart muligheder for helt at udelade disse sparsomme ressourcer, men tendensen indenfor elektronik går mod stadig mindre komponenter. Som det fremgik af følsomhedsvurderingen er det vigtigt for materialeressourcerne, at der etableres genvindingssystemer til elektronik og lyskilder.

8.2 Forbedringspotentialer

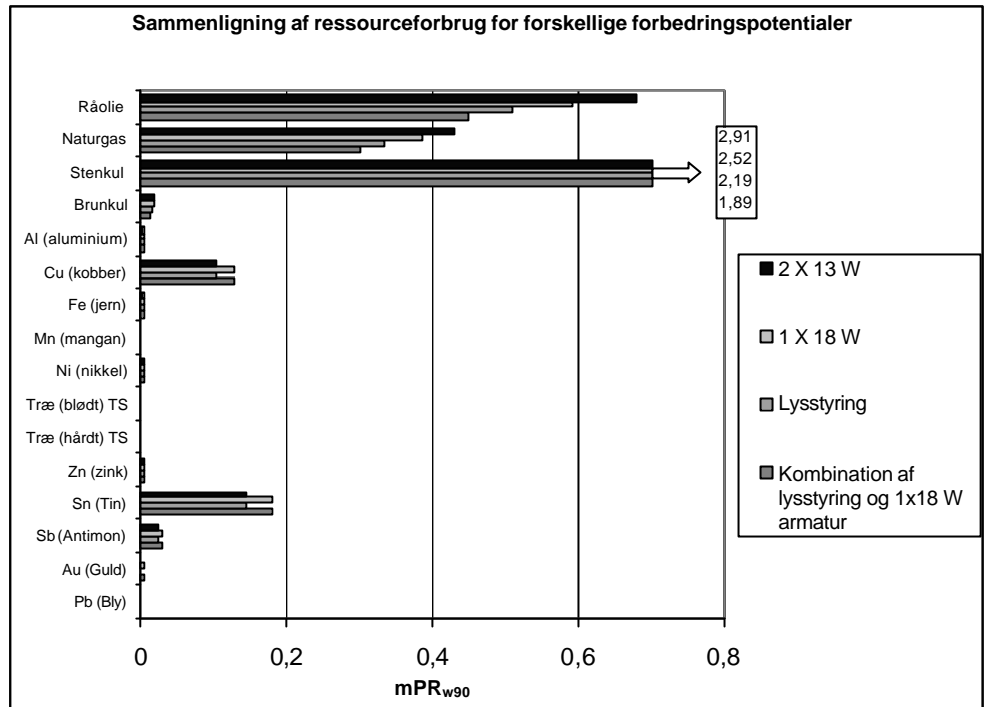
Fig. 6 og 7 viser de vægtede miljø- og ressourcebelastninger for referencearmaturet (8 stk armaturer 2 x 13 W) sammenlignet med følgende alternativer:

1. 1 X 18W. Ændret armaturhøjde fra 145 mm til 245 mm. Installation af 10 armaturer med 1 x 18W. Vægten af plast- og

stålmaterialer i armaturerne er lidt større end referencearmaturerne men disse materialer har ikke væsentlig miljømæssig betydning, hvorfor der ikke tages hensyn hertil i beregningen. Armaturerne anvender samme elektroniske forkobling. Armaturer indbygges i nedhængt loft således at rum volumen ikke ændres, der tages derfor ikke hensyn til et eventuel øget behov for rumopvarmning.

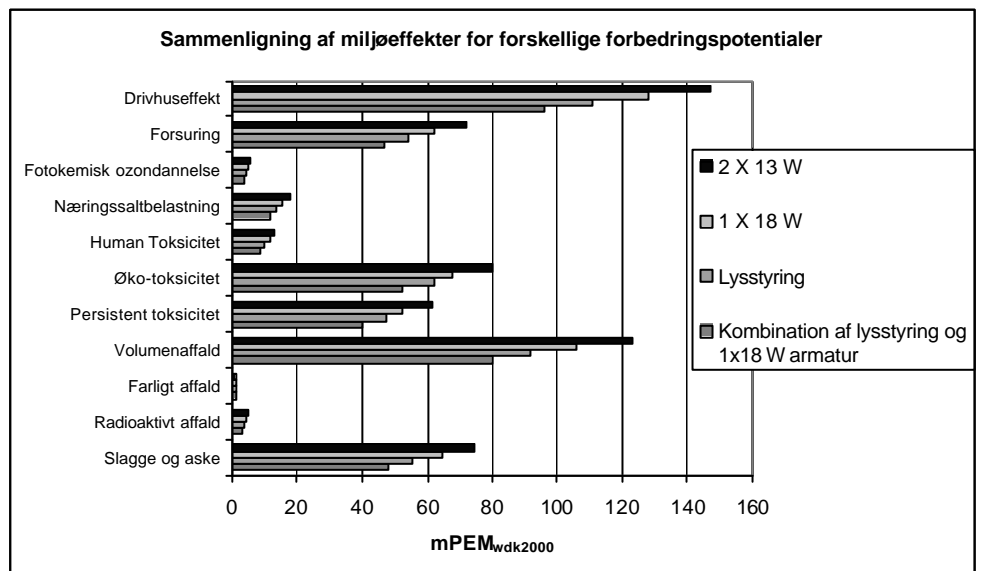
2. Lysstyring. Etablering af lysstyringssystem, som dels er timer-styret dels styret af bevægemeldere. Bevægemelderne registrerer infrarød stråling og sørger for, at der slukkes for lyset når der ikke har været aktivitet på gangen i 10 minutter i de perioder, hvor der ikke er megen aktivitet (f.eks. inden kl. 8.00 og efter kl. 17.00, samt i perioder midt på dagen. Timeren styrer, hvornår lyset skal være tændt hele tiden. Dette system forventes at kunne spare ca. 25% af energien, selvom separate bevægemeldere forbruger ca. 5 W. Bevægemeldere, som er en del af et system vil dog oftest have væsentlig lavere energiforbrug (BPS, 2000) og normalt ligger energiforbruget for et helt system på 2-4 W (Philips, 2000). Separate bevægemelderens energiforbrug svarer til ca. 5 % af det samlede energiforbrug når der skal anvendes 2 (en i hver ende af gangen), dvs. at lysteringsen skal sørge for at lyset slukkes ca. 3,5 timer ud af de 12 timer der er regnet med for at spare 25% af energien. Det har desuden ikke været muligt at skaffe oplysninger om materialer m.m. som indgår i bevægemeldere. Bevægemelderens materiale- og energiforbrug såvel som bortskaffelse og eventuelle særligt skadelige emissioner indgår derfor ikke i beregningen.
3. En kombination af de to ovenstående

Som det fremgår af figur 8-1 er der en besparelse på op til 25% af energiressourcerne ved introduktion af lysstyring mens potentialet er lavere ved ændring af armatur (ca. 13%) og selvfølgelig noget højere hvis forbedringerne kombineres (op til ca. 35%). Når det gælder de øvrige ressourcer fremgår det, at der er et større forbrug af kobber i 1 x 18W-systemet på grund af, at der anvendes flere elektroniske forkoblinger, hvorimod forbruget af nikkel og zink som anvendes i lyskilder er lavere i dette system.



Figur 8-1: Sammenligning af ressourceforbrug ved ændring belysningsanlægget.

Som det ses på figur 8.1 er der, med undtagelse af farligt affald, en reduktion af alle miljøeffekter for både lysstyring og armaturændring, primært som følge af det reducerede energiforbrug. Da der anvendes 2 armaturer mere er der en øget mængde farligt affald fra materialefasen (stammer især fra fremstilling af plast samt forkobling), noget tilsvarende vil sandsynligvis gøre sig gældende for lysstyring da der anvendes bevægelmere.



Figur 8-2: Ved sammenligning af miljøeffekter er der med undtagelse af farligt affald, som stammer fra armatur og forkobling reduktion af alle effekter på grund af det reducerede energiforbrug.

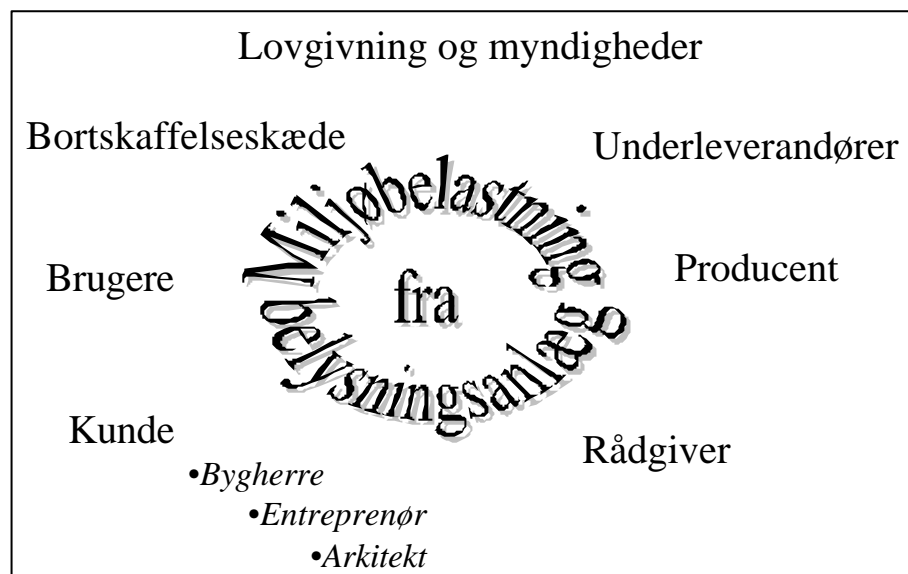
Reduktionen af miljøeffekter for armaturændring ligger fra ca. 11,5 til ca. 16% mens der er en næsten 25% øgning i mængden af farligt affald. For lysstyring er reduktionen generelt ca. 25% svarende til reduktionen i energiforbruget.

Undersøgelsen af forbedringspotentialerne viser, at energiforbruget har så stor betydning for samtlige miljøeffekter, at energibesparende foranstaltninger som lysstyring med fordel kan indføres selvom der f.eks. anvendes lidt flere ressourcer (bl.a. til bevægemeldere m.m.). Selvom lysstyring giver den største energibesparelse er der også miljøforbedringspotentialer i udvikling af armaturer med højere virkningsgrad og en kombination af disse giver op til 35% reduktion af miljøbelastningen.

9 Teknisk og forretningsmæssig vurdering af miljømæssige forbedringspotentialer

På baggrund af den gennemførte miljøvurdering vurderes de undersøgte miljømæssige forbedringspotentialer at være dem med størst potentiale for miljømæssige forbedringer. I dette kapitel gennemføres en vurdering af de tekniske og forretningsmæssige aspekter ved disse miljømæssige forbedringspotentialer.

Miljøbelastningen fra belysning bestemmes af mange faktorer, der påvirkes af flere forskellige aktører. De aktører, som har indflydelse på belysningsanlæggets miljøbelastning er skitseret i figur 9.1.



Figur 9-1: Skematisk overblik over de forskellige aktører, som har indflydelse på miljøbelastningen fra belysningsanlæg

Nedenfor vil de forskellige aktørers påvirkningsmuligheder blive gennemgået.

9.1 Aktørernes muligheder for påvirkning

9.1.1 Producenter og underleverandører

Denne gruppe af aktører omfatter producenter af både armaturer, lyskilder og komponenter til lysstyringsanlæg. Deres muligheder for påvirkning af miljøbelastningen er primært ved udvikling af mere effektive lyskilder og armaturer samt ved valg af materialer og komponenter. Eksempelvis er der mulighed for at designe og fremstille armaturer således, at de er mere effektive og så de er adskillelsesvenlige i forbindelse med bortskaffelse. Indenfor lyskilder foregår en stadig udvikling mod mere effektive lyskilder og den generelle tendens går også mod udvikling af elektroniske komponenter som anvender færre sparsomme ressourcer. Producenter af armaturer kan f.eks. vælge at

udvikle armaturer, som anvender de mere effektive lyskilder og vælge underleverandører, som anvender færre sparsomme ressourcer. Da råvarepriserne er internationalt bestemt og bl.a. afhængig af tilgængelighed gøres sandsynligvis en indsats for at spare på anvendelsen af ressourcer alene af konkurrencehensyn. I takt med fremkomsten af nye lyskilder er der en stadig nyudvikling af armaturer. Udbuddet er der således i dag men anskaffelsesprisen er ofte højere for disse produkter hvorfor mange vælger en billigere løsning. Bortset fra helt specifikke krav (eks. vedrørende indhold af halogener) anses det for usandsynligt, at der fremover stilles specifikke miljøkrav til den enkelte underleverandør. Dette skyldes, at mange komponenter produceres i meget store mængder da de indgår i flere typer produkter, hvorfor leverandøren står stærkt overfor armaturproducenten. Herudover er det næppe noget armaturproducenten vil bruge ressourcer på medmindre kundekrav eller forventninger om kundekrav berettiger det.

9.1.2 Kunder, rådgiver og bruger

Kunderne, som typisk er offentlig eller privat virksomhed, kan prioritere og vælge miljørigtige løsninger på belysning. Eksempelvis kan valg af lysregulering give besparelser på op til 70 % i forhold til en traditionel løsning. Kunderne kan evt. forlange en energiberegning så forbruget i driftsfasen bliver defineret i relation til omkostningerne. Som det diskuteres senere er kundens valg selvfølgelig bl.a. et prisspørgsmål og et spørgsmål om tilbagebetalingstid. Kunderne kan/bør også stille krav til producenterne om f.eks. indholdet af farlige stoffer i armaturer og komponenter. Dette foregår f.eks. Sverige, hvor bl.a. Energimyndigheden og den svenske naturbeskyttelsesforening sammen udarbejder store spørgeskemaer til belysning af en række miljøforhold. Rådgiverne spiller en stor rolle i forbindelse med vejledning af kunderne mht. til projektering af miljørigtige anlæg med optimeret lysregulering. De har også indirekte en rolle i forbindelse med f.eks. rådgivning af myndigheder mht. love og reguleringer, samt udarbejdelse af eksempelvis rapporter, som lovgivning henholder sig til. Brugernes accept og forståelse af lysreguleringssystemer er desuden meget væsentlig.

9.1.3 Bortskaffelseskæde

I forbindelse med bortskaffelse af lyskilder, armaturer og tilbehør er det væsentligt, at der etableres effektive indsamlingsordninger, som tager hensyn til bl.a. nedrivningsproblematik, dvs. at f.eks. downlights bortskaffes sammen med lofter ved nedrivning. Det er desuden vigtigt, at genvindingsteknologien kan håndtere den type affald og de materialer, som det drejer sig om. I et forslag til EU-direktiv stilles krav om genvinding af mindst 80% af lyskilder samt elektronik generelt inden år 2006. Teknologisk kan det pt. i Danmark lade sig gøre at genvinde ca. 98% af materialerne i lysstofrør. Dette niveau forventes forhøjet ligesom kompakte lysstofrør medtages i løbet af få år (Klausen, 2000).

9.1.4 Lovgivere og myndigheder

Lovgivere og myndigheder har muligheder for at påvirke ved at vedtage og forvalte love, vejledninger og reguleringer, som stimulerer miljørigtige løsninger. Tilskudsordninger er ligeledes en foranstaltning som kan fremme energibesparende tiltag. Belysningsanlæg er omfattet af bygningsreglementet (dog ikke småhuse, som er omfattet af andet reglement). Bygningsreglementet (Reglement nr. 4002 af 13/02 1995)

med seneste ændring (By- og boligministeriets bek. Nr. 10816 af 15/10 1999) stiller som krav til belysning, at energiforbrug og effektbehov begrænses mest muligt under hensyntagen til rummets udformning og anvendelse, herunder krav til belysningens kvalitet og driftstid. Dette kan f.eks. ske ved at følge de metoder og vejledninger, der er angivet i SBI-anvisning 184: Bygningers energibehov. Desuden kræves, at belysningsanlæg skal udføres opdelt i zoner afhængig af dagslysforhold. Bestemmelsen opfyldes ved at montere manuel og/eller automatisk afbryder for hver enkelt zone. Belysningsanlæg skal desuden udføres på grundlag af DS 700-serien »Retningslinier for kunstig belysning i arbejdslokaler«. Som et yderligere krav, skal udendørs belysning være forsynet med automatisk styring efter dagslysforhold og brugstid.

9.2 Tekniske muligheder

I det konkrete eksempel for miljøvurderingen blev enkelte tekniske løsningsmuligheder vurderet. I det følgende ses mere bredt/generelt på miljømæssige forbedringer af belysningsanlæg.

9.2.1 Design af armaturer, valg af materialer og komponenter

Produktudvikleren har mulighed for at variere design af armaturer således, at de tilpasses givne formål. Som beskrevet i kapitel 3.1.1 skal armaturer opfylde flere vigtige formål. Rent lysteknisk er det især afskærmning af lyskilden samt retningsstyring af lyset, som har betydning. Når det gælder potentielle energibesparelser er det vigtigt, at armaturet har en høj virkningsgrad samt fordeler lyset på en for formålet tilfredsstillende måde. Parametre som dæmpning og tænd/sluk sensor har også stor indflydelse på energiforbruget og er parametre som skal indkalkuleres i udviklingsopgaven. Produktudvikleren/konstruktøren har handlemuligheder i forbindelse med valg af materialer samt formgivning af armaturet. Desuden kan konstruktøren vælge mellem forskellige lyskilder (armaturer er oftest konstrueret til én specifik lyskilde) samt mellem forskellige typer forkoblinger. Et lyssystemes præstationen afhænger af, hvor godt komponenterne fungerer sammen. Konstruktørens opgave er at udvikle et armatur, som kan opfylde et specifikt formål, med størst muligt lysudbytte uden at kompromittere kvaliteten af belysningen (f.eks. eliminere blanding).

Af hensyn til genvindingen af materialer er det væsentligt, at armaturet og de enkelte komponenter, især de elektroniske, er adskillelsesvenlige og identificerbare. Der er dog krav, som skal opfyldes f.eks. skal der være skruekobling mellem forkobling og øvrige armatur.

9.2.2 Introduktion af lysstyring/-regulering

Behovet for kunstigt lys i et lokale afhænger af lokalets anvendelse samt dagslysets styrke og er detaljeret beskrevet i DS 700 hvor minimumskravene er angivet. Det anbefales at lægge sig tæt op ad de anbefalede værdier. En dybtgående beskrivelse af muligheder for regulering af lyset er gennemgået i en BPS-publikation om lysstyring (BPS, 2000). Der er et utal af forskellige muligheder, som spænder fra en simpel opsætning af bevægemeldere til integrerede bygningsinstallationer (IBI), hvor mange forskellige funktioner i bygningen (eks. temperatur, ventilation, belysning, adgangskontrol m.m.) styres af et centralt anlæg (centraliseret tilstandskontrol- og

styring, CTS). Der er således gode muligheder for at tilpasse et lysstyringsanlæg præcist i forhold til de ønsker der måtte være.

Besparelsespotentialer ved introduktion af lysstyring/-regulering er meget afhængig bla. dagslysvariationerne i det belyste lokale samt lokalets brugsmønstre. Ved interview af forskellige aktører fremgår det, at der generelt er besparelsespotentialer på 40-70% ved introduktion af lysregulering fremfor blot manuelt tænd/sluk af lysstofrørarmaturer.

9.2.3 Genvindingssystemer

I Danmark findes et meget effektivt genvindingsanlæg for lysstofrør. Der genvindes 98% af bestanddelene i lysstofrør og det forventes, at genvindingen kan øges til > 99,5%. Det forventes, at der vil kunne opnås gode genvindingsprocenter med kompakte lysstofrør i løbet af få år. Med hensyn til genvinding af øvrig elektronik (i armaturer og forkoblinger) vil et netop igangsat forprojekt indenfor belysningsbranchen undersøge behov og muligheder.

9.3 Forretningsmæssige muligheder

De forskellige aktørers holdninger er undersøgt ved telefoninterview af repræsentanter for forskellige grupper af aktører. Der er således talt med to armaturproducenter, tre leverandører af lysstyringsanlæg, med to rådgivere, to offentlige bygherrer/kunder samt to entreprenører. Der er ikke kommet et fuldstændigt entydigt billede ud af undersøgelsen, fordi der var forskellige opfattelser af holdninger blandt de adspurgte.

Generelt gælder det dog, at der er stor villighed til at etablere forskellige former for lysstyring, hvis investeringerne er forholdsvis små og tilbagebetalingstiden er kort dvs. 1-2 år eller mindre. Dette stemmer meget godt overens med resultater fra ventilation, hvor det blev fundet, at alternative løsningsmuligheder generelt ikke må være mere end 10-15% dyrere og skal have en tilbagebetalingstid på mindre end 2 år.

Udskiftning af glødelamper til lysstofrør har meget korte tilbagebetalingstider pga. de store elbesparelser. Besparelserne ligger primært på el men besparelser i vedligeholdelsesudgifter, f.eks. mandskab til udskiftning af lyskilder kan også være væsentlige ved overgang til lyskilder med længere levetid.

De mest kritiske rum med hensyn til tilbagebetalingstider i forbindelse med lysregulering er enkeltmandskontorer fordi personen oftest selv sørger for at slukke lyset.

Nogle af de største besparelser er opnået i haller med ovenlys, hvor det normale konstante lys er blevet udskiftet med dagslysstyret belysning samt offentlige områder som auditorier, toiletområder osv. udstyret med bevægemeddelere.

De større entreprenører oplever en ringe interesse for lysregulering primært begrundet i en adskillelse mellem anlægs- og driftsudgifter hos bygherre. Der kan også være en tendens til, at en totalentreprise for at holde udgifterne nede ikke medtager lysstyring i deres tilbud. Med mindre der lægges specifikt vægt på lysstyring skæres det ofte væk ved den økonomiske tilretning af byggeprojektet. For de adspurgte offentlige institutioner har det dog kun været for vedligehold (udskiftning af

armaturer m.v.), at der har været et stort fokus på tilbagebetalingstider. Ved nybygninger eller totalrenoveringer er der blevet indført lysregulering af forskellige typer. Leverandørerne af lysstyring oplever i modsætning hertil en stor interesse og har den opfattelse, at langt de fleste moderne byggerier opføres med en form for lysstyring. Den samme opfattelse har de adspurgte rådgivere.

På baggrund af den relativt begrænsede undersøgelse vurderes det, at der generelt er interesse for introduktion af lysregulering af forskellig type og at anlæg ved nybygning ikke udgør en meget stor merudgift. Ydermere vil belysningsanlæg med lysregulering ofte kunne tilbagebetales indenfor få år afhængig af anlæggets omfang.

10 Referencer

EEC, 2000: Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council On Waste Electrical and Electronic Equipment. Brussels, 13.6.2000. COM(2000) 347 provisional.

DS 700: Kunstig belysning i arbejdslokaler. 5. udgave Godkendt 1997-10-29.

Ljuskultur, 1990: Belysning inomhus. Riktlinjer og rekommendationer för belysning inomhus med tilläg av belysning på lastkajer och arbetsplatser utomhus samt sportbelysning.

Erichsen, H., 2000: Personlig kommunikation med Hanne Erichsen, Institut for Produktudvikling.

Frees, N. og Pedersen, M. A. (1996). UMIP enhedsprocesdatabase. UMIP publikation. Miljøstyrelsen, København.

Gydesen et.al. (1990). Renere teknologi på energiområdet. Miljøprojekt nr. 138. Miljøstyrelsen, København.

ISO (1997). Standard 14040: Environmental management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework. ISO.

ISO (1998a). Standard 14041: Environmental management – Life Cycle Assessment – Goal and Scope Definition and Inventory Analyses. ISO.

ISO (1998b). Standard 14042: Environmental management – Life Cycle Assessment – Life Cycle Impact Assessment, draft. ISO.

Miljøstyrelsen (1999). UMIP PC-værktøj, version 2.11 beta. Miljøstyrelsen, København.

Wenzel, H., Hauschild, M. og Rasmussen, E. (1996). Miljøvurdering af Produkter. UMIP publikation. Miljøstyrelsen, København.

Frees, N., 2000: Miljøvurdering af ventilationssystemer, fase 2 & 3. Miljørigtig Udvikling af produktfamilier.

Kristensen, F., 1999: Personlig kommunikation med kvalitetschef Flemming Kristensen, Thorn-Jakobsson A/S.

Lykke, M. , 2000: Personlig kommunikation. Philips Danmark.

NB-metoden, 1991: Beregning af indendørs almenbelysning. Lysteknisk Selskab.

Erichsen, H. og Willum, O., 2000: Miljøvurdering af mobiltelefoner, fase 2 & 3. Miljørigtig udvikling indenfor produktfamilier.

Willum, O., 2000: Miljøvurdering af termostatventiler, fase 2 & 3. Miljørigtig udvikling indenfor produktfamilier.

Caspersen, N., 2000: Personlig kommunikation med Nina Caspersen, Institutet for produktudvikling.

Philips, 2000: Oplysninger fra Kim Nielsen, Philips.

BPS, 2000: Lysstyring. BPS publikation nr. 132. Byggecentrum, Hørsholm, februar 2000.

Bilag A

Lyskilder

I nedenstående tabel 1 er egenskaberne for en række lyskilder summeret.

Lyskilde	Farve temp. (K)	Farve gengivelse (Ra)	Lysudbytte (lm/W)	Levetid (timer)	Fordele	Ulemper
Glødelamper	2700	99	8-15	1000	Billige i anskaffelse. Lette at installere. Små (god lysstyring) Gode farveegenskaber. Tænder øjeblikkeligt Kan dæmpes	Uøkonomiske i drift Varmeproblemer Kort levetid
Halogen-glødelamper	2800-3200	99	12-27	2000-4000	Små (præcis lysstyring) Bedre økonomi og længere levetid end glødelamper Lavvoltage udgaver	Varmeproblemer Særlige sokler Lavvoltage udgaver kræver transformator
Lysstofrør	2700-7500	50-97	35-93	9000 (HF ^a ; 12000)	Økonomiske i drift Mange lysfarver Lav luminans	Flimrer og tænding (ikke ved HF ^a) Kræver særligt tilbehør Lys kan forekomme lidt "fladt"
Kompakt lysstofrør	2700 3000 (3500) (4000)	83 (95)	20-80	8000	Små Økonomiske i drift Lang levetid	Forskellige sokler Svære at dæmpe for små wattager
Kompakt lysstoflamper	2700	83	40-55	8000	Små Økonomiske i drift Lang levetid	Dyre i anskaffelse Flimrer og tænding Vægt/størrelse Kan ikke dæmpes
Kviksløvlamper	3000-6000	20-60	30-55	12000	Store wattager med høj lysstrøm Lang levetid Meget robuste	Lang tændingstid Farvegengivelse
Metal halogenlamper	3000-6000	60-95	50-90	6000	Højt lysudbytte Små (præcis lysstyring)	Lang tændingstid Risiko for farveforskelle fra lyskilde til lydkilde
Lavtryks natrium lamper	1700	-	70-160	11000	Meget højt lysudbytte	Farvegengivelse (ingen)
Højtryks natrium lamper	2000-2900	20-80	30-120	12000 (5000)	Store wattager med høj lysstrøm og højt lysudbytte Lille brænder (præcis lysstyring)	Lang tændingstid Dårlig farvegengivelse (for de fleste typer)

Tabel 1: Forskellige lyskilders egenskaber (efter Lysteknisk Institut, udleveret af Martin Møhl, Jakobsson A/S)

^a HF; Højfrekvensdrift, dvs. der anvendes en elektronisk forkobling, som konverterer netspændingens frekvens på 50 Hz til en højere frekvens (25.000 – 40.000)

I tabel 1 er også levetid medtaget da dette er en væsentlig parameter såvel økonomisk som miljømæssigt.

Alle andre lyskilder
end glødelamper skal
anvende
forkoblingsudstyr

Principperne for de forskellige lyskilder vil ikke her blive beskrevet nærmere. Det er dog væsentligt, at glødelamper og halogen-glødelamper fungerer ved at opvarme en glødetråd af wolfram, hvorved der udsendes lys. Disse typer lyskilder kan fungere direkte ved tilslutning til strømnettet. De øvrige typer af lyskilder fungerer via en elektrisk udladning og det er nødvendigt med såkaldte forkoblinger, der styrer strøm og spænding. Dette forkoblingsudstyr kan enten være jern/kobber spoler eller elektroniske. Det skal bemærkes, at der arbejdes på udvikling af lyskilder, hvor forkobling enten er integreret i lyskilden (som det f.eks. ses i de såkaldte sparepærer) eller hvor denne er unødvendig.

En livscyklusvurdering på lyskilder udført af den europæiske lysbranche (European Lighting Companies Federation) (ELC, 1997) viste, at 90% af miljøbelastningen fra lyskilder, skyldes energiforbruget i brugsfasen. Dette er vigtigt, at have med i overvejelserne vedrørende valg af lyskilde.

Referencer

ELC, 1997: Discharge lamps and the environment. 4th ed. European Lighting Companies Federation. Downloaded fra <http://www.ljuskultur.se/artiklar/ELC.PDF>

Bilag B

I dette bilag udføres en matrix LCA for en lampe.

Matrix LCA

Matrix LCA for belysning fra ét armatur i 50.000 timer (levetiden af en forkobling)

	Materiale	Produktion	Brug	Bortskaffelse	Transport
Materialer	Stål 0,2 kg 0,02 mPR Alu 0,02 kg 0,03 mPR Cu 0,008 kg 0,13mPR Plast 0,45 kg (PC) 0,018 mPR (regnet som olie) Bølgepap 0,17 kg Elektronik 0,124 kg heraf ??? Cu Sjældne materialer til lyskilde? Yttrium, Strontium, Indium og andre (NC har lavet noget på sådan nogle metaller!!)	?	6,25 kompakte lysstofrør 18 W	Sammen med byggeaffald. Der er 92% genanvendelse af byggeaffald	
Energi	Stål 8 MJ Alu 4 MJ Cu 0,7 MJ Plast 41 MJ Pap 7 MJ	???? Sprøjtetøbning 0,7 kWh Ca. 5 MJ primær	Lysstofrør inkl. Forkobling 1800 kWh Ca. 13000 MJ primær	(ved forbrænding) Alu -0,5 MJ Plast -9 MJ Pap -2,6 MJ	Et hurtigt overslag, hvis lampen anvendes i DK er, at transport udgør mindre end 0,5% (vægt 1 kg og transport 1000 km med lastbil)
Kemikalier	?	Slipmiddel Køle-smøre middel	Rengøringsmiddel	Kviksølv i lysstofrør ca. 63 mg	
Andet	?	?	?	?	

Hver af de kompakte lysstofrør, som anvendes har en lysstrøm på 1200 lm, svarende til et lysudbytte på ca. 73 lm/W. En af fordelene ved anvendelse af elektroniske forkoblinger er at lysudbyttet stort set ikke reduceres med tiden. Lysmængden fra lyskilderne i 50.000 timer er således 120 Mlmh (megalumentimer). Men virkningsgraden af armaturet er kun ca. 57%, hvilket vil sige, at lysmængden fra armaturet kun er ca. 68 Mlmh. Dette kan overvejes nærmere i forbedringsanalysen.

Vedligeholdelse er en yderst vigtig parameter for lysudbyttet.

Bilag C

Der er foretaget følsomhedsanalyser for at belyse, hvilken betydning:

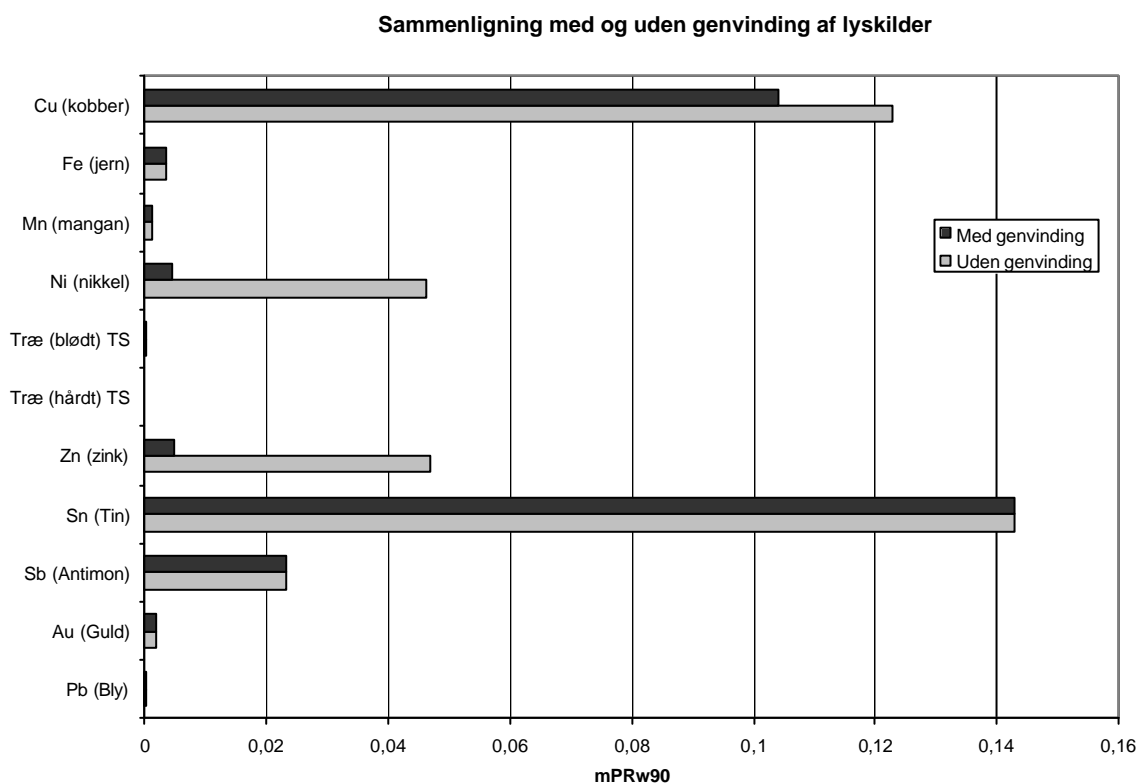
1. indsamling og genvinding af lyskilder samt
2. materialeindholdet i den elektroniske forkobling

har for resultatet.

Med henblik på at vurdere mere specifikt, om der er potentielle miljøforbedringer ved f.eks. ændringer i materialevalg til armaturet er der også beregnet et scenarie, hvor brugsfasen er udeladt men dette scenarie gav ikke yderligere oplysninger.

Indsamling og genvinding af lyskilder

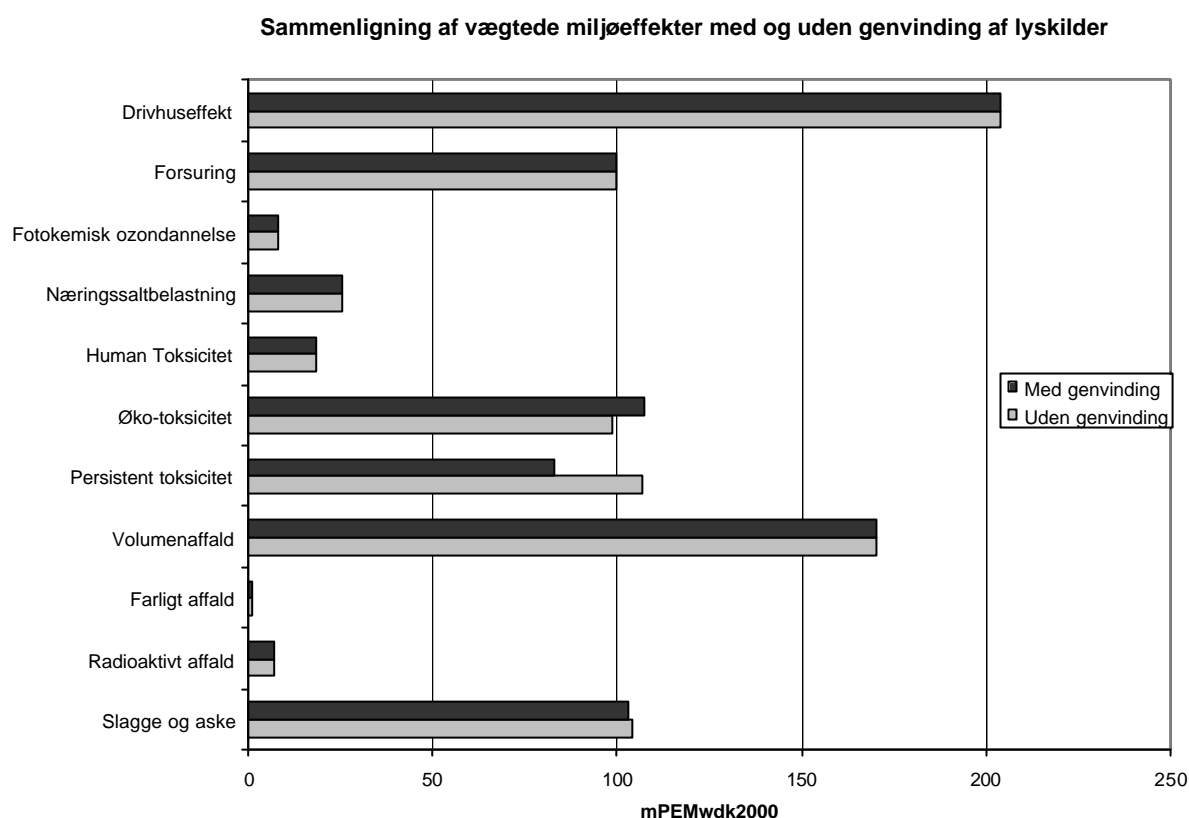
Der er foretaget beregninger, hvor lyskilder i stedet for at blive genvundet (med 10% spild direkte til miljøet) sendes til forbrænding. Det er klart, at en sådan disponering vil føre til et større ressourceforbrug, hvad angår de materialer som indgår i lyskilden, se Figur 0-1.



Figur 0-1: Vægtede ressourceforbrug når lyskilder genvindes henholdsvis forbrændes. Energi ressourcer er udeladt da de ikke påvirkes af ændringen.

De materialer, som er medregnet i denne undersøgelse er plast (PET), glas, jern, nikkel, kobber, zink samt kviksølv. Kviksølv fremgår dog ikke af de vægtede ressourcer, fordi der ikke er vægtningsfaktorer i UMIP for kviksølv.

Kviksølv bidrager dog til toksicitet, ligesom metallerne kobber, zink og nikkel. I Figur 0-2 ses de vægtede miljøeffekter i en sammenligning.



Figur 0.2: Sammenligning af vægtede miljøeffekter henholdsvis med og uden genvinding af lyskilder.

Det øgede bidrag til persistent toksicitet skyldes emissioner af de ovennævnte metaller ved affaldsforbrænding. Den øgede økotoksicitet i beregningen med genvinding skyldes, at 10% af metallerne i lyskilderne antages udledt direkte til vand og/eller luft (Hg) og ikke via affaldsforbrænding. Ved affaldsforbrænding emitteres kun en lille del af metaller til luft og afsættes efterfølgende på jord- og vandoverflader. Den resterende mængde deponeres som slagge og aske, der indtil videre ikke bidrager til andre miljøeffekter i UMIP. Dette er også grunden til at stigningen i persistent toksicitet ikke er større. Disse antagelser om emissioner fra genvindingsprocesser er nok urealistisk høje men er tænkt som en undersøgelse af det værste tænkelige tilfælde.

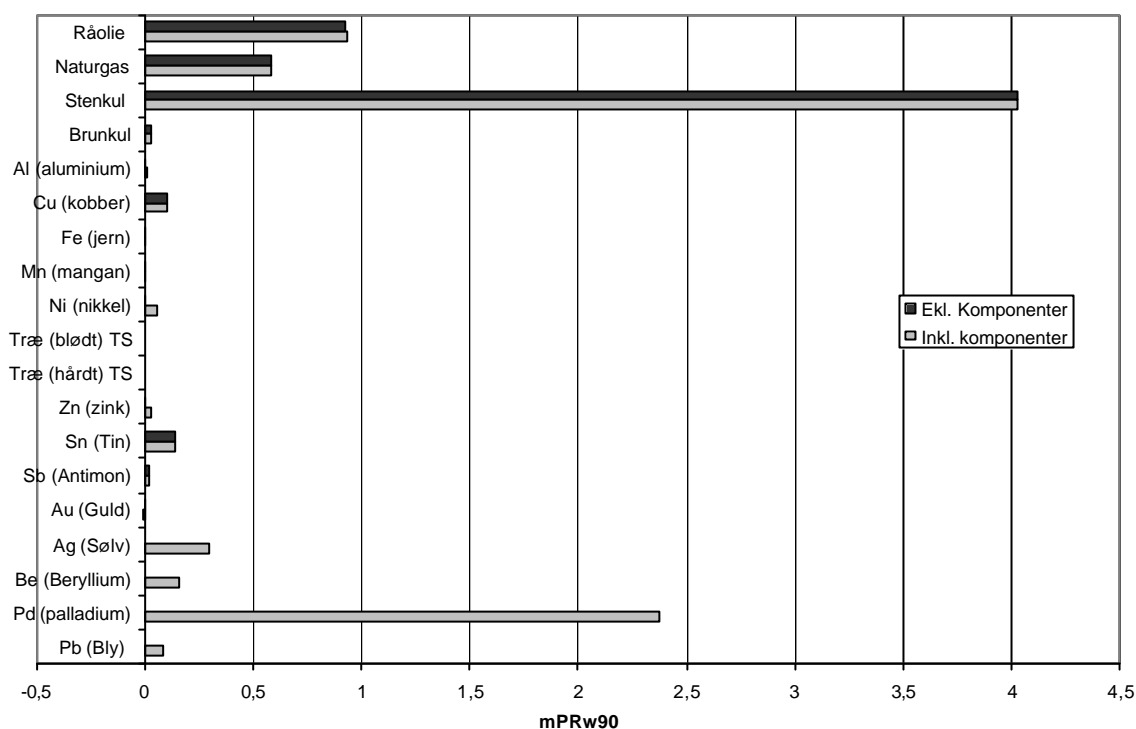
Det kan altså konkluderes, at indsamling og genvinding af lyskilder udgør en væsentlig miljøforbedring både når det gælder miljøeffekter og ressourceforbrug.

Estimat af material indhold i elektronik

Fremstilling af og materialeindhold i elektroniske komponenter har i flere sammenhænge vist at være yderst vanskelige at skaffe oplysninger om. Vi har heller ikke i denne undersøgelse fået sådanne oplysninger. Derfor er anvendt generelle data for fremstilling af printkort, IC-kredse og transistorer. Øvrige komponenter er ikke medtaget (dog er kobber-indholdet i spoler inkluderet). For at undersøge, betydningen af materialeindholdet i komponenterne er der på baggrund af generel viden om materialeindholdet i forskellige komponenter

estimeret et materialeforbrug og genvinding (ved oparbejdning af print). Resultaterne sammenlignet med system uden komponenter er vist i Figur 0-3.

Vægtede ressourceforbrug henholdsvis inkl. og ekskl. komponenter



Figur 0.3 : Sammenligning af de vægtede ressourceforbrug med og uden estimer af forbrug til materialer i elektroniske komponenter.

Det som fremgår tydeligst er de nye materialer/ressourcer, som er estimeret. Det drejer sig især om sølv, beryllium og palladium, som alle er forholdsvis sparsomme ressourcer og derfor vægtes højt. Det skal bemærkes, at det er antaget, at der er et vist spild af materiale i fremstillingen, således at kun ca. halvdelen af de anvendte ressourcer kan genvindes, hvilket selvfølgelig har betydning for resultaterne. Bemærk også, at enheder i diagrammet er ca. 25 gange større end i Figur 0-1. Det vægtede ressourceforbrug til komponenter er stort selv i forhold til de forholdsvis store forbrug af energiressourcer.

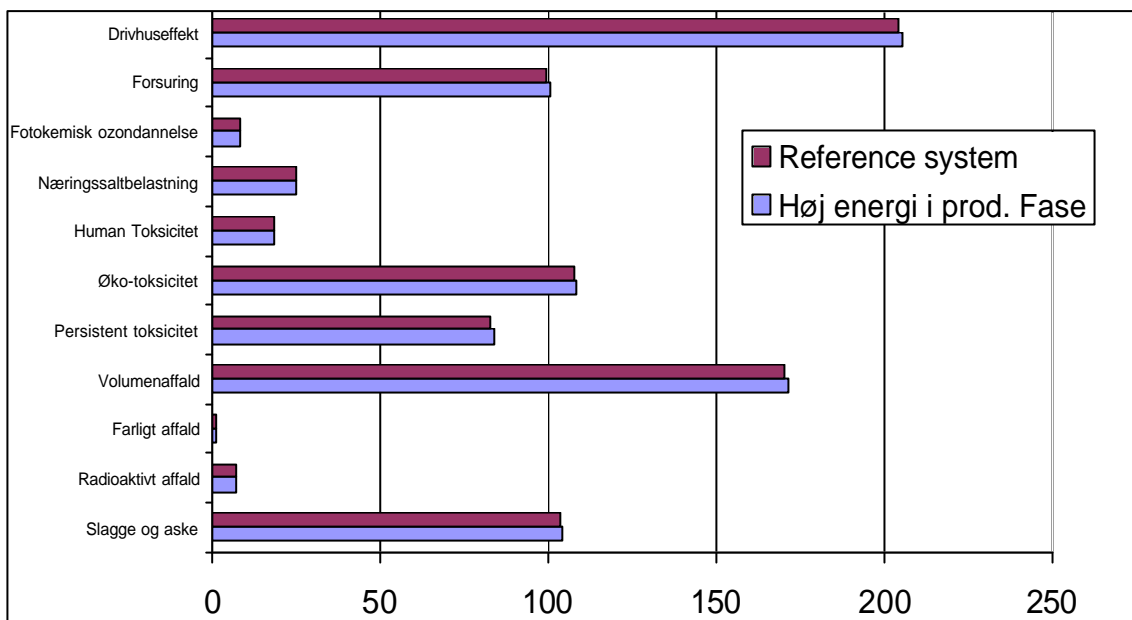
Med hensyn til miljøeffekter er der ikke forskel på de to systemer fordi selve fremstillingen af komponenter ikke er estimeret.

Det kan konkluderes, at indsamling og genvinding af elektroniske dele har væsentlig betydning for ressourceforbruget. En indsats på dette område kan af ressourcemæssige årsager anbefales.

Undersøgelse af højt energiforbrug i produktion

Energiforbruget i produktionsfasen er i vurderingen kun estimeret for sprøjtetøbningen og er kun på ca. 2,3 MJ/kg. Det er vurderet, hvilken betydning det har, at der kun er estimeret et forholdsvis lavt energiforbrug i produktionen. Der kan normalt anslås et energiforbrug på ca. 12,5 MJ/kg produkt og op til 50 MJ/kg for komplicerede produkter eller produkter med mange små dele. Under antagelse af worst case er som følsomhedsanalyse anslået, at produktionsfasen forbruger 111 kWh, svarende til ca. 50 MJ/kg

produkt. Resultatet sammenlignet med referencen er vist i Figur 0-4. Som det fremgår har energiforbruget i produktionsfasen ikke særlig stor betydning for de samlede miljøeffekter fordi energiforbruget i brugsfasen er så stort. Tilsvarende er der kun ringe forskel på ressourceforbruget, hvorfor dette ikke vises som figur.



Figur 0.4: Vægtede miljøeffekter henholdsvis med og uden et anslået energiforbrug i produktionsfasen.

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.